

۱۱۴	انتقال بی سیم	۲-۲
۱۲۲	انتشار بی سیم	۲-۳
۱۲۷	انتقال دید مستقیم	۲-۴
۱۳۱	توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر و سایت‌های وب	۲-۵
۱۳۲	واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل	۲-۶
۱۳۷	فصل پنجم: تکنیک‌های نگهداری سیگنال	
۱۴۰	۵-۱ داده دیجیتال - سیگنال دیجیتال	
۱۵۰	۵-۲ داده‌های دیجیتال، سیگنالهای آنالوگ	
۱۶۲	۵-۳ داده‌های آنالوگ، سیگنالهای دیجیتال	
۱۶۹	۵-۴ داده‌های آنالوگ، سیگنالهای آنالوگ	
۱۷۵	۵-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر	
۱۷۶	۵-۶ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل	
۱۸۲	فصل ششم: تکنیک‌های ارتباط داده‌های دیجیتال	
۱۸۴	۶-۱ انتقال آسنکرون و سنکرون	
۱۸۷	۶-۲ انواع خطاها	
۱۸۸	۶-۳ آشکارسازی خطا	
۱۹۷	۶-۴ تصحیح خطا	
۲۰۳	۶-۵ پیکربندی‌های خط	
۲۰۵	۶-۶ رابط‌ها	
۲۱۵	۶-۷ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر	
۲۱۶	۶-۸ واژه‌های کلیدی، سؤالات و مسائل	
۲۲۱	فصل هفتم: پروتکل‌های کنترل اتصال داده	
۲۲۳	۷-۱ کنترل جریان	
۲۳۰	۷-۲ کنترل خطا	
۲۳۵	۷-۳ کنترل اتصال داده سطح بالا (HDLC)	
۲۴۴	۷-۴ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر	
۲۴۵	۷-۵ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل	
۲۵۷	فصل هشتم: مالتی پلکسینگ	
۲۵۹	۸-۱ مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس	
۲۶۷	۸-۲ مالتی پلکسینگ تقسیم زمان سنکرون	
۲۷۷	۸-۳ مالتی پلکسینگ تقسیم زمان آماری	
۲۸۴	۸-۴ خط دیجیتالی نامتقارن مشترکین	

«فهرست»

فصل ۰: راهنمای کتاب	۴
۱-۰ سازماندهی این کتاب	۶
۲-۰ منابع اینترنت و وب	۷
۳-۰ استانداردها	۹

بخش اول: مرور

فصل اول: مروری بر ارتباطات داده‌ها و شبکه	۱۲
۱-۱ یک مدل ارتباطی	۱۳
۱-۲ ارتباطات داده‌ها	۱۶
۱-۳ ایجاد شبکه ارتباط داده	۱۷
۱-۴ مثالی از پیکر بندی	۲۰

فصل دوم: معماری پروتکل	۲۳
۲-۱ نیاز برای معماری پروتکل	۲۴
۲-۲ یک معماری ساده پروتکل	۲۵
۲-۴ معماری پروتکل TCP/IP	۴۲
۲-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر و سایت‌های وب	۴۹
۲-۶ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل	۵۰

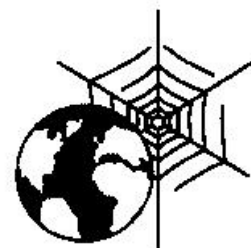
بخش دوم: ارتباطات داده‌ها

فصل سوم: انتقال داده	۶۰
۳-۱ مفاهیم و واژه‌ها	۶۲
۳-۲ انتقال داده آنالوگ و دیجیتال	۷۳
۳-۳ موانع انتقال	۸۲
۳-۴ ظرفیت کانال	۸۷
۳-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر	۹۲
۳-۶ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل	۹۳

فصل چهارم: رسانه انتقال هدایت شده و بی سیم	۹۹
۴-۱ رسانه هدایت شده	۱۰۱

سایت های وب برای این کتاب

ویرایش هفتم



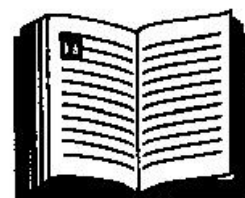
سایت وبی در williamstallings/DCC/DCC7e.html فراهم کننده اطلاعات حمایتی برای مدرسین و دانشجویان است، همچنین شامل عناصر زیر می باشد:



موارد پشتیبان دوره

موارد پشتیبان دوره عبارتند از:

- کپی هایی از شکل های این کتاب به صورت PDF.
- مجموعه کاملی از نکات دوره در قالب PDF مناسب برای دانشجویان و نوشته هایی برای استفاده در صفحات نمایشی.
- مجموعه ای از اسلایدهای Power Point برای استفاده در جلسات درسی.
- سایت دانشجویان کامپیوتر: حاوی چندین اتصال و سند، که برای دانشجوی کامپیوتر در طول دوره مفید است. این سایت شامل مروری پایه ای از ریاضیات، نکاتی در مورد نوشتن تحقیق، و انجام تکالیف می باشد؛ همچنین اتصالاتی به منابع تحقیقاتی علم کامپیوتر دارد مانند مخزن گزارشات و فهرست ها و اتصالات مفید دیگر.



دوره های DCC

سایت وب DCC7e شامل اتصالاتی به سایت های وب برای دوره هایی است که از این کتاب استفاده می کنند. این

سایت‌ها می‌توانند ایده‌های مفیدی را در مورد زمانبندی و ترتیب مطالب، همراه با چند متن مفید و موارد دیگر، فراهم نمایند.



سایت‌های وب مفید

سایت وب DCC7e شامل اتصالاتی است به سایت‌های وب مربوطه، که براساس فصل‌ها سازماندهی شده‌اند. این اتصالات، طیف وسیعی از عناوین را پوشش می‌دهند و باعث می‌شوند دانشجویان موارد را با عمق بیشتری به صورت زمانبندی شده مطالعه کنند.



اسناد تکمیلی

سایت وب DCC7e شامل چند سند است که براساس این کتاب توسعه یافته‌اند. عناوین شامل استانداردها، سازمانها، سوکت‌ها، checksum های TCP/IP، ASCII و قضیه نمونه‌برداری هستند.



لیست پستی اینترنت

لیست پستی اینترنت به گونه‌ای نگهداری می‌شود که مدرسین استفاده کننده از این کتاب می‌توانند اطلاعات را مبادله کنند، پیشنهادات را ارائه نمایند، و سؤالاتی را با یکدیگر و مؤلف مطرح نمایند. اطلاعات اشتراک در سایت وب این کتاب فراهم شده است.



ابزارهای شبیه‌سازی و مدلسازی

این سایت وب شامل اتصالاتی به سایت وب enet و سایت وب modeling tools می‌باشد. این بسته‌ها می‌توانند استفاده شوند تا پروتکل و موارد طراحی شبکه را تحلیل نمایند. هر سایت شامل نرم‌افزار قابل download و اطلاعات دیگر است. راهنمای مدرس شامل اطلاعات بیشتری برای load شدن و استفاده از نرم‌افزار و پروژه‌های دانشجویی پیشنهادی است. به ضمیمه (ت) برای اطلاعات بیشتر مراجعه کنید.

پیش‌گفتار

اهداف

این کتاب سعی در فراهم نمودن دیدگاه واحدی از زمینه گسترده ارتباطات داده و کامپیوتر دارد. سازماندهی این کتاب، سعی در شکستن این هدف عمده به اجزاء قابل فهم، و ایجاد زمینه طراحی قطعه به قطعه آن دارد. این کتاب، بر اصول بنیادی و عناوین اساسی مهم مربوط به تکنولوژی و معماری تأکید دارد و فراهم کننده بحث کاملی از عناوین مهم است.

موارد زیر در متحد ساختن بحث به کار گرفته می‌شوند:

- اصول: اگرچه محدوده این کتاب گسترده است، ولی چند اصل اساسی وجود دارد که به طور تکراری برای متحد ساختن آن ظاهر می‌شوند. مثالهای آن عبارتند از: مالتی پلکسینگ، کنترل جریان، و کنترل خطا. این کتاب، این عناوین را برجسته می‌نماید و بر کاربرد آنها در زمینه خاص تکنولوژی تأکید دارد.
- گرایشهای طراحی: این کتاب، شیوه‌های گوناگون را برای برطرف سازی نیازهای خاص ارتباطی بررسی می‌نماید.
- استانداردها: استانداردها برای تعریف فرضیاتی در رابطه با نقش این زمینه مهم و حاکم امروزی، تعریف شده‌اند. فهم وضعیت جاری و مسیرهای آینده تکنولوژی، نیازمند بحث جامعی در مورد استانداردها است.

سازماندهی این کتاب

این کتاب به پنج بخش تقسیم شده است:

این کتاب شامل مروری جامع، لیستی از اصطلاحات متداول، و مراجع می‌باشد. هر فصل شامل مسائل و پیشنهاداتی برای مطالعه بیشتر است.

این کتاب برای استفاده دانشگاهی و حرفه‌ای مناسب می‌باشد. برای افراد حرفه‌ای علاقمند به این زمینه، این کتاب مرجعی کامل و برای مطالعه شخصی مناسب است. به عنوان کتاب درسی، می‌تواند برای دوره‌ای یک یا دو ترمه استفاده شود. این کتاب، موضوع ارتباطات و شبکه را براساس استاندارد مشترک ACM/IEEE 2001 پوشش می‌دهد. فصل‌ها و بخش‌های این کتاب، تاحدی مازولی طراحی شده‌اند که انعطاف بسیاری را در طراحی دوره‌ها می‌دهند. موارد زیر برای طراحی دوره پیشنهاد می‌شوند:

- اصول ارتباطات داده‌ها: بخش‌های یک (مرور) و دو (ارتباطات داده‌ها) و فصل‌های ۱۰ و ۱۱ (سوئیچ مداری، سوئیچ بسته‌ای و ATM).

- شبکه‌های ارتباطی: اگر دانشجوی زمینه‌ای در مورد ارتباطات داده‌ها داشته باشد، این دوره، بخش اول (مرور)، سوم (WAN)، و چهار (LAN) را شامل می‌شود.
- شبکه‌های کامپیوتری: اگر دانشجوی زمینه پایه‌ای در ارتباطات داده‌ها داشته باشد، این دوره، بخش اول (مرور)، فصل‌های ۶ و ۷ (تکنیک‌های ارتباطات داده‌ها، و کنترل اتصال داده)، و بخش پنج (پروتکل‌ها) را می‌پوشاند. علاوه بر آن، دوره دیگری که تمام کتاب را پوشش دهد نیز با حذف فصل‌های خاصی که در اولین مرور کتاب ضروری نیستند، امکان‌پذیر است. فصل‌های اختیاری عبارتند از ۳ (انتقال داده) و ۴ (رسانه انتقال)، و اگر دانشجوی زمینه کافی از این مفاهیم داشته باشد: فصل ۸ (مالتی پلکسینگ)، فصل ۹ (طیف پراکنده)، فصل ۱۲ تا ۱۴ (مسیریابی، کنترل ازدحام، شبکه‌های سلولی)، فصل ۱۸ (شبکه‌های اینترنت)، و فصل ۲۱ (امنیت شبکه).

سرویس‌های اینترنت برای اساتید و دانشجویان

سایت وبی برای این کتاب تهیه شده است که حمایت‌کننده دانشجویان و اساتید می‌باشد. این سایت شامل اطلاعاتی به سایت‌های مرتبط دیگر، نکات پوشیده‌شده شکل‌های این کتاب، و اطلاعات اشتراک لیست email این کتاب می‌باشد. این صفحه وب در این آدرس قرار دارد:

williamstallings.com/DCC/DCC7e.html

با مراجعه به سایت وب "Data and Computer Communications"، جدول مندرجات و اطلاعات بیشتری را خواهید یافت. یک لیست email در اینترنت آماده‌سازی شده تا اساتید استفاده‌کننده از این کتاب بتوانند تبادل اطلاعات نمایند، و پیشنهادات و سؤالات را با یکدیگر و با مؤلف مطرح نمایند. با مشاهده اشکالات و نکات، لیست errata برای این کتاب در williamstallings.com قابل دسترسی خواهد بود.

پروژه‌هایی برای آموزش ارتباطات داده‌ها و کامپیوتر

برای بسیاری از اساتید، بخش مهمی از دوره ارتباطات داده‌ها یا شبکه، یک پروژه یا مجموعه پروژه‌هایی است که با استفاده از آنها، دانشجو، تجربیاتی را در رابطه با مفاهیم کتاب می‌آموزد. این کتاب، فراهم‌کننده حمایتی مستقل برای افزودن پروژه‌ها به دوره می‌باشد. دفترچه راهنمای پروژه نه تنها شامل راهنمایی نحوه طراحی ساختار پروژه‌ها است، بلکه شامل مجموعه‌ای از پروژه‌های پیشنهادی است که رنج وسیعی از عناوین موجود در متن را پوشش می‌دهند، شامل: پروژه‌های تحقیقاتی، پروژه‌های شبیه‌سازی، پروژه‌های مدلسازی تحلیلی، و گزارشات. به ضمیمه (ت) برای جزئیات مراجعه کنید.

برنامه‌نویسی سوکت‌ها

این کتاب شامل توضیح مختصری از سوکت‌ها است ضمیمه (پ)، همراه با جزئیات بیشتری که در سایت وب این کتاب موجود می‌باشد. دفترچه راهنمای مدرس شامل مجموعه‌ای از پروژه‌های برنامه‌نویسی است. برنامه‌نویسی

سوکت‌ها، عنوانی ساده است که پروژه‌های مناسبی برای دانشجویان را شامل می‌شود.

نکات جدید ویرایش هفتم

ویرایش هفتم در کمتر از چهار سال از ویرایش ششم چاپ شده است. در این مدت، تغییرات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. ویرایش جدید، سعی در بیان این تغییرات در ضمن حفظ پوشش کامل این زمینه دارد. به منظور شروع بازمینی، ویرایش ششم این کتاب کاملاً توسط چند پروفیسور استاد این درس مرور شد. نتیجه این بود که در بسیاری از مکانها، متن، بازمینی شد و نماها ارتقاء داده شدند. همچنین چند فیلد جدید در حال آزمایش نیز به آن اضافه گردید.

علاوه بر این اصلاحات، برای ارتقاء سهولت استفاده از آن توسط کاربران، تغییرات عمده‌ای در این کتاب صورت گرفته است. هر فصل بازمینی شده است، فصل‌های جدیدی اضافه شده‌اند، و سازماندهی کلی کتاب تغییر کرده است. عناوین عمده عبارتند از:

- ارتباطات بی‌سیم و شبکه‌ای: افزایش قابل توجهی در میزان حجم مطالب ارتباطات بی‌سیم، شبکه‌های بی‌سیم، و استانداردهای بی‌سیم ایجاد شده است. این کتاب، شامل یک فصل در مورد تکنولوژی طیف پراکنده، شبکه‌های بی‌سیم سلولی، و LAN‌های بی‌سیم می‌باشد.
- میکانیک اترنت: بحث در مورد گیگابیت اترنت به روزآوری شده است و مقدمه‌ای بر اترنت 10-Gbps اضافه شده است.
- سرویس‌های متمایز شده: توسعه‌های عمده‌ای از انتشار ویرایش ششم این کتاب در مورد ارتقاء اینترنت برای حمایت ترافیک مالی مدیا و کاربردهای حساس به زمان صورت گرفته است. مهمترین توسعه، و شاید مهمترین عامل فراهم کننده QOS در شبکه‌های IP، سرویس‌های متمایز شده (DS) می‌باشد. این ویرایش، DC را پوشش می‌دهد.
- سرعت فریم تضمینی (GFR): از زمان انتشار ویرایش ششم، سرویس جدید ATM با نام GFR استاندارد شده است. GFR مخصوصاً برای حمایت زیر شبکه‌های IP طراحی گردیده است. این ویرایش، توضیحاتی را در مورد GFR ارائه می‌دهد و مکانیزم‌های مربوط به سرویس GFR را بررسی می‌نماید.
- سویچینگ با برچسب چند پروتکل (MPLS): MPLS یک تکنولوژی بنیادی مهم در اینترنت است و در این ویرایش پوشش داده شده است.
- جزئیات TCP/IP: فصل جدیدی در مورد TCP و IP اضافه شده، و مطالب پراکنده ویرایش ششم را مجتمع نموده است. این موضوع برای فهم QOS و موارد مربوط به کارایی شبکه‌های IP ضروری است.

علاوه بر این موارد، در این کتاب، تقریباً تمام موضوعات به روزآوری شده است تا منعکس کننده توسعه استانداردها و تکنولوژی از چاپ ویرایش پنجم این کتاب باشد.

راهنمای کتاب

- ۱-۰ سازماندهی این کتاب
- ۲-۰ منابع اینترنت و وب
سایت وب این کتاب
سایت‌های وب دیگر
گروه‌خبری USENET
- ۳-۰ استانداردها

این کتاب، همراه با سایت‌های وب دیگر، عناوین زیادی را در برمی‌گیرد. خواننده از این طریق اطلاعات کافی به دست می‌آورد.

۱-۰ سازماندهی این کتاب

این کتاب در پنج بخش سازماندهی شده است:

- بخش اول. مرور: فراهم‌کننده مقدمه‌ای بر محدوده عناوین پوشش داده شده در این کتاب می‌باشد. این بخش شامل مروری کلی بر ارتباطات داده‌ها و شبکه، بحثی در مورد پروتکل‌ها، OSI، و پروتکل TCP/IP است.
- بخش دوم. ارتباطات داده‌ها: ابتدا با تبادل داده‌ها بین دو دستگاه که مستقیم به یکدیگر متصل شده‌اند شروع می‌شود. در این دامنه محدود، جنبه‌های کلیدی انتقال، رابط‌ها، کنترل اتصال، و مالتی پلکسینگ بررسی می‌گردند.
- بخش سوم. شبکه‌های گسترده WAN: مکانیزم‌های داخلی و رابط‌های کاربر - شبکه را که برای حمایت ارتباطات صوت، داده، و رسانه بر روی شبکه‌هایی با مسافت زیاد توسعه داده شده‌اند، بررسی می‌نماید. تکنولوژی‌های متداول سوئیچینگ بسته‌ها، و سوئیچینگ مدار بررسی می‌شوند، همراه با ATM و WAN‌ها. فصل جداگانه‌ای برای کنترل ازدحام در نظر گرفته شده است.

- بخش چهار. شبکه‌های محلی: تکنولوژی‌ها و معماری‌های توسعه داده شده برای ایجاد شبکه در مسافت‌های کوتاه را پوشش می‌دهد. رسانه انتقال، توپولوژی‌ها، و پروتکل‌های کنترل دسترسی به رسانه، که اجزاء کلیدی طراحی LAN می‌باشند مورد توجه قرار گرفته‌اند و سیستم‌های LAN استاندارد شده خاص بررسی می‌گردند.
 - بخش پنج. پروتکل‌های شبکه: اصول معماری و مکانیزم‌های لازم برای تبادل داده‌ها بین کامپیوترها، ایستگاههای کاری، سرویس‌دهنده‌ها، و دستگاههای دیگر پردازش داده را پوشش می‌دهد. بخش عمده مواد این بخش مربوط به مجموعه پروتکل TCP/IP می‌باشد.
- خلاصه کامل تری از هر بخش، در ابتدای آن ارائه می‌گردد.

۲ - منابع اینترنت و وب

چندین منبع قابل دسترس در اینترنت و وب برای پشتیبانی و کمک به توسعه این زمینه، در دسترس می‌باشد.

سایت‌های وب این کتاب

صفحه وب خاصی برای این کتاب در سایت williamstallings.com/DCC/DCC7c.html آماده‌سازی شده است. دو صفحه ابتدای این کتاب را برای جزئیات توضیح این سایت مطالعه کنید.

با یافت شدن اشکالات یا خطاهایی در این کتاب، لیست errata برای این کتاب در این سایت وب قابل دسترسی خواهد بود. هر خطای مشاهده شده را گزارش دهید. صفحات errata برای کتابهای دیگر مؤلف، همراه با اطلاعات تخفیف این کتاب در williamstallings.com قابل دسترسی می‌باشد.

همچنین سایت Computer Science Student Resource در

williamstallings.com/studentsupport.html

قابل دسترسی می‌باشد. هدف از این سایت، فراهم نمودن مستندات، اطلاعات، و اتصالاتی برای دانشجویان کامپیوتر می‌باشد. اتصالات در چهار گروه طبقه‌بندی شده‌اند:

- math: شامل توابع پایه ریاضی، تحلیل صفت، سیستم اعداد، و اتصالاتی به سایت‌های دیگر math می‌باشد.
- How-to: راهنمایی‌هایی برای حل تمرینها، نوشتن گزارشات تکنیکی، و آماده‌سازی ارائه‌های تکنیکی را شامل می‌شود.
- منابع تحقیق: اتصالاتی به مقاله‌های مهم، گزارشات تکنیکی، و مراجع را برقرار می‌نماید.
- متفرقه: اسناد و اتصالات مفید.

سایت‌های وب دیگر

سایت‌های وب بسیاری وجود دارند که فراهم کننده اطلاعات مربوط به عنوان این کتاب می‌باشند. در فصل‌های بعدی، اشاره‌گرهایی به سایت‌های خاصی در بخش "توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر" یافت می‌شوند. چون این

URL های سایت های وب، دائم تغییر می کنند، در این کتاب به آنها اشاره نشده است. برای تمام سایت های وب اشاره شده در این کتاب، اتصالات مفیدی در سایت وب این کتاب یافت می شود.

در ادامه، سایت های وب عمومی در مورد ارتباطات داده و کامپیوتر معرفی شده اند:

- Network World: اطلاعات و اتصالات به منابع مربوط به ارتباطات داده ها و شبکه.
- IETF: شامل یافته های مربوط به فعالیت های اینترنت و IETF می باشد. همچنین شامل کتابخانه ای است همراه با ایندکس کلمات کلیدی در مورد RFCs و مستنداتی مربوط به اینترنت و پروتکل های مرتبط.
- فروشندگان: اتصالاتی به هزاران فروشنده نرم افزار و سخت افزار است که در حال حاضر دارای سایت های وب می باشند، همراه با هزاران شرکت کامپیوتری موجود در دفترچه تلفن.
- جامعه ارتباطات IEEE: راه خوبی برای دستیابی به کنفرانسها، انتشارات، و مانند آن می باشد.
- گروه خاص ACM علاقه مندان به ارتباطات (SIG COMM): راه خوبی برای دستیابی به کنفرانسها و انتشارات و مانند آنها می باشد.
- اتحادیه بین المللی ارتباطات: حاوی لیستی است از توصیه های ITU-T، همراه با اطلاعاتی در مورد مستندات ITU-T به شکل CD و چاپی.
- سازمان بین المللی استانداردها: حاوی لیستی از استانداردهای ISO، همراه با اطلاعاتی در مورد دستیابی به اسناد ISO به صورت CD و چاپی است.
- Comm Web: اتصالاتی به سایت های فروشندگان، خلاصه مطالب و اطلاعات مفید دیگر می باشد.

گروه های خبری USENET

چند گروه خبری USENET به جنبه ای از ارتباطات داده ها، شبکه ها، و پروتکل ها اختصاص یافته است. تقریباً مانند تمام گروه های USENET، نسبت موارد نامطلوب به موارد نامطلوب بسیار بالاست، اما مشاهده آنها در صورت برطرف ساختن نیازهای شما مفید است. مهمترین موارد مرتبط عبارتند از:

- comp.dcom.lans، comp.dcom.lans.misc: بحث کلی در مورد LAN ها.
- comp.dcom.lans.ethernet: عناوین اترنت، سیستم هایی مشابه اترنت، و استانداردهای IEEE 802.3، CSMA/CD را پوشش می دهد.
- comp.std.wireless: بحث کلی در مورد شبکه های بی سیم شامل LAN های بی سیم.
- comp.security.misc: امنیت و رمزگذاری کامپیوتر.
- comp.dcom.cell-relay: ATM و ATM LAN ها را پوشش می دهد.
- comp.dcom.frame-relay: شبکه های Frame relay را پوشش می دهد.
- comp.dcom.net-management: در مورد کاربردها، پروتکل ها و استانداردهای مدیریت شبکه بحث می کند.
- comp.protocols.tcp-ip: مجموعه پروتکل TCP/IP.

این نکته مدتی طولانی در صنعت ارتباطات مورد قبول قرار گرفته است که استانداردها برای دستیابی به خصوصیات فیزیکی، الکتریکی، و رویه‌ای تجهیزات ارتباطی، ضروری می‌باشند. در گذشته، این دیدگاه توسط صنعت کامپیوتر مورد توجه قرار نگرفته بود. در حالی که فروشندگان تجهیزات مخابراتی می‌دانند که تجهیزاتشان باید با تجهیزات فروشندگان دیگر ارتباط برقرار نمایند و مرتبط شوند، فروشندگان کامپیوتر معمولاً سعی در انحصاری نمودن مشتریان خود دارند. گستردگی کامپیوترها و پردازش توزیع شده، مانع این کار می‌شود. کامپیوترهایی از فروشندگان متفاوت، باید با یکدیگر ارتباط برقرار نمایند و با تکامل در حال انجام استانداردها، مشتریان، توسعه نرم‌افزاری برای پروتکل تک منظوره را قبول ندارند. نتیجه این که استانداردها اینک بر تمام زمینه‌های تکنولوژی بحث شده در این کتاب حاکم هستند.

چندین فایده و ضرر برای فرآیند استانداردسازی وجود دارد. مهمترین موارد آنها در اینجا ذکر می‌شوند. فواید اصلی استانداردها عبارتند از:

- یک استاندارد اطمینان می‌دهد که بازار گسترده‌ای برای قطعه خاصی از تجهیزات یا نرم‌افزار وجود داشته باشد. این عمل، تولید انبوه را رونق می‌بخشد و در بعضی موارد، استفاده از تکنیک‌های مجتمع‌سازی با مقیاس گسترده (LSI) یا مجتمع‌سازی با مقیاس خیلی گسترده (VLSI) را با هزینه بسیار کم امکان‌پذیر می‌نماید.
 - یک استاندارد، به محصولاتی از فروشندگان متعدد امکان می‌دهد با یکدیگر ارتباط برقرار کنند، و به خریدار انعطاف بیشتری در انتخاب و استفاده از تجهیزات می‌دهد.
- ضعف‌های عمده آنها عبارتند از:
- استانداردها باعث توقف تکنولوژی می‌شوند. تا زمان توسعه یک استاندارد، موضوعی در حال مرور، تحقیق، تغییر، و تکمیل است، و به کارگیری تکنیک‌های کارآمدتری امکان‌پذیر می‌باشد.
 - چندین استاندارد برای یک چیز وجود دارد. این مورد نمی‌تواند به عنوان یک ضعف استاندارد تلقی شود، بلکه کارها به این روش انجام می‌گیرند. خوشبختانه، در سالهای اخیر، سازمانهای متعدد سازنده استانداردها همکاری نزدیک‌تری را آغاز کرده‌اند. به هر حال، هنوز زمینه‌هایی وجود دارد که چندین استاندارد متناقض وجود دارد.

در این کتاب، مهمترین استانداردهای در حال استفاده یا در حال توسعه برای جنبه‌های گوناگون ارتباطات داده‌ها و کامپیوتر توصیف می‌شوند. سازمانهای متعددی در توسعه یا ارتقاء این استانداردها سهیم هستند. مهمترین آنها (در رابطه با بحث جاری) از این قرارند:

- جامعه اینترنت: جامعه اینترنت (ISOC)، جامعه‌ای حرفه‌ای است بابت بیش از ۱۵۰ عضو سازمانی و ۶۰۰۰ عضو مستقل در بیش از ۱۰۰ کشور. این جامعه، فراهم کننده هدایت و توجه به مواردی است که آینده اینترنت را تحت تأثیر قرار می‌دهند و مکانی سازمانی برای گروههای مسئول استانداردهای زیربنایی اینترنت می‌باشد شامل: نیروی کاری مهندسی اینترنت (IETF)، و بُورد معماری اینترنت (IAB). تمام این RFCها و

استانداردهای اینترنت در این سازمانها توسعه داده شده‌اند.

- **IEEE 802:** کمیته استاندارد IEEE 802 (انستیتوی مهندسی برق و الکترونیک) برای LAN/WAN، توسعه دهنده استانداردهای شبکه محلی و استانداردهای شبکه شهری می‌باشد. پر استفاده‌ترین استانداردها برای خانواده اترنت، token ring، LAN بی سیم، پل، و LANهایی با پل مجازی می‌باشند. گروههای کاری مستقلی بر روی هر زمینه تمرکز دارند.
- **ITU-T:** اتحادیه بین‌المللی ارتباطات (ITU) سازمانی بین‌المللی در داخل سیستم سازمان ملل متحد می‌باشد که دولت‌ها و بخش خصوصی، شبکه‌ها و سرویس‌های بین‌المللی مخابراتی را هماهنگ می‌نمایند. بخش استانداردسازی مخابرات (ITU-T) یکی از سه بخش ITU می‌باشد. وظیفه ITU-T تولید استانداردهایی است که تمام فیلدهای مخابراتی را پوشش می‌دهند.
- **شرکت ATM:** شرکت ATM سازمانی غیرانتفاعی و بین‌المللی است با هدف سرعت بخشیدن به استفاده از محصولات و سرویسهای ATM (مود انتقال غیرهمزمان)، از طریق همگرایی سریع مشخصه‌های عملکرد داخلی. علاوه بر آن، این شرکت، همکاری و آگاهی صنعتی را ارتقاء می‌دهد.
- **ISO:** سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO)^۱، فدراسیون جهانی ملی استانداردها است که از بیش از ۱۴۰ کشور تشکیل شده است. ISO سازمانی غیردولتی است که توسعه استانداردها را ارتقاء می‌دهد و فعالیت‌ها را با دیدگاه سهولت بخشیدن به تبادل بین‌المللی کالاها و سرویسها به یکدیگر مرتبط می‌نماید. همچنین، همکاری‌ها را در فازهای ادراکی، علمی، تکنولوژی، و اقتصادی توسعه می‌دهد. نتایج کاری ISO در توافقات بین‌المللی است که به عنوان استانداردهای بین‌المللی چاپ می‌شود.

- بحث کامل‌تری در مورد این سازمانها در سایت‌های وب مربوط به این کتاب ارائه شده است.

مرور

مواردی در مورد بخش اول

هدف از بخش اول، فراهم نمودن زمینه‌ای برای باقیمانده این کتاب می‌باشد. رنج وسیع عناوینی که در فیلد ارتباطات داده و کامپیوتر وجود دارد معرفی می‌گردد، و مفاهیم اساسی پروتکل‌ها و معماری‌های پروتکل‌ها بررسی می‌شوند.

راهنمای بخش اول

فصل ۱ مقدمه

فصل ۱ فراهم کننده دیدگاه کلی از بخش‌های دوم تا چهارم این کتاب می‌باشد که "تصویری کلی" ارائه می‌دهد. در نتیجه، این کتاب با چهار عنوان مرتبط است: ارتباط داده از طریق اتصال مخابراتی، شبکه‌های گسترده، شبکه‌های محلی، پروتکل‌ها و معماری پروتکل TCP/IP. فصل اول دیدگاه اولیه‌ای از اولین سه عنوان فراهم می‌کند.

فصل ۲ پروتکل‌ها و معماری

فصل ۲ در مورد مفهوم معماری‌های پروتکل‌ها بحث می‌کند. این فصل می‌تواند بلافاصله بعد از فصل ۱ خوانده شود و یا تا زمان شروع بخش سوم، چهارم یا پنجم به تأخیر انداخته شود.

پس از مقدمه کلی، این فصل به دو معماری پروتکل مهم می‌پردازد: مدل اتصال سیستم‌های باز (OSI) و مدل TCP/IP. اگرچه مدل OSI اغلب به عنوان زیربنای بحث در این زمینه استفاده می‌شود، ولی پروتکل TCP/IP است که مبنای اکثر محصولات تجاری امروزی را تشکیل می‌دهد که در بخش پنج این کتاب مورد توجه قرار گرفته است.

مروری بر ارتباطات داده‌ها و شبکه

- ۱-۱ یک مدل ارتباطی
- ۱-۲ ارتباطات داده‌ها
- ۱-۳ شبکه ارتباط داده‌ها
- شبکه‌های گسترده
- شبکه‌های محلی
- شبکه‌های بی‌سیم
- شبکه‌های شهری
- ۱-۴ یک پیکربندی نمونه

نکات کلیدی

- محدوده این کتاب گسترده است، و سه زمینه عمومی را پوشش می‌دهد: ارتباطات داده‌ها، شبکه‌ها، و پروتکل‌ها. اولین در مورد در این فصل معرفی می‌شوند.
- ارتباطات داده‌ها، به انتقال سیگنال‌ها به روشی قابل اطمینان و کارآمد مربوط می‌شود. عناوین پوشش داده شده شامل انتقال سیگنال، رسانه انتقال، گذرایی سیگنال، رابط‌ها، کنترل اتصال داده، و مالتی پلکسینگ می‌باشند.
- شبکه، مربوط می‌شود به تکنولوژی و معماری شبکه‌های ارتباطی استفاده شده برای اتصال دستگاه‌های ارتباطی. این فیلد عموماً به شبکه‌های محلی (LANs) و شبکه‌های گسترده (WANs) تقسیم می‌شود.

دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، فیلدهای علم کامپیوتر و ارتباطات داده‌ای را به خود دیده‌اند که به طور عمیقی باعث تغییر تکنولوژی، محصولات، و شرکت‌های مرتبط با صنعت ارتباطات کامپیوتری شده‌اند. انقلاب ارتباطات کامپیوتری چند حقیقت قابل توجه را به وجود آورده است:

- تفاوت بنیادی بین پردازش داده (کامپیوترها) و ارتباطات داده‌ها (تجهیزات ارسال و سوئیچینگ) وجود ندارد.

- تفاوتی بنیادی بین ارتباطات داده، صوت، و ویدئو وجود ندارد.
- تفاوت بین کامپیوتری با یک پردازنده، و کامپیوتری با چند پردازنده، شبکه محلی، شبکه شهری، و شبکه طولانی، کم رنگ شده است.

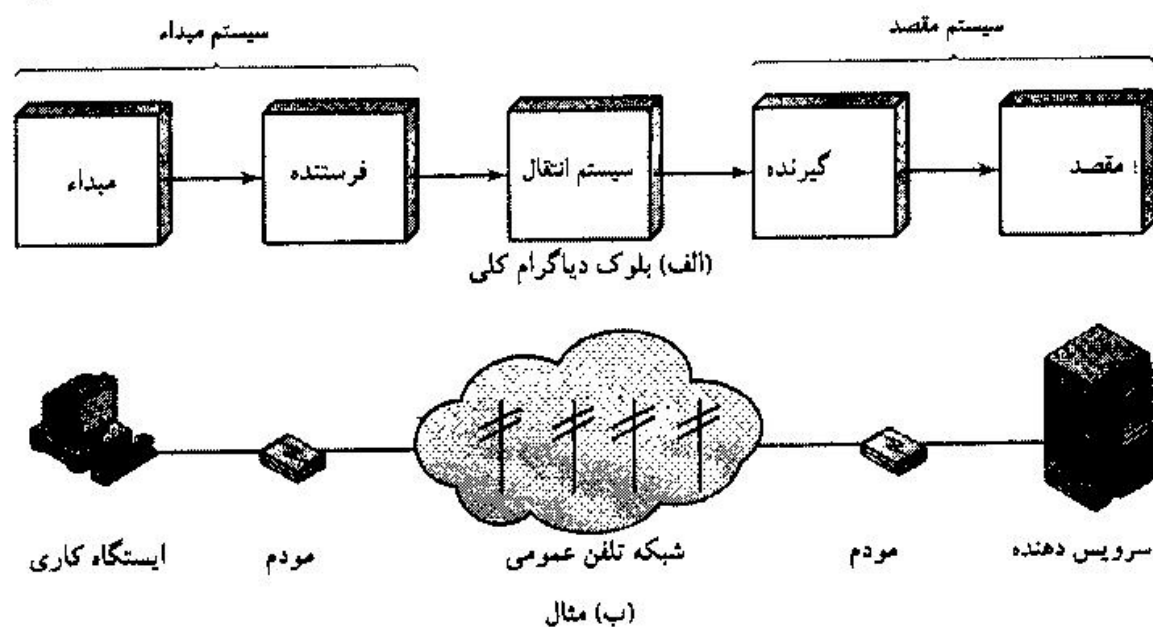
یک اثر این گرایشات، افزایش همپوشانی صنایع کامپیوتر و ارتباطات می باشد، از ساخت قطعات تا مجتمع سازی سیستم. نتیجه دیگر، توسعه سیستم های اجتماعی است که ارسال و پردازش تمام داده ها و اطلاعات را برعهده دارند. هر دوی تکنولوژی و سازمانهای استاندارد های تکنیکی، به سمت سیستم های عمومی اجتماعی پیش می روند که باعث می شوند تمام منابع داده و اطلاعات در دنیا به راحتی و به طور یکنواخت قابل دسترسی باشند.

هدف این کتاب فراهم آوردن دیدگاه یکنواختی از فیلد گسترده ارتباطات داده و کامپیوتر می باشد. سازماندهی این کتاب، منعکس کننده تلاشی برای شکستن این موضوع عمده به بخش های قابل فهم و ایجاد قطعه به قطعه مراحل طراحی آن می باشد. این فصل مقدماتی، با مدل عمومی ارتباطات شروع می شود. سپس، بحث مختصری، هر یک از بخش های دوم تا چهارم این کتاب را معرفی می نماید. فصل ۲ دیدگاه کلی بخش پنجم می باشد.

۱-۱ یک مدل ارتباطی

این مطالعه، با مدل ساده ای از ارتباطات شروع می شود، که با بلوک دیاگرام شکل (الف - ۱-۱) نشان داده شده است.

هدف اساسی یک سیستم ارتباطی، تبادل داده ها بین دو بخش می باشد. شکل (ب - ۱-۱) یک مثال خاص را ارائه می دهد، که ارتباطی بین یک ایستگاه کاری و یک سرویس دهنده در یک شبکه تلفن عمومی است.



شکل ۱-۱ مدل ارتباطی ساده

- مثال دیگر، تبادل سیگنالهای صوتی بین دو تلفن در همان شبکه می باشد. عناصر کلیدی این مدل عبارتند از:
- مبدأ: این دستگاه، تولید کننده داده هایی است که باید ارسال شوند. مثالهای آن عبارتند از: تلفنها، و کامپیوترهای شخصی.
 - فرستنده: معمولاً، داده های تولید شده توسط سیستم مبدأ، مستقیماً به همان شکل تولید شده ارسال نمی شوند. در عوض، یک فرستنده، این اطلاعات را تبدیل نموده و گذگذاری می نماید به طوری که سیگنالهای الکتریکی تولید شده بتوانند از طریق نوعی سیستم انتقال ارسال شوند. برای مثال، یک مودم، رشته ای از بیت های دیجیتالی را به سیگنال آنالوگی تبدیل می کند که قابل اداره شدن توسط شبکه تلفن باشند.
 - سیستم انتقال: این سیستم می تواند یک خط انتقال یا شبکه پیچیده ای متصل کننده مبدأ به مقصد باشد.
 - گیرنده: گیرنده، سیگنال را از سیستم انتقال دریافت می کند و آن را به شکلی تبدیل می نماید که قابل اداره توسط دستگاه مقصد باشد. برای مثال، یک مودم، سیگنال آنالوگ ورودی را از شبکه یا خط انتقال دریافت می کند و آن را به رشته ای از بیت های دیجیتالی تبدیل می کند.
 - مقصد: داده های ورودی را از گیرنده دریافت می کند.

این متن ساده، ارزش پیچیدگی تکنیکی را پنهان می نماید. به منظور دستیابی به ایده محدوده این پیچیدگی، جدول ۱-۱ برخی از کارهای کلیدی را که باید در سیستم های ارتباطی انجام شوند، لیست می نماید. این لیست تا حدی دلخواه است، عناصری می توانند به آن اضافه شوند، اقلامی از لیست می توانند با هم ادغام شوند، و برخی اقلام، نشان دهنده چندین کار هستند که در سطوح متفاوت سیستم انجام می شوند. به هر حال، این لیست در محدوده این کتاب پیشنهاد شده است.

اولین قلم آن، استفاده از سیستم انتقال، اشاره به نیاز برای استفاده بهینه از امکانات انتقال دارد که به طور معمول برای چند دستگاه ارتباطی به اشتراک گذاشته می شوند. تکنیک های گوناگونی (به نام مالتی پلکسینگ) استفاده می شوند تا ظرفیت کامل رسانه انتقال را به چند کاربر اختصاص دهند. تکنیک های کنترل ازدحام برای اطمینان از عدم اشباع سیستم با تقاضاهای اضافی برای سرویس های انتقال، ممکن است لازم باشد.

به منظور ارتباط، یک دستگاه باید رابطی با سیستم انتقال داشته باشد. همه شکل های ارتباط بحث شده در این کتاب، بستگی به استفاده از سیگنال های الکترومغناطیسی منتشر شده از طریق رسانه انتقال دارد. بنابراین، پس از ایجاد رابط، تولید سیگنال برای ارتباط، لازم است. خصوصیات این سیگنال، مانند شکل و شدت آن، باید به

جدول ۱-۱ اعمال مخابراتی

آدرس دهی	استفاده از سیستم انتقال
مسیریابی	ایجاد رابط
ترمیم	تولید سیگنال
قالب بندی پیغام	همزمانی
امنیت	مدیریت مبادله
مدیریت شبکه	آشکارسازی و اصلاح خطا
	کنترل جریان

گونه‌ای باشد که سیگنال (۱) قادر باشد از طریق سیستم انتقال منتشر شود، و (۲) به صورت داده‌ها در سمت گیرنده قابل تفسیر باشد.

نه تنها سیگنال باید تولید گردد تا منطبق با نیازهای سیستم انتقال و گیرنده باشد، بلکه شکلی از همزمانی بین فرستنده و گیرنده باید برقرار باشد. گیرنده باید بتواند مشخص کند چه زمانی سیگنال شروع به رسیدن می‌کند و چه زمانی خاتمه می‌یابد. همچنین باید مدت هر جزء سیگنال را بداند.

علاوه بر موضوع اصلی تصمیم‌گیری در مورد ماهیت و تایمینگ سیگنالها، نیازهای متعددی برای ارتباط بین این دو بخش وجود دارد که تحت عنوان مدیریت مبادله باید تأمین شوند. اگر داده‌ها باید در هر دو جهت، در یک بازه زمانی مبادله شوند، این دو بخش باید با یکدیگر همکاری نمایند. برای مثال، برای انجام مکالمه تلفن بین دو نفر، یک نفر باید شماره دیگری را بگیرد، باعث شود سیگنالهایی تولید شوند که باعث زنگ خوردن تلفن گرفته شده، شود. طرف مقابل، این اتصال را با برداشتن تلفن گیرنده کامل می‌نماید. برای دستگاه‌های پردازش داده، چیزی بیش از ایجاد یک ارتباط، لازم است؛ در مورد قواعد خاصی باید تصمیم‌گیری شود. این قواعد می‌توانند شامل مواردی باشند از قبیل اینکه آیا دو دستگاه می‌توانند همزمان ارسال نمایند یا باید به نوبت این کار را انجام دهند، میزان داده‌هایی که باید در یک دفعه ارسال شوند، قالب داده‌ها، و آنچه باید انجام شود اگر موارد خاصی مانند خطا پیش آید.

دو قلم بعدی می‌توانند در مدیریت مبادله منظور شوند، اما به اندازه کافی مهم به نظر می‌رسند که به صورت مجزاییست شوند. در تمام سیستم‌های ارتباطی، امکان خطا وجود دارد؛ سیگنالهای ارسال شده، قبل از رسیدن به مقصد، تا حدی تغییر شکل می‌یابند. آشکارسازی و تصحیح خطا در مواردی لازم هستند که خطاها قابل چشم‌پوشی نمی‌باشند. این مورد معمولاً در سیستم‌های پردازش داده پیش می‌آید. برای مثال، در ارسال یک فایل از یک کامپیوتر به دیگری، قابل قبول نیست که محتوای فایل به طور تصادفی تغییر کند. کنترل جریان لازم است تا اطمینان دهد مبدأ با ارسال داده‌ها سریع‌تر از میزانی که قابل پردازش و دریافت باشد، مقصد را دچار اختلال نمی‌کند.

سپس مفاهیم مرتبط ولی مجزای آدرس‌دهی و مسیریابی مطرح می‌شوند. هنگامی که بیش از دو دستگاه یک امکان انتقال را به اشتراک می‌گذارند، سیستم مبدأ باید مشخصه مقصد موردنظر را تعیین نماید. سیستم انتقال باید اطمینان دهد که سیستم مقصد، و فقط همان سیستم، داده‌ها را دریافت می‌کند. علاوه بر آن، سیستم انتقال خود زیربنایی است که از طریق آن، مسیرهای گوناگونی ممکن است ایجاد شوند. یک مسیر خاص از طریق این شبکه باید انتخاب شود.

ترمیم، مفهومی است مجزا از تصحیح خطا. تکنیک‌های ترمیم در مواردی لازم هستند که در مبادله اطلاعات، مانند تراکنش بانک اطلاعاتی یا انتقال فایل، وقفه‌ای در اثر بروز خطا در جایی از سیستم، رخ دهد. هدف این است که بتوان فعالیت را از نقطه وقفه از سر گرفت یا حداقل حالت سیستم‌های دخیل در این ارتباط را قبل از شروع مبادله، بازیابی نمود.

قالب‌بندی پیغام توافقی است بین دو بخش، شامل شکل داده‌هایی که باید مبادله یا ارسال شوند، مانند کد دودویی کاراکترها.

همواره فراهم نمودن میزانی از حفاظت در یک سیستم ارتباط داده‌ها مهم است. فرستنده داده‌ها ممکن است بخواهد مطمئن شود که فقط گیرنده موردنظر داده‌ها را دریافت می‌کند و گیرنده داده‌ها ممکن است بخواهد مطمئن

شود داده‌های دریافت شده در بین راه تغییر داده نشده‌اند و داده‌ها در واقع از فرستنده مورد نظر ارسال شده‌اند. در نهایت، امکانات ارتباط داده‌ها، سیستمی پیچیده است که نمی‌تواند خود را ایجاد یا اجرا کند. امکانات مدیریت شبکه برای پیکربندی سیستم، نظارت بر وضعیت، مقابله با شکست‌ها و پربار شدن‌ها، و طرح هوشمندانه برای گسترش‌های آینده، مورد نیاز می‌باشند.

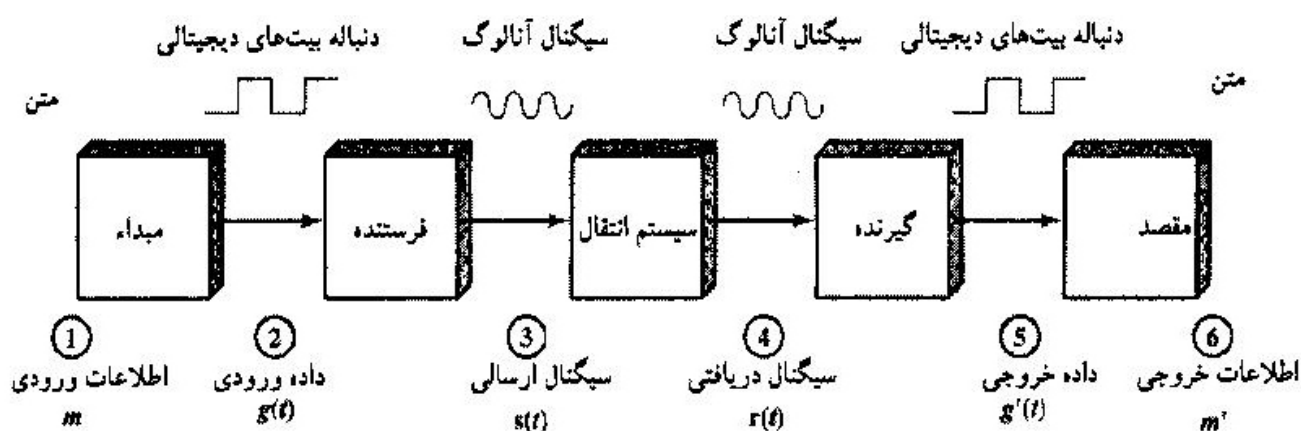
بنابراین، از یک ایده ساده ارتباط داده‌ها بین مبدأ و مقصد، به لیستی از کارها برای انتقال داده‌ها رسیدیم. در این کتاب، از این لیست کارها استفاده می‌شود تا تمام مجموعه فعالیت‌های دسته‌بندی شده در رابطه با ارتباط داده‌ها و کامپیوتر توصیف گردد.

۲-۱ ارتباطات داده‌ها

بعد از بخش اول، این کتاب در قالب چهار بخش سازماندهی شده است. بخش دوم، مربوط به جنبه‌های اساسی توابع ارتباطی است و بر انتقال سیگنال‌ها به شکل قابل اطمینان و کارآمد تمرکز دارد. به منظور انتخاب نامی بهتر، به بخش دوم این کتاب، عنوان "ارتباطات داده‌ها" داده شده است، اگرچه این واژه جای بحث دارد که شامل برخی یا حتی همه عناوین بخش‌های سه تا پنج کتاب باشد.

به منظور آشنایی با بخش دوم، شکل (۲-۱)، نمایی جدید از مدل ارتباطات شکل (الف-۱-۱) را نشان می‌دهد. جزئیات این شکل با استفاده از پست الکترونیکی به عنوان مثال، دنبال می‌شود.

فرض کنید که دستگاه ورودی و فرستنده، اجزاء یک کامپیوتر شخصی هستند. کاربر PC می‌خواهد پیغام m را به کاربر دیگر بفرستد. این کاربر، بسته پست الکترونیکی را بر روی PC فعال می‌کند و پیغامی را از طریق صفحه کلید (دستگاه ورودی) وارد می‌نماید. این رشته کاراکتری در حافظه اصلی بافر می‌شود. این پیغام می‌تواند به عنوان دنباله‌ای از بیت‌ها (g) در حافظه در نظر گرفته شود. این کامپیوتر شخصی به یک رسانه انتقال مانند شبکه محلی یا خط تلفن از طریق دستگاه ورودی - خروجی I/O (فرستنده) مانند فرستنده گیرنده شبکه محلی یا مودم متصل است. داده‌های ورودی به فرستنده منتقل می‌شوند، به صورت دنباله‌ای از تغییرات ولتاژ $[g(t)]$ که نشان دهنده بیت‌ها بر روی گذرگاه ارتباطی یا کابل می‌باشند. فرستنده مستقیم به رسانه متصل است و رشته ورودی را $[g(t)]$ به



شکل ۲-۱ مدل ارتباط داده ساده شده

یک سیگنال $s(t)$ مناسب برای ارسال تبدیل می‌نماید؛ حالت‌های خاص دیگر در فصل پنجم بحث خواهند شد. سیگنال ارسال شده $s(t)$ که به رسانه داده شده است، قبل از رسیدن به گیرنده، در معرض صدماتی است که در فصل ۳ بحث می‌شوند. بنابراین، سیگنال دریافت شده $r(t)$ ممکن است با $s(t)$ متفاوت باشد. گیرنده سعی در تخمین $s(t)$ بر مبنای $r(t)$ دارد و با آگاهی از رسانه، دنباله‌ای از بیت‌های $g'(t)$ را تولید می‌نماید. این بیت‌ها به کامپیوتر شخصی خروجی ارسال می‌گردند، که تا حدی در حافظه به صورت بلوکی از بیت‌ها (g') بافر می‌شوند. در بسیاری از موارد، سیستم مقصد سعی در تعیین این مورد دارد که آیا خطایی اتفاق افتاده است و، در صورت بروز خطا، با سیستم مبدأ همکاری نماید تا بلوکی از داده‌ها را بدون خطا و کامل دریافت کند. سپس این داده‌ها از طریق دستگاه خروجی مانند چاپگر یا صفحه نمایش به کاربر ارائه می‌شوند. پیغام (m') که توسط کاربر مشاهده می‌گردد، معمولاً کمی دقیق پیغام اصلی (m) می‌باشد.

اینک مکالمه تلفنی را در نظر بگیرید. در این حالت، ورودی تلفن، یک پیغام (m) به شکل امواج صوتی است. این امواج صوتی توسط تلفن به سیگنال‌های الکتریکی با همان فرکانس تبدیل می‌شوند. این سیگنال‌ها بدون تغییر در خط تلفن انتقال می‌یابند. در نتیجه، سیگنال $g(t)$ و سیگنال ارسال شده $s(t)$ مشابه هستند. سیگنال $s(t)$ در رسانه تا حدی اعوجاج پیدا می‌کنند، به طوری که $r(t)$ مشابه $s(t)$ نخواهد بود. به هر حال، سیگنال $r(t)$ بدون تلاش برای اصلاح یا ارتقاء کیفیت سیگنال به امواج صوتی تبدیل می‌شود. بنابراین m' کمی دقیق‌تری از m نخواهد بود. به هر حال، پیغام صوتی دریافت شده عموماً برای شنونده قابل فهم است.

بحث انجام شده تا اینجا، جنبه‌های کلیدی دیگر ارتباطات داده را پوشش نمی‌دهد که عبارتند از تکنیک‌های کنترل اتصال داده برای کنترل نمودن جریان داده‌ها، آشکارسازی و اصلاح خطاها، و تکنیک‌های مالتی پلکسینگ برای افزایش کارایی انتقال. همه این عناوین در بخش دوم مرور می‌شوند.

۳-۱ ایجاد شبکه ارتباط داده

اغلب برای دو دستگاه در حال ارتباط، غیر عملی است که مستقیم به صورت نقطه به نقطه به یکدیگر متصل شوند. این مورد برای یک یا هر دو دسته‌بندی زیر صادق است:

- دستگاه‌ها خیلی از هم دور هستند. برای مثال، برقراری یک اتصال مجزا بین دو دستگاهی که هزاران کیلومتر از یکدیگر جدا هستند بسیار گران است.
- مجموعه دستگاه‌هایی وجود دارند که هر یک نیازمند اتصالاتی به بسیاری از دستگاه‌های دیگر در زمانهای متفاوت می‌باشند. مثالهای آن عبارتند از: تمام تلفن‌ها در سطح جهان، و تمام ترمینالها و کامپیوترهای یک سازمان. به غیر از چند دستگاه، فراهم نمودن اتصال سیمی مجزا بین هر زوج از دستگاه‌ها، غیر عملی است. راه حل این مسئله، اتصال هر دستگاه به شبکه ارتباطی است. دو دسته‌بندی عمده وجود دارد که شبکه‌های ارتباطی به طور متداول در آنها قرار می‌گیرند: شبکه‌های گسترده (WAN)، و شبکه‌های محلی (LAN). تفاوت بین این دو، از نظر تکنولوژی و کاربرد، در سالهای اخیر کم‌رنگ شده است، اما راه مفیدی برای سازماندهی بحث می‌باشد.

شبکه‌های گسترده

شبکه‌های گسترده، ناحیه بزرگ جغرافیایی را پوشش می‌دهند، که نیازمند عبور از مرزهای گوناگون می‌باشد. به طور معمول، WAN شامل چندین گره سوئیچینگ متصل شده به یکدیگر می‌باشد. ارسال از هر یک از دستگاهها، از طریق این گره‌های داخلی مسیریابی می‌شود تا به دستگاه موردنظر در مقصد برسد. این گره‌ها (شامل گره‌های مرزی) مربوط به محتویات داده‌ها نیستند؛ در عوض، هدف آنها فراهم نمودن یک امکان سوئیچینگ است که داده‌ها را از یک گره به گره دیگر انتقال دهند تا زمانی که به مقصد برسند.

به طور معمول، WANها با استفاده از یکی از این در تکنولوژی ساخته می‌شوند: سوئیچینگ مداري و سوئیچینگ بسته‌ای. این اواخر، ATM و frame relay نقش‌های عمده‌ای را بازی می‌کنند.

سوئیچینگ مداري

در شبکه سوئیچینگ مداري، مسیر ارتباطی مجزایی بین دو ایستگاه، از طریق گره‌های شبکه ایجاد می‌شود. این مسیر، دنباله‌ای مرتبط از اتصالات فیزیکی بین گره‌ها است. در هر اتصال، یک کانال منطقی به آن ارتباط اختصاص می‌یابد. داده‌های تولید شده توسط ایستگاه مبدأ، در طول این مسیر اختصاصی با حداکثر سرعت ممکن ارسال می‌شوند. در هر گره، داده‌های وارده مسیریابی یا سوئیچ می‌شوند تا بدون تأخیر به کانال خروجی هدایت گردند. متداول‌ترین مثال سوئیچینگ مداري، شبکه تلفن می‌باشد.

سوئیچینگ بسته‌ای

روشی کاملاً متفاوت، در شبکه سوئیچینگ بسته‌ای انجام می‌شود. در این حالت، لازم نیست ظرفیت انتقال، در طول یک مسیر در شبکه، به طور انحصاری اختصاص داده شود. در عوض، داده‌ها در قالب دنباله‌ای از بسته‌ها ارسال می‌گردند. هر بسته در شبکه، از یک گره به گره دیگر در طول مسیری از مبدأ به مقصد ارسال می‌گردد. در هر گره، تمامی بسته دریافت شده، ذخیره می‌شود و سپس به گره بعدی ارسال می‌گردد. شبکه‌های سوئیچینگ بسته‌ای به طور متداول برای ارتباطات ترمینال به کامپیوتر و کامپیوتر به کامپیوتر استفاده می‌گردند.

Frame Relay

سوئیچینگ بسته‌ای زمانی توسعه داده شد که امکانات انتقال دیجیتال راه دور، نرخ خطای بالایی را در مقایسه با امکانات امروزی نشان می‌داد. در نتیجه، میزان قابل توجهی سربار در طرح سوئیچینگ بسته‌ای اضافه شد تا خطاها را خنثی نماید. این سربار شامل بیت‌های اضافی است که برای ایجاد افزونگی و پردازش اضافی در ایستگاههای انتهایی و گره‌های سوئیچینگ میانی به منظور آشکارسازی و ترمیم خطاها به هر بسته افزوده شده است.

در سیستم‌های مدرن مخابراتی با سرعت بالا، این سربار، غیرضروری و منع‌کننده است. غیرضروری بودن آن به این علت است که نرخ خطاها تا حد زیادی پایین آمده است و هر خطای باقیمانده می‌تواند به راحتی در سیستم‌های انتهایی با استفاده از منطقی که بالاتر از سطح منطق سوئیچینگ بسته‌ای است، آشکار گردد. منع‌کننده بودن آن به این دلیل است که سربار به وجود آمده، درصد زیادی از ظرفیت بالای فراهم شده برای شبکه را اشغال می‌کند.

Frame relay برای بهره‌گیری از این سرعت بالای انتقال داده‌ها و نرخ خطای پایین، توسعه داده شده است. با توجه به این که شبکه‌های سوئیچینگ بسته‌ای اصلی برای کاربر نهایی با سرعت 64 Kbps طراحی گردیدند، شبکه‌های Frame relay برای اجرای کارآمد با سرعت 2 Mbps برای کاربر نهایی طراحی شده‌اند. کلید اصلی برای دستیابی به این سرعت‌های بالای انتقال داده‌ها، کنار گذاشتن بخش عمده‌ای از سربار ناشی از کنترل خطا است.

ATM

مود انتقال آسنکرون (ATM) که گاهی به آن cell relay اطلاق می‌شود، ترکیبی است از توسعه‌های سوئیچینگ مداری و سوئیچینگ بسته‌ای. ATM می‌تواند به عنوان تکامل Frame relay در نظر گرفته شود. واضح‌ترین تفاوت بین Frame relay و ATM این است که Frame relay از بسته‌هایی با طول متغیر استفاده می‌کند به نام فریم‌ها، و ATM از بسته‌هایی با اندازه ثابت به نام سلول‌ها استفاده می‌نماید. همانند Frame relay، ATM، فراهم‌کننده سربار کمی برای کنترل خطا، برحسب قابلیت اطمینان ذاتی سیستم انتقال می‌باشد. همچنین، در لایه‌های بالاتر منطق در سیستم‌های انتهایی، خطاها را یافته و اصلاح می‌نماید. با استفاده از بسته‌هایی با طول ثابت، سربار پردازش برای ATM در مقایسه با Frame relay باز هم کاهش می‌یابد. نتیجه این که ATM برای کار در محدوده 10 Mbps و 100 Mbps و محدوده Gbps طراحی شده است.

ATM می‌تواند به عنوان تکاملی از سوئیچینگ مداری نیز در نظر گرفته شود. با توجه به سوئیچینگ مداری، فقط مداراتی با سرعت انتقال داده ثابت در سیستم انتهایی در دسترس هستند. ATM، امکان تعریف چند کانال مجازی را با سرعت انتقال داده‌ای قابل تعریف به صورت پویا در زمان ایجاد کانالهای مجازی، دارا می‌باشد. با استفاده از سلول‌هایی کوچک با اندازه ثابت، ATM چنان کارآمد است که می‌تواند سرعت انتقال داده ثابتی را ایجاد کند، اگرچه از تکنیک سوئیچینگ بسته‌ای توسعه یافته استفاده می‌کند. بنابراین، ATM، توسعه سوئیچینگ مداری است تا بتواند چندین کانال را با امکان تنظیم سرعت انتقال داده به صورت پویا و در صورت درخواست، ایجاد نماید.

شبکه‌های محلی

مانند WANها، یک LAN، شبکه‌ای ارتباطی است که دستگاه‌های متعددی را به یکدیگر متصل می‌کند و امکان تبادل اطلاعات را بین این دستگاه‌ها ایجاد می‌نماید. چندین تفاوت کلیدی بین LANها و WANها وجود دارد:

- ۱- محدوده LAN کوچک است، به طور معمول یک ساختمان یا مجموعه‌ای از ساختمانها. این تفاوت در محدوده جغرافیایی باعث دستیابی به راه‌حل‌های تکنیکی متفاوتی می‌شود که خواهید دید.

- ۲- معمولاً مالک شبکه LAN همان سازمانی است که مالک دستگاه‌های متصل به آن است. برای WANها، این مورد کمتر اتفاق می‌افتد، یا حداقل مالکیت درصد عمده‌ای از اجزاء شبکه را ندارد. این مورد، دو نتیجه را به دنبال دارد. ابتدا انتخاب LAN باید با دقت انجام شود، چون ممکن است سرمایه‌گذاری عمده‌ای برای آن صورت گرفته باشد (در مقایسه با هزینه اجاره خطوط تلفن و خطوط اجاره‌ای برای WAN)، هم در رابطه با خرید و هم نگهداری. دوم، وظیفه مدیریت شبکه برای LAN تا حد زیادی برعهده کاربر است.

- ۳- سرعت انتقال داده‌های داخلی تا حد زیادی بیشتر از WAN می‌باشد.

LAN ها چندین پیکربندی دارند. متداول ترین آنها LAN سوئیچینگ و LAN بی سیم می باشند. متداول ترین، LAN سوئیچینگ، LAN اترنت سوئیچینگ است که شامل یک سوئیچ و چند دستگاه متصل به آن، یا چند سوئیچ متصل به یکدیگر می باشد. دو مثال عمده دیگر عبارتند از فیبر نوری و ATM LAN، که از شبکه ATM در ناحیه محلی استفاده می کند. شبکه های LAN بی سیم از تکنولوژی و سازماندهی های متعدد ارسال بی سیم استفاده می کنند. LAN ها در بخش چهارم بررسی می شوند.

شبکه های بی سیم

همانطور که اشاره شد، LAN های بی سیم متداول هستند، و به طور گسترده ای در محیط های تجاری استفاده می شوند. تکنولوژی بی سیم برای شبکه های صوت و داده نیز استفاده می شود. شبکه های بی سیم فراهم کننده فوایدی در محدوده سیار می باشند و پیکربندی و نصب آنها آسان است. فصل های ۱۴ و ۱۷ شبکه های WAN و LAN بی سیم را به ترتیب پوشش می دهند.

شبکه های شهری

همانطور که از نام آن مشخص است، شبکه های شهری (MAN) حدی بین LAN و WAN می باشند. تمایل به MAN در نتیجه تشخیص این مطلب است که تکنیک های متداول شبکه های سوئیچ و نقطه به نقطه، که در WAN استفاده می شوند، ممکن است برای نیازهای روزافزون سازمانها کافی نباشند. در حالی که Frame relay و ATM تضمین نموده اند که نیازهای گسترده سرعت بالا را پاسخ دهند، به شبکه های خصوصی و عمومی خاصی نیاز است که ظرفیت بالایی را با هزینه کم در ناحیه گسترده فراهم نمایند. چندین شیوه پیاده سازی شده است، شامل شبکه های بی سیم و توسعه شهری اترنت.

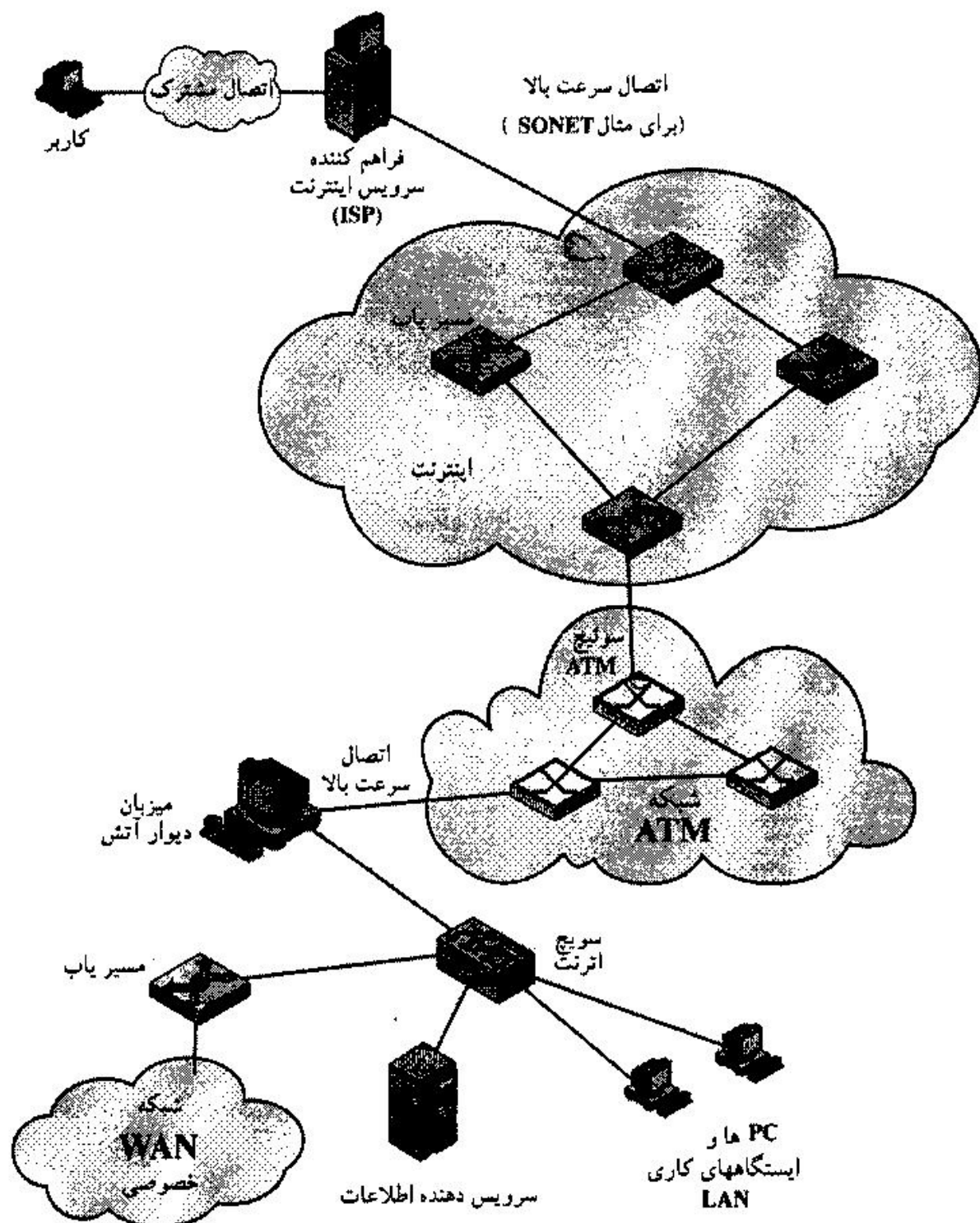
بازار اولیه MAN مشتری هایی هستند که نیازهای ظرفیت بالایی در ناحیه شهری دارند. انتظار این است که MAN، ظرفیت لازم را با هزینه کمتر و کارایی بالاتر از گرفتن همان سرویس از شرکت مخابرات محلی، فراهم نماید.

۴-۱ مثال از پیکربندی

به منظور درک بهتر مفاهیم بخش های دوم تا چهارم، شکل (۳-۱)، عناصر متداول ارتباطی و شبکه ای امروزی را نشان می دهد. در گوشه چپ بالای این شکل، کاربر محلی مشاهده می شود که به فراهم کننده خدمات اینترنت (ISP) از طریق ارتباط مشترک متصل می باشد. مثالهای دیگری از چنین ارتباطی عبارتند از شبکه تلفن سراسری، که از طریق آن، کاربر، نیازمند شماره گیری با استفاده از مودم می باشد (برای مثال مودمی با 56 Kbps)؛ خط دیجیتالی مشترک (DSL)، که اتصالی سرعت بالا را از طریق خطوط تلفن فراهم می کنند و نیازمند مودم DSL خاصی است؛ و امکان TV کابلی، که نیازمند مودم کابلی است. در هر حالت، موارد مجزایی مربوط به کدگذاری سیگنال، کنترل خطا، و ساختار داخلی شبکه مشترک، مطرح می شود.

به طور معمول، ISP شامل چندین سرویس دهنده متصل به یکدیگر می باشد (فقط یک سرویس دهنده نشان داده شده است) که از طریق یک اتصال سرعت بالا به اینترنت متصل شده است. یک مثال از چنین اتصالی، خط SONET (شبکه نوری سنکرون) می باشد که در فصل ۸ توضیح داده شده است. اینترنت شامل چندین مسیر یاب متصل به یکدیگر می باشد که در سطح جهانی گسترده شده اند. این مسیر یاب ها، بسته های داده ها را از مبدأ به مقصد از طریق اینترنت هدایت می کنند.

بخش پایین شکل (۱-۳) یک شبکه LAN را نشان می دهد که با استفاده از یک سوئیچ اترنت پیاده سازی شده



شکل ۱-۳ یک پیکربندی شبکه

است. این یک پیکربندی متداول برای واحد تجاری کوچک یا سازمان کوچک دیگری می‌باشد. این LAN از طریق دیوار آتش میزبان، که سرویس‌های امنیتی را فراهم می‌نماید، به اینترنت متصل شده است. در این مثال، این دیوار آتش، از طریق شبکه ATM به اینترنت متصل می‌شود. یک مسیر یاب نیز خارج از LAN قرار دارد که به WAN متصل می‌شود که ممکن است یک ATM خصوصی یا شبکه Frame relay باشد.

نکات طراحی متعددی مانند کدگذاری سیگنال و کنترل خطا، در ارتباط با اتصال بین عناصر مجاور وجود دارد از قبیل: اتصال بین مسیر یاب‌ها در اینترنت یا بین سویچ‌ها در شبکه ATM، یا بین مشترک و ISP. ساختار داخلی اکثر شبکه‌ها (تلفن، ATM، اینترنت) نکات بیشتری دارد. در بخش‌های دوم تا چهارم، جنبه‌های طراحی پیشنهاد شده در شکل (۱-۳) مورد توجه قرار می‌گیرند.

معماری پروتکل

- ۲-۱ نیاز برای معماری پروتکل
- ۲-۲ یک معماری ساده برای پروتکل
 - مدل سه لایه
 - معماری‌های استاندارد پروتکل
- ۲-۳ OSI
 - مدل
 - استانداردسازی در محدوده OSI
 - مقدمات و پارامترهای سرویس
 - لایه‌های OSI
- ۲-۴ معماری پروتکل TCP/IP
 - لایه‌های TCP/IP
 - TCP/IP و UDP
 - عملکرد TCP و IP
 - کاربردهای TCP/IP
 - رابط‌های پروتکل
- ۲-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر و سایت‌های وب
- ۲-۶ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل
 - واژه‌های کلیدی
 - سؤالات
 - مسائل
- ضمیمه ۲-الف پروتکل انتقال فایل ساده
 - مقدمه TFTP
 - بسته‌های TFTP
 - مروری بر انتقال
 - خطاها و تأخیرها
 - شکل نحوی، معنایی، و زمانبندی

نکات کلیدی

معماری پروتکل، ساختاری لایه‌ای شامل سخت‌افزار و نرم‌افزار است که تبادل داده‌ها را بین سیستم‌ها حمایت می‌کند، کاربردهای توزیع شده‌ای مانند پست الکترونیکی و انتقال فایل را نیز مورد حمایت قرار می‌دهد.

- در هر لایه معماری پروتکل، یک یا چند پروتکل متداول در سیستم‌های ارتباطی، پیاده‌سازی می‌شود. هر پروتکل فراهم‌کننده مجموعه قوانینی برای تبادل داده‌ها بین سیستم‌ها است.
- پر استفاده‌ترین معماری پروتکل، TCP/IP است، که شامل این لایه‌ها می‌باشد: فیزیکی، دسترسی شبکه، اینترنت، انتقال، و کاربرد.
- معماری پروتکل مهم دیگر، هفت لایه مدل OSI (اتصال سیستم‌های باز) می‌باشد.

این فصل، فراهم‌کننده زمینه‌ای است برای موارد جزئی مطرح شده در بخش‌های بعدی. همچنین روش انطباق بخش‌های دوم تا پنجم را با زمینه گسترده شبکه‌های کامپیوتری و ارتباطات کامپیوتری مشخص می‌کند. این فصل می‌تواند به همین ترتیب مطالعه شود یا ممکن است تا زمان شروع بخش سوم، چهارم، یا پنجم به تأخیر انداخته شود.

این فصل با معرفی مفهوم معماری لایه‌ای پروتکل و مثالی از آن آغاز می‌گردد. سپس، این فصل، مدل مرجع اتصال سیستم‌های باز (OSI) را معرفی می‌نماید. OSI یک معماری استاندارد است که اغلب برای توصیف توابع ارتباطی استفاده می‌شود، اما اینک به ندرت پیاده‌سازی می‌گردد. سپس مهمترین معماری پروتکل بررسی می‌گردد، که TCP/IP است. TCP/IP مفهومی مرتبط با اینترنت می‌باشد و زمینه‌ای برای توسعه محدوده گسترده‌ای از استانداردهای ارتباطات کامپیوتری می‌باشد. تقریباً تمام فروشندگان کامپیوتر امروزه از این معماری حمایت می‌کنند.

۱-۲ نیاز برای معماری پروتکل

هنگامی که کامپیوترها، ترمینالها، و دستگاههای دیگر پردازش داده‌ها تبادل داده می‌نمایند، رویه‌های مربوطه ممکن است بسیار پیچیده باشند. برای مثال، انتقال فایل بین دو کامپیوتر را در نظر بگیرید. مسیر داده‌ای باید بین این دو کامپیوتر وجود داشته باشد، به طور مستقیم یا از طریق شبکه ارتباطی. اما چیزی بیش از این مورد نیاز است. کارهای معمولی قابل انجام عبارتند از:

- ۱- سیستم مبدأ باید مسیر ارتباطی مستقیم را فعال نماید یا شبکه ارتباطی را از مشخصه سیستم مقصد مطلع کند.
- ۲- سیستم مبدأ باید مطمئن شود که سیستم مقصد برای دریافت داده آماده است.
- ۳- کاربرد انتقال فایل در سیستم مبدأ باید مطمئن شود که برنامه مدیریت فایل در سیستم مقصد آماده دریافت و ذخیره فایل برای این کاربر خاص می‌باشد.
- ۴- اگر قالب‌های فایل استفاده شده در دو سیستم، ناسازگار باشند، یکی از دو سیستم باید تابع ترجمه قالب فایل را اجرا کند.

واضح است که درجه بالایی از همکاری بین دو سیستم کامپیوتری باید وجود داشته باشد. به جای پیاده‌سازی این منطق به صورت یک مازول، این کار، به مجموعه‌ای از زیرکارها شکسته می‌شود که هر یک به طور مجزا پیاده‌سازی می‌گردند. در معماری پروتکل، این مازول‌ها به صورت پشته‌ای عمودی مرتب می‌شوند. هر لایه در این پشته، زیرمجموعه‌ای از توابع لازم برای ارتباط با سیستم دیگر را اجرا می‌کند. در لایه‌های پایین‌تر، توابع مقدماتی‌تری انجام می‌گیرند و جزئیات توابع را پنهان می‌نمایند. هر لایه، سرویس‌هایی را برای لایه بالاتر فراهم می‌کند. در حالت ایده‌آل، لایه‌ها باید به گونه‌ای تعریف شوند که تغییر در یک لایه نیازمند تغییر در لایه‌های دیگر نباشد.

البته، برای ارتباط، در بخش لازم است، بنابراین، همین مجموعه توابع لایه‌ای، باید در هر دو سیستم وجود داشته باشند. ارتباطات به گونه‌ای انجام می‌شوند که لایه‌های متناظر در دو سیستم با یکدیگر ارتباط برقرار نمایند. این لایه‌های مشابه، به وسیله بلوک‌های قالب‌بندی شده‌ای از داده‌ها ارتباط برقرار می‌کنند که از مجموعه قوانین یا ضوابط شناخته شده‌ای به نام پروتکل تبعیت می‌نمایند. جنبه‌های کلیدی پروتکل عبارتند از:

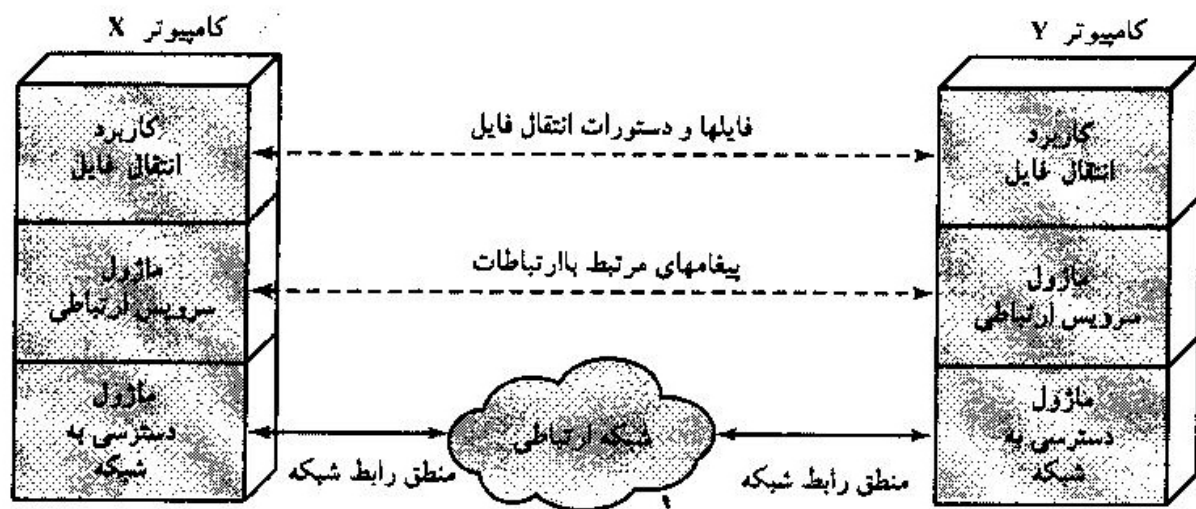
- شکل نحوی: مربوط به قالب بلوک‌های داده‌ها است.
- معانی: شامل اطلاعات کنترلی هماهنگ کننده و اداره خطا است.
- زمانبندی: شامل انطباق سرعت و ترتیب می‌باشد.

ضمیمه ۲-الف، مثال خاصی از یک پروتکل را ارائه می‌دهد که استاندارد اینترنت پروتکل انتقال فایل ساده (TFTP) می‌باشد.

۲-۲ یک معماری ساده پروتکل

با معرفی مفهوم پروتکل، اینک مفهوم معماری پروتکل معرفی می‌گردد. به عنوان مثال، شکل (۲-۱) روشی را نشان می‌دهد که یک امکان انتقال فایل می‌تواند پیاده‌سازی گردد. سه مازول استفاده می‌شود. مازول انتقال فایل باید کارهای ۳ و ۴ در لیست قبل را انجام دهد. این دو مازول در دو سیستم، فایل‌ها و دستورات را مبادله می‌نمایند. به هر حال، به جای نیاز برای مازول انتقال فایل، که جزئیات انتقال واقعی داده‌ها و دستورات را شامل شود، مازول‌های انتقال فایل هر یک بر روی یک مازول سرویس ارتباطات قرار می‌گیرند. این مازول، مسئول اطمینان دادن به این مورد است که دستورات انتقال فایل و داده‌ها به طور قابل اطمینانی بین سیستم‌ها مبادله می‌شوند. در بین بقیه موارد، این مازول کار شماره ۲ را انجام می‌دهد. مشاهده می‌شود که ماهیت تبادل بین سیستم‌ها، مستقل از ماهیت شبکه‌ای است که آنها را مرتبط می‌نماید. بنابراین، به جای ایجاد جزئیات رابط شبکه در مازول سرویس ارتباطات، بهتر است که مازول سومی به نام مازول دسترسی به شبکه وجود داشته باشد که کار شماره ۱ را براساس تعامل با شبکه انجام دهد.

بطور خلاصه، مازول انتقال فایل، حاوی تمام آن منطقی است که برای یک کاربرد انتقال فایل لازم است، مانند کلمه‌های عبور ارسال، دستورات فایل، و رکوردهای فایل. این فایل‌ها و دستورات باید به طور قابل اطمینانی ارسال



شکل ۱-۲. یک معماری ساده برای انتقال فایل

شوند. به هر حال، نیازمندیهای قابلیت اطمینان مشابهی به کاربردهای متعدد مربوط می‌شوند (برای مثال، پست الکترونیکی، و انتقال سند). بنابراین، یک ماژول سرویس ارتباطی مجزا که توسط کاربردهای متعددی قابل استفاده است، این نیازمندیها را برآورده می‌نماید. ماژول سرویس ارتباطی اطمینان می‌دهد که دو سیستم کامپیوتری، آماده برای انتقال داده‌ها هستند، و داده‌هایی را که مبادله می‌شوند پیگیری می‌نماید تا از تحویل آنها مطمئن شود. به هر حال، این کارها مستقل از نوع شبکه‌ای هستند که استفاده می‌شود. بنابراین، منطق کار با شبکه در ماژول‌های مجزای دسترسی به شبکه قرار می‌گیرد. به این ترتیب، اگر شبکه مورد استفاده تغییر کند، فقط ماژول دسترسی به شبکه تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

بنابراین، به جای این که فقط یک ماژول اعمال مربوط به ارتباطات را انجام دهد، مجموعه‌ای ساخت یافته از ماژول‌ها وجود دارند که توابع ارتباطی را می‌سازند. این ساختار، معماری پروتکل نامیده می‌شود. یک مثال می‌تواند در این مرحله مفید باشد. فرض کنید کارمندی در اداره X می‌خواهد سندی را به کارمند دیگری در اداره Y بفرستد. کارمند اداره X سند را آماده می‌کند و آن را به یک یادداشت ضمیمه می‌نماید. این حالت، مشابه کاربرد انتقال فایل شکل (۱-۲) است. سپس، کارمند اداره X این سند را به منشی یا مدیر اداری (AA) می‌دهد. AA در اداره X، سند را در پاکتی قرار می‌دهد و آدرس Y را روی آن می‌نویسد و آدرس برگشت X نیز خارج آن نوشته می‌شود. ممکن است به این پاکت مهر "محرمانه" زده شود. عملکرد AA مشابه ماژول سرویس ارتباطات در شکل (۱-۲) است. AA در اداره X این بسته را به واحد مراسلات تحویل می‌دهد. فردی در واحد مراسلات تصمیم می‌گیرد که چگونه بسته را بفرستد: با پست، UPS، یا سرویس ویژه سریع. واحد مراسلات، تمپر مناسب یا سند ارسال را بر روی آن می‌چسباند و آن را می‌فرستد. واحد مراسلات معادل ماژول دسترسی به شبکه در شکل (۱-۲) می‌باشد. هنگامی که بسته به اداره Y می‌رسد، مجموعه اعمال لایه‌ای مشابهی انجام می‌گیرد. واحد مراسلات در Y، بسته را دریافت می‌کند و آن را به AA مربوطه یا منشی، بر مبنای نام روی پاکت تحویل می‌دهد. AA بسته را باز می‌کند و سند داخل آن را به کارمند مربوطه تحویل می‌دهد.

در ادامه این بخش، مثال قبلی عمومیت داده می‌شود تا معماری پروتکل ساده شده‌ای را نشان دهد. به دنبال آن، به مثال‌های پیچیده‌تری از دنیای واقعی توجه می‌نمائیم: OSI و TCP/IP.

به طور کلی، ارتباطات می‌توانند شامل سه عامل باشند: کاربردها، کامپیوترها، و شبکه‌ها. کاربردها، بر روی کامپیوترهایی اجرا می‌شوند که به طور معمول چندین کاربرد همزمان را حمایت می‌کنند. کامپیوترها به شبکه‌ها متصل هستند، و داده‌هایی که باید مبادله شوند، از طریق شبکه از یک کامپیوتر به دیگری منتقل می‌شوند. بنابراین، انتقال داده‌ها از یک کاربرد به دیگری، ابتدا شامل تحویل داده‌ها به کامپیوتری می‌باشد که کاربرد موردنظر در آن قرار دارد، و سپس تحویل دادن آن به کاربرد موردنظر خواهد بود.

با توجه به این مفاهیم، طبیعی به نظر می‌رسد که عمل ارتباط، به سه لایه مستقل تقسیم شود: لایه دسترسی به شبکه، لایه انتقال، و لایه کاربرد.

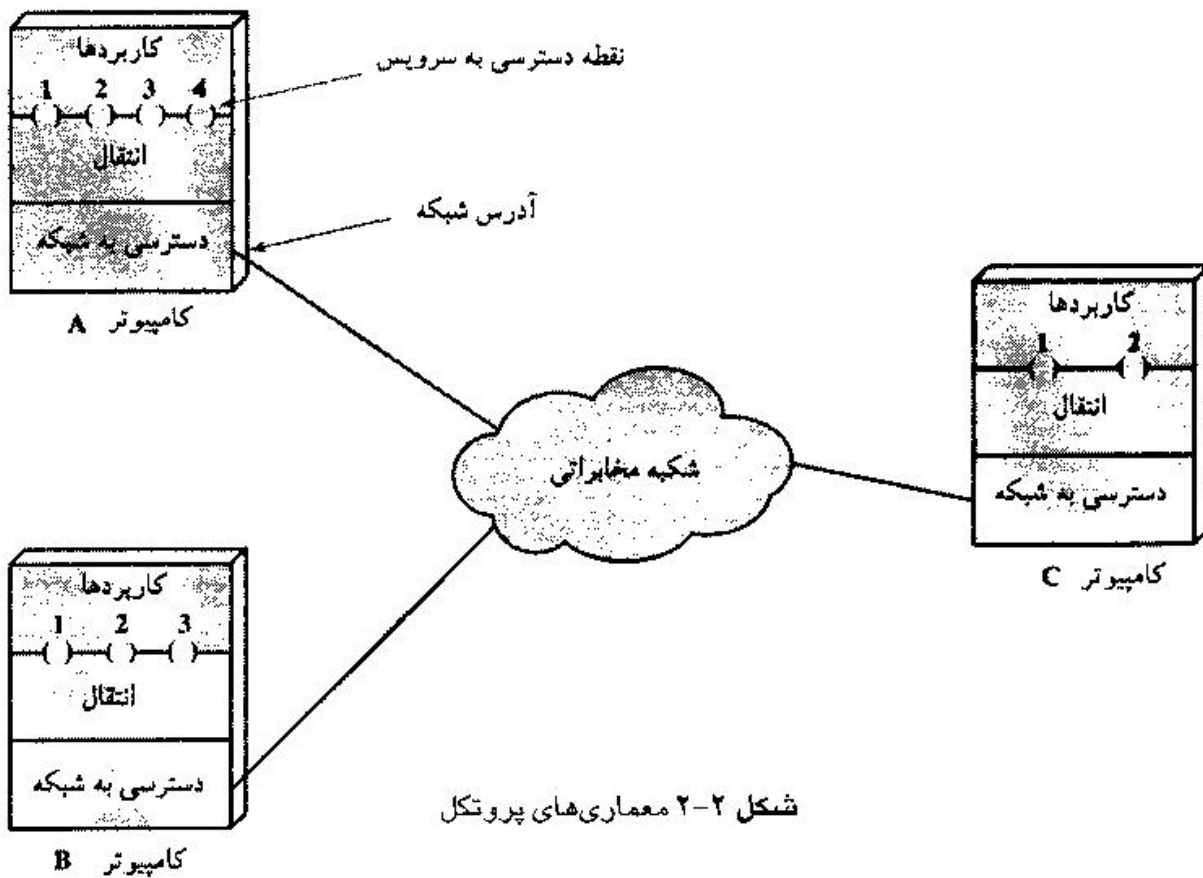
لایه دسترسی به شبکه مربوط می‌شود به تبادل داده‌ها بین یک کامپیوتر و شبکه‌ای که به آن متصل شده است. کامپیوتر فرستنده باید به شبکه آدرس کامپیوتر مقصد را بدهد، به گونه‌ای که شبکه بتواند داده‌ها را تا مقصد موردنظر مسیریابی نماید. کامپیوتر فرستنده می‌تواند سرویس‌های خاصی را فراخوانی کند، مانند اولویت‌بندی، که می‌تواند توسط شبکه فراهم گردد. نرم‌افزار خاص استفاده شده در این لایه بستگی به نوع شبکه استفاده شده دارد؛ استانداردهای متفاوتی برای سوئیچینگ مداری، سوئیچینگ بسته‌ای، LANها و غیره وجود دارد. بنابراین، منطقی است توابعی را که به دسترسی شبکه نیاز دارند، در لایه جداگانه‌ای قرار دهیم. با انجام این عمل، باقیمانده نرم‌افزار ارتباطی، بالای لایه دسترسی شبکه قرار می‌گیرد، و نیازی ندارد به شبکه‌ای که مورد استفاده قرار می‌گیرد توجه داشته باشد. نرم‌افزار لایه بالاتر مشابه، باید منظم کار کند، بدون توجه به شبکه خاصی که کامپیوتر به آن متصل شده است.

بدون توجه به ماهیت کاربردهایی که مبادله داده می‌نمایند، معمولاً داده باید به سرعت مبادله شود. یعنی، باید مطمئن شویم که تمام داده‌ها به کاربرد مقصد می‌رسند، و این که داده‌ها به همان ترتیبی می‌رسند که ارسال شده‌اند و همانطور که خواهید دید، مکانیزم‌های فراهم‌کننده قابلیت اطمینان، ضرورتاً مستقل از ماهیت کاربردها هستند. بنابراین، منطقی است که این مکانیزم‌ها در لایه مشترکی جمع شوند که توسط تمام کاربردها به اشتراک استفاده گردند. این لایه، لایه انتقال نامیده می‌شود.

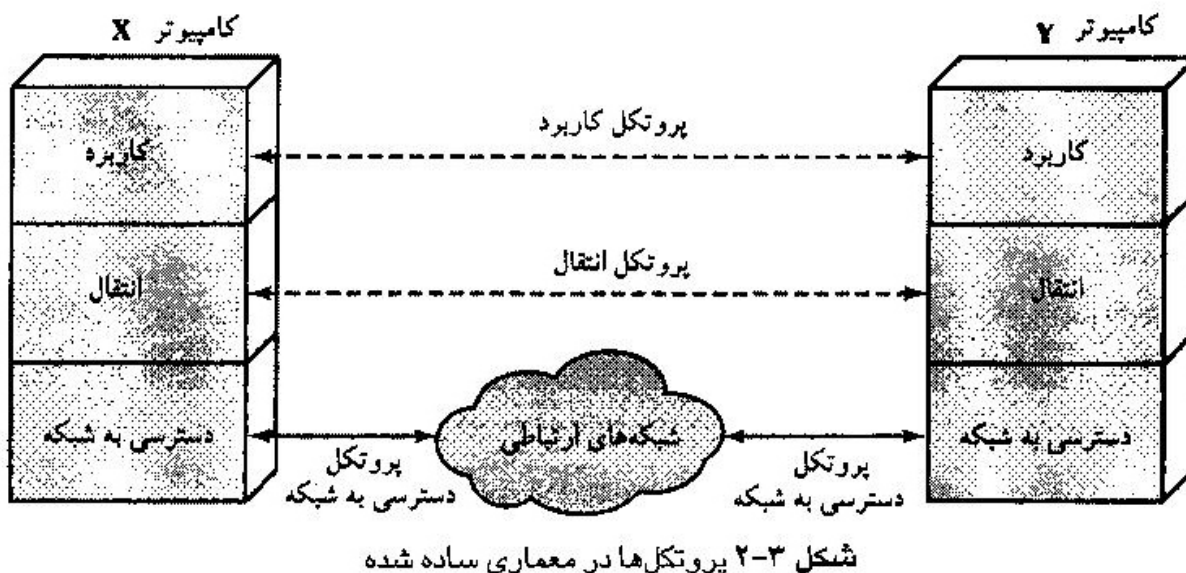
در نهایت، لایه کاربرد حاوی منطق مورد نیاز برای حمایت کاربردهای گوناگون کاربر می‌باشد. برای هر نوع متفاوت کاربرد، مانند انتقال فایل، مازول مجزایی مخصوص آن کاربرد لازم است.

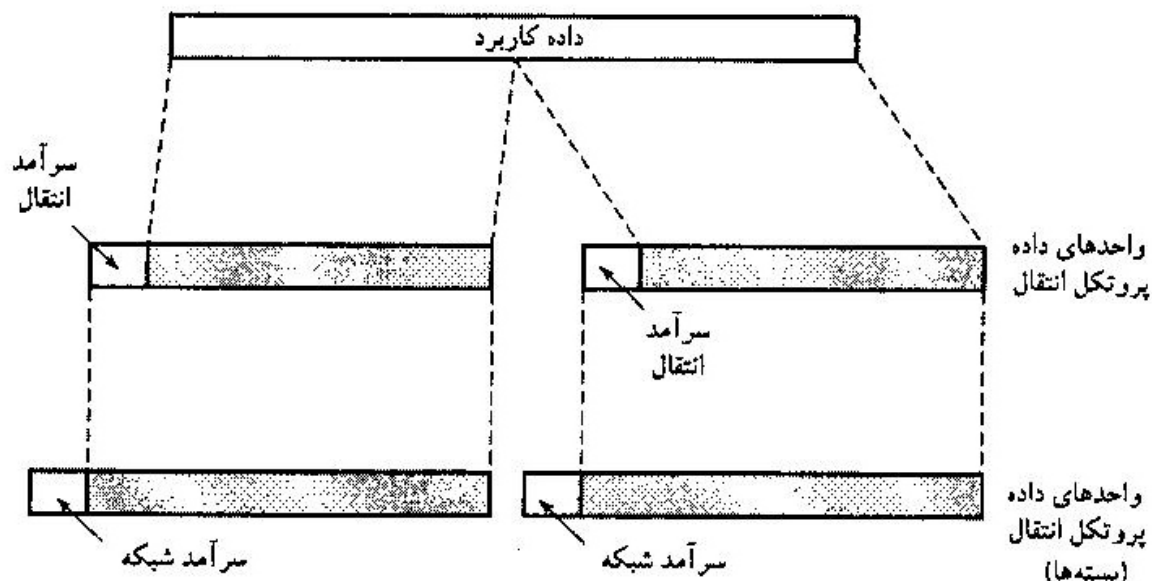
شکل‌های ۲-۲ و ۲-۳ این معماری ساده را نشان می‌دهند. شکل (۲-۲) سه کامپیوتر مرتبط با شبکه را نشان می‌دهد. هر کامپیوتر حاوی نرم‌افزاری است در لایه‌های دسترسی شبکه و انتقال، و نرم‌افزاری در لایه کاربرد، برای یک یا چند کاربرد. در یک ارتباط موفقیت‌آمیز، هر موجودیت در سیستم، باید آدرس منحصر به فردی داشته باشد. در واقع، دو سطح آدرس‌دهی مورد نیاز است. هر کامپیوتر در شبکه باید آدرس شبکه منحصر به فردی داشته باشد؛ این عمل، به شبکه امکان می‌دهد داده‌ها را به کامپیوتر موردنظر تحویل دهد. هر کاربرد بر روی کامپیوتر باید آدرسی داشته باشد که در آن کامپیوتر منحصر به فرد باشد. این عمل به لایه انتقال امکان می‌دهد چندین کاربرد را در هر کامپیوتر حمایت کند. این آدرسهای اخیر، به نام نقاط دسترسی به سرویس (SAP) یا پورتهای نامیده می‌شوند و این حقیقت را بیان می‌کنند که هر کاربرد به طور مستقل به سرویسهای لایه انتقال دسترسی می‌یابد.

شکل (۲-۳) نشان می‌دهد که مازول‌هایی در یک سطح در کامپیوترهای متفاوت، با استفاده از پروتکل با



یکدیگر ارتباط برقرار می کنند. یک عمل ساده را دنبال می نمایم. فرض کنید یک کاربرد، مربوط به SAP1 کامپیوتر X، می خواهد پیغامی را به کاربرد دیگر مربوط به SAP2 در کامپیوتر Y بفرستد. کاربرد موجود در X پیغام را به لایه انتقال خودش می دهد، همراه با دستوراتی برای ارسال آن به SAP2 در کامپیوتر Y. این لایه انتقال، پیغام را به لایه دسترسی شبکه تحویل می دهد، که شبکه را برای ارسال پیغام به کامپیوتر Y مطلع می نماید. توجه داشته باشید که لازم نیست مشخصه نقطه دسترسی به سرویس مقصد، به شبکه گفته شود. تمام آن چیزی که لازم است دانسته شود، این است که داده ها برای کامپیوتر Y ارسال شده اند. به منظور کنترل این عمل، اطلاعات کنترلی، همراه با داده های کاربر، باید ارسال شوند، مانند شکل (۲-۴).





شکل ۴-۲ واحدهای داده پروتکل

کاربرد فرستنده، بلوکی از داده‌ها را تولید می‌کند و آن را به لایه انتقال می‌فرستد. لایه انتقال، این بلوک را به دو قطعه کوچکتر می‌شکند که قابل اداره شدن باشند. برای هر یک از این قطعات، لایه انتقال، یک سرآمد انتقال را به آن ضمیمه می‌نماید، حاوی اطلاعات کنترلی پروتکل. ترکیب داده‌های لایه بالاتر بعدی و اطلاعات کنترلی، واحد داده پروتکل (PDU) نامیده می‌شود؛ در این حالت، به آن PDU انتقال می‌گویند. سرآمد هر PDU انتقال، حاوی اطلاعات کنترلی است که باید توسط پروتکل انتقال متناظر آن در کامپیوتر B استفاده شود. مثالهایی از اقلامی که می‌توانند در این سرآمد ضمیمه شوند عبارتند از:

- SAP مقصد: هنگامی که لایه انتقال مقصد، PDU انتقال را دریافت می‌کند، باید بداند به چه کسی داده‌ها باید تحویل شوند.
- شماره ترتیب: چون پروتکل انتقال، دنباله‌ای از PDU ها را می‌فرستد، آنها را به ترتیب شماره گذاری می‌کند به گونه‌ای که اگر به ترتیب نرسند، واحد انتقال مقصد، ترتیب آنها را اصلاح نماید.
- کد آشکارسازی خطا: واحد انتقال فرستنده می‌تواند کدی را اضافه کند که تابعی از محتویات باقیمانده PDU باشد. پروتکل انتقال گیرنده، همان محاسبات را انجام می‌دهد و نتیجه را با کدهای دریافتی مقایسه می‌نماید. اگر خطایی در ارسال وجود داشته باشد، تفاوتی آشکار می‌شود. در این حالت، گیرنده می‌تواند از PDU صرف‌نظر نموده و اعمال اصلاحی را انجام دهد.

مرحله بعدی برای لایه انتقال این است که هر PDU را همراه با دستوراتی برای ارسال آن به کامپیوتر مقصد به لایه شبکه تحویل دهد. به منظور انجام این درخواست، پروتکل دسترسی به شبکه باید داده‌ها را همراه با درخواستی برای انتقال، به شبکه تحویل دهد. مانند قبل، این عمل نیازمند استفاده از اطلاعات کنترلی است. در این حالت، پروتکل دسترسی به شبکه، سرآمد دسترسی به شبکه را به داده‌هایی که از لایه انتقال دریافت می‌کند، می‌افزاید، و یک PDU دسترسی به شبکه را ایجاد می‌نماید. مثالهایی از اقلامی که می‌توانند در سرآمد ذخیره

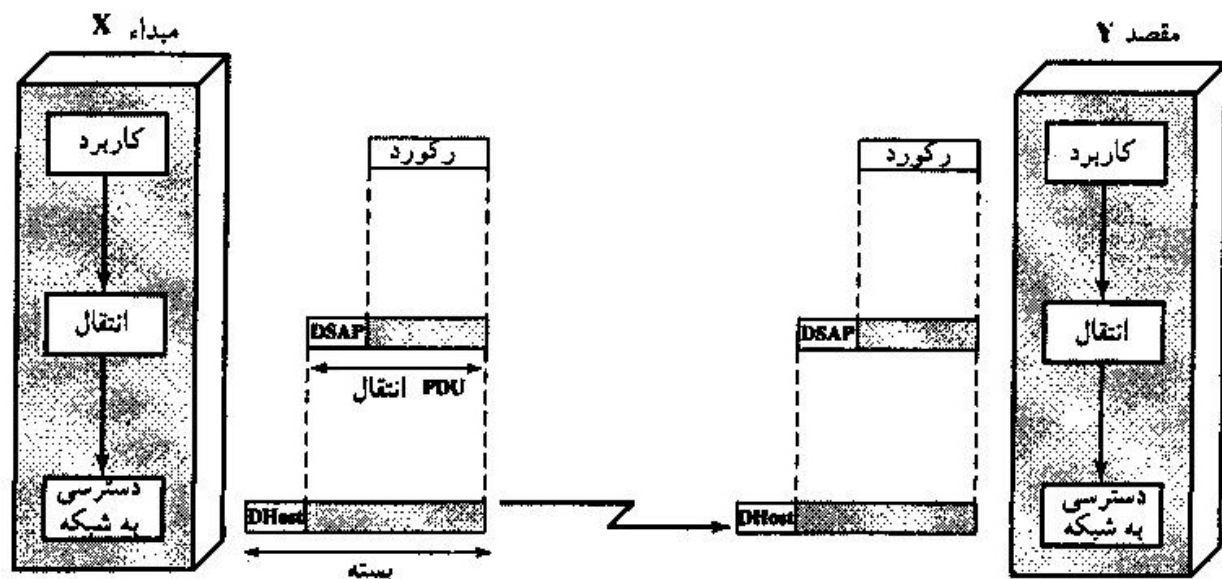
شوند، عبارتند از:

- آدرس کامپیوتر مقصد: شبکه باید بداند به چه کسی (کدام کامپیوتر در شبکه) داده‌ها باید تحویل شوند.
- درخواست‌های امکانات: پروتکل دسترسی به شبکه ممکن است از شبکه بخواهد از امکانات خاصی مانند اولویت، استفاده کند.

شکل (۵-۲) همه این موارد را یکجا نشان می‌دهد، و تعامل بین ماژول‌ها را برای انتقال یک بلوک از داده‌ها مشخص می‌نماید. فرض کنید ماژول انتقال در کامپیوتر X، یک فایل را به کامپیوتر Y می‌فرستد، در هر دفعه یک رکورد، و هر رکورد به ماژول لایه انتقال تحویل داده می‌شود. این عمل می‌تواند به صورت فراخوانی رویه یا دستور باشد. آرگومانهای این فراخوانی رویه عبارتند از: آدرس کامپیوتر مقصد، نقطه دسترسی به سرویس مقصد، و رکورد. لایه انتقال، نقطه دسترسی به سرویس مقصد را همراه با اطلاعات کنترل دیگر به رکورد می‌افزاید تا یک PDU انتقال را تولید نماید. سپس آن را به لایه دسترسی به شبکه، با یک فراخوانی رویه دیگر، منتقل می‌کند. در این حالت، آرگومانهای این دستور، آدرس کامپیوتر مقصد، و PDU انتقال می‌باشند. لایه دسترسی به شبکه، این اطلاعات را استفاده می‌کند تا یک PDU شبکه را ایجاد کند. PDU انتقال، فیلد داده PDU شبکه می‌باشد و سرآمد PDU شبکه شامل اطلاعات مربوط به آدرسهای کامپیوترهای مبدأ و مقصد است. توجه داشته باشید که لایه انتقال، در لایه دسترسی به شبکه قابل رؤیت نمی‌باشد؛ لایه دسترسی به شبکه کاری با محتویات PDU انتقال ندارد. شبکه، PDU شبکه را از X دریافت می‌کند و آن را به Y تحویل می‌دهد. ماژول دسترسی به شبکه در Y، این PDU را دریافت نموده، سرآمد آن را جدا می‌کند، و PDU انتقال را بررسی می‌نماید و بر مبنای فیلد SAP در سرآمد آن، رکورد موجود در آن را به کاربرد مورد نظر تحویل می‌دهد، که در این حالت، ماژول انتقال فایل Y است.

معماری‌های استاندارد شده پروتکل

هنگامی که ارتباط باید بین کامپیوترهایی از عرضه‌کنندگان مختلف برقرار شود، فعالیت توسعه نرم‌افزار می‌تواند به کابوسی تبدیل گردد. عرضه‌کنندگان متعدد، از داده‌هایی با قالب‌های متفاوت و پروتکل‌های تبادل اطلاعات متفاوت استفاده می‌نمایند. حتی در خط تولید یک عرضه‌کننده، کامپیوترهایی با مدل‌های متفاوت می‌توانند به روش واحدی ارتباط برقرار نمایند.



شکل ۵-۲ عملکرد معماری پروتکل

با گسترش استفاده از ارتباطات کامپیوتری و شبکه‌های کامپیوتری، شیوه یک بار در هر دفعه، و تک منظوره بودن برای توسعه ارتباطات نرم‌افزاری، هزینه بالایی دارد و قابل قبول نیست. تنها حالت دیگر برای عرضه‌کنندگان کامپیوتر، ساخت مجموعه‌های مشترک و واحدی است. به منظور تحقق بخشیدن به این مطلب، استانداردهایی مورد نیاز است. این استانداردها دو فایده دارند:

- فروشندگان تشویق به ساخت استانداردها می‌شوند زیرا انتظار دارند که چون استانداردها به طور گسترده استفاده می‌شوند، محصولاتشان بدون آنها بازار کمی خواهند داشت.
- مشتری‌ها در موقعیتی قرار دارند که هر فروشنده باید تجهیزاتی را به آنها پیشنهاد کند که براساس استانداردها ساخته شده است.

دو معماری پروتکل به عنوان مبنایی برای توسعه استانداردهای پروتکل عملیاتی ارائه شده‌اند: پروتکل TCP/IP و مدل مرجع OSI. TCP/IP گسترده‌ترین استفاده را در معماری عملیاتی دارد. OSI، اگرچه کاملاً شناخته شده است، هرگز به اندازه رقیب خود گسترش نیافت. یک طرح اختصاصی با استفاده گسترده نیز وجود دارد: معماری سیستم شبکه IBM (SNA). ادامه این فصل به OSI و TCP/IP می‌پردازد.



۲-۳ OSI

استانداردها برای ارتقاء عملکرد بین تجهیزات فروشندگان و تشویق اقتصادی بودن فروش، ضروری هستند. به دلیل پیچیدگی عملیات ارتباطی، یک استاندارد به تنهایی کافی نیست. در عوض، این توابع باید به اجزاء قابل مدیریت کوچکتر شکسته شوند و به صورت معماری ارتباطات سازماندهی گردند. این معماری سپس زیربنای استاندارد را تشکیل می‌دهد. این استنتاج، به سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO) در ۱۹۷۷ منتهی شد تا زیر کمیت‌هایی تشکیل شود که چنین معماری را توسعه دهند. نتیجه آن، مدل مرجع ارتباط سیستم‌های باز (OSI) بود. اگرچه عناصر ضروری این مدل به سرعت جایگزین شدند، استاندارد نهایی ISO، یعنی ISO 7498، تا ۱۹۸۴ منتشر نشد. روایتی که از نظر تکنیکی قابل مقایسه بود، توسط CCITT (اینک با عنوان ITU-T) با عنوان X.200 منتشر گردید.

مدل

یک تکنیک سازماندهی قابل قبول، و آنچه که توسط ISO انتخاب شد، لایه‌بندی بود. توابع ارتباطی به سلسله مراتبی از لایه‌ها تقسیم می‌شوند. هر لایه زیرمجموعه‌ای از توابع لازم برای ارتباط با سیستم دیگر را اجرا می‌کند. لایه پایین‌تر بعدی باید توابع مقدماتی‌تری را انجام دهد و جزئیات آن توابع را پنهان نماید. هر لایه سرویس‌هایی را برای لایه بعدی بالاتر فراهم می‌کند. به طور ایده‌آل، لایه‌ها باید به گونه‌ای تعریف شوند که تغییرات در یک لایه، نیازمند تغییرات در لایه‌های دیگر نباشد. بنابراین، یک مسئله به چندین زیر مسئله قابل مدیریت تبدیل می‌گردد.

- ۱- لایه‌های زیادی ایجاد نکردند تا باعث شود کار مهندسی سیستم برای توصیف و مجتمع‌سازی لایه‌ها مشکل‌تر از میزان لازم شود.
- ۲- مرزی در نقطه‌ای ایجاد شود که توصیف سرویس‌ها مختصر باشد و تعداد تعامل‌ها بین مرزها به حداقل برسد.
- ۳- لایه‌های مجزایی تولید شوند تا توابعی را اداره نمایند که از نظر فرآیند انجام شده یا تکنولوژی بکار رفته، متفاوت هستند.
- ۴- توابع مشابهی در یک لایه انجام شوند.
- ۵- مرزها در نقاطی انتخاب شوند که تجربیات گذشته موفقیت‌آمیز بودن آنها را مشخص نموده‌اند.
- ۶- لایه‌ای با توابع محلی ساده ایجاد شود به طوری که این لایه بتواند به طور کامل مجدد طراحی شود و پروتکل‌های آن به طور کلی تعویض گردند تا از پیشرفتهای معماری، سخت‌افزار، یا تکنولوژی نرم‌افزار بدون تغییر در سرویس‌های مورد انتظار لایه‌های مجاور، بهره‌گیرند.
- ۷- مرزی در محلی ایجاد گردد که در زمانی بتواند برای استاندارد شدن رابط مفید باشد.
- ۸- لایه‌ای در محلی ایجاد گردد که نیازی برای سطح متفاوتی از مجردسازی در اداره داده‌ها، برای مثال شکل ظاهری، شکل نحوی، و معنایی احساس می‌شود.
- ۹- امکان تغییرات در توابع یا پروتکل‌ها در یک لایه بدون تأثیر در لایه‌های دیگر وجود داشته باشد.
- ۱۰- برای هر لایه، مرزهایی فقط با لایه بالایی و لایه پایینی ایجاد گردند.
- ۱۱- زیرگروه‌ها و سازماندهی توابع بیشتری ایجاد شوند تا زیر لایه‌هایی را در یک لایه، که در حالتی که سرویس‌های ارتباطی مجزایی به آن نیاز دارند، تشکیل دهند.
- ۱۲- در صورت نیاز، دو یا چند زیر لایه با توابع یکسان و در نتیجه عملکرد حداقل ایجاد شوند تا امکان عملکرد رابط‌ها را با لایه‌های مجاور فراهم کنند.
- ۱۳- امکان کنار گذاشتن لایه‌ها وجود داشته باشد.

کار ISO، تعریف مجموعه لایه‌ها و سرویس‌هایی است که توسط هر لایه اجرا می‌شوند. این تقسیم‌بندی باید توابع را از نظر منطقی گروه‌بندی نماید و باید لایه‌های کافی تعریف گردد تا هر لایه به حدی کوچک شود که قابل اداره کردن باشد. اما نباید تعداد لایه‌ها آنقدر زیاد باشد که سربار پردازش تحمیل شده توسط مجموعه لایه‌ها، مشکل‌ساز شود. اصولی که فعالیت طراحی را هدایت می‌کنند، در جدول ۱-۲ خلاصه شده است. مدل مرجع نتیجه، دارای هفت لایه است، که با توضیح مختصری در شکل (۶-۲) نشان داده شده است. جدول ۲-۲ دلایل انتخاب این لایه‌ها را توسط ISO بیان می‌نماید.

شکل (۷-۲) معماری ISO را نشان می‌دهد. هر سیستم شامل هفت لایه است. ارتباط، بین کاربردهای موجود در دو کامپیوتر به نام کاربرد X و کاربرد Y در شکل برقرار است. اگر کاربرد X بخواهد پیغامی به کاربرد Y بفرستد، لایه کاربرد (لایه ۷) را فراخوانی می‌کند. لایه ۷ رابطه مستقیمی با لایه ۷ از کامپیوتر مقصد، با استفاده از پروتکل لایه

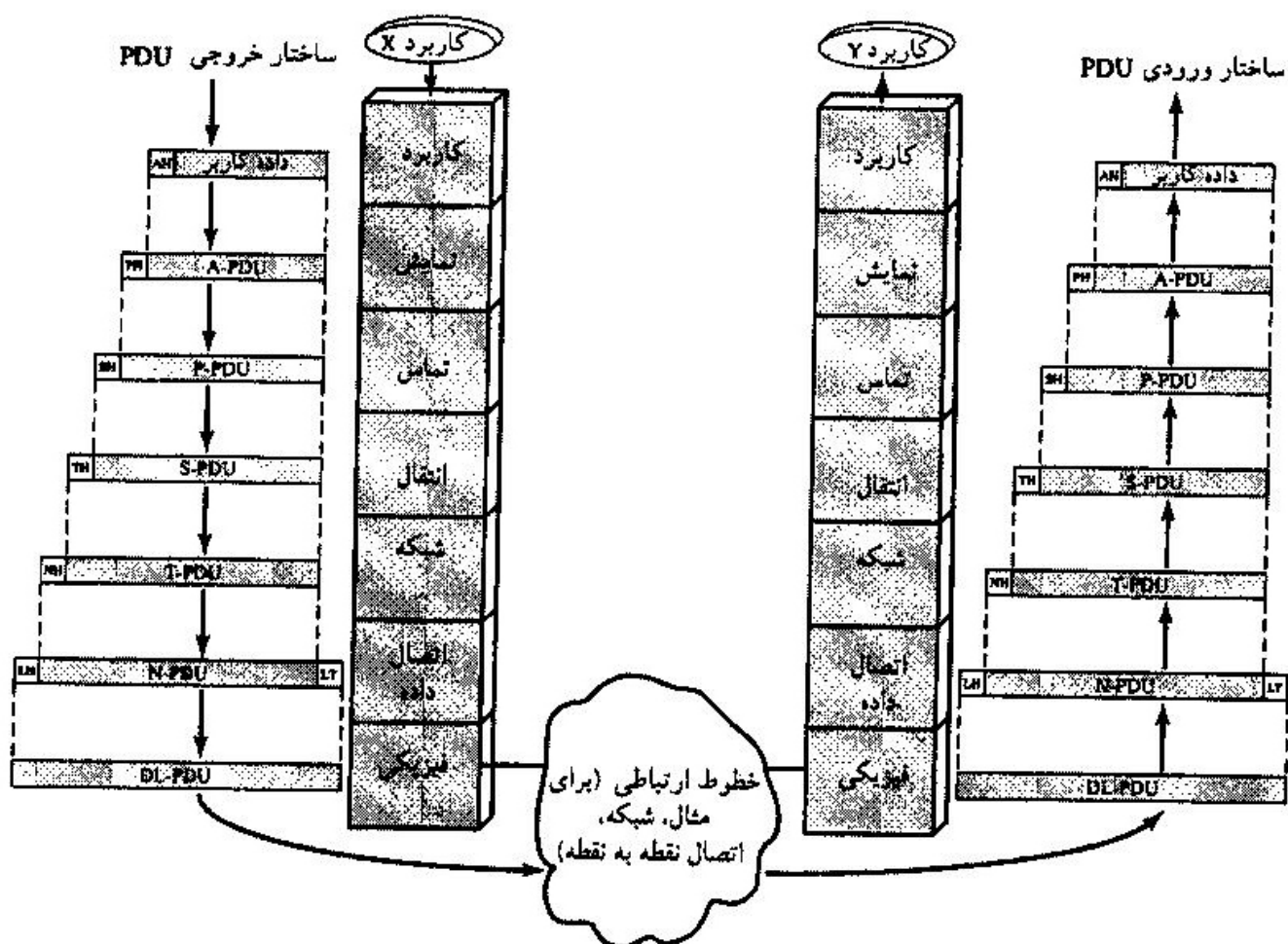
شکل ۶-۲ لایه‌های OSI

کاربرد فراهم کننده دسترسی به محیط OSI برای کاربران می‌باشد. همچنین سرویس‌های اطلاعاتی توزیع شده را فراهم می‌کند.
نمایش فراهم کننده استقلال فرآیندهای کاربردی از تفاوت‌ها در نمایش داده‌ها (شکل نحوی) می‌باشد.
تماس فراهم کننده ساختار کنترلی برای ارتباط بین کاربردها است؛ اتصالات را ایجاد نموده و مدیریت می‌نماید و در نهایت خاتمه می‌دهد.
شبکه برای لایه‌های بالاتر، استقلالی را از انتقال داده‌ها و تکنولوژی‌های سوئیچینگ استفاده شده برای اتصال سیستم‌ها فراهم می‌کند. مسئول ایجاد، حفظ، و خاتمه اتصالات است.
فیزیکی به انتقال دنباله بیت‌های بدون ساختار بر روی رسانه فیزیکی مربوط می‌شود؛ از خصوصیات مکانیکی، الکتریکی، عملکردی، و رویه‌ای برای دسترسی به رسانه فیزیکی استفاده می‌کند.
انتقال فراهم کننده انتقال داده‌ها به صورت قابل اطمینان و شفاف بین نقاط پایانی می‌باشد؛ ترمیم خطا و کنترل جریان انتها - به - انتها را فراهم می‌کند.
اتصال داده انتقال قابل اطمینان اطلاعات را در اتصال فیزیکی فراهم می‌نماید؛ بلوک‌ها (فریم‌ها) را با همزمانی لازم، کنترل خطا، و کنترل جریان لازم می‌فرستد.

۷ (پروتکل کاربرد)، برقرار می‌نماید. این پروتکل نیازمند سرویس‌هایی از لایه ۶ می‌باشد، بنابراین، در موجودیت لایه ۶، پروتکل خاص خود را استفاده می‌کنند، و بنابراین با پایین رفتن تا لایه فیزیکی، بیت‌ها از طریق رسانه ارسال می‌گردند.

توجه داشته باشید که ارتباط مستقیمی بین لایه‌های همسان وجود ندارد به جز در لایه فیزیکی. یعنی، در بالای لایه فیزیکی، هر موجودیت پروتکل، داده‌ها را به سمت پایین و به لایه بعدی می‌فرستد تا داده‌ها را به لایه نظیرش برساند. حتی در لایه فیزیکی، مدل OSI به وضوح بیان نمی‌کند که دو سیستم به طور مستقیم مرتبط هستند. برای مثال، شبکه سوئیچینگ بسته‌ای یا سوئیچینگ مداری می‌تواند برای برقراری اتصال ارتباطی استفاده شود.

شکل (۷-۲) استفاده از واحدهای داده پروتکل (PDU) را در معماری OSI به وضوح نشان می‌دهد. ابتدا، متداول‌ترین راه درک پروتکل‌ها را در نظر بگیرید. هنگامی که کاربرد X پیغامی برای ارسال به کاربرد Y دارد، آن



شکل ۷-۲ محیط OSI

داده‌ها را به کاربردی در لایه کاربرد ارسال می‌نماید. یک سرآمد به داده‌ای که حاوی اطلاعات مورد نیاز برای پروتکل لایه ۷ متناظر می‌باشد، ضمیمه می‌گردد (بسته‌بندی). داده اولیه، همراه با این سرآمد، اینک به صورت یک واحد به لایه ۶ ارسال می‌گردد. لایه ارائه، این مجموعه را به صورت یک داده در نظر می‌گیرد و سرآمد خاص خود را اضافه می‌نماید (بسته‌بندی دوم). این فرآیند به سمت پایین تا لایه ۲ ادامه می‌یابد که در این لایه نیز یک سرآمد و دنباله افزوده می‌شود. این واحد لایه ۲ به نام فریم، از طریق لایه فیزیکی، به رسانه انتقال ارسال می‌گردد. هنگامی که این فریم توسط سیستم مقصد دریافت شود، فرآیند معکوس انجام می‌گیرد. با بالا رفتن داده‌ها، هر لایه، خارجی‌ترین سرآمد را خارج می‌نماید، و بر روی اطلاعات پروتکل داخل آن عمل می‌نماید، و باقیمانده را به سمت بالا به لایه بعدی می‌فرستد.

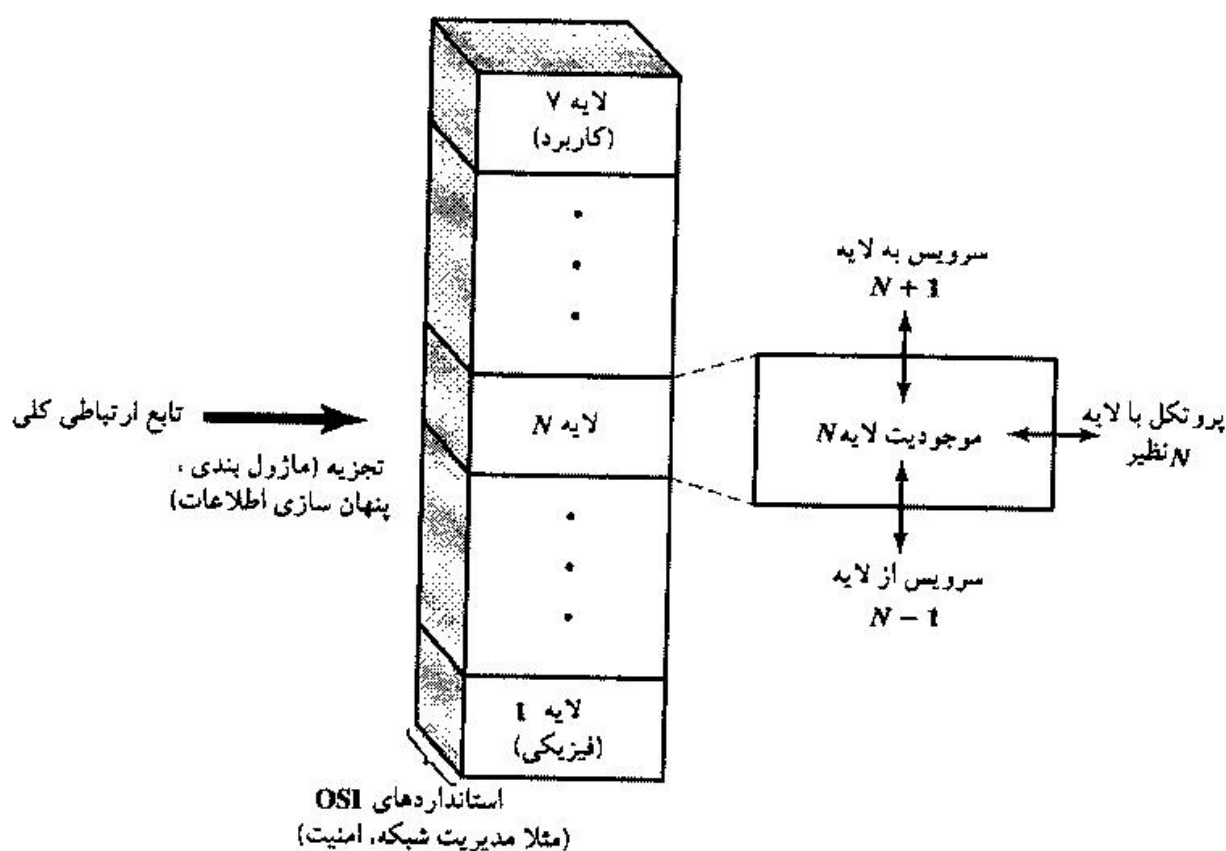
در هر مرحله این فرآیند، یک لایه می‌تواند داده‌هایی را که از لایه بالاتر بعدی دریافت می‌کند، به چند بخش تقسیم نماید، تا نیازهای خود را برآورده نماید. این واحدهای داده‌ها باید دوباره توسط لایه متناظر آن قبل از ارسال به بالا مونتاژ شوند.

- ۱- ضروری است که این معماری، استفاده از رسانه‌های فیزیکی گوناگون را برای اتصال به رویه‌های کنترلی متفاوت فراهم نماید (برای مثال، V.24، V.25، و غیره). کاربرد اصول ۳، ۵، و ۸ (جدول ۲-۱) به شناسایی لایه فیزیکی به عنوان پایین‌ترین لایه در این معماری منتهی می‌شود.
- ۲- برخی رسانه‌های ارتباطی فیزیکی (برای مثال، خط تلفن) نیازمند تکنیک‌های خاصی برای انتقال داده‌ها بین سیستم‌ها، علیرغم سرعت خطی نسبتاً بالا می‌باشند (یعنی، سرعت خطی غیرقابل قبول برای گروه عمده‌ای از کاربردها). این تکنیک‌های خاص، در رویه‌های کنترل اتصال داده‌ای استفاده می‌شوند که برای چندین سال مطالعه و استاندارد شده‌اند. همچنین باید تشخیص داده شود که رسانه ارتباطی فیزیکی جدید (برای مثال، فیبرهای نوری) نیازمند رویه‌های کنترل اتصال داده متفاوتی می‌باشد. بکارگیری اصول ۳، ۵، و ۸ به شناسایی لایه اتصال داده در بالای لایه فیزیکی در این معماری منتهی می‌شود.
- ۳- در معماری سیستم‌های باز، برخی سیستم‌های باز به عنوان مقصد نهایی داده‌ها عمل می‌کنند. برخی سیستم‌های باز ممکن است فقط به عنوان گره‌های میانی عمل کنند (هدایت داده‌ها به سیستم‌های دیگر). بکارگیری اصول ۳، ۵، و ۷ به شناسایی لایه شبکه در بالای لایه اتصال داده منتهی می‌گردد. برای مثال، پروتکل‌های شبکه - گرایمانند مسیریابی، در این لایه گروه‌بندی می‌شوند. بنابراین، لایه شبکه، مسیری ارتباطی (اتصال شبکه) بین یک زوج موجودیت انتقال، شامل گره‌های میانی برقرار می‌کند.
- ۴- کنترل حمل داده از مبدأ سیستم باز به مقصد سیستم باز (که در گره‌های میانی انجام نمی‌گیرد)، آخرین تابعی است که برای فراهم نمودن سرویس انتقال باید انجام گیرد. بنابراین، لایه بالاتر در بخش سرویس انتقال از این معماری، لایه انتقال در بالای لایه شبکه می‌باشد. این لایه انتقال، موجودیت‌های لایه بالاتر را از توجه به حمل داده‌ها بین آنها بی‌نیاز می‌نماید.
- ۵- نیاز برای سازماندهی و همزمان نمودن مکالمه و مدیریت مبادله داده‌ها احساس می‌شود. بکارگیری اصول ۳ و ۴ باعث شناسایی لایه تماس در بالای لایه انتقال می‌شود.
- ۶- مجموعه باقیمانده توابع مورد نیاز عمومی، آنهایی هستند که مرتبط با نمایش و دستکاری داده‌های ساخت یافته برای استفاده سیستم‌های کاربردی می‌باشند. بکارگیری اصول ۳ و ۴ به شناسایی لایه نمایش در بالای لایه تماس منتهی می‌شود.
- ۷- در نهایت، کاربردهایی وجود دارند، شامل فرآیندهای کاربردی، که پردازش اطلاعات را انجام می‌دهند. جنبه‌ای از این فرآیندهای کاربرد و پروتکل‌هایی که به وسیله آنها ارتباط برقرار می‌کنند، لایه کاربرد را به عنوان بالاترین لایه این معماری تشکیل می‌دهد.

استانداردسازی در زمینه OSI^۱

- عامل اصلی برای توسعه مدل OSI، فراهم نمودن زمینه‌ای برای استانداردسازی بود. در این مدل، یک یا چند استاندارد پروتکل در هر لایه قابل توسعه است. این مدل، توابعی را به صورت عمومی تعریف می‌کند که در آن لایه اجرا شوند و فرآیند استانداردسازی را به دو روش سهولت ببخشند:
- چون توابع هر لایه دقیق تعریف شده‌اند، استانداردها می‌توانند به طور مستقل و همزمان برای هر لایه توسعه یابند. این عمل، فرآیند ایجاد استانداردها را سرعت می‌بخشد.
 - چون مرزهای بین لایه‌ها کاملاً تعریف شده‌اند، تغییرات در استانداردها در یک لایه، لزوماً بر نرم‌افزارهای

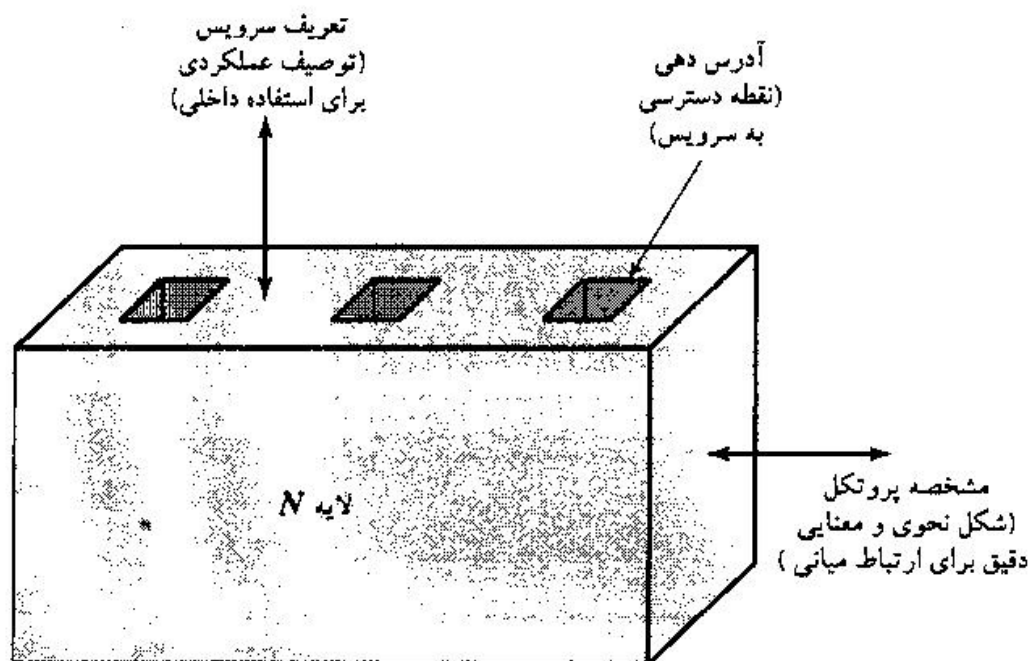
۱- این مفهوم، بر روی معماری TCP/IP نیز بکار گرفته می‌شود.



شکل ۸-۲ معماری OSI به عنوان زیربنایی برای استانداردسازی

موجود در لایه دیگر تأثیر نمی‌گذارند. این عمل، معرفی استانداردهای جدید را سهولت می‌بخشد. شکل (۸-۲) استفاده از مدل OSI را به عنوان زیربنای نشان می‌دهد. کلیه توابع ارتباطی به هفت لایه مجزا تقسیم می‌شوند، و از اصول ارائه شده در جدول ۸-۱ استفاده می‌کنند. این اصول، ضرورتاً از طراحی ماژولی استفاده می‌کنند. یعنی، تابع کلی به چند ماژول شکسته می‌شود، و باعث ساده‌تر شدن رابط بین ماژول‌ها می‌گردد. علاوه بر آن، اصل پنهان‌سازی اطلاعات در طراحی رعایت شده است: لایه‌های پایین‌تر با سطوح بالاتری از جزئیات سروکار دارند؛ لایه‌های بالاتر، مستقل از جزئیات هستند. هر لایه فراهم‌کننده سرویس‌هایی برای لایه بعدی بالاتر می‌باشد و پروتکلی را برای لایه مشابه در سیستم‌های دیگر پیاده‌سازی می‌نماید. شکل (۸-۹) به طور خاص‌تری ماهیت استانداردسازی لازم در هر لایه را نشان می‌دهد. سه عنصر کلیدی عبارتند از:

- مشخصه پروتکل: دو موجودیت در یک لایه در سیستم‌های متفاوت، با استفاده از پروتکل با یکدیگر همکاری و تعامل می‌نمایند. چون دو سیستم باز متفاوت را شامل می‌شود، پروتکل باید به دقت مشخص گردد. این مورد شامل قالب واحد داده مبادله شده پروتکل، معانی تمام فیلدها، و دنباله مجاز PDUها می‌باشد.
- تعریف سرویس: علاوه بر پروتکل یا پروتکل‌هایی که در یک لایه عمل می‌کنند، استانداردهایی برای سرویس‌هایی مورد نیاز می‌باشند که هر لایه برای لایه بعدی فراهم می‌نماید. به طور معمول، تعریف سرویسها معادل است با توصیف عملکرد سرویسهای فراهم شده (بدون مشخص کردن) نحوه فراهم نمودن سرویس.



شکل ۹-۲ استانداردهای خاص لایه

- آدرس دهی: هر لایه، فراهم کننده سرویسهایی برای موجودیت های لایه بالاتر بعدی است. این موجودیت ها با استفاده از یک نقطه دسترسی به سرویس (SAP) مورد ارجاع قرار می گیرند. بنابراین، یک نقطه دسترسی به سرویس شبکه (NSAP) نشان دهنده یک موجودیت انتقال است که کاربر سرویس شبکه می باشد.

نیاز برای فراهم نمودن مشخصه دقیق پروتکل برای سیستم های باز واضح است. در قلم دیگر نیاز به توضیح بیشتری دارند. برحسب تعاریف سرویس، عامل فراهم کننده یک تعریف تابعی اینگونه است. ابتدا، تحلیل بین در لایه مجاور در محدوده یک سیستم باز انجام می گیرد و مربوط به هر سیستم باز دیگر نمی باشد. بنابراین، تا زمانی که لایه های مشابه در سیستم های متفاوت، سرویس های مشابهی را برای لایه های بالاتر بعدی فراهم می کنند، جزئیات نحوه فراهم شدن سرویسها، بدون از دست دادن عملکرد بین آنها، می تواند از یک سیستم به سیستم دیگر متفاوت باشد. دوم، معمولاً لایه های مجاور بر روی یک پردازنده پیاده سازی می شوند. در آن حالت، برنامه نویس سیستم بهتر است آزاد باشد تا از سیستم عامل و سخت افزار، برای فراهم نمودن رابطی بهره گیرد که تا حد امکان کارآمد باشد.

برحسب نوع آدرس دهی، استفاده از مکانیزم آدرس در هر لایه، به صورت یک نقطه دسترسی به سرویس پیاده سازی شده است، و به هر لایه امکان مالتی پلکس نمودن چندین کاربر را از لایه بالاتر بعدی می دهد. مالتی پلکسینگ نمی تواند در هر لایه انجام شود، اما این مدل، این امکان را فراهم می کند.

اعمال اولیه و پارامترهای سرویس

سرویس های بین لایه های مجاور در معماری OSI، برحسب اعمال اولیه و پارامترها بیان می شوند. یک عمل اولیه، تابعی را مشخص می کند که باید انجام شود، و پارامترها، برای ارسال داده ها و اطلاعات کنترل استفاده می گردند.

جدول ۳-۲ انواع سرویس‌های اولیه

عمل اولیه صادر شده توسط کاربر سرویس برای فراخوانی سرویس و ارسال پارامترهای مورد نیاز برای مشخص نمودن کامل سرویس خواسته شده.	REQUEST
عمل اولیه صادر شده توسط فراهم کننده سرویس به منظور: ۱- نشان دادن این که یک رویه، توسط کاربر سرویس نظیر بر روی این اتصال فراخوانی شده است تا پارامترهای مربوطه را فراهم کند.	INDICATION
۲- مطلع نمودن کاربر سرویس از عمل آماده سازی شده توسط فراهم کننده.	RESPONSE
عمل اولیه صادر شده توسط کاربر سرویس به منظور تأیید یا کامل نمودن رویه ای که قبلاً توسط آن کاربر فراخوانی شده است.	
عمل اولیه صادر شده توسط فراهم کننده سرویس برای تأیید یا کامل نمودن رویه ای که قبلاً توسط درخواستی از کاربر سرویس، فراخوانی شده است.	CONFIRM

شکل اصلی یک عمل اولیه، به طور مستقل پیاده سازی می شود. مثال آن، فراخوانی رویه است.

چهار نوع عمل اولیه در استانداردها برای تعریف تعامل بین لایه های مجاور در این معماری (X.210) استفاده می شود. اینها در جدول ۳-۲ تعریف شده اند. اجزاء شکل (۱-۲) الف یک ترتیب زمانی را برای این وقایع پیشنهاد می کنند. برای مثال، انتقال داده ها از یک موجودیت (N) به موجودیت نظیر (N) در سیستم دیگر را در نظر بگیرید. مراحل زیر انجام می شوند:

۱- موجودیت مبدأ (N) موجودیت (N-۱) خود را با عمل اولیه request فراخوانی می نماید. همراه با این عمل اولیه، پارامترهای مورد نیاز آن عبارتند از داده هایی که باید ارسال شوند و آدرس مقصد.

۲- موجودیت مبدأ (N-۱) یک PDU (N-۱) را آماده سازی می نماید تا به موجودیت متناظر آن (N-۱) ارسال شود.

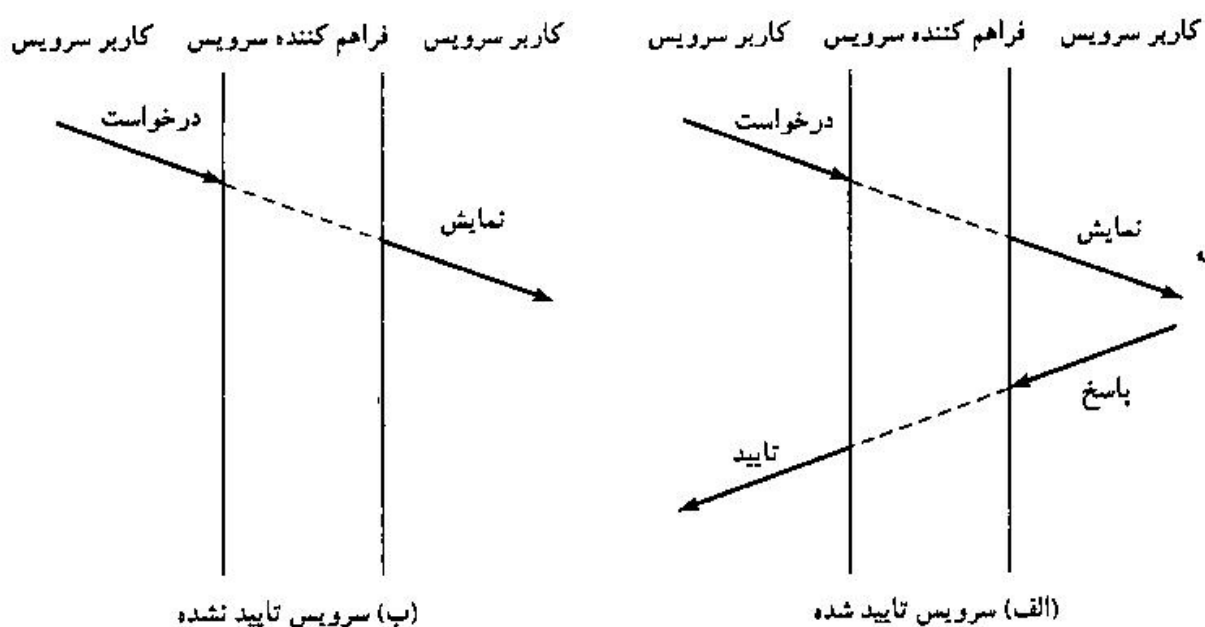
۳- موجودیت مقصد (N-۱)، داده ها را به موجودیت مقصد مورد نظر (N) از طریق عمل اولیه indication تحویل می دهد که شامل پارامترهای داده ها و آدرس مبدأ می باشد.

۴- اگر نیاز به پاسخ باشد، موجودیت مقصد (N) یک عمل اولیه response را برای موجودیت (N-۱) آن صادر می نماید.

۵- موجودیت (N-۱) پاسخ را در یک PDU (N-۱) می فرستد.

۶- این پاسخ به موجودیت (N) به صورت عمل اولیه confirm تحویل می شود.

این دنباله وقایع، سرویس تأیید شده نامیده می شود، زیرا آغاز کننده، تأییدی را دریافت می کند مبنی بر اینکه سرویس درخواست شده، اثر مورد نظر را در سمت دیگر داشته است. اگر فقط اعمال اولیه request و indication فراخوانی شوند (متناظر با مراحل ۱ تا ۳)، سپس سرویس مکالمه، سرویس بدون تأیید خواهد بود؛ آغاز کننده، تأییدی را مبنی بر این که عمل درخواست شده انجام شده است دریافت نمی کند (شکل ۱-۲-۳ ج).



شکل ۱۰-۲ سرویس تأیید نشده

لایه‌های OSI

در این بخش، به طور خلاصه هر یک از لایه‌ها بحث می‌شوند، و در صورت نیاز، مثالهایی از استانداردها برای پروتکل‌هایی در آن لایه‌ها ارائه می‌گردد.

لایه فیزیکی

- لایه فیزیکی، رابط فیزیکی بین دستگاهها و قوانینی را پوشش می‌دهد که با استفاده از آنها، بیت‌ها از یک دستگاه به دیگری منتقل می‌شوند. لایه فیزیکی چهار مشخصه مهم دارد:
 - مکانیکی: خصوصیات فیزیکی رابط را به رسانه انتقال مرتبط می‌نماید. به طور معمول، این مشخصه، متصل کننده قابل نصبی است که یک یا چند هادی سیگنال به نام مدار را متصل می‌نماید.
 - الکتریکی: به نمایش بیت‌ها (برای مثال، برحسب سطوح ولتاژ) و سرعت انتقال بیت‌ها مرتبط می‌شود.
 - تابعی: توابع انجام شده توسط هتوزیک از مدارات مربوط به رابط فیزیکی بین سیستم و رسانه انتقال را مشخص می‌نماید.
 - رویه‌ای: دنباله وقایعی را مشخص می‌کند که توسط آنها، دنباله بیت‌ها در رسانه انتقال مبادله می‌شوند.
- پروتکل‌های لایه فیزیکی با جزئیات در فصل ۶ بحث می‌شوند. مثالهایی از استانداردهای این لایه، EIA-232-F و بخش‌هایی از استانداردهای بی‌سیم و LAN می‌باشد.

لایه اتصال داده

با توجه به این که لایه فیزیکی فراهم کننده سرویس برای بیت‌ها می‌باشد، لایه اتصال داده، سعی در قابل اطمینان نمودن اتصال فیزیکی دارد و امکاناتی را برای فعال نمودن، نگهداری، و غیرفعال نمودن اتصال فراهم

می‌نماید. سرویس اصلی فراهم شده توسط لایه اتصال داده برای لایه‌های بالاتر، کنترل و آشکارسازی خطا است. بنابراین، با یک پروتکل اتصال داده کاملاً عملیاتی، لایه بالاتر بعدی می‌تواند ارسالی بدون خطا را در یک اتصال در نظر بگیرند. به هر حال، اگر ارتباط بین دو سیستم باشد که مستقیم به یکدیگر متصل نیستند، این ارتباط، چندین اتصال داده را به صورت متوالی در نظر می‌گیرد، که هر کدام به طور مستقل عمل می‌کنند. بنابراین، لایه‌های بالاتر وظیفه کنترل خطا را برعهده ندارند.

فصل ۷ به پروتکل‌های اتصال داده اختصاص دارد. مثالهایی از استانداردهای این لایه عبارتند از HDLC و LLC.

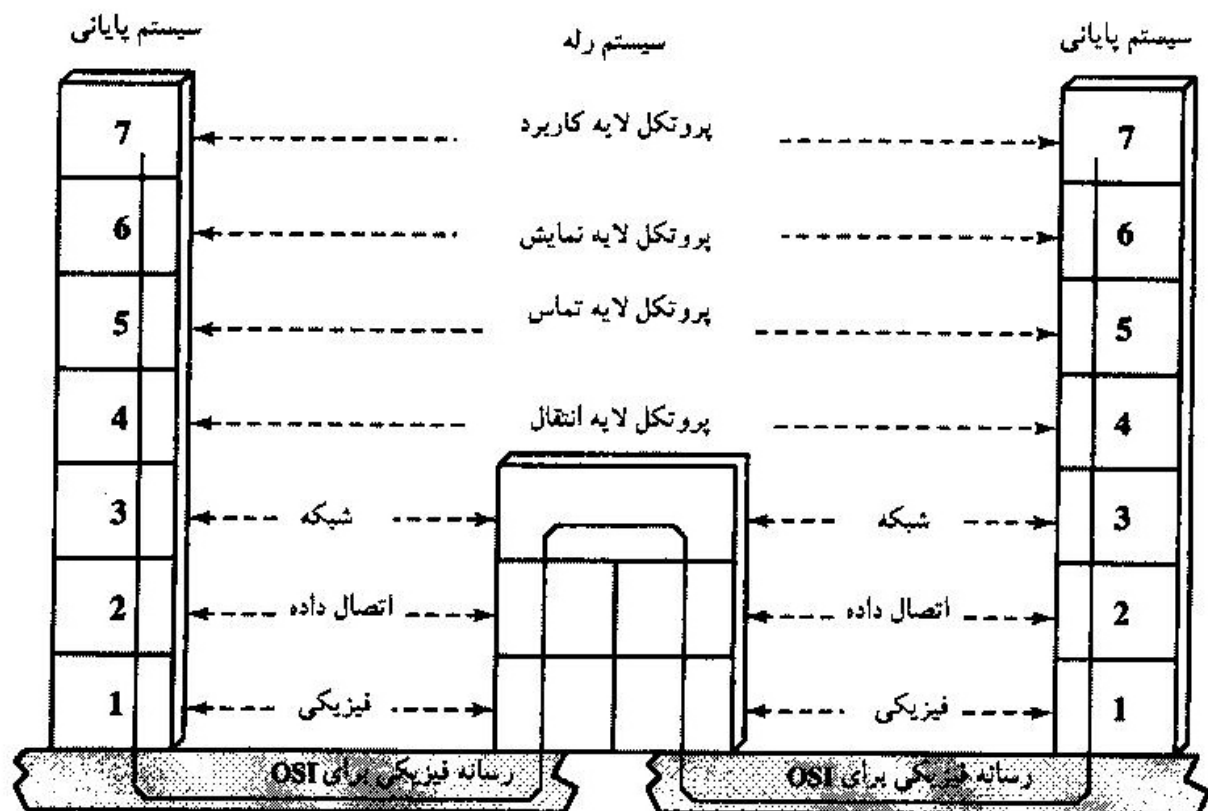
لایه شبکه

لایه شبکه فراهم‌کننده انتقال اطلاعات بین سیستم‌های انتهایی در یک ارتباط شبکه است. این لایه باعث می‌شود لایه‌های بالاتر نیازی به دانستن اطلاعاتی در مورد ارسال داده‌ها و تکنولوژی‌های سوئیچینگ استفاده شده برای اتصال سیستم‌ها نداشته باشند. در این لایه، سیستم کامپیوتری مکالمه‌ای را با شبکه به خدمت می‌گیرد تا آدرس مقصد را مشخص کند و امکانات خاصی از شبکه را مانند اولویت، درخواست نماید. طیفی از روش‌های مختلف برای بکارگیری در امکانات ارتباطی قابل مدیریت توسط لایه شبکه وجود دارد. در یک طرف، اتصال مستقیم نقطه به نقطه‌ای بین ایستگاه‌ها وجود دارد. در این حالت، ممکن است نیازی به لایه شبکه نباشد زیرا لایه اتصال داده، می‌تواند تابع مورد نیاز مدیریت این اتصال را انجام دهد. در طرف دیگر، سیستم‌ها می‌توانند در یک شبکه واحد متصل شوند، مانند شبکه سوئیچینگ مداری یا سوئیچینگ بسته‌ای. به عنوان مثال، سطح بسته‌ها در استاندارد X.25، استاندارد از لایه شبکه برای این حالت می‌باشد. شکل (۱۱-۲) نشان می‌دهد که چگونه معماری OSI، وجود شبکه را سازماندهی می‌کند. سه لایه پایینی، مربوط به اتصال و ارتباط با شبکه است. بسته‌هایی که توسط سیستم انتهایی تولید می‌شوند، از یک یا چند گره شبکه عبور می‌کنند که به عنوان رله‌هایی بین دو سیستم انتهایی هستند. گره‌های شبکه، لایه‌های ۱ تا ۳ از این معماری را پیاده‌سازی می‌کنند. در این شکل، دو سیستم انتهایی از طریق یک گره شبکه واحد متصل می‌شوند. لایه ۳ در این گره، تابع سوئیچینگ و مسیریابی را اجرا می‌کند. در این گره، هر لایه اتصال داده (و فیزیکی)، به طور مستقل عمل می‌کند تا سرویسی را برای لایه شبکه و اتصال متناظر آن فراهم نماید. چهار لایه بالایی، پروتکل‌های مبدا - به - مقصد بین سیستم‌های انتهایی متصل شده، می‌باشند.

در حالت دیگر، دو سیستم انتهایی ممکن است بخواهند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند، ولی حتی به شبکه مشابهی متصل نمی‌باشند. در عوض، به شبکه‌هایی متصلند که مستقیم یا غیرمستقیم به یکدیگر متصل هستند. این حالت، نیازمند استفاده از نوعی تکنیک اتصال بین شبکه‌ها است. این شیوه در فصل ۱۸ مورد بحث قرار می‌گیرد.

لایه انتقال

لایه انتقال، فراهم‌کننده مکانیزمی برای تبادل داده‌ها بین سیستم‌های انتهایی است. سرویس انتقال اتصال‌گرا، اطمینان می‌دهد که داده‌ها بدون خطا، به ترتیب، بدون اتلاف یا تکرار، تحویل می‌شوند. لایه انتقال نیز به بهینه‌سازی سرویس‌های شبکه و فراهم نمودن کیفیت مورد درخواست سرویس برای موجودیت‌های تماس



شکل ۱۱-۲ استفاده از رله

مرتبط می‌باشد. برای مثال، موجودیت تماس، می‌تواند سرعت‌های قابل قبول خط، حداکثر تأخیر، اولویت، و امنیت را مشخص کند.

اندازه و پیچیدگی پروتکل انتقال بستگی به میزان قابل اطمینان بودن یا غیرقابل اطمینان بودن شبکه، و سرویس‌های لایه شبکه دارد. بر این اساس، ISO خانواده‌ای شامل پنج استاندارد پروتکل اتصال را توسعه داده است، که هر یک، به سمت سرویس‌های زیربنایی متفاوتی گرایش دارند. در پروتکل TCP/IP، دو پروتکل مشترک در لایه انتقال وجود دارد: TCP اتصال‌گرا (پروتکل کنترل انتقال) و UDP بدون اتصال (پروتکل Datagram کاربر).

لایه تماس

چهار لایه پایینی مدل OSI فراهم‌کننده مفهومی برای تبادل قابل اطمینان داده‌ها می‌باشند و می‌توانند سرویس‌های متفاوتی را با کیفیت‌های متفاوت ایجاد کنند. برای برخی کاربردها، این سرویس پایه مناسب نیست. برای مثال، یک کاربرد دسترسی راه دور به ترمینال، ممکن است به مکالمه‌ای half duplex نیاز داشته باشد. یک کاربرد پردازش تراکنشی، ممکن است نیازمند نقاط بررسی در دنباله ارسال داده‌ها باشد تا امکان گرفتن پشتیبان و ترمیم را فراهم نماید. یک کاربرد پردازش پیغام، ممکن است نیاز به توانایی دادن وقفه به یک مکالمه را داشته باشد تا بخش جدیدی از یک پیغام را آماده کند و پس از آن، مکالمه را از جایی که متوقف شده، ادامه دهد.

تمام این توانایی‌ها، می‌توانند در کاربردهای خاص لایه ۷ جاسازی شوند. به هر حال، چون این نوع از

ابزارهای سازماندهی مکالمه، کاربردهای گسترده‌ای دارند، باید در قالب لایه مجزایی به نام لایه تماس سازماندهی نمود.

لایه تماس، فراهم کننده مکانیزمی برای کنترل مکالمه این کاربردهای سیستم‌های انتهایی می‌باشد. در بسیاری از حالتها، ممکن است نیاز اندکی به سرویس‌های لایه تماس باشد یا اصلاً به این سرویس‌ها نیازی نباشد، اما برای برخی کاربردها این سرویس‌ها استفاده می‌شوند. سرویس‌های کلیدی فراهم شده برای لایه تماس عبارتند از:

- روش مکالمه: این سرویس می‌تواند در طرفه همزمان (full duplex) یا دو طرفه متوالی (half duplex) باشد.
- گروه‌بندی: جریان داده‌ها می‌تواند علامت‌گذاری شود تا گروه‌هایی از داده‌ها را تعریف نماید. برای مثال، اگر یک فروشگاه، داده‌های فروش خود را به اداره مرکزی ارسال نماید، این داده‌ها می‌توانند علامت‌گذاری شوند تا نشان دهنده انتهای داده‌های فروش برای هر واحد باشند. این عمل باعث ارسال علامت برای کامپیوتر میزبان می‌شود تا مجموع داده‌های آن واحد را جمع‌بندی نماید و شمارش جدیدی را برای واحد بعدی آغاز کند.
- ترمیم: لایه تماس می‌تواند مکانیزم نقاط بازبینی را فراهم نماید، به گونه‌ای که اگر شکستی از هر نوع بین این نقاط بازبینی اتفاق بیفتد، موجودیت تماس، بتواند تمام داده‌ها را از آخرین نقطه بازبینی قبلی، مجدداً ارسال کند. ISO استاندارد را برای لایه تماس ارائه نموده است که شامل سرویس‌های ذکر شده، به صورت انتخابی، می‌باشد.

لایه نمایش

لایه نمایش، تعریف کننده قالب داده‌هایی است که باید بین کاربردهای مختلف مبادله شوند، و برای برنامه‌های کاربردی، چند سرویس ارسال داده‌ها را ارائه می‌دهد. لایه نمایش، شکل نحوی استفاده شده بین کاربردها را تعریف می‌کند، و انتخاب‌ها و اصلاحاتی را برای نمایش ارائه شده، فراهم می‌نماید. مثالهایی از سرویسهای خاصی که ممکن است در این لایه انجام شوند، شامل فشرده‌سازی داده‌ها و رمزگذاری می‌باشند.

لایه کاربرد

لایه کاربرد، فراهم کننده امکاناتی برای برنامه‌های کاربردی است که بتوانند به محیط OSI دسترسی داشته باشند. این لایه، حاوی توابع مدیریتی و مکانیزم‌های مفید کلی برای حمایت کاربردهای توزیع شده است. علاوه بر آنها، کاربردهای همه منظوره‌ای مانند انتقال فایل، پست الکترونیکی، و دسترسی ترمینالی به یک کامپیوتر راه دور نیز در این لایه قرار می‌گیرند.

۲-۴ معماری پروتکل TCP/IP

معماری پروتکل TCP/IP، نتیجه تحقیق بر روی پروتکل و توسعه هدایت شده‌ای بر روی شبکه‌های سوئیچینگ بسته‌ای و ARPANET می‌باشد. هزینه این تحقیق توسط آژانس پروژه‌های تحقیقاتی دفاعی پیشرفته

(DARPA) تأمین شده است و به طور کلی، مجموعه پروتکل TCP/IP نامیده می‌شود. این پروتکل، شامل گروه بزرگی از پروتکل‌ها است که به عنوان استانداردهای اینترنت، توسط بُورد معماری اینترنت (IAB) منتشر شده است.

لایه‌های TCP/IP

مدل TCP/IP، عمل ارتباط را در قالب پنج لایه نسبتاً مستقل سازماندهی می‌نماید:

- لایه فیزیکی
- لایه دسترسی به شبکه
- لایه اینترنت
- لایه میزبان - به - میزبان، یا لایه انتقال
- لایه کاربرد

لایه فیزیکی، پوشش دهنده رابط فیزیکی بین یک دستگاه ارسال داده (برای مثال، ایستگاه کاری، کامپیوتر) و یک رسانه انتقال، یا شبکه می‌باشد. این لایه مربوط است به مشخص نمودن خصوصیات رسانه انتقال، ماهیت سیگنالها، سرعت داده‌ها، و موارد مرتبط.

لایه دسترسی به شبکه، مربوط است به تبادل داده‌ها بین یک سیستم انتهایی (سرویس دهنده، ایستگاه کاری، و غیره)، و شبکه‌ای که به آن متصل است. کامپیوتر فرستنده، باید به شبکه، آدرس کامپیوتر مقصد را ارائه دهد، به طوری که شبکه بتواند داده‌ها را برای رسیدن به مقصد مورد نظر مسیریابی نماید. کامپیوتر فرستنده ممکن است بخواهد سرویس‌های خاصی را فراخوانی کند، مانند اولویت، که می‌توانند توسط شبکه فراهم شوند. نرم‌افزار خاصی در این لایه، براساس نوع شبکه استفاده شده، به کار برده می‌شود. استانداردهای متفاوتی برای سوئیچینگ مدار و سوئیچینگ بسته‌ای (برای مثال، Frame relay)، LAN (برای مثال، اینترنت)، و بقیه، توسعه داده شده است. بنابراین، لازم است توابعی که به شبکه دسترسی دارند، در لایه جدایی قرار گیرند. با انجام این عمل، نرم‌افزارهای ارتباطی دیگر، در بالای لایه دسترسی به شبکه، نیازی به توجه به مشخصه‌های شبکه مورد استفاده ندارند. بدون توجه به شبکه‌ای که کامپیوتر به آن متصل شده است، نرم‌افزار لایه بالاتر، باید درست عمل کند.

لایه دسترسی به شبکه، به دسترسی و مسیریابی داده‌ها در شبکه برای دو سیستم انتهایی متصل شده به یک شبکه واحد مرتبط است. در آن حالت‌هایی که دو دستگاه به شبکه‌های متفاوتی متصل هستند، رویه‌هایی لازم است تا به داده‌ها امکان گذر از چندین شبکه متصل به یکدیگر را بدهند. این کار، وظیفه لایه شبکه است. پروتکل اینترنت (IP) در این لایه استفاده می‌شود تا تابع مسیریابی در چندین شبکه را فراهم کند. این پروتکل نه تنها در سیستم‌های پایانی پیاده‌سازی می‌شود، بلکه در مسیریاب‌ها نیز پیاده‌سازی می‌گردد. مسیریاب، پردازنده‌ای است که در شبکه راه یکدیگر متصل می‌کند، و تابع اصلی آن، منتقل نمودن داده‌ها از یک شبکه به دیگری است تا بتواند مسیری را از مبدأ به سیستم انتهایی مقصد ایجاد کند.

علیرغم طبیعت کاربردهایی که تبادل داده می‌نمایند، معمولاً لازم است که داده‌ها به صورت قابل اطمینانی مبادله شوند. یعنی، باید مطمئن باشیم که تمام داده‌ها، به کاربرد مقصد می‌رسند و داده‌های رسیده، به همان ترتیبی هستند که ارسال شده‌اند. همانگونه که خواهید دید، مکانیزم‌های فراهم کننده قابلیت اطمینان، ضرورتاً مستقل از

کاربرد	کاربرد
نمایش	
تماس	انتقال (میزبان - به - میزبان)
انتقال	
شبکه	ایترنت
	دسترسی به شبکه
اتصال داده	
فیزیکی	فیزیکی

شکل ۱۲-۲ مقایسه معماری‌های پروتکل‌های OSI و TCP/IP

ماهیت کاربردها هستند. بنابراین، تمام این مکانیزم‌ها باید در لایه واحدی قرار گیرند که توسط تمام کاربردها به اشتراک گذاشته می‌شود. این لایه، لایه میزبان - به - میزبان یا لایه انتقال نامیده می‌شود. پروتکل کنترل انتقال، متداول‌ترین پروتکل فراهم‌کننده این عمل است.

در نهایت، لایه کاربرد، حاوی منطق لازم برای حمایت کاربردهای متعدد کاربر می‌باشد. برای هر نوع کاربرد متفاوت، مانند انتقال فایل، مازول مجزایی لازم است که مخصوص آن کاربرد می‌باشد. شکل (۱۲-۲)، لایه‌های معماری TCP/IP و OSI را نشان می‌دهد، و تطابق در عملکرد این دو را نیز مشخص می‌نماید.

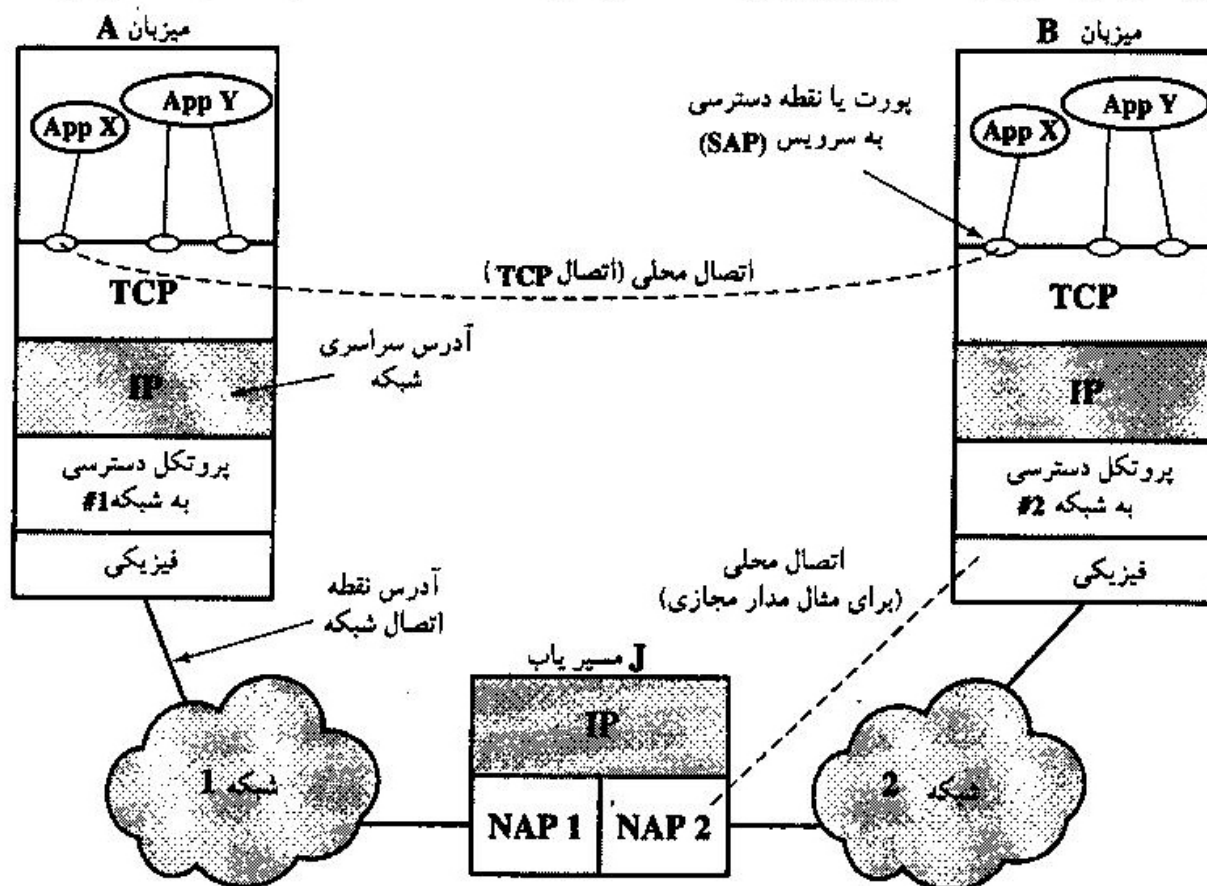
UDP و TCP

برای اکثر کاربردهایی که به عنوان بخشی از معماری پروتکل TCP/IP اجرا می‌شوند، پروتکل لایه انتقال، TCP است. TCP، اتصال قابل اطمینانی را برای ارسال داده‌ها بین کاربردها فراهم می‌نماید. یک انتقال، فقط وابستگی منطقی موقتی بین دو موجودیت بر روی سیستم‌های متفاوت می‌باشد. هر TCP PDU، که سگمنت TCP نامیده می‌شود، شامل یک مقدار پورت مبدأ، و مقدار پورت مقصد، در سرآمد سگمنت می‌باشد، که همان تابع نقطه دسترسی به سرویس (SAP) در معماری OSI را ارائه می‌دهد. این مقادیر پورت، کاربرهای (یا کاربردهایی) از دو موجودیت TCP را مشخص می‌کنند. یک اتصال منطقی، اشاره به زوجی از مقادیر پورت دارد. تا مدتی که اتصال برقرار است، هر موجودیت، سگمنت‌های TCP ارسالی و دریافتی از موجودیت‌های دیگر را کنترل می‌کند این عمل، جریان سگمنت‌ها را تنظیم نموده و سگمنت‌های گم شده یا آسیب دیده را ترمیم می‌نماید.

علاوه بر TCP، یک پروتکل دیگر در سطح انتقال وجود دارد که به طور معمول، به عنوان بخشی از مجموعه پروتکل TCP/IP استفاده می‌شود، و آن، پروتکل Datagram کاربر (UDP) می‌باشد. این موارد را تضمین می‌کند: تحویل دادن، نگهداری ترتیب، یا حفاظت در مقابل تکرار. UDP باعث می‌شود یک رویه، پیغامهایی را به رویه‌های دیگر، با حداقل مکانیزم پروتکل، بفرستد. برخی کاربردهای تراکنش‌گرا، از UDP استفاده می‌نمایند. یک مثال آن، SNMP (پروتکل مدیریت ساده شبکه) می‌باشد، که پروتکل استاندارد مدیریت شبکه‌های TCP/IP است. چون TCP/IP بدون اتصال است، UDP کار کمی انجام می‌دهد. ضرورتاً، توانایی آدرس‌دهی پورت را به IP می‌افزاید.

عملکرد TCP و IP

شکل (۱۳-۲) نشان می‌دهد که چگونه این پروتکل‌ها برای ارتباطات، پیکربندی می‌شوند. به منظور روشن ساختن این مطلب که تمامی امکانات ارتباطی می‌توانند شامل چندین شبکه باشند، شبکه‌های داخلی معمولاً زیر شبکه‌ها نامیده می‌شوند. نوعی پروتکل دسترسی به شبکه، مانند منطق اترنت، برای اتصال کامپیوتر به زیر شبکه استفاده می‌شود. این پروتکل، میزبان را فعال می‌کند تا داده‌ها را از طریق زیر شبکه به میزبان دیگر بفرستد، یا اگر میزبان مقصد در زیر شبکه دیگری قرار دارد آن داده‌ها را به یک مسیر یاب بفرستد تا آنها را هدایت کند. IP در تمام سیستم‌های انتهایی و مسیر یاب‌ها پیاده‌سازی شده است. این IP، به عنوان رله‌ای برای حرکت یک بلوک از داده‌ها از یک میزبان، و یک یا چند مسیر یاب، به میزبان دیگر، استفاده می‌شود. TCP فقط در سیستم‌های انتهایی پیاده‌سازی می‌گردد، و بلوک‌هایی از داده‌ها را پیگیری می‌کند تا مطمئن شود همه با اطمینان به کاربرد مناسب تحویل می‌شوند.



شکل ۱۳-۲ مفاهیم TCP/IP

برای یک ارتباط موفق، هر موجودیت در کل سیستم، باید آدرسی منحصر به فرد داشته باشد. در واقع، دو سطح آدرس دهی مورد نیاز است. هر میزبان در زیر شبکه، باید یک آدرس اینترنت سراسری منحصر به فرد داشته باشد. این عمل، به داده ها امکان می دهد تا به میزبان مناسب تحویل داده شوند. هر فرآیند در میزبان، باید آدرسی داشته باشد که در آن میزبان، منحصر به فرد باشد. این عمل، به پروتکل میزبان - به - میزبان (TCP) امکان می دهد داده ها را به فرآیند مناسب تحویل دهد. این آدرس های اخیر، پورت ها نامیده می شوند.

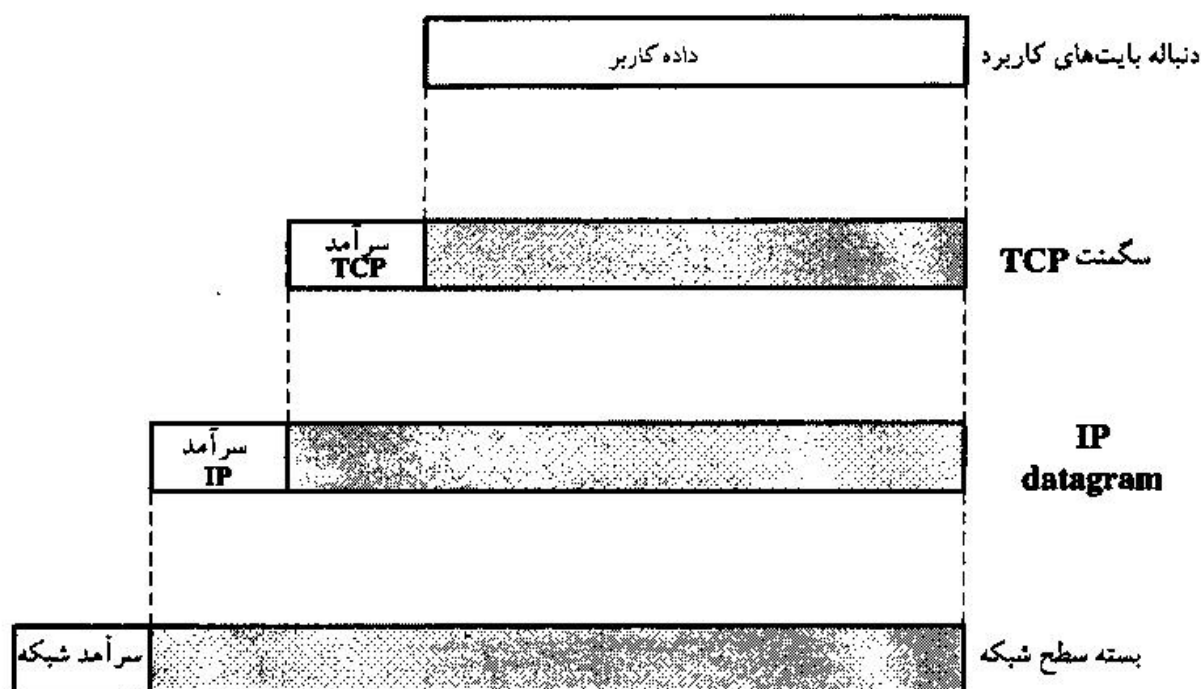
اینک یک عمل ساده را دنبال می نمایم. فرض کنید فرآیند مربوط با پورت ۱ در میزبان A، بخواهد پیغامی را به فرآیند دیگری بفرستد که مربوط به پورت ۳ در میزبان B است. فرآیند موجود در A، پیغام را همراه با دستوراتی برای ارسال آن به میزبان B، به TCP می فرستد. توجه داشته باشید که IP نیازی به دانستن مشخصه پورت مقصد ندارد. تمام چیزی که باید بداند، این است که داده ها مربوط به پورت B هستند. سپس، IP، پیغام را همراه با دستوراتی برای ارسال آنها به مسیر یاب J (اولین توقف در مسیر آن تا B)، به لایه دسترسی به شبکه (برای مثال، منطق اترنت) می فرستد.

به منظور کنترل این عمل، اطلاعات کنترلی همراه با داده های کاربر باید مانند شکل (۱۴-۲) ارسال شوند. اینگونه بیان می شود که، فرآیند ارسال، بلوکی از داده ها را تولید می نماید، و آن را به TCP می فرستد. TCP، این بلوک را به قطعات کوچکتری می شکند تا آن را بیشتر قابل مدیریت شدن نماید. برای هر یک از این قطعات، TCP اطلاعات کنترلی شناخته شده ای را با عنوان سرآمد TCP، به آن می افزاید و یک سگمنت TCP را قالب بندی می کند. اطلاعاتی کنترلی قرار است توسط موجودیت پروتکل TCP در سمت میزبان B استفاده شوند. مثالهایی از اقلام این سرآمد اینگونه است:

- پورت مقصد: هنگامی که موجودیت TCP در B، این سگمنت را دریافت می کند، باید بداند به چه کسی این داده ها باید تحویل داده شود.
- شماره ترتیب: TCP، سگمنت هایی را که به مقصد پورت خاصی می فرستد شماره گذاری می کند، به شکلی که اگر آنها خارج از ترتیب خود دریافت شوند، موجودیت TCP در B بتواند آنها را مرتب نماید.
- Checksum: TCP فرستنده شامل کدی است که تابعی از محتویات باقیمانده سگمنت می باشد. TCP گیرنده همان محاسبات را انجام می دهد و نتیجه را با کد دریافت شده مقایسه می نماید. اگر خطایی در ارسال رخ دهد، تفاوتی بین آنها به وجود می آید.

سپس، TCP، هر سگمنت را همراه با دستوراتی برای ارسال آن به B، به IP می دهد. این سگمنت ها باید از طریق یک یا چند زیر شبکه ارسال گردند و از طریق یک یا چند مسیر یاب میانی رله شوند. این عمل نیز نیازمند استفاده از اطلاعات کنترلی است. بنابراین IP نیز یک سرآمد شامل اطلاعات کنترلی به هر سگمنت اضافه می کند تا یک IP Datagram را تشکیل دهد. مثالی از یک قلم ذخیره شده در سرآمد IP، آدرس مقصد میزبان (در این مثال، B) می باشد.

در نهایت، IP Datagram به لایه دسترسی به شبکه داده می شود تا ابتدا از طریق اولین زیر شبکه، به سمت مقصد حرکت کند. لایه دسترسی به شبکه نیز سرآمد خود را می افزاید، و یک بسته یا فریم ایجاد می نماید. این بسته در زیر شبکه تا رسیدن به مسیر یاب J ارسال می شود. سرآمد بسته حاوی اطلاعاتی است که یک زیر شبکه برای



۱۴-۲ واحدهای داده پروتکل در معماری TCP/IP

- انتقال داده‌ها نیاز دارد. مثالهایی از اقلامی که ممکن است در این سرآمد یافت شوند عبارتند از:
- آدرس زیرشبکه مقصد: این زیرشبکه، باید بداند که به کدام دستگاه متصل شده، این بسته باید تحویل شود.
 - درخواست‌های امکانات: پروتکل دسترسی به شبکه ممکن است درخواست استفاده از امکانات خاص زیرشبکه، مانند اولویت، را داشته باشد.

در مسیریاب I، سرآمد بسته استخراج می‌شود و سرآمد IP مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر مبنای اطلاعات آدرس مقصد که در سرآمد موجود می‌باشد، مازول IP در داخل مسیریاب، datagram را به سمت زیرشبکه ۲ تا B هدایت می‌کند. به منظور انجام این عمل، به این datagram، مجدد یک سرآمد دسترسی به شبکه، الحاق می‌گردد. هنگامی که داده‌ها در B دریافت می‌شوند، فرآیند معکوس انجام می‌گیرد. در هر لایه، سرآمد متناظر آن برداشته می‌شود، و باقیمانده آن به لایه بالاتر بعدی منتقل می‌شود، تا زمانی که داده‌های اصلی کاربر به فرآیند مقصد تحویل شوند.

به عنوان یک نکته جانبی، نام عمومی یک بلوک از داده‌های مبادله شده در سطح پروتکل، واحد داده پروتکل (PDU) می‌باشد. بنابراین، یک سگمنت TCP، یک TCP PDU است.

کاربردهای TCP/IP

چندین کاربرد، برای استفاده در بالای TCP، استاندارد شده‌اند. سه مورد از متداول‌ترین آنها را بررسی می‌نماییم: پروتکل انتقال نامه ساده (SMTP) فراهم کننده امکانات پست الکترونیکی ساده می‌باشد. همچنین مکانیزمی را برای انتقال پیغامها بین میزبانهای مجزا فراهم می‌نماید. امکاناتی از SMTP شامل لیست‌های پستی، برگرداندن و

هدایت می‌باشد. پروتکل SMTP، روشی را که پیغامها ایجاد می‌شوند، مشخص نمی‌کند. برخی ویرایشگرهای محلی یا امکانات پست الکترونیکی محلی برای این منظور مورد نیاز می‌باشند. پس از ایجاد پیغام، SMTP پیغام را دریافت می‌کند و با استفاده از TCP، آن را به مازول SMTP بر روی میزبان دیگر می‌فرستد. مازول SMTP مقصد، با استفاده از امکانات پست الکترونیکی محلی، پیغام ورودی را در جعبه پستی کاربر ذخیره می‌نماید.

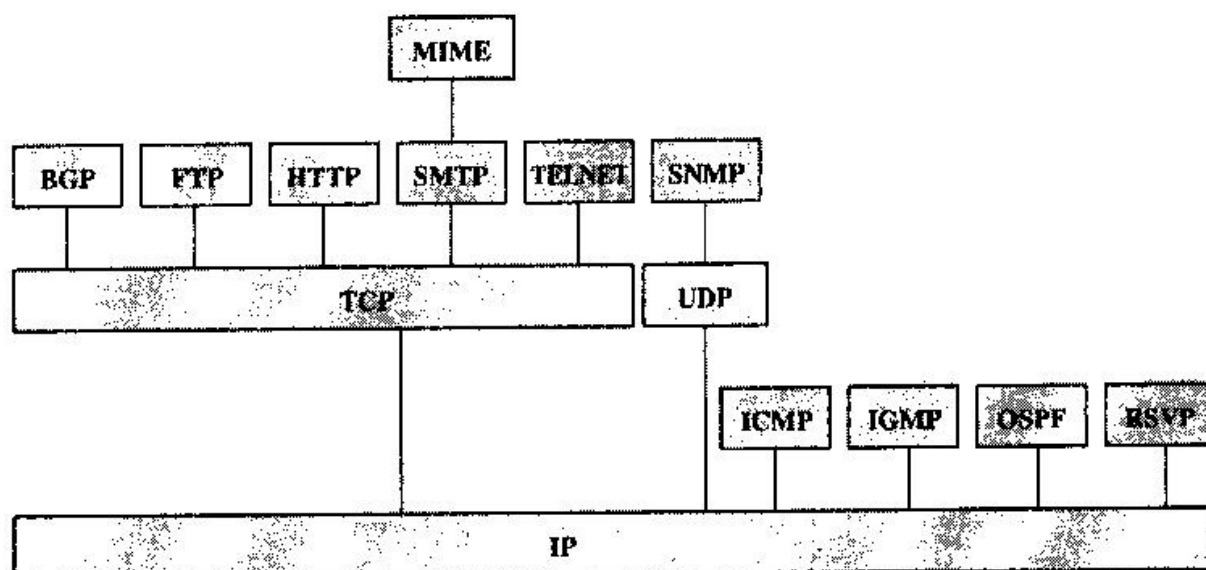
پروتکل انتقال فایل (FTP) برای ارسال فایلها از یک سیستم به دیگری با فرمان کاربر، استفاده می‌گردد. فایلهای متنی و باینری بکار گرفته می‌شوند، و این پروتکل جنبه‌هایی را برای کنترل نمودن دسترسی کاربر فراهم می‌نماید. هنگامی که کاربری می‌خواهد انتقال فایل را به خدمت گیرد، FTP، اتصال TCP را برای انتقال پیغامهای کنترلی آماده‌سازی می‌نماید. این اتصال، شماره شناسایی و کلمه عبور کاربر را ارسال می‌کند، و به کاربر امکان می‌دهد، فایل و اعمال فایل را مشخص کند. در صورت موافقت، انتقال فایل، اتصال TCP دومی برای انتقال داده آماده‌سازی می‌شود. فایل از طریق این اتصال داده، بدون سر بار مربوط به سرآمد یا اطلاعات کنترلی در سطح کاربرد منتقل می‌شود. پس از کامل شدن انتقال، این اتصال کنترلی استفاده می‌شود تا کامل شدن را اطلاع دهد، و فرمانهای انتقال فایل جدیدی را بپذیرد.

TELNET امکان Logon از راه دور را فراهم می‌نماید، که باعث می‌شود کاربر یک ترمینال یا کامپیوتر شخصی، بر روی کامپیوتر راه دور، Logon نماید و به شکلی عمل کند که گویا مستقیم به آن کامپیوتر متصل است. این پروتکل طوری طراحی شده است که با ترمینالهای ساده کار کند. TELNET در واقع در قالب دو مازول پیاده‌سازی شده است: TELNET کاربر با مازول ترمینال I/O تعامل دارد تا با ترمینال محلی ارتباط برقرار کند. همچنین خصوصیات ترمینالهای واقعی را برای استاندارد شبکه و برعکس، تبدیل می‌نماید. TELNET سرویس دهنده، با یک کاربرد تعامل دارد، و به صورت اداره کننده ترمینال جایگزینی عمل می‌نماید به شکلی که ترمینالهای راه دور، برای هر کاربرد، به صورت محلی به نظر برسند. ترافیک ترمینال بین TELNET کاربر و سرویس دهنده، از طریق اتصال TCP برقرار می‌شود.

رابطه‌های پروتکل

تیر لایه در مجموعه پروتکل TCP/IP، با لایه‌های مجاور تعامل دارد. در مبدأ، لایه کاربرد، از سرویس‌های لایه مبدأ - به - مقصد استفاده می‌کند و داده‌ها را تا آن لایه فراهم می‌نماید. رابطه مشابهی در رابط لایه‌های مبدأ - به - مقصد و اینترنت، و در رابط لایه‌های اینترنت و دسترسی شبکه وجود دارد. در مقصد، هر لایه، داده‌ها را تا لایه بالایی بعدی تحویل می‌دهد.

این نوع استفاده از هر یک از لایه‌ها، توسط این معماری لازم نیست. مانند شکل (۱۵-۲) امکان توسعه کاربردهایی وجود دارد که به طور مستقیم، سرویسهای هر یک از لایه‌ها را فراخوانی نمایند. اکثر کاربردها نیازمند پروتکل مبدأ - به - مقصدی قابل اطمینانی می‌باشند و بنابراین از TCP استفاده می‌کنند. برخی کاربردهای تک منظوره، به سرویس TCP نیازی ندارند. برخی از این کاربردها، مانند پروتکل ساده مدیریت شبکه (SNMP)، پروتکل دیگر مبدأ - به - مقصد را به نام پروتکل Datagram کاربر (UDP) استفاده می‌کنند؛ بقیه، ممکن است IP را به طور مستقیم استفاده نمایند. کاربردهایی که از ارتباط بین شبکه‌ای استفاده نمی‌کنند، و نیازی به TCP ندارند، به گونه‌ای توسعه داده می‌شوند که لایه دسترسی به شبکه را به طور مستقیم فراخوانی نمایند.



BGP = پروتکل gateway مرزی	OSPF = اولین کوتاهترین مسیر باز
FTP = پروتکل انتقال فایل	RSVP = پروتکل رزرو منبع
HTTP = پروتکل انتقال فرامتنی	SMTP = پروتکل انتقال نامه ساده
ICMP = پروتکل کنترل پیغام اینترنت	SNMP = پروتکل ساده مدیریت شبکه
IGMP = پروتکل کنترل مدیریت گروه اینترنت	TCP = پروتکل کنترل انتقال
IP = پروتکل اینترنت	UDP = پروتکل datagram کاربر
MIME = توسعه نامه اینترنت چند منظوره	

۲-۱۵ برخی پروتکل‌ها در مجموعه پروتکل TCP/IP

۵-۲ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر و سایت‌های وب

برای خواننده علاقمند به جزئیات بیشتر در مورد TCP/IP، مرجعی سه جلدی می‌تواند مناسب باشد. کارهای انجام شده توسط Comer و Stevens کلاسیک هستند و جامع می‌باشند [COME01 و COME99 و COME00]. کارهای انجام شده توسط Stevens و Wright ارزش معادلی دارند و جزئیات بیشتر در مورد عملکرد پروتکل را شامل می‌شوند [WRIG95 و STEV96 و STEV94]. مرجع فشرده‌تر و مفیدتر آن، [RODR02] می‌باشد، که طیف پروتکل‌های مربوط به TCP/IP را به صورت تکنیکی پوشش می‌دهد، اما برخی پروتکل‌ها در دو مورد دیگر یافت نمی‌شوند.

- COME99 Comer, D., and Stevens, D. *Internetworking with TCP/IP, Volume II: Design Implementation, and Internals*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1994.
- COME00 Comer, D. *Internetworking with TCP/IP, Volume I: Principles, Protocols, and Architecture*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- COME01 Comer, D., and Stevens, D. *Internetworking with TCP/IP, Volume III: Client-Server Programming and Applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- RODR02 Rodriguez, A., et al., *TCP/IP Tutorial and Technical Overview*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- STEV94 Stevens, W. *TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.
- STEV96 Stevens, W. *TCP/IP Illustrated, Volume 3: TCP for Transactions, HTTP, NNTP, and the UNIX(R) Domain Protocol*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1996.
- WRIG95 Wright, G., and Stevens, W. *TCP/IP Illustrated, Volume 2: The Implementation*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.



● Networking Links: مجموعه کاملی از اتصالات مربوط به TCP/IP است.

۶-۲. واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل

واژه‌های کلیدی

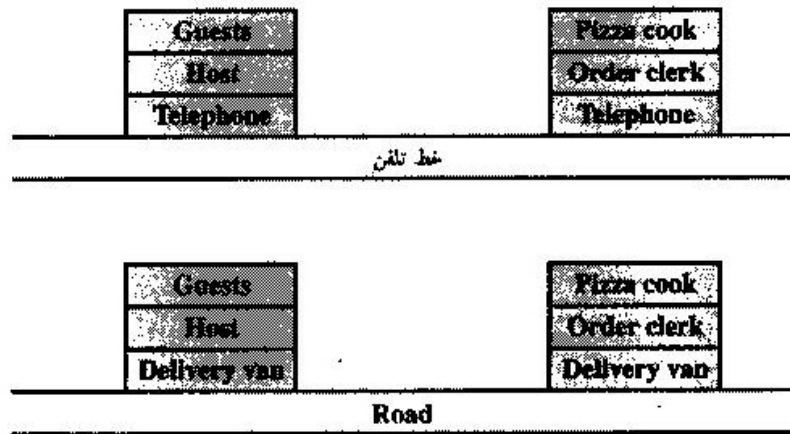
زیر شبکه پروتکل کنترل انتقال (TCP) لایه انتقال پروتکل datagram کاربر (UDP)	لایه نظیر لایه فیزیکی پورت لایه نمایش پروتکل معماری پروتکل واحد داده پروتکل مسیریاب نقطه دسترسی به سرویس لایه تماس	لایه کاربرد checksum لایه اتصال سرآمد اینترنت پروتکل اینترنت (IP) ایجاد شبکه اینترنت لایه شبکه اتصال داخلی سیستم‌های باز (OSI)
---	---	---

سؤالات

- ۱-۲ تابع عمده لایه دسترسی به شبکه چیست؟
- ۲-۲ چه کارهایی توسط لایه انتقال انجام می‌شوند؟
- ۳-۲ پروتکل چیست؟
- ۴-۲ واحد داده پروتکل چیست (PDU)؟
- ۵-۲ معماری پروتکل چیست؟
- ۶-۲ TCP/IP چیست؟
- ۷-۲ برخی فواید لایه‌بندی، مانند آنچه در معماری TCP/IP دیده می‌شود چیست؟
- ۸-۲ مسیریاب چیست؟

مسائل

- ۱-۲ با استفاده از مدل‌های لایه شکل (۱۶-۲)، ترتیب مراحل و تحویل پیتزا را توصیف نمایید، و تعامل‌های هر طح را نشان دهید.



۲-۱۶ معماری مسئله ۲-۱

۲-۲ الف - نخست‌وزیرهای فرانسه و چین نیاز به توافق نامه‌ای با استفاده از تلفن دارند، اما هیچ یک به زبان دیگری صحبت نمی‌کند. علاوه بر آن، هیچ یک مترجمی در دست ندارند که بتواند زبان دیگری را ترجمه کند. به هر حال، هر دو نخست‌وزیر مترجم‌های انگلیسی در محل کار خود در اختیار دارند. نموداری مشابه شکل (۲-۱۶) رسم کنید و این حالت را نشان دهید و تعامل آنها را توصیف نموده و هر سطح را توضیح دهید.

ب - اینک فرض کنید که مترجم نخست‌وزیر چین، بتواند فقط به ژاپنی ترجمه کند و این که نخست‌وزیر فرانسه نیز مترجم آلمانی در اختیار دارد. نمودار دیگری رسم کنید که منعکس کننده این وضعیت باشد و این مکالمه تلفنی را توصیف نماید.

۲-۳ نقاط ضعف عمده شیوه لایه‌ای را برای پروتکل‌ها لیست نمایید.

۲-۴ دو ارتش آبی هر یک در تپه‌های مقابل هم سنگر گرفته‌اند و برای حمله به یک ارتش قرمز در داخل دره آماده می‌شوند. ارتش قرمز می‌تواند هر یک از ارتش‌های آبی را به طور مجزا شکست دهد، اما، اگر آنها همزمان حمله کنند نمی‌تواند هر دو ارتش آبی را شکست دهد. ارتش‌های آبی از طریق یک سیستم مخابراتی نامطمئن با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند (سربازان پیغام‌رسان). فرمانده یکی از ارتش‌های آبی می‌خواهد در ظهر حمله را شروع کند. مشکل آن این است که: اگر پیغامی را به ارتش آبی دیگر نفرستد، و زمان حمله را بدهد، مطمئن نیست این عمل درست انجام شود. باید منتظر تأییدیه بماند، اما آن هم ممکن است درست عمل نکنند. آیا پروتکلی وجود دارد که دو ارتش آبی بتوانند از شکست خود جلوگیری کنند؟

۲-۵ یک شبکه broadcast، شبکه‌ای است که در آن، هر ارسال از طریق یکی از ایستگاههای متصل به آن، توسط تمام ایستگاههای دیگر متصل به رسانه مشترک، دریافت می‌شود. مثالهای آن عبارتند از شبکه محلی با توپولوژی گذرگاه، مانند اترنت، و شبکه رادیویی بی‌سیم. در مورد نیاز یا عدم نیاز به لایه شبکه (لایه سوم OSI) در شبکه broadcast بحث نمایید.

۲-۶ بر مبنای اصول ارائه شده در جدول ۲-۱،

الف - یک معماری با هشت لایه طراحی کنید و کاربردی برای آن ایجاد کنید.

ب - یک معماری با شش لایه طراحی کنید و کاربردی برای آن ایجاد نمایید.

۲-۷ در شکل (۲-۱۴)، فقط یک واحد داده پروتکل (PDU) در لایه N ، در PDU مربوط به لایه $(N-1)$ بسته‌بندی شده است. امکان شکستن یک PDU با N در سطح، به چند PDU با $(N-1)$ سطح (قطعه‌بندی) یا گروه‌بندی چند PDU با N سطح، در یک PDU با $(N-1)$ سطح (بلوک‌بندی) وجود دارد. الف - در حالت قطعه‌بندی، آیا لازم است که هر قطعه با $(N-1)$ سطح، حاوی یک کپی از سرآمد N سطحی باشد؟

ب - در حالت گروه‌بندی، آیا لازم است که هر PDU با N سطح، سرآمد خود را حفظ کند، یا آیا داده‌ها می‌توانند در یک PDU با N سطح همراه با یک سرآمد N سطحی متمرکز شوند؟
۲-۸ روایت قبلی مشخصه TFTP، یعنی RFC783، شامل احکام زیر است:

تمام بسته‌ها به جز آنهایی که برای خاتمه استفاده شده‌اند، به طور مستقل تأیید می‌شوند، مگر این که مهلت زمانی خاتمه یابد.

مشخصه RFC 1350 این مورد را اینگونه اصلاح می‌کند که تمام بسته‌ها به جز ACK‌های تکراری و آنهایی که برای خاتمه استفاده می‌شوند، تأیید می‌گردند مگر مهلت زمانی خاتمه یابد. این تغییر به این منظور انجام شده که مشکل "Sorcerer's Apprentice" را حل کند. این مشکل را توضیح دهید.

۲-۹ عامل محدود کننده زمان لازم برای انتقال فایل با استفاده از TFTP چیست؟

ضمیمه ۲ - الف پروتکل انتقال فایل ساده

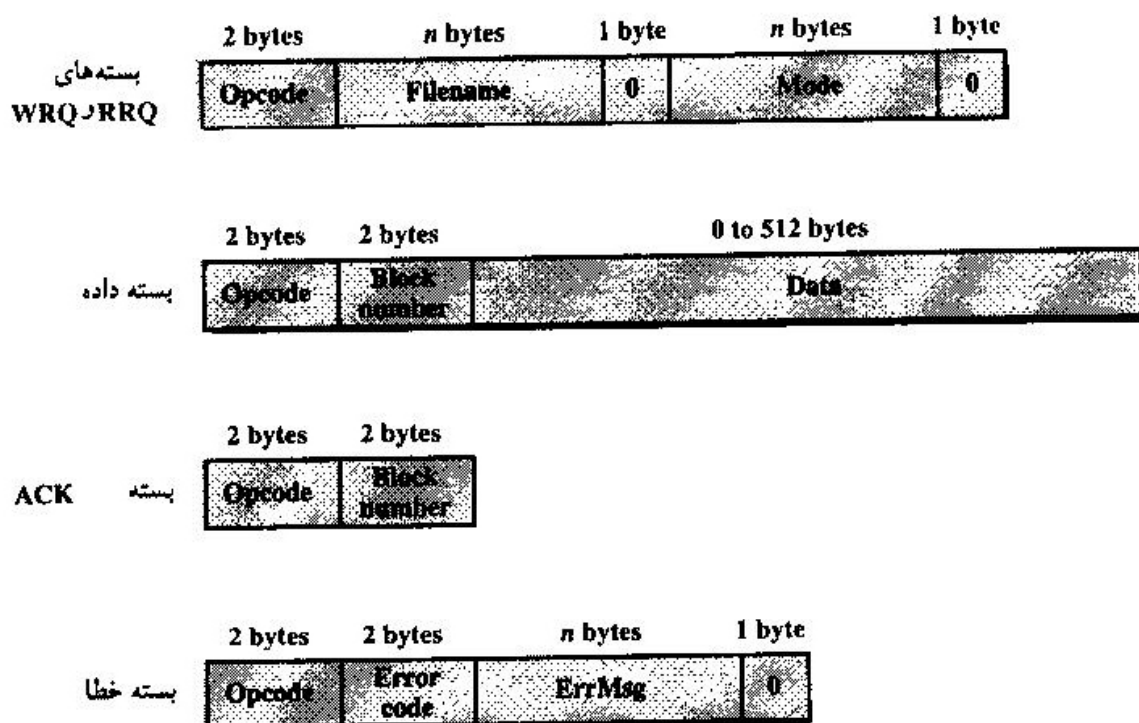
این ضمیمه، فراهم کننده مروری کلی بر استاندارد اینترنت پروتکل انتقال فایل ساده (TFTP) می‌باشد که در RFC1350 تعریف شده است. هدف، دادن اطلاعات اولیه‌ای در مورد این پروتکل می‌باشد.

مقدمه‌ای بر TFTP

TFTP خیلی ساده‌تر از استاندارد اینترنت FTP (RFC959) می‌باشد. توجهی به کنترل دسترسی یا شناسایی کاربر ندارد، بنابراین، TFTP فقط برای دسترسی عمومی به فایلها و شاخه‌ها مناسب است. به دلیل سادگی، TFTP به سادگی و فشردگی قابل پیاده‌سازی است. برای مثال، برخی دستگاههای بدون دیسک، TFTP را برای download نمودن نرم‌افزارها در زمان راه‌اندازی استفاده می‌کنند. TFTP در بالای UDP اجرا می‌شود. یک موجودیت TFTP که انتقال را آماده‌سازی می‌نماید، این عمل را با ارسال یک درخواست خواندن یا نوشتن در یک سگمنت UDP، همراه با پورت مقصد ۶۹ برای سیستم هدف، انجام می‌دهد. این پورت توسط مازول UDP هدف، به عنوان مشخصه مازول TFTP شناسایی می‌گردد. در طول مدت انتقال، هر طرف، یک شناسه انتقال (TID) را به عنوان شماره پورت خود، استفاده می‌نماید.

بسته‌های TFTP

موجودیت‌های TFTP، تبادل دستورات، پاسخ‌ها، و داده‌های فایل را به شکل بسته‌ها انجام می‌دهند که هر



۱۷-۲ قالب‌های پسته TFTP

یک، در بدنه یک سگمنت UDP حمل می‌شود. TFTP، پنج نوع پسته را حمایت می‌کند (شکل ۱۷-۲)؛ اولین دو بایت، حاوی کد عملیاتی است که نوع پسته را شناسایی می‌کند:

- **RRQ**: پسته درخواست خواندن، مجوز انتقال یک فایل را از سیستم دیگر درخواست می‌نماید. این پسته شامل نام فایل می‌باشد، که دنباله‌ای از بایت‌های ASCII^۱ است و با یک بایت صفر خاتمه می‌یابد. این بایت صفر امکانی است که موجودیت TFTP گیرنده بداند چه زمانی نام فایل خاتمه یافته است. این پسته همچنین شامل فیلد مود می‌باشد، که نشان می‌دهد آیا فایل داده باید به عنوان دسته‌ای از بایت‌های ASCII تفسیر شود یا به عنوان بایت‌های ۸ بیتی داده.
- **WRQ**: پسته درخواست نوشتن، اجازه انتقال یک فایل را به سیستم دیگر درخواست می‌نماید.
- داده: شماره‌های بلوک در پسته‌های داده، از یک شروع می‌شوند و برای هر بلوک داده جدید، یک واحد افزایش می‌یابند. این عمل، به برنامه امکان می‌دهد از یک عدد برای آشکارسازی بین پسته‌های جدید و تکراری‌ها استفاده نماید. فیلد داده، از صفر تا ۵۱۲ بایت است. اگر ۵۱۲ بایت طول داشته باشد، این بلوک آخرین بلوک داده نخواهد بود. اگر طول آن بین صفر تا ۵۱۱ بایت باشد، انتهای انتقال را نشان می‌دهد.
- **ACK**: این پسته برای تأیید دریافت پسته داده‌ها یا پسته WRQ استفاده می‌شود. ACK برای پسته داده‌ها، حاوی شماره بلوک پسته داده‌ها است که تأیید می‌شود. ACK برای WRQ حاوی شماره بلوک صفر است.
- **Error**: یک پسته خطا می‌تواند تأییدیه هر نوع پسته دیگر باشد. کد خطا، عددی صحیح است نشان دهنده

۱- ASCII کد استاندارد آمریکایی برای تبادل اطلاعات می‌باشد، که استاندارد است مربوط به انستیتوی ملی استاندارد‌ها. الگوی منحصر به فرد ۷ بیتی را برای هر کاراکتر همراه با هشتمین بیت برای توازن، مشخص می‌کند. ASCII معادل است با مرجع ملی الفبا (IRA)، که در توصیه T.50 از ITU-T تعریف شده است.

جدول ۲-۴ کدهای خطای TFTP

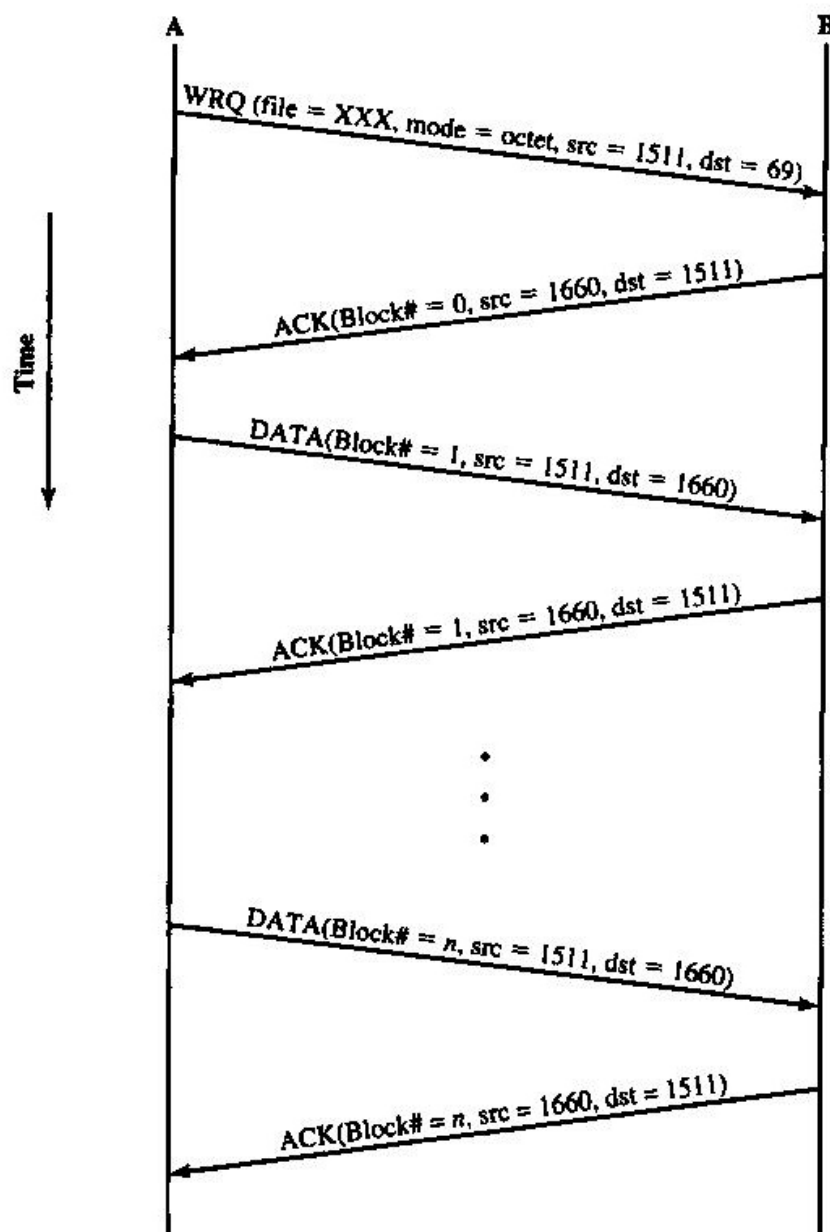
مقدار	مفهوم
۰	تعریف نشده، به پیغام خطا مراجعه کنید
۱	فایل یافت نشد
۲	دسترسی غیر مجاز
۳	دیسک پر یا تخصیص بیش از مقدار مجاز
۴	عمل غیر مجاز TFTP
۵	ID انتقال نامعلوم
۶	فایل قبلاً وجود دارد
۷	کاربر یافت نشد

نوع خطا (جدول ۲-۴). پیغام خطا برای استفاده انسان در نظر گرفته شود، و باید به صورت ASCII باشد. مانند همه رشته‌های دیگر، با بایت صفر خاتمه می‌یابد. تمام بسته‌ها به جز ACK های تکراری (توضیح داده می‌شود) و آنهایی که برای خاتمه استفاده می‌شوند، باید تأیید گردند. هر بسته می‌تواند با بسته خطا تأیید گردد. اگر خطاهایی وجود نداشته باشد، موارد زیر به کار گرفته می‌شوند. یک WRQ یا بسته داده، با یک بسته ACK تأیید می‌گردد. هنگامی که RRO ارسال می‌گردد، طرف دیگر (در صورت عدم وجود خطا)، با شروع به انتقال فایل، پاسخ می‌دهد؛ بنابراین، اولین بلوک داده، به عنوان تأییدی یک بسته RRO در نظر گرفته می‌شود. به دنبال هر بسته ACK بسته داده طرف دیگر قرار می‌گیرد، به گونه‌ای که بسته داده به عنوان تأییدی عمل نماید. این حالت، برای زمان کامل شدن انتقال فایل صادق نمی‌باشد. بسته خطا می‌تواند با هر نوع بسته دیگر نیز تأیید گردد.

مروری بر یک انتقال

مثال نشان داده شده در شکل (۱۸-۲)، یک عمل ساده انتقال فایل از A به B است. هیچ خطایی اتفاق نمی‌افتد، و جزئیات مشخصه آن نشان داده نمی‌شود.

این عمل، زمانی شروع می‌شود که مازول TFTP در سیستم A، درخواست نوشتن را (WRQ) به مازول TFTP در سیستم B می‌فرستد. بسته WRQ به عنوان بلنهٔ سگمنت UDP حمل می‌شود. درخواست نوشتن شامل نام فایل (در این حالت، XXX) و مود octet، یا داده تنها، می‌باشد. در سرآمد UDP، شماره پورت مقصد، ۶۹ است، و موجودیت UDP دریافتی را مطلع می‌نماید که این پیغام، برای آن کاربرد TFTP می‌باشد. شماره پورت مبدأ، یک TID است که توسط A انتخاب شده است، و در این حالت ۱۵۱۱ می‌باشد. سیستم B آماده می‌شود تا فایل را بپذیرد و بنابراین، با ACK همراه با شماره بلوک صفر پاسخ می‌دهد. در سرآمد UDP، پورت مقصد ۱۵۱۱ است، که موجودیت UDP را در A و ادار می‌کند بسته‌های ورودی را به مازول TFTP هدایت نماید، که می‌تواند این TID را با TID موجود در WRQ منطبق کند. پورت مبدأ، یک TID انتخاب شده توسط B برای این انتقال فایل است، که در این حالت ۱۶۶۰ می‌باشد.



شکل ۱۸-۲ مثالی از عملکرد TFTP

به دنبال این تبادل اولیه، انتقال فایل ادامه می‌یابد. این انتقال شامل یک یا چند بسته داده از A است، که هر یک توسط B تأیید می‌شود. بسته داده نهایی حاوی کمتر از ۵۱۲ بایت داده است، که انتهای انتقال را اعلام می‌کند.

خطاها و تأخیرها

اگر TFTP بر روی شبکه یا اینترنت عمل کند (برخلاف اتصال داده مستقیم)، امکان گم شدن بسته‌ها وجود دارد. چون TFTP بر روی UDP عمل می‌کند، که سرویس قابل اطمینانی را برای تحویل ارائه نمی‌دهد، مکانیزمی در TFTP برای بسته‌های گم شده باید وجود داشته باشد. TFTP از تکنیک متداول خاتمه مهلت زمانی استفاده می‌کند. فرض کنید A یک بسته را به B می‌فرستد که نیازمند تأیید است (یعنی هر بسته به جز ACK‌های تکراری، و آنهایی که برای خاتمه استفاده می‌شوند). پس از آن که A، یک بسته را ارسال نمود، یک تایمر را به کار می‌اندازد.

اگر تایمر به انتها برسد قبل از این که تأییدیه‌ای از B دریافت شود، A دوباره همان بسته را ارسال می‌کند. اگر بسته اولیه گم شده باشد، ارسال مجدد، اولین کپی از این بسته خواهد بود که توسط B دریافت می‌شود. اگر بسته اولیه گم نشده باشد، ولی تأییدیه B گم شده باشد، در این صورت، B دو کپی از همان بسته را از A دریافت خواهد کرد و فقط هر دو کپی را تأیید می‌نماید. به دلیل استفاده از شماره‌های بلوک‌ها، این عمل، باعث سردرگمی نمی‌شود. تنها استثناء برای این قانون، برای بسته‌های تکراری ACK است. از دومین بسته ACK صرف‌نظر می‌شود.

شکل نحوی، معانی، و تایمینگ

در بخش ۱-۲، اشاره شد که جنبه‌های کلیدی یک پروتکل، می‌تواند اینگونه طبقه‌بندی شوند: شکل نحوی، معانی، و تایمینگ. این دسته‌بندی‌ها به وضوح در TFTP مشاهده می‌شوند. قالب انواع بسته‌های TFTP، شکل نحوی پروتکل را تشکیل می‌دهند. معانی پروتکل، در تعریف هر نوع بسته و کدهای خطا نشان داده شده‌اند. در نهایت، دنباله تبادله بسته‌ها، استفاده از شماره‌های بلوک‌ها، و استفاده از تایمرها، همگی جنبه‌های تایمینگ TFTP هستند.

ارتباطات داده‌ها

نکاتی در مورد بخش دوم

بخش دوم، مربوط می‌شود به انتقال داده‌ها بین دو دستگاهی که به طور مستقیم به یکدیگر متصل شده‌اند؛ یعنی، دو دستگاه، توسط یک مسیر انتقال به غیر از شبکه، به یکدیگر متصل شده‌اند. نکات تکنیکی و طراحی متعددی در این مورد ساده وجود دارد. ابتدا، نیاز به فهم نکاتی در مورد پردازش سیگنالهای انتقالی در یک اتصال ارتباطی است. تکنیک‌های ارسال دیجیتال و آنالوگ، هر دو استفاده می‌شوند. در هر دو مورد، این سیگنال می‌تواند به صورت طیفی از مؤلفه‌ها در یک رنج فرکانسی الکترومغناطیسی در نظر گرفته شود. خصوصیات انتقال سیگنال، بستگی به فرکانسهای موجود در آن دارد. همچنین، انواع موانع، مانند تضعیف که سیگنال با آنها روبرو است، به فرکانس بستگی دارند. مورد بعدی مورد توجه، رسانه انتقال است که برای انتقال سیگنالها استفاده می‌شود. رسانه انتقال، عامل تعیین کننده میزان کارایی قابل دسترسی، بر حسب سرعت انتقال داده و فاصله، می‌باشد. موردی که رابطه نزدیکی با سیگنال و رسانه انتقال دارد، روش کدگذاری داده‌ها بر روی سیگنال می‌باشد. مجدداً، تکنیک کدگذاری، فاکتوری در کارایی ارسال است.

فراتر از مفاهیم اساسی سیگنال، رسانه، و کدگذاری، بخش دوم به دو جنبه مهم دیگر از ارتباطات داده‌ها می‌پردازد: قابلیت اطمینان و کارایی. در هر شمای ارتباطی، میزان خاصی از خطاها در ضمن انتقال اتفاق می‌افتد. پروتکل کنترل اتصال داده، مکانیزم‌هایی را برای آشکارسازی و ترمیم این خطاها فراهم می‌نماید، به شکلی که یک مسیر ارسال غیر قابل اطمینان، به یک اتصال ارتباطی قابل اطمینان تبدیل شود. در نهایت، اگر ظرفیت اتصال، بیش از نیازهای یک ارسال واحد باشد، تکنیک‌های متعدد مالتی پلکسینگ استفاده می‌شوند تا از رسانه به صورت بهینه استفاده شود.

راهنمای بخش دوم

فصل ۳ انتقال داده

اصول ارسال داده‌ها، زیربنای تمام مفاهیم و تکنیک‌های ارائه شده در این کتاب است. به منظور فهم نیاز برای کدگذاری، مالتی پلکسینگ، سوئیچینگ، کنترل خطا، و مانند آنها، خواننده باید رفتار سیگنالهای داده را که از طریق رسانه انتقال منتشر می‌شوند، درک نماید. فصل ۳، تفاوت بین داده‌های دیجیتال و آنالوگ و ارسال دیجیتال و آنالوگ را مورد بحث قرار می‌دهد. مفاهیم تضعیف و نویز نیز بررسی می‌گردند.

فصل ۴ رسانه انتقال

رسانه انتقال می‌تواند به دو بخش هدایت شده و بی‌سیم طبقه‌بندی شود. متداول‌ترین رسانه انتقال هدایت شده، زوج سیم‌های تاییده، کابل کواکسیال، و فیبر نوری هستند. تکنیک‌های بی‌سیم شامل مایکروویو زمینی و ماهواره‌ای، پخش رادیویی، و مادون قرمز می‌باشد. فصل ۴ تمام این عناوین را پوشش می‌دهد.

فصل ۵ کدگذاری داده‌ها

ارتباط داده‌ها از هر دو نوع آنالوگ (پیوسته) و دیجیتال (گسسته) امکان‌پذیر است. برای انتقال، داده‌های ورودی باید به صورت نوعی سیگنال الکتریکی کدگذاری شوند که وابسته به خصوصیات رسانه انتقال می‌باشد. داده‌های آنالوگ و دیجیتال می‌توانند با سیگنالهای آنالوگ یا دیجیتال نمایش داده شوند؛ هر یک از این چهار مورد در فصل ۵ بحث می‌شود.

فصل ۶ رابط ارتباط داده‌ها

در فصل ۶، تأکید، از ارسال داده‌ها، به ارتباطات داده‌ها انتقال می‌یابد. برای دو دستگاهی که با یک رسانه انتقال به یکدیگر متصل هستند تا داده‌های دیجیتال را مبادله نمایند، درجه بالایی از همکاری لازم است. به طور معمول، داده‌ها بر روی رسانه، یک بیت در هر دفعه ارسال می‌شوند. تایمینگ (سرعت، مدت، فاصله)، برای این بیت‌ها باید برای فرستنده و گیرنده مشابه باشد. دو تکنیک متداول ارتباطی، آسنکرون و سنکرون، بررسی می‌گردند. پس از آن، این فصل، موضوع‌های خطاهای انتقال و تکنیک‌های آشکارسازی خطا، و اصلاح خطا را بررسی می‌نماید. همچنین، این فصل نگاهی دارد به رابط‌های خط انتقال. به طور معمول، دستگاههای دیجیتالی داده‌ها، به طور مستقیم به رسانه انتقال متصل نیستند و سیگنالها را به صورت مستقیم ارسال نمی‌نمایند. در عوض، این فرآیند، از طریق یک رابط استاندارد انجام می‌شود.

فصل ۷ کنترل اتصال داده

همکاری برای تبادل داده‌های دیجیتالی بین دو دستگاه، نیازمند شکلی از کنترل اتصال داده است. فصل ۷، تکنیک‌های اساسی متداول را برای تمام پروتکل‌های کنترل اتصال داده بررسی می‌نماید، شامل: کنترل جریان، و

کنترل خطا. سپس، متداول‌ترین پروتکل راکه HDLC است مورد توجه قرار می‌دهد.

فصل ۸ مالتی پلکسینگ

امکانات انتقال بسیار گران هستند. اغلب این حالت وجود دارد که دو ایستگاه ارتباطی، از ظرفیت کامل اتصال داده استفاده نمی‌نمایند. برای کارایی بیشتر، این امکان باید وجود داشته باشد که این ظرفیت، به اشتراک گذاشته شود. واژه عمومی این اشتراک، مالتی پلکسینگ است.

فصل ۸، بر سه نوع از متداول‌ترین انواع تکنیک‌های مالتی پلکسینگ متمرکز می‌شود. اولین آنها، مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس (FDM) است، که گسترده‌ترین آنها می‌باشد و برای هر فردی که رادیو و تلویزیون استفاده می‌کند، شناخته شده است. دومی، حالت خاصی از مالتی پلکسینگ تقسیم زمانی (TDM) است، که اغلب با عنوان TDM سنکرون شناخته می‌شود. این روش معمولاً برای صوت دیجیتال استفاده می‌شود. نوع سوم، شکل دیگری از TDM می‌باشد که پیچیده‌تر است، اما کارایی بیشتری از TDM سنکرون دارد؛ این نوع، با عنوان TDM آسنکرون یا آماری شناخته می‌شود.

فصل ۹ طیف پراکنده

شکل روبه گسترشی از ارتباطات بی‌سیم، با عنوان طیف پراکنده شناخته می‌شود. دو روش عمومی استفاده می‌شود: طیف پراکنده پخش فرکانس و دنباله مستقیم. فصل ۹ دیدگاهی از هر دو تکنیک را فراهم می‌نماید. همچنین این فصل به مفهوم تقسیم کد با دسترسی چندگانه (CDMA) توجه دارد، که کاربردی از طیف پراکنده برای فراهم نمودن دسترسی چندگانه می‌باشد.

انتقال داده

- ۳-۱ مفاهیم و واژه‌ها
واژه‌های انتقال
فرکانس، طیف، و پهنای باند
 - ۳-۲ انتقال داده آنالوگ و دیجیتال
داده‌های آنالوگ و دیجیتال
سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال
انتقال آنالوگ و دیجیتال
 - ۳-۳ موانع انتقال
تضعیف
اعوجاج تأخیر
نویز
 - ۴-۴ ظرفیت کانال
پهنای باند Nyquist
فرمول ظرفیت Shannon
عبارت E_b/N_0
 - ۳-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر
 - ۳-۶ واژه‌های کلید، سؤالات و مسائل
واژه‌های کلیدی
سؤالات
مسائل
- ضمیمه ۳-الف دسیبل و قوت سیگنال

نکات کلیدی

- تمام شکل‌های اطلاعات بحث شده در این کتاب (صوت، داده، تصویر، ویدئو)، می‌توانند با سیگنال‌های الکترومغناطیسی نمایش داده شوند. برحسب نوع رسانه انتقال، و تجهیزات ارتباطی، سیگنال‌های آنالوگ یا دیجیتال می‌توانند برای ارسال اطلاعات استفاده شوند.
- هر سیگنال الکترومغناطیسی، آنالوگ یا دیجیتال، از چندین فرکانس تشکیل شده است. پارامتر کلیدی مشخص‌کننده این سیگنال، پهنای باند است، که پهنای محدوده فرکانس‌هایی است که سیگنال را تشکیل می‌دهند. در حالت کلی، هر چه پهنای باند سیگنال بیشتر باشد، ظرفیت حمل اطلاعات آن نیز بیشتر است.
- مشکل عمده در طراحی امکانات ارتباطی، موانع ارتباطی است. مهمترین موانع عبارتند از: تضعیف، اعوجاج تضعیف، اعوجاج تأخیر، و انواع نویز. شکل‌های گوناگون نویز عبارتند از: نویز حرارتی، نویز مدولاسیون، القاء جانبی، و نویز ایمپالس. برای سیگنال‌های آنالوگ، موانع انتقال، اثرات تضادفی در پی دارند که کیفیت اطلاعات دریافتی را کاهش می‌دهند و ممکن است بر قابلیت فهم تأثیر گذارند. برای سیگنال‌های دیجیتال، موانع انتقال، ممکن است باعث خطاهای بیتی در سمت گیرنده شوند.
- طراح امکانات ارتباطی، باید چهار عامل را در نظر داشته باشد: پهنای باند سیگنال، سرعت انتقال داده‌ای که برای اطلاعات دیجیتال استفاده می‌شود، میزان نویز و موانع دیگر، و سطح میزان خطایی که قابل قبول می‌باشد. پهنای باند، با رسانه انتقال و تمایل برای اجتناب از تداخل با سیگنال‌های مجاور دیگر، محدود می‌شود. چون پهنای باند منبعی محدود است، تمایل، در به حداکثر رساندن سرعت انتقال داده، با پهنای باند مشخص می‌باشد. سرعت انتقال داده، با پهنای باند، وجود موانع، و سرعت خطای قابل قبول، محدود می‌شود.

انتقال موفقیت‌آمیز داده‌ها بستگی به دو عامل اصلی دارد: کیفیت سیگنالی که منتقل می‌شود، و خصوصیات رسانه انتقال. هدف از این فصل و فصل بعدی، فراهم نمودن ادراکی از ماهیت این دو عامل می‌باشد. اولین بخش، مفاهیم و واژه‌هایی را از فیلد مهندسی برق ارائه می‌دهد. این بخش، زمینه‌ای کافی را برای مفاهیم باقیمانده فصل، فراهم می‌نماید. بخش ۲-۳، استفاده از واژه‌های آنالوگ و دیجیتال را روشن می‌کند. داده‌های آنالوگ یا دیجیتال می‌توانند با استفاده از سیگنال‌های آنالوگ یا دیجیتال ارسال شوند. علاوه بر آن، امکان انجام پردازش‌های میانی بین مبدأ و مقصد وجود دارد، و این پردازش‌ها، خاصیت آنالوگ یا دیجیتال دارند. بخش ۳-۳ به دنبال موانع گوناگونی می‌گردد که می‌توانند خطاهایی را در ضمن انتقال داده‌ها ایجاد نمایند. عمده‌ترین موانع عبارتند از تضعیف، اعوجاج تضعیف، اعوجاج تأخیر، و انواع نویز. در نهایت، مفاهیم مهم مربوط به ظرفیت کانال بررسی می‌شوند.

در این بخش، برخی مفاهیم و واژه‌هایی مطرح می‌شوند که در ادامه این فصل و در بخش دوم به آنها مراجعه می‌شود.

واژه‌های انتقال

انتقال داده‌ها بین فرستنده و گیرنده بر روی یک رسانه انتقال انجام می‌شود. رسانه انتقال می‌تواند به صورت هدایت شده یا هدایت نشده طبقه‌بندی گردد. در هر دو حالت، ارتباط به شکل امواج الکترومغناطیسی انجام می‌گیرد. در یک رسانه هدایت شده، امواج در یک مسیر فیزیکی هدایت می‌شوند؛ مثلاً هادی از رسانه هدایت شده، زوج‌های تابیده شده، کابل کواکسیال، و فیبر نوری می‌باشند. رسانه هدایت نشده، که بی‌سیم نیز نامیده می‌شود، امکانی را برای انتقال از طریق امواج الکترومغناطیسی فراهم می‌نماید، اما آنها را هدایت نمی‌کند؛ برای مثال، انتشار از طریق هوا، خلاء و آب دریا.

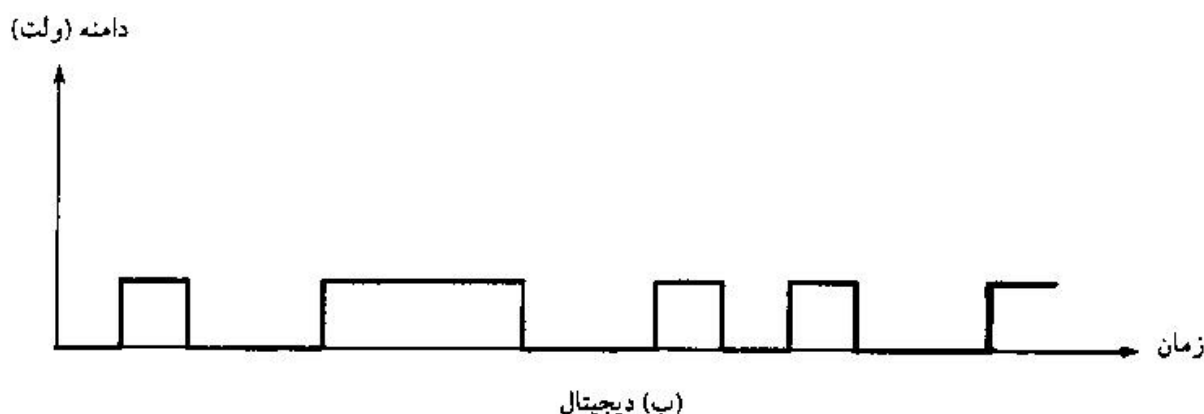
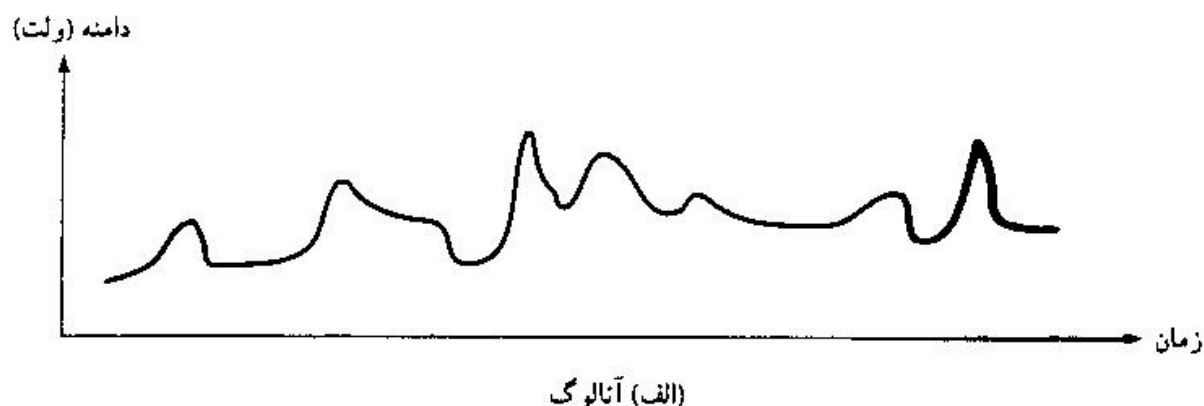
واژه اتصال مستقیم، برای اشاره به مسیر انتقال بین دو دستگاهی استفاده می‌شود که سیگنالها در آن به طور مستقیم از فرستنده به گیرنده منتشر می‌شوند. این عمل، بدون دستگاههای میانی، به جز تقویت کننده‌ها یا تکرار کننده‌های استفاده شده برای افزایش قدرت سیگنال، انجام می‌گیرد. توجه داشته باشید که این واژه می‌تواند برای رسانه هدایت شده و هدایت نشده به کار رود.

یک رسانه انتقال هدایت شده، نقطه به نقطه است اگر اتصال مستقیمی بین دو دستگاه برقرار نماید، و آنها تنها دو دستگاهی باشند که رسانه را به اشتراک می‌گذارند. در پیکر بندی چند نقطه‌ای هدایت شده، بیش از دو دستگاه، یک رسانه را به اشتراک می‌گذارند.

یک انتقال می‌تواند simplex، half duplex، یا full duplex باشد. در انتقال simplex، سیگنالها فقط در یک جهت ارسال می‌شوند؛ یک ایستگاه فرستنده، و دیگری گیرنده است. در عمل half duplex، هر دو ایستگاه می‌توانند ارسال نمایند، اما فقط در هر دفعه یکی از آنها. در عمل full duplex، هر دو ایستگاه می‌توانند همزمان ارسال نمایند. در این حالت، رسانه، سیگنالها را در هر دو جهت در یک زمان حمل می‌نماید. این مورد چگونه قابل توضیح است؟ باید توجه نمود که تعاریف گفته شده، آنهایی هستند که در ایالات متحده استفاده می‌شوند (تعاریف ANSI). در جای دیگر (تعاریف ITU-T)، واژه simplex معادل با half duplex استفاده می‌شود، و duplex معادل است با واژه full duplex.

فرکانس، طیف، و پهنای باند

در این کتاب، به بررسی سیگنالهای الکترومغناطیسی استفاده شده برای انتقال داده‌ها می‌پردازیم. در نقطه ۳ در شکل (۱-۲)، سیگنالی توسط فرستنده تولید می‌شود و از طریق رسانه ارسال می‌گردد. این سیگنال، تابعی از زمان است، اما می‌تواند تابعی از فرکانس نیز به حساب آورده شود؛ یعنی، این سیگنال شامل مؤلفه‌هایی با فرکانسهای متفاوت است. به نظر می‌رسد دیدگاه محدوده فرکانسی یک سیگنال، مهمتر از فهم ارسال داده با دیدگاه محدوده زمانی است. هر دو دیدگاه در اینجا بررسی می‌شوند.



شکل ۱-۳ شکل موج‌های آنالوگ و دیجیتال

مفاهیم محدوده زمانی

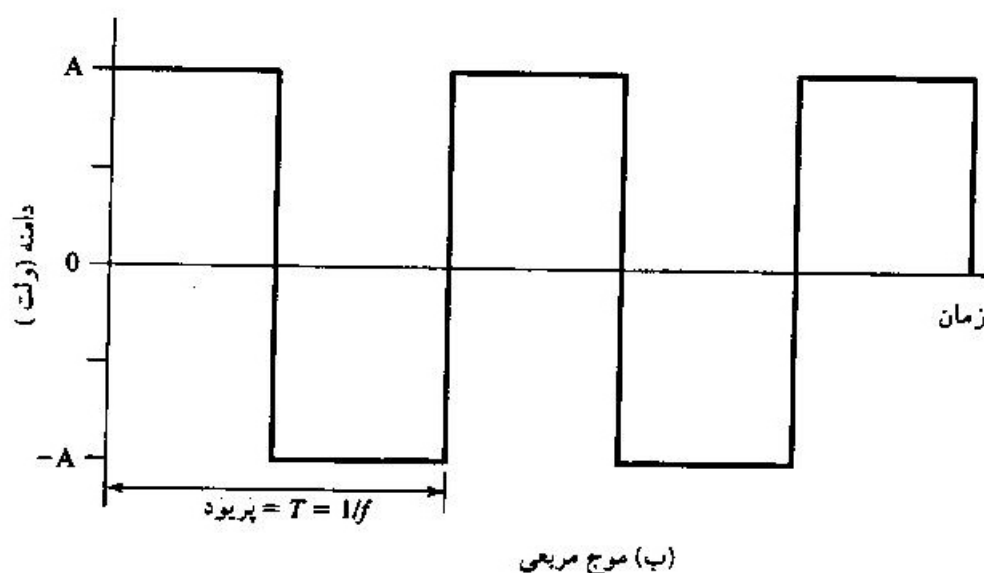
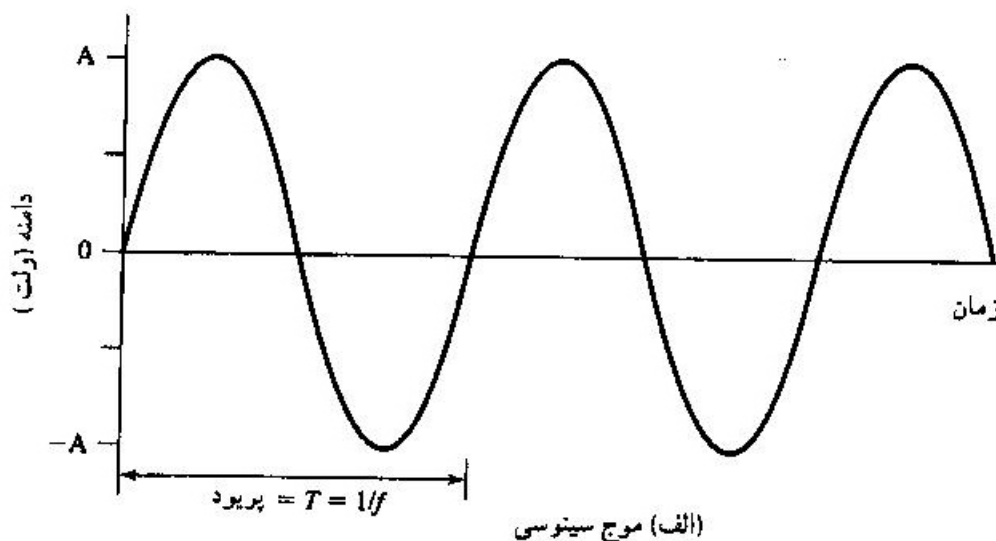
سیگنال الکترومغناطیسی که تابعی از زمان می‌باشد، می‌تواند آنالوگ یا دیجیتال باشد. سیگنال آنالوگ سیگنالی است که شدت آن نسبت به زمان به تدریج تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، هیچگونه شکست یا عدم پیوستگی در سیگنال وجود ندارد.^۱ سیگنال دیجیتال، سیگنالی است که شدت آن برای مدتی از زمان سطح ثابتی دارد و سپس سطح آن به مقدار ثابت دیگری تغییر می‌نماید.^۲ شکل (۱-۳) مثالی از هر نوع سیگنال را نشان می‌دهد. سیگنال پیوسته می‌تواند نشان دهنده صحبت باشد و سیگنال گسسته می‌تواند ۱ها و صفرهای باینری را نشان دهد.

ساده‌ترین نوع سیگنال، سیگنال پریودیک است، که یک الگوی ثابت در طول زمان تکرار می‌شود. شکل (۲-۳) مثالی است از سیگنال پیوسته پریودیک (موج سینوسی) و یک سیگنال گسسته پریودیک (موج مربعی). از نظر ریاضی، سیگنال $S(t)$ پریودیک است اگر و فقط اگر

$$s(t + T) = s(t) \quad -\infty < t < +\infty$$

که ثابت T پریود سیگنال می‌باشد (T کوچکترین مقداری است که در این معادله صدق می‌کند). در غیر این

۱- تعریف ریاضی آن اینگونه است: سیگنال $s(t)$ پیوسته است اگر $\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a)$ for all a
 ۲- این یک تعریف ایده آل است. در واقع، تغییر حالت از یک سطح ولتاژ به دیگری آنی نخواهد بود، بلکه مدت زمان کوتاهی برای تغییر لازم است. به هر حال، سیگنال دیجیتال واقعی تا حد زیادی به مدل ایده آل با سطوح ولتاژ ثابت با تغییر حالت‌های آنی نزدیک است.



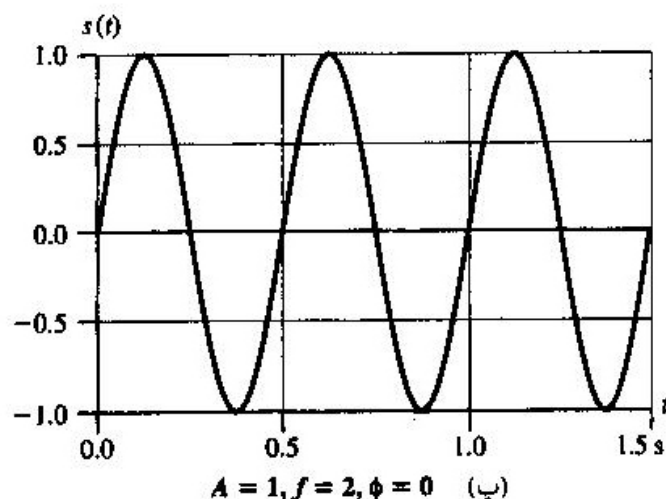
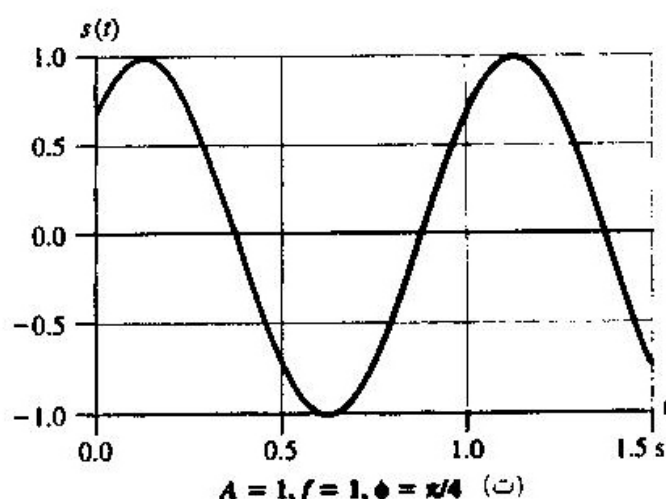
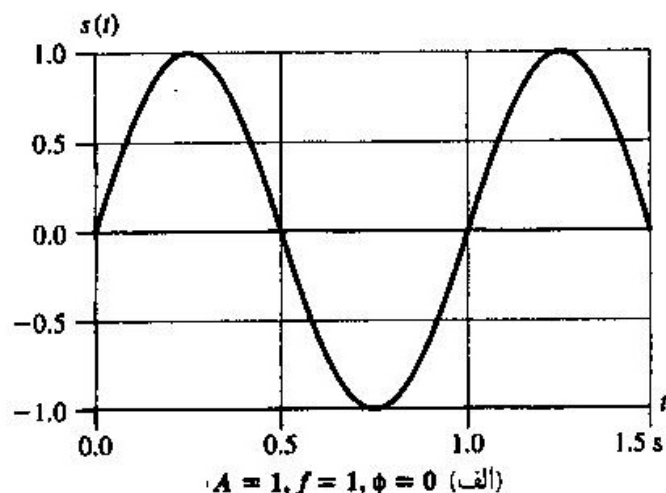
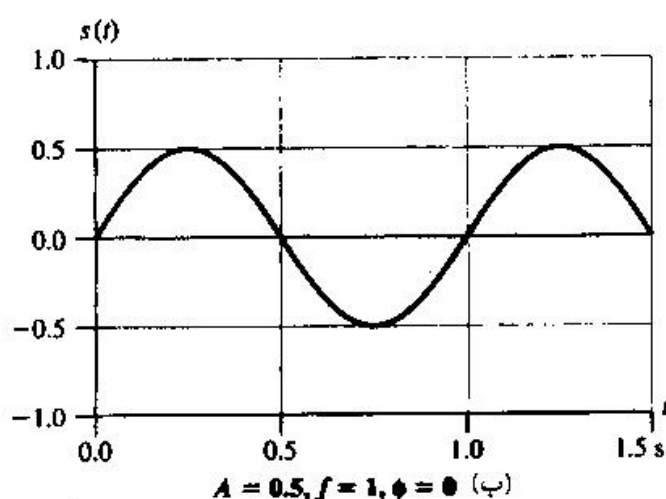
شکل ۲-۳ مثالهایی از سیگنالهای پریودیک

صورت، این سیگنال، غیرپریودیک است.

موج سینوسی، یک سیگنال پریودیک بنیادی است. یک موج سینوسی عمومی می‌تواند با استفاده از سه پارامتر نشان داده شود: دامنه پیک (A)، فرکانس (f)، و فاز (ϕ). دامنه پیک، حداکثر مقدار یا قوت سیگنال در طول زمان می‌باشد؛ به طور معمول، این مقدار برحسب ولت اندازه‌گیری می‌شود. فرکانس، سرعت [برحسب سیکل بر ثانیه یا هرتز (Hz)] تکرار سیگنال است. پارامتر معادل آن، پریود سیگنال (T) است، که زمان لازم برای یک تکرار می‌باشد؛ بنابراین، $T = 1/f$. فاز، اندازه نسبی مکانی در یک پریود سیگنال در طول زمان است. به طور رسمی‌تر، برای یک سیگنال پریودیک $f(t)$ ، فاز، مقدار جزء اعشاری t/T از پریود T است که نسبت به یک مبدأ دلخواه جلو می‌رود. این مبدأ معمولاً نسبت به آخرین عبور از صفر، از جهت منفی به مثبت می‌باشد.

موج سینوسی عمومی اینگونه نوشته می‌شود:

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$



$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi) \quad \text{شکل ۳-۳}$$

شکل (۳-۳) اثر تغییر هر یک از این سه پارامتر را نشان می‌دهد. در بخش (الف) این شکل، فرکانس ۱ Hz است؛ بنابراین، پریود آن $T = 1$ ثانیه می‌باشد. بخش (ب) همان فرکانس و فاز را دارد اما دامنه پیک آن 0.5 است. در بخش (پ)، $f = 2$ است، که معادل است با $T = 0.5$. در نهایت، بخش (ت)، اثر انتقال فاز $\pi/4$ رادیان را که معادل 45° درجه می‌باشد، نشان می‌دهد (2π رادیان $= 360^\circ = 1$ پریود).

در شکل (۳-۳)، محور افقی زمان است؛ این گرافها، مقدار یک سیگنال را در نقطه‌ای از فضا به صورت تابعی از زمان نشان می‌دهند. این گرافهای مشابه، با تغییر مقیاس، می‌توانند با محور افقی، در فضا استفاده شوند. در این حالت، این گرافها، مقدار سیگنال را در نقطه‌ای در زمان، به صورت تابعی از فاصله نشان خواهند داد. برای مثال، برای ارسال سینوسی (مانند موج رادیویی الکترومغناطیسی یا فاصله از آنتن رادیویی، یا سیگنال صوتی با فاصله‌ای از بلندگو)، در لحظه خاصی از زمان، شدت سیگنال، به شکل موج سینوسی به صورت تابعی از فاصله از مبدأ تغییر می‌کند.

رابطه ساده‌ای بین این دو موج سینوسی وجود دارد، یکی در زمان، و دیگری در فضا. طول موج، که با λ نمایش داده می‌شود، فاصله اشغال شده توسط یک سیکل سیگنال یا به عبارت دیگر، فاصله بین دو نقطه با فاز یکسان در دو سیکل متوالی می‌باشد. فرض کنید که سیگنال با سرعت v حرکت می‌کند. بنابراین، طول موج، با

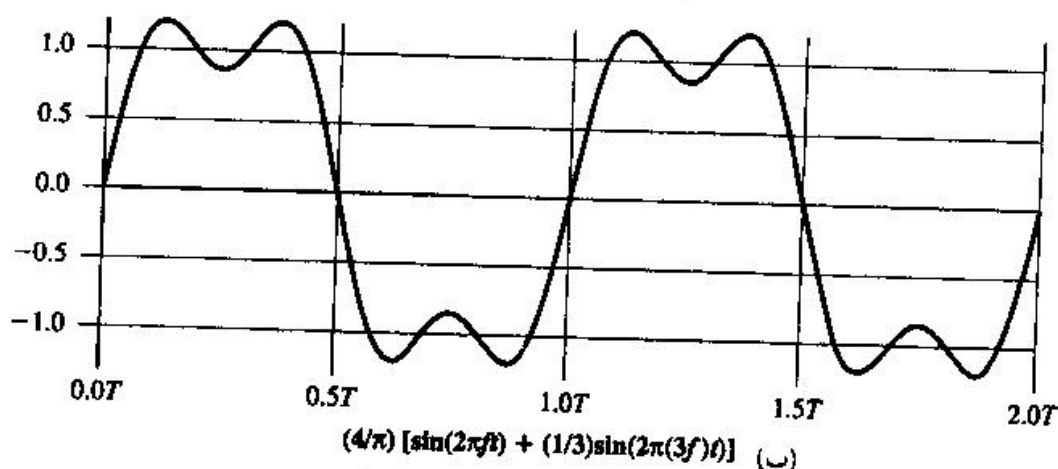
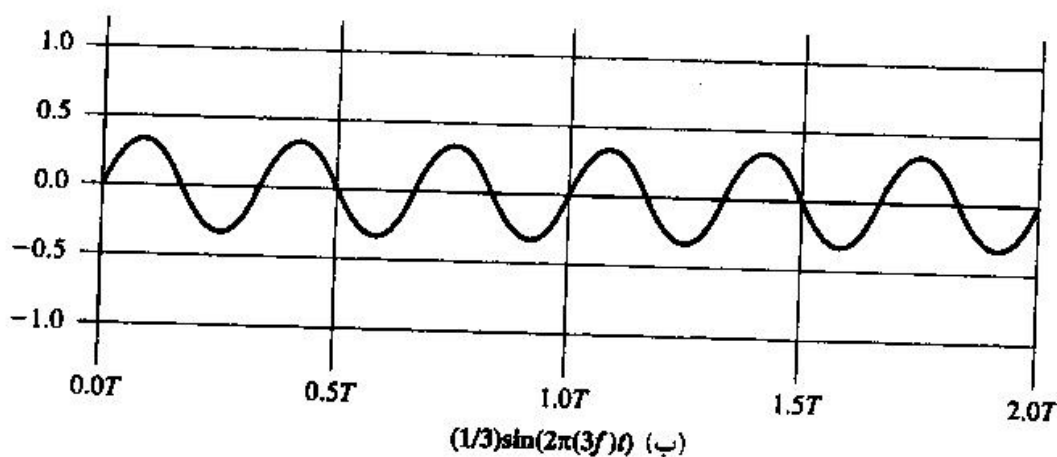
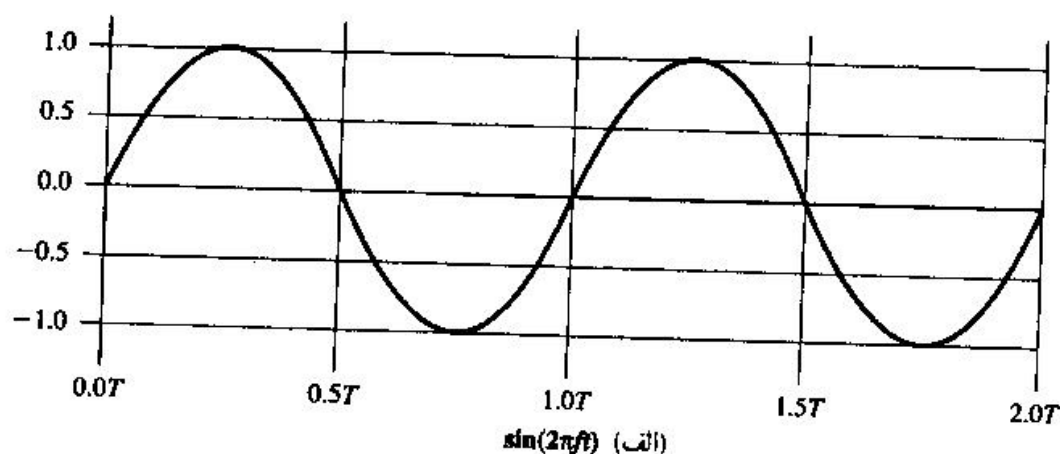
پریود اینگونه مرتبط است: $\lambda = vT$. به طور مشابه، $\lambda f = v$. حالت خاص این بحث زمانی است که $v = c$ باشد، یعنی سرعت نور در فضای آزاد، که تقریباً 3×10^8 m/s است.

مفاهیم محدوده فرکانسی

در عمل، سیگنال الکترومغناطیسی از چندین فرکانس تشکیل می‌شود. برای مثال، سیگنال:

$$s(t) = (4/\pi) \times (\sin(2\pi ft) + (1/3) \sin(2\pi(3f)t))$$

در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. مؤلفه‌های این سیگنال فقط امواج سینوسی با فرکانس‌های f و $3f$



شکل ۳-۴ جمع مؤلفه‌های فرکانسی $(T = \frac{1}{f})$

می‌باشند؛ بخش‌های (الف) و (ب) از این شکل، این مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد. دو نکته جالب در مورد این شکل وجود دارد:

- دومین فرکانس، مضرب صحیحی از اولین فرکانس است. هنگامی که تمام مؤلفه‌های فرکانس سیگنال، مضرب صحیحی از یک فرکانس باشند، این فرکانس را فرکانس پایه می‌نامند.
- پریود کلی سیگنال معادل است با پریود فرکانس پایه. پریود مؤلفه $\sin(2\pi ft)$ برابر است با $T = 1/f$ ، و پریود $s(t)$ نیز T است، همانطور که در شکل (۳-۴-ب) نشان داده شده است.

با استفاده از تحلیل فوریه می‌توان نشان داد که هر سیگنال، از چندین مؤلفه با فرکانسهای متعدد تشکیل شده است، و هر مؤلفه آن سینوسی است. با افزودن تعداد کافی از سیگنالهای سینوسی، هر یک با دامنه، فرکانس، و فاز مناسب، هر سیگنال الکترومغناطیسی قابل ساخت است. به عبارت دیگر، هر سیگنال الکترومغناطیسی، شامل مجموعه‌ای از سیگنالهای آنالوگ پریودیک (امواج سینوسی) با دامنه‌ها، فرکانسها، و فازهای مختلف می‌باشد. اهمیت توجه به سیگنال از جنبه فرکانس (محدوده فرکانسی) به جای جنبه زمانی (محدوده زمانی) باید در ادامه بحث روشن شود. برای خواننده علاقمند، موضوع تحلیل فوریه در ضمیمه (ب) معرفی شده است.

بنابراین می‌توان گفت که برای هر سیگنال، تابع محدوده زمانی $s(t)$ وجود دارد که دامنه سیگنال را در هر لحظه از زمان مشخص می‌کند. به طور مشابه، تابع محدوده فرکانسی $S(f)$ وجود دارد که دامنه پیک فرکانسهای تشکیل دهنده را تعیین می‌نماید. شکل (۳-۵-الف) تابع دامنه فرکانسی را برای سیگنال شکل (۳-۴-ب) نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که در این حالت، $S(f)$ گسسته است. شکل (۳-۵-ب) تابع محدوده فرکانسی را برای یک پالس مربع نشان می‌دهد که مقدار ۱ را بین $-X/2$ و $X/2$ دارد و در جاهای دیگر صفر است.^۱ توجه داشته باشید که در این حالت، $S(f)$ پیوسته است و مقادیر غیر صفر نامحدودی دارد، اگرچه دامنه مؤلفه‌های فرکانسی به سرعت برای f های بزرگ، کمتر می‌شود. این خصوصیات، برای سیگنالهای واقعی مشترک هستند.

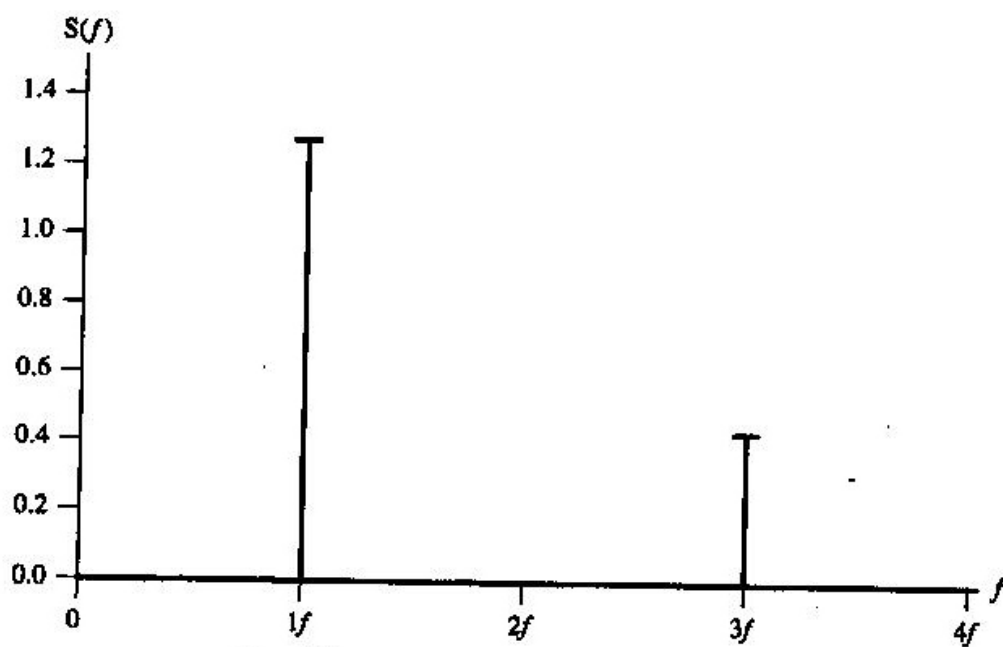
طیف یک سیگنال، رنج فرکانسهای آن است. برای سیگنال شکل (۳-۴-ب)، این طیف، از f تا $3f$ توسعه می‌یابد. پهنای باند مطلق یک سیگنال، عرض این طیف می‌باشد. در حالت شکل (۳-۴-ب)، این پهنای باند، $2f$ است. بسیاری از سیگنالها، مانند شکل (۳-۵-ب)، پهنای باند بی‌نهایت دارند. به هر حال، اکثر انرژی این سیگنال، در باند نسبتاً باریکی از فرکانسها قرار دارد. این باند، پهنای باند مؤثر یا فقط پهنای باند نامیده می‌شود.

آخرین واژه‌ای که باید تعریف شود، مؤلفه DC است. اگر یک سیگنال شامل مؤلفه فرکانس صفر باشد، آن مؤلفه، جریان مستقیم (dc) یا مؤلفه ثابت نامیده می‌شود. برای مثال، شکل (۳-۶) نتیجه جمع نمودن یک مؤلفه dc را با سیگنال ۳-۴ (ج) نشان می‌دهد. بدون مؤلفه dc، یک سیگنال، دامنه متوسط صفر دارد، همانگونه که در محدوده زمانی دیده می‌شود. با مؤلفه dc، دارای مؤلفه $= 0$ f و یک دامنه متوسط غیر صفر است.

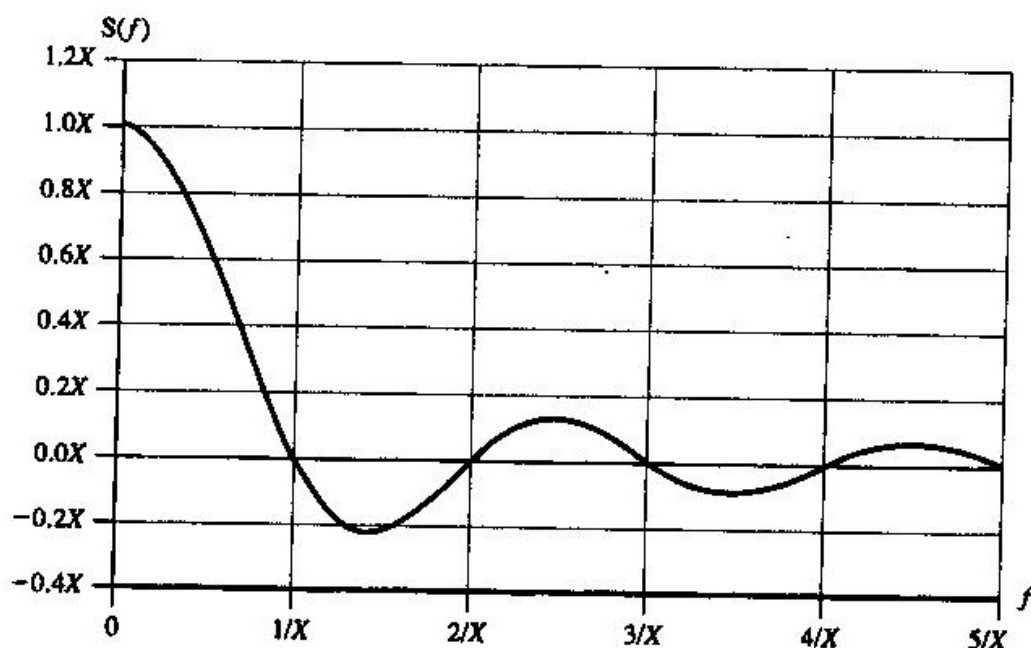
رابطه بین سرعت انتقال داده و پهنای باند

قبلاً اشاره شد که پهنای باند مؤثر، باندی است که در آن، اکثر انرژی سیگنال متمرکز شده است. واژه اکثر در اینجا

۱- در واقع، تابع $s(t)$ برای این حالت، نسبت به $t = 0$ متقارن است و بنابراین مقادیری برای فرکانسهای منفی دارد. وجود فرکانسهای منفی جنبه ریاضی دارد که توضیح آن خارج از محدوده این کتاب است.



$$s(t) = (4/\pi)[\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3f)t)] \quad (\text{الف})$$

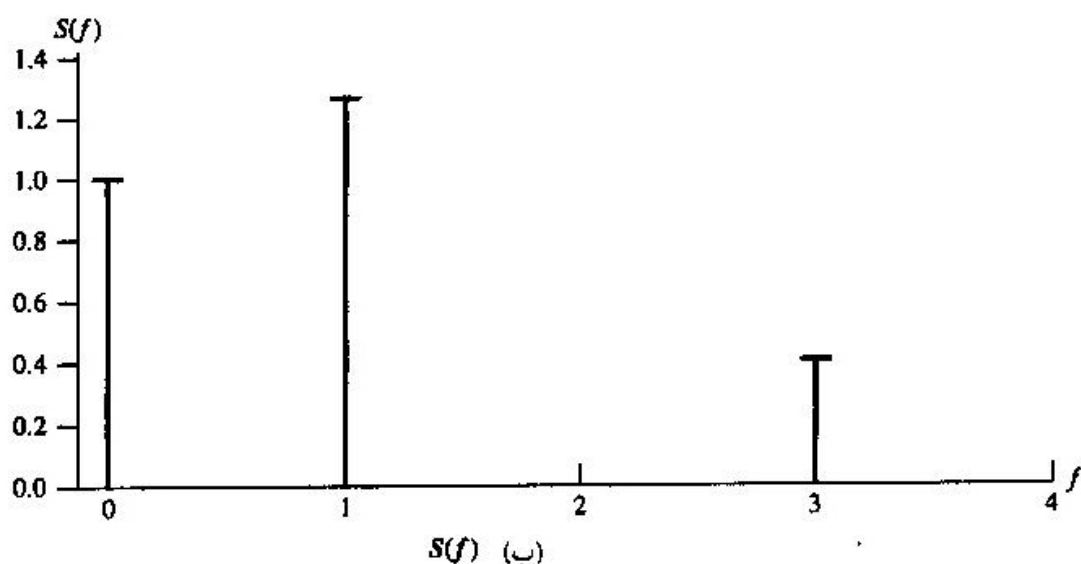
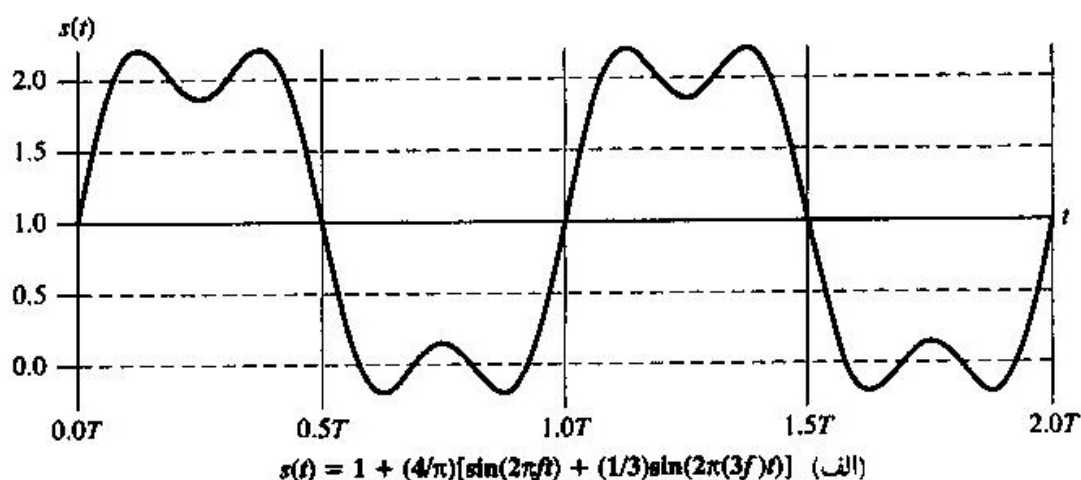


$$-X/2 \leq t \leq X/2 \quad s(t) = 1 \quad (\text{ب})$$

شکل ۵-۳ نمایش‌های محدوده فرکانس

دلخواه است. مورد مهم این است که، اگرچه یک شکل موج می‌تواند حاوی فرکانس‌هایی در رنج خیلی گسترده باشد، در یک مورد خاص، هر سیستم انتقال (فرستنده همراه با رسانه و گیرنده) خواهد توانست باند محدودی از فرکانسها را دربرگیرد. این عمل، خود باعث محدود شدن سرعت انتقال داده‌ای می‌شود که می‌تواند از طریق رسانه انتقال حمل شود.

به منظور توضیح این روابط، موج مربعی شکل (۲-۳-ب) را در نظر بگیرید. فرض کنید که یک پالس مثبت، مقدار باینری صفر، و پالس منفی، مقدار باینری ۱ را نشان می‌دهد. در این صورت، این شکل موج، دنباله مقادیری باینری ... ۰۱۰۱ را نشان می‌دهد. مدت هر پالس برابر $\frac{1}{2f}$ می‌باشد. بنابراین، سرعت انتقال داده، $2f$ بیت در ثانیه

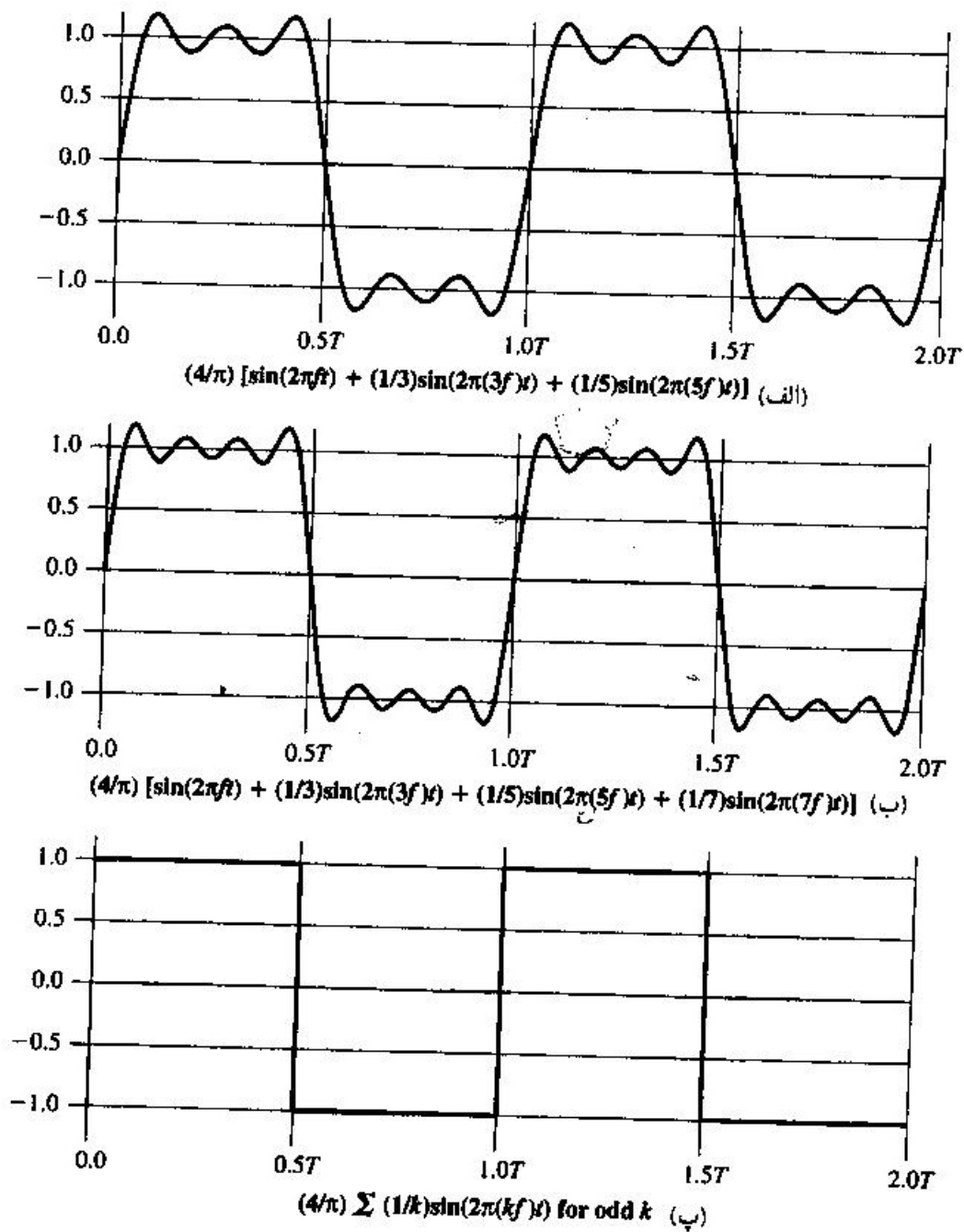


شکل ۳-۶ سیگنالی با مؤلفه DC

(bps) است. مؤلفه‌های فرکانسی این سیگنال چیست؟ به منظور پاسخ به این سؤال، مجدد شکل (۳-۴) را در نظر بگیرید. با افزودن امواج سینوسی با فرکانسهای f و $3f$ ، شکل موجی به دست می‌آید که به شکل موج مربعی اولیه نزدیک می‌شود. این فرآیند را با افزودن موج سینوسی با فرکانس $5f$ ادامه می‌دهیم، همانند شکل (۳-۷-الف)، و سپس موج سینوسی با فرکانس $7f$ افزوده می‌شود، مانند شکل (۳-۷-ب). با افزودن مضارب فرد دیگری از f که مقیاس مناسبی داشته باشند، شکل موج نتیجه، به موج مربعی نزدیک‌تر و نزدیک‌تر می‌شود. علاوه بر آن، نشان داده می‌شود که مؤلفه‌های فرکانس این موج مربعی با دامنه‌های A و $-A$ اینگونه بیان می‌شوند:

$$s(t) = A \times \frac{4}{\pi} \times \sum_{k \text{ odd}, k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi kft)}{k}$$

بنابراین، شکل موج مذکور، تعداد بی‌نهایت مؤلفه فرکانسی دارد و در نتیجه پهنای باند آن بی‌نهایت است. به هر حال، دامنه پیک مؤلفه فرکانسی ka ، یعنی kf ، فقط $\frac{1}{k}$ می‌باشد، بنابراین اکثر انرژی این شکل موج، در چند مؤلفه



شکل ۷-۳ مؤلفه‌های فرکانسی موج سینوسی $(T = \frac{1}{f})$

فرکانسی اولیه است. چه اتفاقی می‌افتد اگر این پهنای باند فقط به اولین سه مؤلفه فرکانسی محدود شود؟ پاسخ آن قبلاً در شکل (۷-۳ - الف) دیده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، شکل موج نتیجه، تا حد قابل قبولی نزدیک به موج مربعی اصلی است.

با استفاده از شکل‌های ۴-۳ و ۷-۳، می‌توان رابطه بین سرعت انتقال داده و پهنای باند را نشان داد. فرض کنید یک سیستم انتقال دیجیتال را استفاده می‌نمائیم، که قادر به ارسال سیگنالهایی با پهنای باند ۴ MHz است. حال، می‌خواهیم دنباله‌ای از ۱ها و صفرهای متوالی را به صورت موج مربعی شکل (۷-۳ - پ) ارسال نمائیم. چه سرعت انتقال داده‌ای به دست می‌آید؟ سه حالت را مورد توجه قرار می‌دهیم:

حالت I. موج مربعی را با شکل موج شکل (۷-۳-الف) تقریب می‌زنیم. اگرچه این شکل موج، اعوجاج یافته موج مربعی است، ولی به اندازه کافی به موج مربعی قابل آشکارسازی توسط گیرنده برای تشخیص صفر و ۱ باینری نزدیک است. اگر $f = 10^6$ سیکل بر ثانیه یا برابر ۱ MHz باشد، پهنای باند سیگنال اینگونه است:

$$s(t) = \frac{4}{\pi} \times \left[\sin((2\pi \times 10^6)t) + \frac{1}{3} \sin((2\pi \times 3 \times 10^6)t) + \frac{1}{5} \sin((2\pi \times 5 \times 10^6)t) \right]$$

که $4 \text{ MHz} = 10^6 - (0.5 \times 10^6)$. توجه داشته باشید که برای $f = 1 \text{ MHz}$ ، پریود فرکانس پایه برابر است با: μs $T = \frac{1}{f} = 10^{-6} = 1$. اگر این شکل موج به صورت رشته‌ای از بیت‌های صفر و ۱ باشد، هر بیت در $0.5 \mu s$ ظاهر می‌شود، که معادل سرعت انتقال $2 \text{ Mbps} = 2 \times 10^6$ است. بنابراین، برای پهنای باند ۴ MHz، سرعت انتقال داده ۲ Mbps به دست می‌آید.

حالت II. اینک فرض کنید که پهنای باند ۸ MHz را در اختیار داریم. مجدداً به شکل (۷-۳-الف) توجه کنید، اما اینک با $f = 2 \text{ MHz}$. با دنبال کردن همان خط استدلال قبلی، پهنای باند سیگنال برابر است با ۸ MHz $= 2 \times 10^6 - (0.5 \times 2 \times 10^6)$. اما در این حالت، $T = \frac{1}{f} = 0.5 \mu s$ ، در نتیجه، هر بیت در $0.25 \mu s$ ظاهر می‌شود با سرعت انتقال داده ۴ Mbps. بنابراین، با یکسان بودن موارد دیگر، در صورت دو برابر شدن پهنای باند، پتانسیل سرعت انتقال داده دو برابر می‌شود.

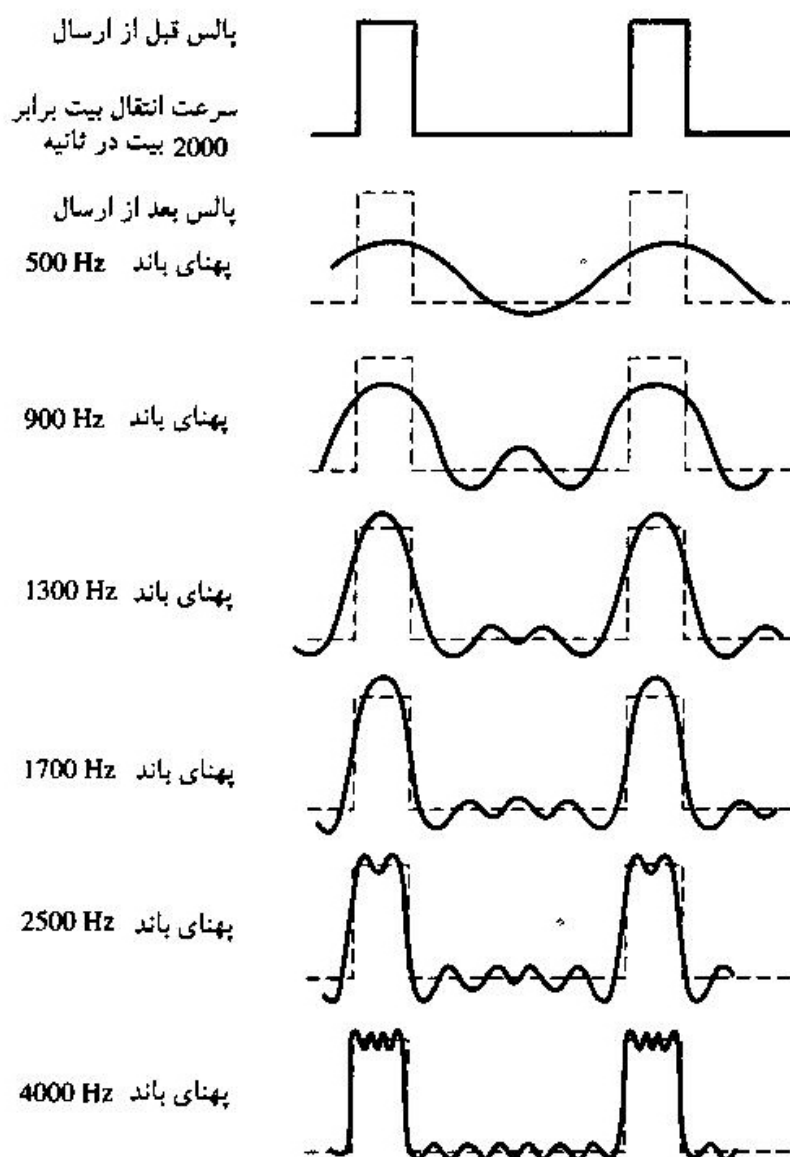
حالت III. اینک فرض کنید که شکل موج شکل (۴-۳-ج) برای تقریب زدن موج مربعی مناسب می‌باشد. یعنی، تفاوت بین پالس مثبت و منفی در شکل (۴-۳-ج) به اندازه کافی متفاوت باشد که این شکل موج، با موفقیت برای نشان دادن دنباله‌ای از صفرها و ۱ها استفاده شود. مانند حالت II فرض کنید که $f = 2 \text{ MHz}$ و μs $T = \frac{1}{f} = 0.5$ ، به طوری که هر بیت در $0.25 \mu s$ با سرعت انتقال داده ۴ Mbps ظاهر شود. با استفاده از شکل موج شکل (۴-۳-ج)، پهنای باند سیگنال برابر است با ۴ MHz $= (2 \times 10^6) - (3 \times 2 \times 10^6)$. بنابراین، یک پهنای باند، می‌تواند سرعت انتقال داده متفاوتی را حمایت کند، برحسب توانایی گیرنده برای این که بتواند تفاوت بین صفرها و ۱ها را با وجود نویز و موانع دیگر، تشخیص دهد.

به طور خلاصه:

- حالت I: پهنای باند = ۴ MHz؛ سرعت انتقال داده = ۲ Mbps
- حالت II: پهنای باند = ۸ MHz؛ سرعت انتقال داده = ۴ Mbps
- حالت III: پهنای باند = ۴ MHz؛ سرعت انتقال داده = ۴ Mbps

نتیجه زیر از بحث قبلی گرفته می‌شود. در حالت کلی، هر شکل موج دیجیتالی، پهنای باند بی‌نهایت دارد. اگر سعی در انتقال این شکل موج، به عنوان سیگنال، از طریق رسانه داشته باشیم، سیستم انتقال، پهنای باند قابل ارسال را محدود می‌نماید. علاوه بر آن، برای هر رسانه، هر چه پهنای باند ارسال بیشتر باشد، هزینه آن بیشتر است. بنابراین، از طرف دیگر، دلایل اقتصادی و عملی باعث می‌شوند اطلاعات دیجیتالی، با سیگنالی با پهنای باند محدود، تقریب زده شود. از طرف دیگر، محدود نمودن پهنای باند، باعث اعوجاج می‌شود، که باعث مشکل‌تر شدن تفسیر سیگنال دریافت شده می‌گردد. هر چه پهنای باند محدودتر باشد، اعوجاج بیشتر است، و پتانسیل خطا توسط گیرنده نیز افزایش می‌یابد.

بیت ها: 1 0 1 1 1 1 0 1 1



شکل ۸-۳ اثر پهنای باند در سیگنال دیجیتال

یک نمایش دیگر ارائه می شود تا این مفاهیم را دوباره نشان دهد. شکل (۸-۳)، دنباله ای از بیت های دیجیتالی را همراه با سرعت انتقال داده ۲۰۰۰ بیت در ثانیه نشان می دهد. با پهنای باند ۲۵۰۰ Hz یا حتی ۱۷۰۰ Hz، این نمایش هنوز خوب است. علاوه بر آن، این نتایج را می توان تعمیم داد. اگر سرعت انتقال داده سیگنال دیجیتال، W bps باشد، در این صورت، نمایش خیلی خوبی با پهنای باند ۲W Hz به دست می آید. به هر حال، اگر نویز خیلی زیاد نباشد، الگوی بیت های ارسالی، می تواند با پهنای باندی کمتر از این هم ترمیم شود (به بحث مربوط به ظرفیت کانال در بخش ۴-۳ مراجعه نمایید).

بنابراین، رابطه مستقیمی بین سرعت انتقال داده و پهنای باند وجود دارد؛ هر چه سرعت انتقال سیگنال بیشتر باشد، پهنای باند مؤثر آن نیز بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر، هر چه پهنای باند سیستم انتقال بیشتر باشد، سرعت انتقال داده ای که در این سیستم قابل ارسال است نیز بیشتر خواهد بود.

مشاهده دیگر این است که: اگر در نظر گرفته شود که پهنای باند سیگنال بر روی یک فرکانس به نام فرکانس مرکزی متمرکز شود، در این صورت، هر چه فرکانس مرکزی بیشتر باشد، پهنای باند نیز بیشتر خواهد بود و بنابراین، سرعت انتقال داده نیز بیشتر خواهد شد. برای مثال، اگر یک سیگنال در ۲ MHz مرکزیت داشته باشد، حداکثر پهنای باند آن ۴ MHz خواهد بود. در بخش ۳-۴، پس از بررسی موانع انتقال، به بحث مربوط به رابطه بین پهنای باند و سرعت انتقال داده باز می‌گردیم.

۳-۲ انتقال داده آنالوگ و دیجیتال

واژه‌های آنالوگ و دیجیتال، به ترتیب با پیوسته و گسسته متناظرند. این واژه به دفعات در ارتباطات داده‌ها در حداقل سه زمینه، به کار می‌روند: داده، سیگنالینگ، و انتقال.

به طور خلاصه، داده، موجودیتی است که حاوی معنی، یا اطلاعات سیگنالها، نمایش‌های الکتریکی یا الکترومغناطیسی داده‌ها هستند. سیگنالینگ، انتشار فیزیکی سیگنال در رسانه مناسب می‌باشد. انتقال، ارتباط داده توسط انتشار و پردازش سیگنالها است. آنچه در ادامه خواهد آمد، سعی در واضح نمودن این مفاهیم مجرد، با بحث در مورد واژه‌های آنالوگ و دیجیتال دارد همانگونه که برای داده‌ها، سیگنالها، و انتقال به کار گرفته می‌شوند.

داده‌های آنالوگ و دیجیتال

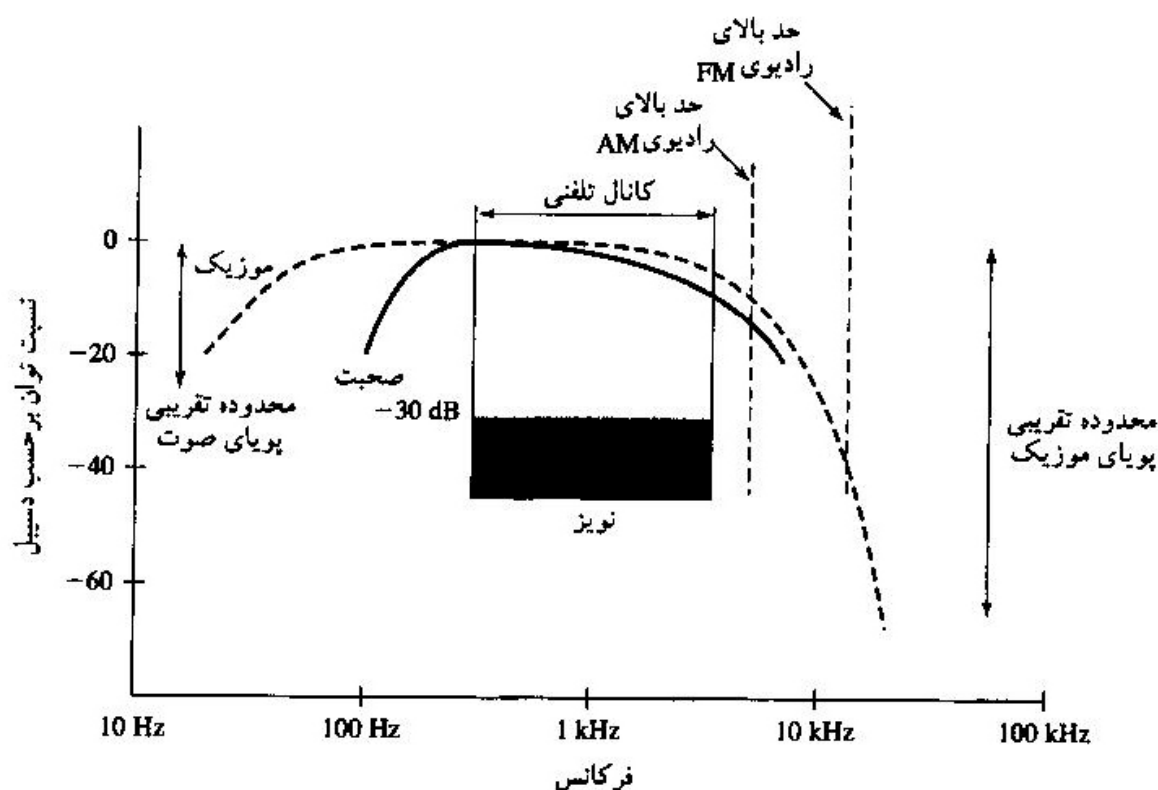
مفهوم داده‌های آنالوگ و دیجیتال بسیار ساده است. داده‌های آنالوگ، مقادیر پیوسته‌ای در یک بازه می‌گیرند. برای مثال، صوت و ویدئو، الگوهای متغیر پیوسته‌ای از شدت هستند. اکثر داده‌های جمع‌آوری شده توسط سنسورها، مانند درجه حرارت و فشار، مقادیری پیوسته می‌باشند. داده‌های دیجیتالی مقادیری گسسته دارند؛ مثالهای آن عبارتند از: متن و اعداد صحیح.

آشناترین مثال داده‌های آنالوگ، صوت است که به شکل امواج صوتی آکوستیک، می‌تواند مستقیماً توسط رفتار انسان تغییر کند. شکل (۹-۳)، طیف آکوستیک صحبت انسان و موزیک را نشان می‌دهد.^۱ مولفه‌های فرکانسی صحبت معمولی تقریباً بین ۱۰۰ Hz و ۷ KHz قرار می‌گیرند. اگرچه اکثر انرژی صحبت در فرکانسهای پایین‌تر متمرکز شده است، آزمایشها نشان داده‌اند که فرکانسهای زیر ۶۰۰ Hz یا ۷۰۰ Hz، قابلیت درک صحبت اندکی در گوش انسان دارند. صحبت معمولی، رنج پویایی در حدود ۲۵ dB دارد؛^۲ یعنی، قدرت ایجاد شده توسط بلندترین فریاد، می‌تواند ۳۰۰ برابر بیشتر از یک زمزمه باشد. شکل (۹-۳) نیز طیف آکوستیک و رنج پویای موسیقی را نشان می‌دهد.

مثال دیگری از داده‌های آنالوگ، ویدئو است. ساده‌تر است که این داده‌ها را برحسب بیننده تلویزیون (مقصد) مشخص نماییم تا این که برحسب صفحه اولیه (مبدأ) ضبط شده توسط دوربین تلویزیونی مشخص شوند. به

۱- توجه داشته باشید که از مقیاس لگاریتمی برای محور X استفاده شده است. چون محور Y براساس واحد دسیبل می‌باشد، خود مقیاس لگاریتمی دارد. مروری بر مقیاس لگاریتمی در سایت williamstallings.com/studentsupport.html یافت می‌شود.

۲- به ضمیمه ۳ - الف برای مفهوم دسیبل مراجعه کنید.

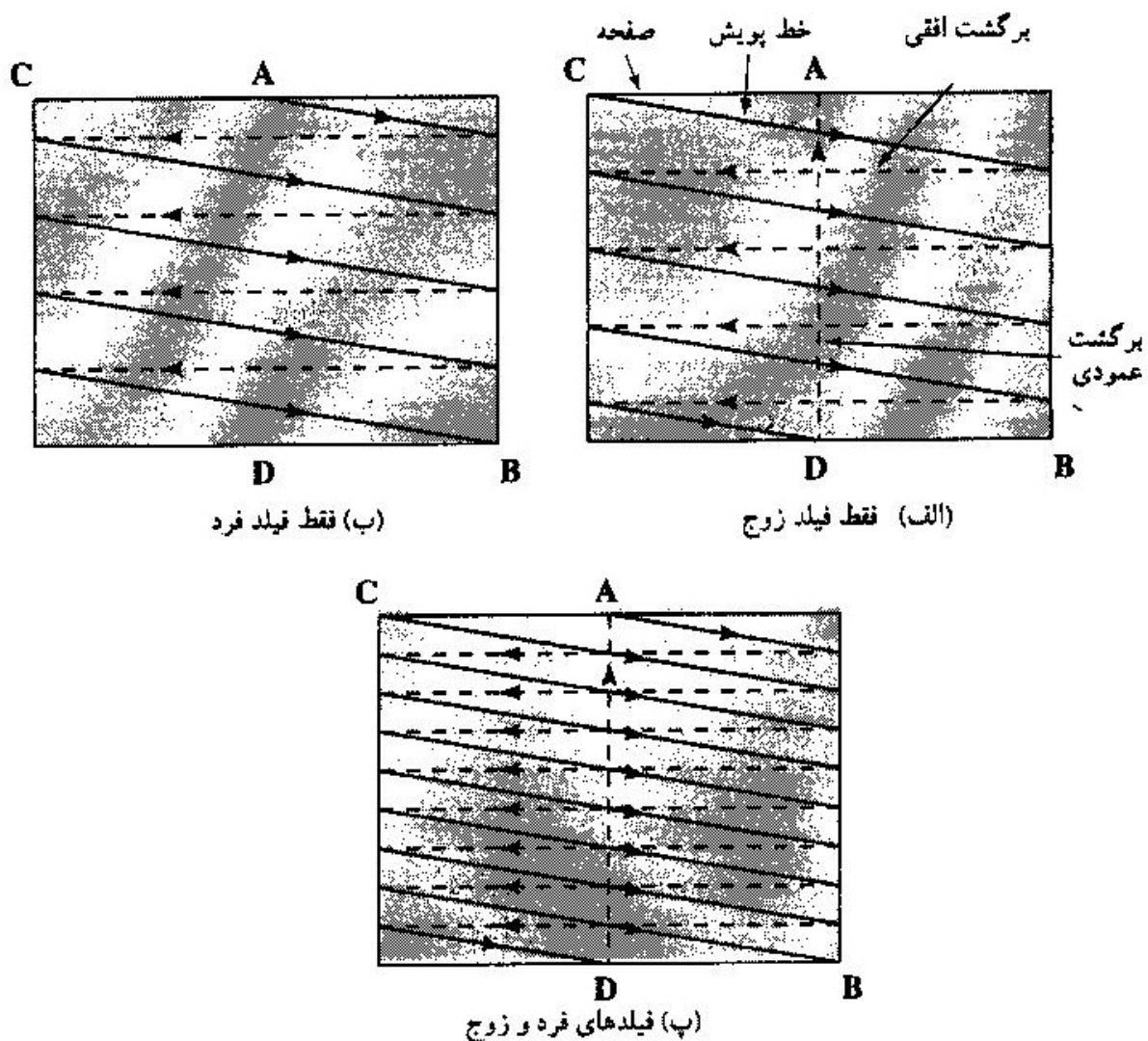


شکل ۹-۳ طیف آکوستیک صحبت و موزیک

منظور تولید صحنه‌ای بر روی صفحه، اشعه الکترونی، سطح صفحه را از چپ به راست و از بالا به پایین پوشش می‌نماید. در تلویزیونهای سیاه و سفید، میزان روشنایی تولید شده (براساس مقیاس سیاه تا سفید) در هر نقطه، متناسب است با شدت اشعه زمانی که از آن نقطه عبور می‌کند. بنابراین، در هر لحظه از زمان، این اشعه مقداری آنالوگ دارد، با شدتی که روشنایی موردنظر را در آن نقطه در صفحه ایجاد می‌نماید. علاوه بر آن، در ضمن پوشش اشعه، مقدار آنالوگ تغییر می‌کند. بنابراین، تصویر ویدئو می‌تواند به صورت سیگنالی متغیر با زمان در نظر گرفته شود.

شکل (۱۰-۳) فرآیند پوشش را نشان می‌دهد. در انتهای هر خط پوشش، اشعه به طور سریع به سمت چپ برمی‌گردد (بازگشت افقی). هنگامی که اشعه به پایین می‌رسد، به سرعت به بالا برمی‌گردد (بازگشت عمودی). اشعه در مدت بازگشت، خاموش می‌شود.

به منظور دستیابی به دقت مناسب، اشعه ۴۸۳ خط افقی را با سرعت ۳۰ پوشش کامل صفحه در ثانیه، تولید می‌نماید. آزمایشها نشان داده‌اند که این سرعت، به جای حرکت آرام، احساس پرش را ایجاد می‌کند. به منظور فراهم نمودن تصویری بدون پرش، بدون افزایش نیازمندیهای پهنای باند، تکنیکی به نام interlacing استفاده می‌شود. مانند شکل (۱۰-۳)، خطوط پوشش فرد و خطوط پوشش زوج، به طور مجزا پوشش می‌گردند، و فیلدهای فرد و زوج بطور متوالی پوشش می‌شوند. فیلد فرد، پوششی از A به B است و فیلد زوج، پوششی از C به D می‌باشد. پس از ۲۴۱/۵ خط، اشعه به وسط پایین‌ترین خط صفحه می‌رسد. در این نقطه، این اشعه به سرعت در بالای صفحه قرار داده می‌شود و از وسط بالاترین خط قابل رؤیت صفحه شروع می‌شود تا ۲۴۱/۵ خط دیگر را که در بین مجموعه اصلی قرار دارند، پوشش می‌نماید. بنابراین، صفحه ۶۰ دفعه در ثانیه به جای ۳۰ دفعه تجدید



شکل ۱۰-۳ پوشش ویدئوی interlaced

می‌شود، و از پرس جلوه‌گیری می‌نماید.

مثال آشنایی از داده‌های دیجیتال، رشته‌های کاراکتری یا متن می‌باشد. در حالی که این داده‌های متنی برای انسان مناسب‌تر هستند، ولی نمی‌توانند به راحتی به شکل کاراکتری ذخیره شوند یا توسط سیستم‌های پردازش داده و ارتباطی، ارسال گردند. این سیستم‌ها برای داده‌های باینری طراحی شده‌اند. بنابراین، کدهای متعددی طرح شده‌اند که توسط آنها، کاراکترها به صورت دنباله‌ای از بیت‌ها نمایش داده می‌شوند. شاید قدیمی‌ترین مثال آن، کدهای مورس باشد.

امروزه، متداول‌ترین کد متنی، الفبای بین‌المللی (IRA) است.^۱ هر کاراکتر در این کد با الگوی ۷ بیتی منحصر به فردی نشان داده می‌شود؛ بنابراین، ۱۲۸ کاراکتر متفاوت قابل نمایش است. این عدد، بزرگتر از مقدار مورد نیاز می‌باشد، و برخی الگوهای نشان داده شده، کاراکترهای کنترلی غیرقابل رؤیت هستند. کاراکترهای کد شده با IRA

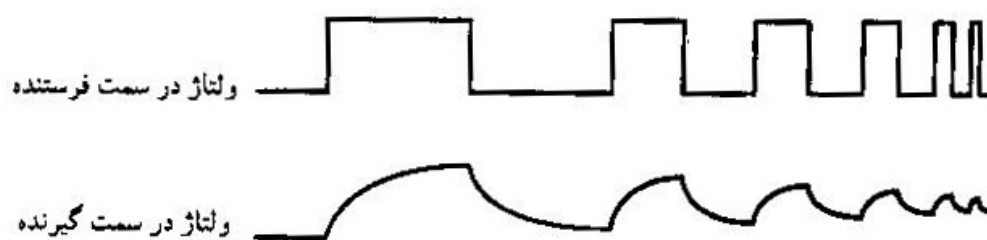
۱ - IRA در توصیه T/50 از ITU-T تعریف شده است و قبلاً با عنوان عدد گذاری الفبایی بین‌المللی 5 (IA5) شناخته شده است. روایت آمریکایی IRA، کد استاندارد آمریکایی برای تبادل اطلاعات (ASCII) نامیده می‌شود. توضیح جدول کد IRA در سایت‌های وب و اسناد مربوط به این کتاب یافت می‌شود.

اغلب با استفاده از ۸ بیت برای هر کاراکتر ذخیره و ارسال می‌شوند. هشتمین بیت، به منظور توازن برای آشکارسازی خطا استفاده می‌شود. این بیت یک می‌شود اگر مجموع تعداد ۱‌های باینری برای هر کاراکتر فرد باشد (توازن فرد) یا همیشه زوج باشد (توازن زوج). بنابراین، خطای ارسالی یک بیتی، یا تغییر تعداد فردی از بیت‌ها، قابل آشکارسازی است.

سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال

در یک سیستم مخابراتی، داده‌ها از یک نقطه به نقطه دیگر به وسیله سیگنالهای الکترومغناطیسی منتقل می‌شوند. سیگنال آنالوگ، یک موج الکترومغناطیسی با تغییرات پیوسته است که می‌تواند از طریق رسانه‌های متعدد برحسب طیف آن، منتشر شود؛ مثالی از انواع رسانه‌ها عبارتند از: رسانه سیمی مانند زوج‌های تابیده، و کابل کواکسیال، فیبر نوری، و رسانه هدایت نشده مانند اتمسفر یا انتشار فضایی. سیگنال دیجیتال دنباله‌ای از پالس‌های ولتاژ می‌باشد که می‌تواند از طریق رسانه سیمی ارسال شوند؛ برای مثال، سطح ولتاژ ثابت مثبت، می‌تواند نشان دهنده صفر باینری باشد و سطح ولتاژ ثابت منفی می‌تواند ۱ باینری باشد.

فواید اصلی سیگنالینگ دیجیتال از این قرارند: عموماً ارزان‌تر از سیگنالینگ آنالوگ است و کمتر به تداخل نویز حساس می‌باشد. نقطه ضعف عمده آن اینگونه است که سیگنالهای دیجیتال بیشتر از سیگنالهای آنالوگ در معرض تضعیف قرار دارند. شکل (۱۱-۳) دنباله‌ای از پالس‌های ولتاژ را نشان می‌دهد که توسط یک منبع با استفاده از دو سطح ولتاژ تولید شده‌اند. این شکل، ولتاژ دریافت شده، با فاصله‌ای دورتر از منبع را نیز در سمت گیرنده مشخص می‌کند. به دلیل وجود تضعیف، یا کاهش قدرت سیگنال در فرکانسهای بالاتر، پالس‌ها کوچکتر و منحنی‌تر می‌شوند. واضح است که این تضعیف به سرعت باعث از دست رفتن اطلاعات موجود در سیگنال منتشر شده می‌گردد.



شکل ۱۱-۳ تضعیف سیگنالهای دیجیتال

مثالها

به سه مثال بخش قبل می‌پردازیم. برای هر مثال، ابتدا سیگنال توصیف می‌گردد و پس از آن، پهنای باند آن محاسبه می‌شود.

شناخته شده‌ترین مثال اطلاعات آنالوگ، صوت، یا آکوستیک می‌باشد، که به شکل امواج صوتی، می‌تواند به طور مستقیم با اعمال انسان هماهنگ شود. یک شکل از اطلاعات آکوستیک، صحبت انسان است، که مؤلفه‌های فرکانسی آن در محدوده ۲۰ Hz تا ۲۰ KHz قرار دارند. این شکل از اطلاعات، به راحتی به سیگنال الکترومغناطیسی برای ارسال تبدیل می‌گردد شکل (۱۲-۳). در نتیجه، تمام فرکانسهای صوتی، که دامنه آنها



در این گراف یک سیگنال آنالوگ معمولی، تغییرات در دامنه و فرکانس، حمل کننده بلندی و تون صحبت یا موزیک هستند. سیگنال‌های مشابهی برای ارسال تصاویر تلویزیونی استفاده می‌شوند ولی در فرکانسهای خیلی بالاتر

شکل ۱۲-۳ تبدیل ورودی صوت به سیگنال آنالوگ

برحسب بلندی اندازه‌گیری می‌شود، به فرکانسهای الکترومغناطیسی تبدیل می‌گردند، که دامنه آنها برحسب ولت اندازه گرفته می‌شود. گوشی تلفن حاوی مکانیزم ساده‌ای برای این تبدیل می‌باشد.

برای داده‌های آکوستیک (صوت)، داده‌ها می‌توانند مستقیماً توسط سیگنال الکترومغناطیسی نمایش داده شوند که همان طیف را اشغال می‌کند. به هر حال، نیاز برای برقراری تعادل بین کیفیت صوت ارسال شده به صورت الکتریکی، و هزینه ارسال وجود دارد. این هزینه با افزایش پهنای باند افزایش می‌یابد. همانطور که اشاره شد، طیف صحبت تقریباً ۱۰۰ Hz تا ۷ KHz است، اگرچه پهنای باند خیلی باریک‌تری، بازسازی مجدد صوت قابل قبولی را ایجاد می‌کند. طیف استاندارد برای یک کانال صوتی، ۳۰۰ Hz تا ۳۴۰۰ Hz می‌باشد. این طیف، برای ارسال صحبت مناسب است، و ظرفیت ارسال لازم را به حداقل می‌رساند، و استفاده از دستگاههای تلفن نسبتاً ارزان را امکان‌پذیر می‌نماید. فرستنده تلفن، سیگنال صوتی آکوستیک ورودی را به سیگنال الکترومغناطیس در محدوده ۳۰۰ Hz تا ۳۴۰۰ Hz تبدیل می‌نماید. سپس این سیگنال از طریق سیستم تلفن به گیرنده ارسال می‌گردد، که آن را به عنوان صوت آکوستیک مجدد تولید می‌کند.

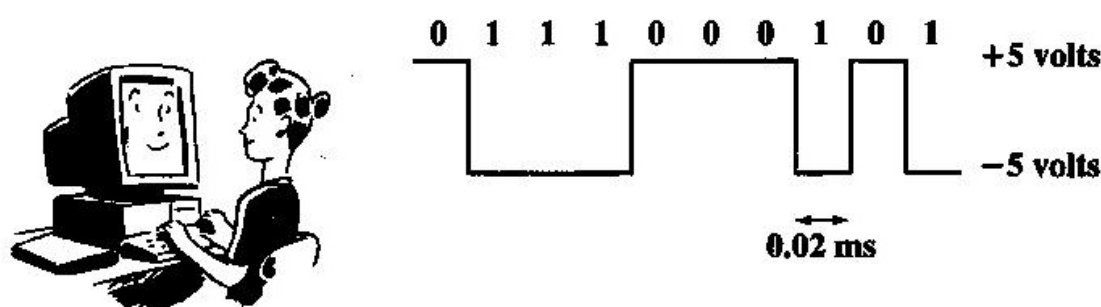
اینک به سیگنال ویدئو توجه کنید. به منظور تولید سیگنال ویدئو، دوربین TV، که مشابه گیرنده TV عمل می‌کند، استفاده می‌گردد. یک مؤلفه دوربین، صفحه‌ای حساس به نور است، که صحنه بر روی آن به صورت اپتیک متمرکز می‌شود. یک اشعه الکترونی، این صفحه را از چپ به راست و از بالا به پایین جاروب می‌نماید، مشابه شکل (۱۰-۳) برای گیرنده. در ضمن جاروب این اشعه، یک سیگنال الکتریکی آنالوگ، نسبت به روشنایی صحنه در هر نقطه خاص، تولید می‌گردد. اشاره شد که مجموع ۴۸۳ خط پویش می‌گردد، با سرعت ۳۰ پویش کامل در ثانیه. این یک عدد تخمینی است که زمان تلف شده در ضمن بازه زمانی بازگشت عمودی شبکه را نیز به حساب می‌آورد. استاندارد واقعی آمریکایی، ۵۲۵ خط است، اما از بین اینها، ۴۲ خط در ضمن بازگشت عمودی از بین می‌روند. بنابراین، فرکانس پویش افقی برابر است با: $15750 = (30 \times \frac{\text{پویش}}{\text{ثانیه}}) \times (425 \text{ خط})$ خط در ثانیه، یا $63/5 \mu\text{s/line}$. از بین این $63/5 \mu\text{s}$ ، تقریباً $11 \mu\text{s}$ برای بازگشت افقی در نظر گرفته شده است. بنابراین، $52/5 \mu\text{s}$ هر خط ویدئو باقی می‌ماند.

اینک در موقعیتی قرار داریم که پهنای باند لازم برای سیگنال ویدئو را تخمین بزنیم. به منظور انجام این عمل، باید فرکانس بالا (حداکثر) و فرکانس پائین (حداقل) این باند را تخمین بزنیم. از استدلال زیر برای رسیدن به فرکانس حداکثر استفاده می‌نمائیم. فرکانس حداکثر در ضمن پویش افقی است، اگر صحنه به طور متوالی بین سیاه

و سفید تغییر کند. می توان این مقدار حداکثر را با در نظر گرفتن درجه تفکیک تصویر ویدئو، تخمین زد. در بُعد عمودی، ۴۸۳ خط وجود دارد، بنابراین، حداکثر درجه تفکیک عمودی، ۴۸۳ است. آزمایشها نشان داده اند که درجه تفکیک واقعی حدود ۷۰٪ این عدد است، یا حدود ۳۳۸ خط. در یک تصویر متعادل، درجه های تفکیک افقی و عمودی باید تقریباً مشابه باشند. چون نسبت عرض به ارتفاع صفحه تلویزیون ۴:۳ است، درجه تفکیک افقی باید حدود $450 = \frac{4}{3} \times 338$ خط باشد. در بدترین حالت، یک خط پوش، از ۴۵۰ عنصر که به ترتیب سیاه و سفید هستند تشکیل می شود. این پوش، باعث ایجاد موجی می شود که هر سیکل آن موج، شامل یک سطح ولتاژ بالا (سیاه) و سطح ولتاژ پائین (سفید) می باشد. بنابراین، $\frac{450}{4} = 112.5$ سیکل موج در $52/5 \mu s$ وجود دارد، یا حداکثر فرکانس ۴/۲ MHz. این نتیجه گیری خیلی دقیق است. حد پایین آن، فرکانس صفر یا dc است، که مؤلفه dc معادل متوسط روشنایی صحنه می باشد (مقدار متوسطی که نور از سطح سیاه مرجع بیشتر می شود). بنابراین، پهنای باند سیگنال ویدئو تقریباً $4 \text{ MHz} - 0 = 4 \text{ MHz}$ است.

بحث قبلی، مولفه های صوتی و رنگی سیگنال را در نظر نگرفته است. در صورت ضمیمه نمودن این موارد، پهنای باند حدود ۴ MHz باقی می ماند.

در نهایت، مثال سوم ارائه شده، حالت عمومی داده های دیجیتالی باینری است. اطلاعات باینری، توسط ترانزیستورها، کامپیوترها، و تجهیزات دیگر پردازش داده، تولید می شوند و سپس به پالسهای ولتاژ دیجیتالی، به منظور ارسال، تبدیل می گردند. همانطور که در شکل (۱۳-۳-الف) نشان داده شده است. یک سیگنال متداول برای چنین داده هایی، از دو سطح ولتاژ ثابت (dc) استفاده می کند، یک سطح برای ۱ باینری، و یک سطح برای صفر باینری (در فصل ۵ خواهید دید که این روش، یک راه دیگر به نام NRZ دارد). مجدد، پهنای باند چنین سیگنالی باید مشخص شود. در هر حالت خاص، این مورد، بستگی به شکل دقیق شکل موج و دنباله ۱ها و صفرها دارد. فهم آن، با در نظر گرفتن شکل (۸-۳)، (در مقایسه با شکل (۷-۳)) امکان پذیر است. همانگونه که دیده می شود، هر چه پهنای باند سیگنال بیشتر باشد بهتر می تواند دنباله یک پالس دیجیتالی را تقریب بزنند.

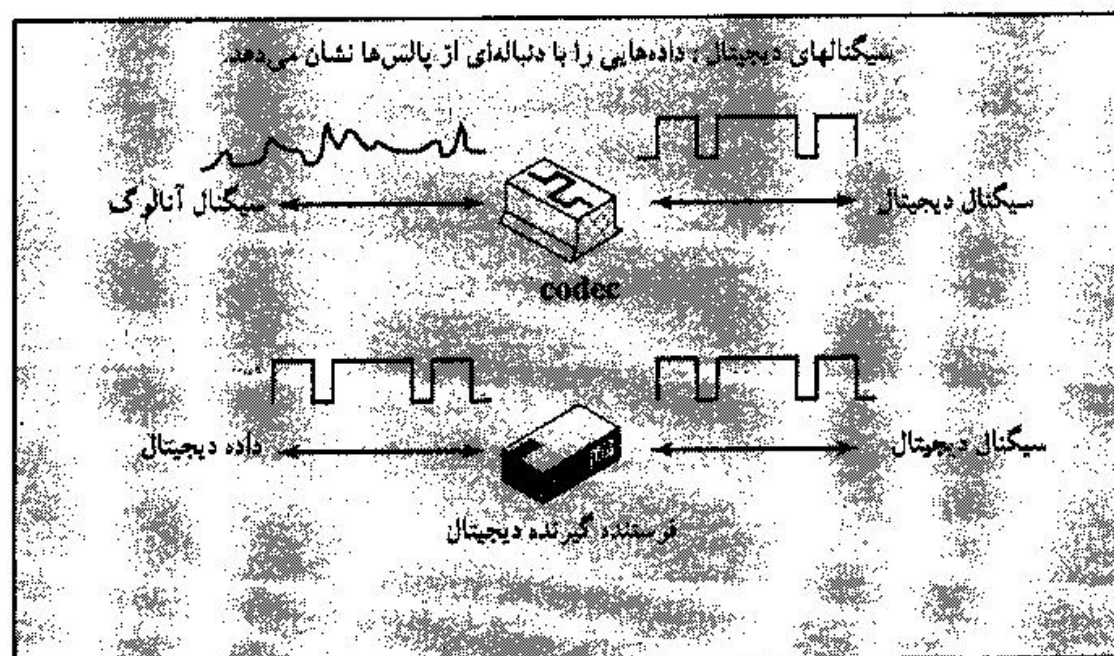
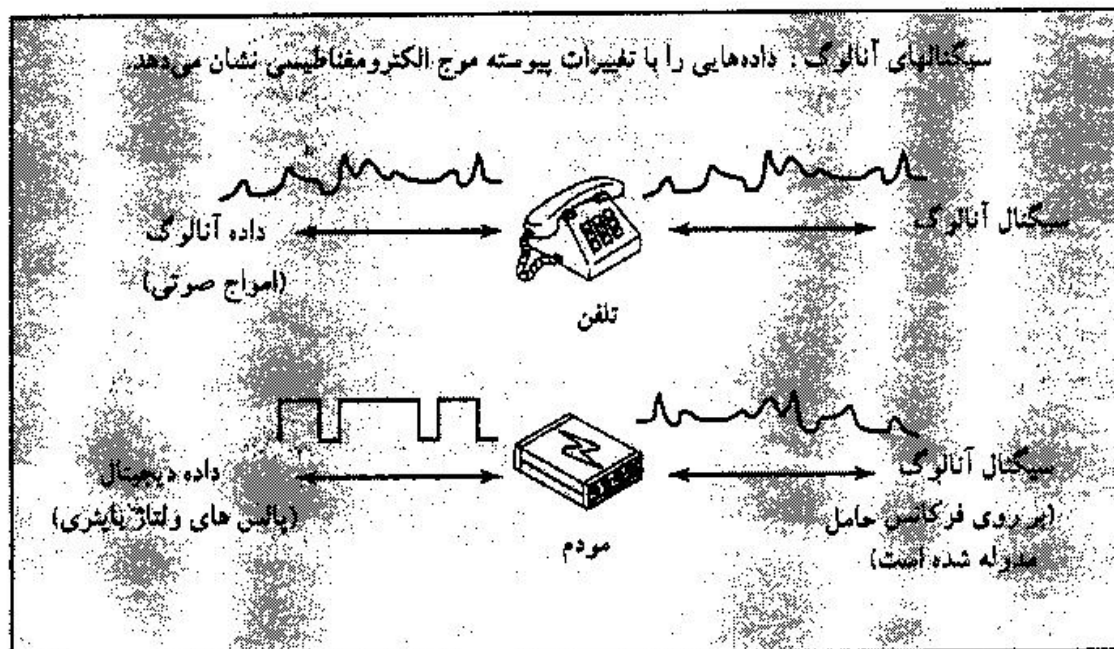


ورودی کاربر در PC به دنباله ای از ارقام باینری (۰ها و ۱ها) تبدیل می شود. در این گراف یک سیگنال دیجیتال معمولی، یک باینری با +۵ ولت و صفر باینری با -۵ ولت نشان داده می شوند. سیگنال هر بیت مدتی برابر ۰.۰۲ ms دارد که سرعت انتقال داده ۵۰,۰۰۰ بیت در ثانیه (۵۰ kbps) را تولید می کند.

شکل ۱۳-۳ تبدیل ورودی PC به سیگنال دیجیتال

در بحث قبلی، سیگنالهای آنالوگ استفاده شده برای نمایش داده‌های آنالوگ، و سیگنالهای دیجیتال استفاده شده برای نمایش داده‌های دیجیتال، مورد توجه قرار گرفتند. در حالت کلی، داده‌های آنالوگ، تابعی از زمان هستند و طیف فرکانسی محدودی را استفاده می‌کنند. چنین داده‌هایی با یک سیگنال الکترومغناطیسی نشان داده می‌شوند که همان طیف را اشغال می‌نماید. داده‌های دیجیتال می‌توانند با سیگنالهای دیجیتال، با سطح ولتاژ متفاوتی برای هر یک از ارقام باینری، نشان داده شوند.

همانگونه که شکل (۳-۱۴) نشان می‌دهد، اینها تنها حالت‌های ممکن نیستند. داده‌های دیجیتال می‌توانند با سیگنالهای آنالوگ با استفاده از مودم نشان داده شوند. مودم، یک سری پالس‌های ولتاژ باینری (دو مقدار) را به



شکل ۳-۱۴ سیگنالینگ دیجیتال و آنالوگ برای داده‌های دیجیتال و آنالوگ

وسیله کدگذاری داده‌های دیجیتال با یک فرکانس حامل، به سیگنال آنالوگ تبدیل می‌نماید. سیگنال به دست آمده، طیف فرکانسی خاصی را اشغال می‌کند که مرکزیت آن، در اطراف فرکانس حامل می‌باشد، و می‌تواند از طریق رسانه‌ای مناسب برای آن حامل، انتشار یابد. متداول‌ترین مودم‌ها، داده‌های دیجیتال را در طیف صوتی نشان می‌دهند و بنابراین به آن داده‌ها امکان انتشار از طریق خطوط تلفنی معمولی را می‌دهند. در سمت دیگر این خط، مودم دیگری، این سیگنال را از حامل پیاده می‌کند تا داده اصلی را به دست آورد.

در عملی خیلی مشابه آنچه توسط مودم انجام می‌شود، داده‌های آنالوگ می‌توانند توسط داده‌های دیجیتال نمایش داده شوند. دستگاهی که این تابع را برای داده‌های صوتی انجام می‌دهد، یک codec (کد گذار - کد گشا) می‌باشد. در نتیجه، codec یک سیگنال آنالوگ را دریافت می‌کند که به طور مستقیم، داده‌های صوتی را نشان می‌دهد، و آن سیگنال را با یک رشته از بیت‌ها تقریب می‌زند. در سمت گیرنده، این دنباله بیت‌ها، برای ساخت مجدد داده‌های آنالوگ استفاده می‌شود. بنابراین، شکل (۱۴-۳) پیشنهاد می‌کند که داده‌ها می‌توانند به روشهای متعددی به سیگنالها کد شوند. این عنوان، در فصل ۵ بررسی می‌گردد.

انتقال آنالوگ و دیجیتال

سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال، می‌توانند بر روی رسانه‌ای مناسب منتقل شوند. روشی که با این سیگنالها عمل می‌شود، تابعی است از سیستم انتقال. جدول ۱-۳ روشهای ارسال داده‌ها را خلاصه می‌نماید. انتقال آنالوگ مربوط است به انتقال سیگنالهای آنالوگ بدون توجه به محتوای آنها؛ این سیگنالها می‌توانند نشان دهنده داده‌های آنالوگ (برای مثال، صوت) یا داده‌های دیجیتال (برای مثال، داده‌های باینری که از طریق مودم عبور می‌کنند) باشند. در هر دو حالت، سیگنال آنالوگ، بعد از مسافت معینی ضعیف می‌شود. به منظور دستیابی به مسافت طولانی، سیستم انتقال آنالوگ، شامل تقویت کننده‌هایی است که انرژی سیگنال را تقویت می‌نمایند. بدبختانه، این تقویت کننده، نویز را نیز تقویت می‌کند. با پشت سر هم قرارگیری تقویت کننده‌ها برای دستیابی به مسافتهای دور، اعوجاج سیگنال، بیشتر و بیشتر می‌شود. برای داده‌های آنالوگ مانند صوت، کمی اعوجاج می‌تواند وجود داشته باشد و داده‌ها هنوز قابل فهم باشند. به هر حال، برای داده‌های دیجیتال، تقویت کننده‌های متوالی، خطاهایی را ایجاد می‌کنند.

جدول ۱-۳ انتقال آنالوگ و دیجیتال

(الف) داده‌ها و سیگنالها

سیگنال دیجیتال	سیگنال آنالوگ
داده آنالوگ	داده دیجیتال
داده‌های آنالوگ با استفاده از codec کدگذاری می‌شوند تا دنباله بیت‌های دیجیتال را تولید کنند.	دو انتخاب وجود دارد: (۱) سیگنال همان طیف داده آنالوگ را اشغال کند؛ (۲) داده‌های آنالوگ کدگذاری شوند تا بخش متفاوتی از طیف را اشغال نمایند.
دو انتخاب وجود دارد: (۱) سیگنال شامل دو سطح ولتاژ برای نشان دادن دو مقدار باینری می‌باشد؛ (۲) داده‌های دیجیتال کدگذاری می‌شوند تا سیگنال دیجیتال را با خواص مطلوب تولید کنند.	داده‌های دیجیتال با استفاده از مودم کدگذاری می‌شوند تا سیگنال آنالوگ را تولید نمایند.

(ب) نوع عمل با سیگنال‌ها

انتقال آنالوگ

انتقال دیجیتال

از طریق تقویت کننده‌ها انتشار می‌یابد. رفتار مشابهی با سیگنالی نشان دهنده داده‌های آنالوگ یا داده‌های دیجیتال انجام می‌شود.	فرض کنید که سیگنال آنالوگ، داده دیجیتال را نشان می‌دهد. سیگنال از طریق تکرار کننده‌ها منتشر می‌شود؛ در هر تکرار کننده، داده‌های دیجیتال از سیگنال باند ورودی بازسازی می‌شوند و برای تولید سیگنال باند خروجی استفاده می‌گردند.	سیگنال آنالوگ
استفاده نمی‌شود.	سیگنال دیجیتال، دنباله‌ای از ۱ ها و صفرها را نشان می‌دهد که می‌توانند داده‌های دیجیتالی را نشان دهند یا می‌توانند کدگذاری شده سیگنال آنالوگ باشند. سیگنال از طریق تکرار کننده‌ها منتشر می‌شود. در هر تکرار کننده، دنباله ۱ ها و صفرها از سیگنال باند ورودی بازسازی می‌شود و برای تولید سیگنال دیجیتال جدید در باند خروجی استفاده می‌گردد.	سیگنال دیجیتال

انتقال دیجیتال، برخلاف آن، به محتوای سیگنال وابسته است. یک سیگنال دیجیتال می‌تواند فقط مسافت محدودی بدون تضعیف ارسال شود، نویز و موانع دیگر، جامعیت داده‌ها را به خطر می‌اندازند. به منظور دستیابی به مسافت‌های بیشتر، تکرار کننده‌ها استفاده می‌شوند. یک تکرار کننده، سیگنال دیجیتال را دریافت می‌کند، الگوی ۱ ها و صفرها را ترمیم می‌نماید، و سیگنال جدید را دوباره ارسال می‌کند. بنابراین، هر تضعیف غلبه می‌شود. همین تکنیک می‌تواند برای سیگنال آنالوگ استفاده شود اگر فرض شود که این سیگنال، داده‌های دیجیتالی را حمل می‌نماید. در نقاطی با فواصل مناسب، سیستم انتقال، تکرار کننده‌هایی را به جای تقویت کننده‌ها قرار می‌دهد. تکرار کننده، داده‌های دیجیتالی را از سیگنال آنالوگ استخراج می‌نماید و سیگنال آنالوگ جدید و واضحی را تولید می‌کند. بنابراین، از تجمع نویز جلوگیری می‌شود.

این سؤال به طور طبیعی پیش می‌آید که کدام روش برای ارسال ترجیح داده می‌شود. پاسخ آن توسط صنعت ارتباطاتی داده می‌شود که مشربهای آن دیجیتال هستند. امکانات ارتباطی راه دور و سرویس‌های داخل ساختمان، به سمت انتقال دیجیتال، و در صورت امکان، تکنیک‌های سیگنالینگ دیجیتال گرایش پیدا کرده‌اند. مهمترین دلایل آن عبارتند از:

- تکنولوژی دیجیتال: ظهور تکنولوژی‌های مجتمع‌سازی در مقیاس گسترده (LSI) و مجتمع‌سازی با مقیاس خیلی گسترده (VLSI)، باعث تداوم کاهش هزینه و اندازه مدارات دیجیتالی شده است. تجهیزات آنالوگ، کاهش مشابهی را نشان نمی‌دهند.
- جامعیت داده‌ها: با استفاده از تکرار کننده‌ها به جای تقویت کننده‌ها، اثرات نویز و عوامل دیگر تضعیف کننده سیگنال، مجتمع نمی‌شوند. بنابراین، امکان انتقال داده‌ها در مسافت‌های طولانی و بر روی خطوطی با کیفیت پایین‌تر، با استفاده از امکانات دیجیتال وجود دارد، در حالی که جامعیت داده‌ها حفظ می‌شود.

- استفاده از ظرفیت: ایجاد اتصالات انتقال با پهنای باند خیلی زیاد امروزه اقتصادی است، مانند کانالهای ماهواره، و فیبر نوری. درجه بالایی از مالتی پلکسینگ لازم است تا از این ظرفیت به طور مؤثر استفاده نماید. این هدف، به راحتی و ارزانی با استفاده از تکنیک‌های دیجیتال (تقسیم زمانی) به جای آنالوگ (تقسیم فرکانس) امکان‌پذیر است. این مطلب در فصل ۸ بحث شده است.
- حفاظت و استقلال: تکنیک‌های رمزگذاری می‌توانند برای داده‌های دیجیتال و داده‌های آنالوگی که به دیجیتال تبدیل شده‌اند، استفاده شوند.
- مجتمع‌سازی: با رفتار دیجیتال برای داده‌های آنالوگ و دیجیتال، تمام سیگنالها شکل مشابهی دارند و می‌توان با آنها به طور مشابه عمل نمود. بنابراین، با مجتمع نمودن صوت، ویدئو، و داده‌های دیجیتالی، مقیاس آنها مقرون به صرفه خواهد بود.

۳-۳ موانع انتقال

در هر سیستم ارتباطی، سیگنالی که دریافت می‌شود، ممکن است با سیگنال ارسال شده، به دلیل وجود انواع موانع، متفاوت باشد. برای سیگنالهای آنالوگ، این موانع می‌توانند کیفیت سیگنال را کاهش دهند. برای سیگنالهای دیجیتال، خطاهای بیت وجود دارند: ۱ باینری به صفر باینری تبدیل می‌شود و برعکس. در این بخش، موانع گوناگون، و روش تأثیر آنها بر ظرفیت حمل اطلاعات در یک اتصال ارتباطی بررسی می‌گردد؛ فصل ۵ به معیارهایی می‌پردازد که می‌توانند برای خشی نمودن این موانع استفاده شوند.

مهمترین آنها عبارتند از:

- تضعیف و اعوجاج تضعیف
- اعوجاج تأخیر
- نویز

تضعیف

قدرت سیگنال در طول مسافت بر روی هر رسانه انتقال، کاهش می‌یابد. برای رسانه هدایت شده، این کاهش قدرت، عموماً نمایی است و بنابراین برحسب تعداد مسیرها در واحد مسافت بیان می‌شود. برای رسانه هدایت نشده، تضعیف، تابع پیچیده‌تری برحسب فاصله دارد و شامل شرایط جوی است. تضعیف، سه نکته را برای مهندس ارتباطات متذکر می‌شود. اول، سیگنال دریافت شده باید قدرت کافی داشته باشد به طوری که مدار الکترونیکی گیرنده بتواند سیگنال را آشکار نماید. دوم، این سیگنال باید حاوی سطحی به اندازه کافی بالا نسبت به نویز باشد تا بتواند بدون خطا دریافت شود. سوم، تضعیف اغلب با فرکانس افزایش می‌یابد.

اولین و دومین مشکل، با توجه به قدرت سیگنال و استفاده از تقویت کننده‌ها و تکرار کننده‌ها قابل رفع می‌باشد. برای یک اتصال نقطه به نقطه، قدرت سیگنال فرستنده باید به اندازه کافی باشد تا بتواند به طور کامل دریافت شود، اما نه آنقدر قوی که مدارات فرستنده یا گیرنده را پریار نماید، و باعث اعوجاج شود. پس از مسافت

معینی، تضعیف، به طور غیر قابل قبولی افزایش می‌یابد، و تکرار کننده‌ها یا تقویت کننده‌هایی برای تقویت سیگنال در مسافت‌های منطقی به کار می‌روند. این مشکلات برای خطوطی با چند نقطه، پیچیده‌تر می‌شوند، زیرا مسافت از فرستنده تا گیرنده متغیر است.

مشکل سوم، مخصوصاً برای سیگنالهای آنالوگ قابل توجه است. چون تضعیف نسبت به فرکانس تغییر می‌کند، سیگنال دریافت شده، دارای اعوجاج است و قابلیت شناسایی آن کاهش می‌یابد. به منظور غلبه بر این مشکل، تکنیک‌هایی برای متعادل نمودن تضعیف در باندی از فرکانسها در دسترس می‌باشد. این روش، به طور معمول برای خطوط تلفنی انجام می‌شود، با استفاده از سیم‌پیچ‌هایی که خصوصیات الکتریکی خط را تغییر می‌دهند. نتیجه این که اثرات تضعیف، یکنواخت می‌شود. روش دیگر، استفاده از تقویت کننده‌هایی است که فرکانسهای بالا را بیشتر از فرکانسهای پایین‌تر تقویت می‌نمایند.

یک مثال از این روش در شکل (۱۵-۳ - الف) ارائه شده است، که تضعیف را به صورت تابعی از فرکانس برای یک خط سیمی معمولی نشان می‌دهد. در این شکل، تضعیف، نسبت به تضعیف در ۱۰۰۰ Hz اندازه‌گیری شده است. مقادیر مثبت بر روی محور y، نشان دهنده تضعیفی بزرگتر از تضعیف در ۱۰۰۰ Hz می‌باشد. یک سیگنال ۱۰۰۰ Hz با سطح قدرتی مشخص، به عنوان ورودی به کار گرفته شده، و قدرت آن، $P_1, \dots$ ، در خروجی اندازه‌گیری می‌شود. برای هر فرکانس دیگر f ، این رویه تکرار می‌شود و تضعیف نسبی برحسب دسیبل برابر است با:^۱

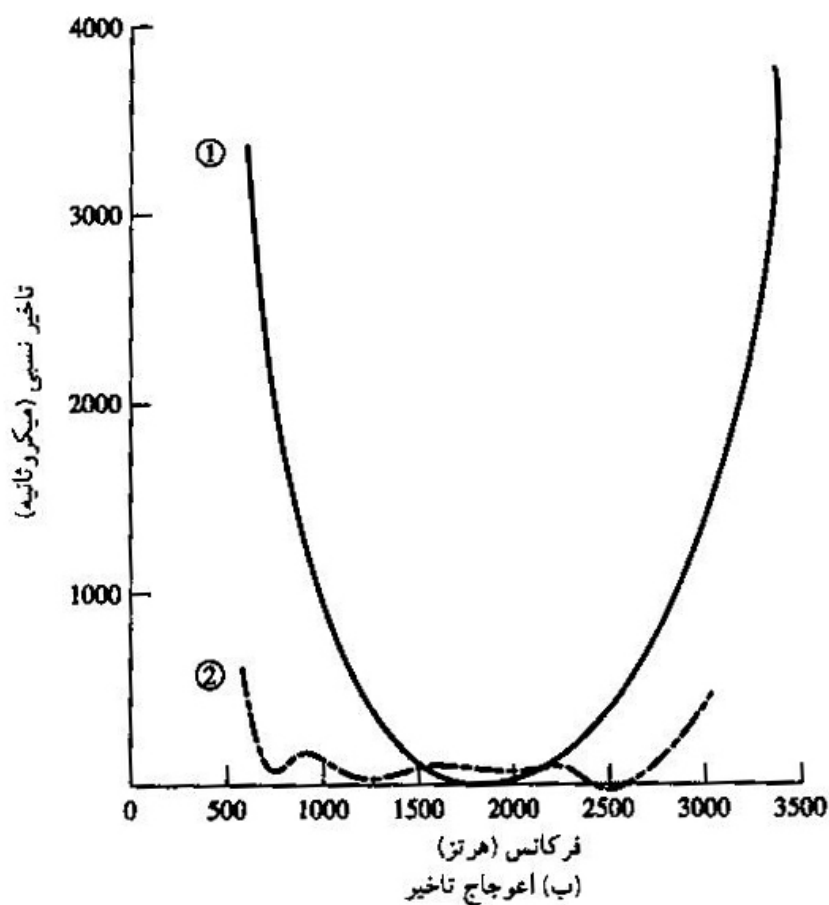
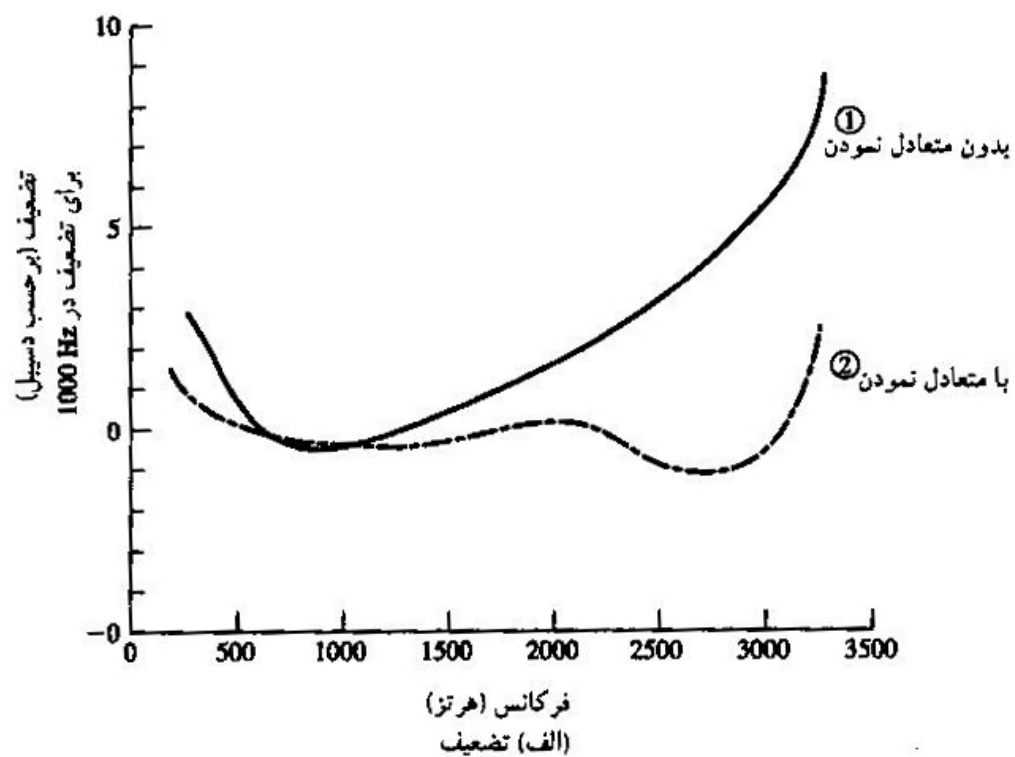
$$N_f = -10 \log_{10} \frac{P_f}{P_{1000}}$$

خط پر در شکل (۱۵-۳ - الف)، تضعیف را بدون متعادل‌سازی نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، مؤلفه‌های فرکانسی در انتهای بالایی باند صوتی، خیلی بیشتر از فرکانسهای پایین‌تر آن تضعیف می‌شوند. این نکته باید روشن شود که این مسئله باعث اعوجاج در سیگنال صحبت دریافت شده، می‌گردد. خط چین، اثر متعادل‌سازی را نشان می‌دهد. منحنی مسطح شده، کیفیت سیگنالهای صوتی را افزایش می‌دهد. همچنین امکان استفاده از سرعت‌های انتقال داده بالاتر را برای داده‌های دیجیتالی که از طریق مودم عبور می‌کنند، فراهم می‌نماید. اعوجاج تضعیف، مشکلات کمتری برای سیگنالهای دیجیتالی فراهم می‌کند. همانطور که دیده شد، قدرت سیگنال دیجیتالی، به سرعت با افزایش فرکانس، کاهش می‌یابد شکل (۱۵-۳ - ب)؛ اکثر محتوای آن، نزدیک فرکانس پایه، یا سرعت انتقال بیت‌های سیگنال، متمرکز شده است.

اعوجاج تأخیر

اعوجاج تأخیر به این دلیل اتفاق می‌افتد که سرعت انتشار سیگنال از طریق یک رسانه هدایت شده، با فرکانس تغییر می‌کند. برای سیگنالی با باند محدود، این سرعت، در نزدیکی فرکانس مرکزی بیشترین مقدار است و در دو گوشه باند، کاهش می‌یابد. بنابراین مؤلفه‌های فرکانسی متعدد یک سیگنال، در زمانهای متفاوتی به گیرنده می‌رسند، و در نتیجه، انتقال فاز، بین فرکانسهای متفاوت ایجاد می‌شود.

۱- در ادامه این کتاب، $\text{Log}(x)$ یعنی $\text{Log}_{10}(x)$ ، مگر خلاف آن ذکر شده باشد.



شکل ۳-۱۵ منحنی‌های تضعیف و اعوجاج تاخیر برای کانال صوتی

این اثر، اعوجاج تأخیر نامیده می‌شود زیرا سیگنال دریافت شده، در نتیجه تأخیرهای متغیر سیگنالهای موجود، دارای اعوجاج می‌شود. اعوجاج تأخیر، مخصوصاً برای داده‌های دیجیتالی بحرانی است. در نظر بگیرید که دنباله‌ای از بیت‌ها با استفاده از سیگنالهای آنالوگ یا دیجیتال در حال ارسال می‌باشد. به دلیل اعوجاج تأخیر، برخی مؤلفه‌های سیگنال مربوط به موقعیت یک بیت، بر روی موقعیت بیت دیگر قرار می‌گیرند، و باعث تداخل در نمادهای داخلی می‌گردند، که محدودیت عمده حداکثر سرعت انتقال بیت در یک کانال انتقال می‌باشد.

تکنیک‌های متعادل‌سازی می‌توانند برای اعوجاج تأخیر استفاده شوند. مجدد، به عنوان مثال، با استفاده از خط تلفن سیمی، شکل (۱۵-۳ - ب)، اثر متعادل‌سازی تأخیر را به صورت تابعی از فرکانس نشان می‌دهد.

نویز

برای هر واقعه انتقال داده، سیگنال دریافت شده، شامل سیگنال ارسال شده می‌باشد، که توسط اعوجاج‌های گوناگون تحمیل شده توسط سیستم انتقال، تغییر یافته است، همراه با سیگنالهای اضافی ناخواسته دیگر که جایی در بین محل ارسال و دریافت، افزوده می‌شوند. سیگنالهای ناخواسته، نویز نامیده می‌شوند. نویز، عمده‌ترین عامل محدود کننده کارایی سیستم مخابراتی می‌باشد.

نویز به چهار گروه تقسیم می‌شود:

- نویز حرارتی
- نویز مدولاسیون داخلی
- القاء متقابل
- نویز ایمپالس

نویز حرارتی در اثر رفتار حرارتی الکترون‌ها ایجاد می‌شود. در تمام دستگاههای الکترونیکی و مسطح انتقال دیده می‌شود و تابعی از حرارت است. نویز حرارتی به طور یکنواخت در پهنای باند استفاده شده در سیستم‌های مخابراتی توزیع شده است و بنابراین اغلب نویز سفید نامیده می‌شود. نویز حرارتی نمی‌تواند حذف شود و بنابراین حد بالایی در کارایی سیستم‌های مخابراتی ایجاد می‌کند. به دلیل ضعف سیگنال دریافت شده توسط ایستگاههای ماهواره‌ای زمینی، نویز حرارتی مخصوصاً برای ارتباطات ماهواره‌ای مهم است.

میزان نویز حرارتی یافت شده در پهنای باند 1 Hz در هر دستگاه یا هادی اینگونه است:

$$N_0 = kT(W/Hz) \quad \text{که:}^1$$

$$N_0 = \text{دانشیته قدرت نویز بر حسب وات برای هر 1 Hz پهنای باند}$$

$$K = \text{ثابت بولتزمن} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$T = \text{درجه حرارت بر حسب کلوین (حرارت مطلق)، که نماد K نشان دهنده 1 کلوین است.}$$

۱- یک ژول (J) در سیستم بین‌المللی (SI)، واحد انرژی الکتریکی، مکانیکی، و حرارتی است. یک وات، واحد توان در SI می‌باشد و معادل است با یک ژول در ثانیه. کلوین (K) در سیستم SI، واحد حرارت ترمودینامیک است. درجه حرارت T در واحد کلوین، با این رابطه به درجه سلسیوس مرتبط می‌شود:

$$T = 273/15$$

مثال ۱-۳. درجه حرارت اتاق معمولاً برابر است با $T = 17^\circ \text{C}$ یا 290 K . در این حرارت، دانستنی قدرت نویز حرارتی برابر است با:

$$N_0 = (1.38 \times 10^{-23}) \times 290 = 4 \times 10^{-21} \text{ W/Hz} = -204 \text{ dBW/Hz}$$

که dBW دسیبل - وات می باشد و در ضمیمه ۳-الف تعریف شده است.

فرض شده که این نویز مستقل از فرکانس است. بنابراین، نویز حرارتی برحسب وات، با پهنای باندی معادل B هرتز اینگونه بیان می شود:

$$N = kTB$$

یا برحسب دسیبل - وات:

$$\begin{aligned} N &= 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B \\ &= -228.6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log B \end{aligned}$$

مثال ۲-۳. اگر گیرنده دارای درجه حرارت مؤثر نویز 294 K و پهنای باند 10 MHz باشد، سطح نویز حرارتی در خروجی گیرنده برابر است با:

$$\begin{aligned} N &= -228.6 \text{ dBW} + 10 \log(294) + 10 \log 10^7 \\ &= -228.6 + 24.7 + 70 \\ &= -133.9 \text{ dBW} \end{aligned}$$

هنگامی که سیگنالهایی با فرکانسهای متفاوت، یک رسانه انتقال را به اشتراک استفاده می کنند، نتیجه آن نویز مدولاسیون داخلی است. اثر نویز مدولاسیون داخلی، تولید سیگنالهایی با فرکانسی است که مجموع یا تفاضل در فرکانس اصلی یا حاصل ضرب آن فرکانسها می باشد. برای مثال، مخلوط نمودن سیگنالهایی با فرکانسهای f_1 و f_2 می تواند انرژی را در فرکانس $f_1 + f_2$ تولید نماید. این سیگنال به دست آمده می تواند با سیگنال مورد نظر با فرکانس $f_1 + f_2$ تداخل ایجاد نماید.

نویز مدولاسیون داخلی، در اثر خصوصیات غیرخطی فرستنده، گیرنده، و رسانه انتقال میانی تولید می گردد. در حالت ایده آل، این مؤلفه ها به صورت سیستم های خطی عمل می کنند؛ یعنی، خروجی برابر است با ورودی ضربدر مقدار ثابت. به هر حال، در هر سیستم واقعی، خروجی، تابع پیچیده تری از ورودی است. خصوصیات غیرخطی اضافی، می تواند ناشی از درست عمل نکردن یک مؤلفه یا پربار شدن در نتیجه قدرت زیاد سیگنال باشد. در این موارد است که مجموع و تفاضل عبارتهای فرکانسی، تولید می شود.

القاء متقابل زمانی ایجاد می شود که فردی می خواهد در ضمن استفاده از تلفن، بتواند به مکالمه دیگری گوش دهد؛ این یک کوپل ناخواسته بین مسیرهای سیگنال است. این نویز، در اثر کوپل الکتریکی بین زوج های تابیده نزدیک به هم یا، به ندرت، در خطوط کابل کواکسیال حمل کننده چندین سیگنال پیش می آید. صحبت دو طرفه

همچنین زمانی پیش می‌آید که آنتن‌های مایکروویو، سیگنالهای ناخواسته را دریافت کنند؛ اگرچه آنتن‌هایی با جهت‌گیری خیلی بالا استفاده می‌شوند، ولی انرژی مایکروویو در ضمن انتشار، پخش می‌شود. معمولاً، صحبت دو طرفه همان قدرت یا حتی کمتر از نویز حرارتی را دارد.

همه انواع نویز بحث شده تاکنون، دامنه‌های نسبتاً ثابت و قابل پیش‌بینی دارند. بنابراین، امکان انجام عملیات مهندسی برای مقابله با آنها وجود دارد. نویز ایمپالس، غیرپیوسته است، شامل پالس‌های غیرمعمول یا جرقه‌های نویزی با مدت کوتاه و دامنه نسبتاً زیاد. عوامل متعددی آن را تولید می‌کنند، شامل، تغییرات امواج الکترومغناطیسی خارجی، مانند صاعقه، و اشکالاتی در سیستم‌های مخابراتی.

نویز ایمپالس عموماً فقط تأثیر کمی بر داده‌های آنالوگ دارد. برای مثال، ارسال صوت ممکن است با پالس‌های کوتاه مخدوش شود ولی قابلیت فهم آن تغییر نمی‌کند. به هر حال، نویز ایمپالس، منبع اصلی خطا در ارتباط داده‌های دیجیتال است. برای مثال، یک پالس تیز انرژی به مدت $s = 0.01$ ، داده صوتی را از بین نمی‌برد، اما ۵۶۰ بیت داده در حال ارسال با سرعت ۵۶ kbps را از بین می‌برد. شکل (۱۶-۳) مثالی است از اثر نویز بر روی سیگنال دیجیتال. این نویز شامل سطح متوسطی از نویز حرارتی و پالس‌های اتفاقی یا نویز ایمپالس می‌باشد. داده‌های دیجیتال می‌توانند با نمونه‌برداری از شکل موج دریافت شده، یک بار برای هر مدت بیت، ترمیم شوند. همانطور که دیده می‌شود، این نویز اغلب کافی است تا ۱ را به صفر یا صفر را به ۱ تبدیل نماید.

۳-۴ ظرفیت کانال

قبلاً مشاهده نمودید که موانع متعددی وجود دارند که سیگنال را از بین می‌برند. برای داده‌های دیجیتال، سؤالی که پیش می‌آید این است که تا چه حدی این موانع، سرعت انتقال داده قابل دستیابی را محدود می‌کنند. حداکثر سرعتی که داده‌ها می‌توانند بر روی مسیر ارتباطی، یا کانال، در شرایط خاصی ارسال شوند، ظرفیت کانال نامیده می‌شود. چهار مفهوم وجود دارد که باید به یکدیگر مرتبط شوند:

- سرعت انتقال داده: سرعتی برحسب بیت بر ثانیه (bps) که داده‌ها ارسال می‌شوند.
- پهنای باند: پهنای باند سیگنال ارسال شده، با توجه به محدودیت‌های فرستنده، و ماهیت رسانه انتقال، مشخص می‌شود و برحسب سیکل بر ثانیه یا هرتز (Hz) اندازه‌گیری می‌شود.
- نویز: سطح متوسط نویز در یک مسیر ارتباطی است.
- سرعت خطا: سرعتی است که خطا اتفاق می‌افتد. خطا، می‌تواند شامل دریافت ۱ زمانی باشد که صفر ارسال شده، یا دریافت صفر زمانی باشد که ۱ ارسال شده.

مشکلی که به آن می‌پردازیم این است که: امکانات ارتباطی گران هستند، و در حالت کلی، هر چه پهنای باند این امکانات بیشتر باشد، هزینه آنها بیشتر است. علاوه بر آن، تمام کانالهای ارتباطی از هر نوع، پهنای باند محدودی دارند. این محدودیت‌ها ناشی از خصوصیات فیزیکی رسانه انتقال، یا محدودیت‌های عمودی قرار داده شده در فرستنده برای پهنای باند، به منظور جلوگیری از تداخل با منابع دیگر، می‌باشند. در نتیجه، هدف، استفاده هر چه

داده ارسال شده :: 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1



سیگنال :



نویز :



سیگنال و نویز :



زمانهای نمونه برداری :

داده دریافتی : 1 0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1
داده اصلی : 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1

Bits in error

شکل ۱۶-۳ اثر نویز در سیگنال دیجیتال

بهینه‌تر از پهنای باند موجود است. برای داده‌های دیجیتالی، به این معنی است که به دنبال حداکثر سرعت انتقال داده با محدودیتی برای سرعت بروز خطا برای یک پهنای باند مشخص می‌باشیم. محدودیت اصلی در دستیابی به این کارایی، نویز است.

پهنای باند نایکویست

برای شروع، ابتدا کانالی را در نظر می‌گیریم که بدون نویز است. در این محیط، محدودیت سرعت انتقال داده، تنها پهنای باند سیگنال است. فرمول‌بندی این محدودیت، که توسط نایکویست انجام شده، بیان می‌کند که اگر سرعت انتقال سیگنال $2B$ باشد، سیگنالی با فرکانسی کمتر یا مساوی B ، برای حمل این سیگنال کافی است. برعکس این مطلب نیز صحیح است: با پهنای باند B ، بیشترین سرعت سیگنال قابل حمل، $2B$ است. این محدودیت در اثر تداخل نمادهای داخلی است، مانند آنهایی که در اثر اعوجاج تأخیر ایجاد می‌شوند. نتیجه این بحث، در توسعه طرح‌های تبدیل دیجیتال به آنالوگ مفید بوده و در مستندات و سایت‌های وب مربوط به این کتاب آمده است.

توجه داشته باشید که در پاراگراف قبلی، به سرعت سیگنال اشاره شد. اگر سیگنالی که باید ارسال شوند، باینری باشند (دو سطح ولتاژ)، سرعت انتقالی که توسط B Hz حمایت می‌شود، $2B$ bps است. به عنوان مثال،

یک کانال صوتی در حال استفاده را در نظر بگیرید، که از مودم برای ارسال داده‌های دیجیتال استفاده می‌کند. پهنای باند 3100 Hz را در نظر بگیرید. سپس، ظرفیت C برای این کانال، $B = 6200 \text{ bps}$ خواهد بود. به هر حال، همانطور که در فصل ۵ خواهید دید، سیگنالهایی با بیش از دو سطح نیز قابل استفاده می‌باشند؛ یعنی، هر عنصر سیگنال می‌تواند بیش از یک بیت را نشان دهد. برای مثال، اگر چهار سطح ولتاژ به عنوان سیگنال استفاده شود، هر عنصر سیگنال می‌تواند دو بیت را نشان دهد. با سیگنالینگ چند سطحی، فرمول نایکوئیست اینگونه خواهد بود:

$$C = 2B \log_2 M$$

که M تعداد سطوح مجزای سیگنال یا ولتاژ می‌باشد. بنابراین، اگر $M = 8$ باشد، که مقدار استفاده شده برای برخی مودم‌ها است، C برابر 18600 bps برای پهنای باند 3100 Hz خواهد بود.

بنابراین، برای یک پهنای باند، سرعت انتقال داده می‌تواند با افزایش تعداد عناصر مجزای سیگنال، افزایش یابد. به هر حال، این عمل، کار بیشتری را برای گیرنده تحمیل می‌نماید: به جای تشخیص دو حالت ممکن برای سیگنال در طول هر سیگنال، باید M عنصر متفاوت سیگنال را تشخیص دهد. نویز و موانع دیگر خط انتقال، مقدار M را محدود می‌نمایند.

فرمول ظرفیت شانون

فرمول نایکوئیست نشان می‌دهد که، اگر همه شرایط دیگر یکسان باشد، دو برابر نمودن پهنای باند، سرعت انتقال داده را دو برابر می‌نماید. اینک رابطه‌ای را بین سرعت انتقال داده، نویز، و سرعت خطا در نظر بگیرید. حضور نویز می‌تواند یک یا چند بیت را از بین ببرد. اگر سرعت انتقال داده افزایش یابد، این بیت‌ها کوتاه‌تر می‌شوند و بنابراین بیت‌های بیشتری با یک الگوی نویز، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بنابراین، با یک سطح نویز مشخص، هر چه سرعت انتقال داده بیشتر باشد، سرعت بروز خطا نیز بیشتر خواهد بود.

شکل (۳-۱۶) این رابطه را نشان می‌دهد. اگر سرعت انتقال داده افزایش یابد، بیت‌های بیشتری در طول بازه پالس نویز قرار می‌گیرند و خطاهای بیشتری اتفاق می‌افتد.

تمام این مفاهیم با هم، در فرمول توسعه داده شده توسط ریاضی‌دانی به نام Claude Shannon منظور شده‌اند. همانطور که نشان داده شد، هر چه سرعت انتقال داده بیشتر باشد، نویز ناخواسته، صدمه بیشتری به دنبال خواهد داشت. برای سطح مشخصی از نویز، انتظار داریم که قدرت سیگنال بیشتر، توانایی دریافت داده‌های صحیح را با حضور نویز، بیشتر نماید. پارامتر کلیدی این نتیجه‌گیری، نسبت سیگنال به نویز (S/N یا SNR)^۱ می‌باشد که نسبت قدرت سیگنال به قدرت نویز است که در یک نقطه در یک انتقال وجود دارد. به طور معمول، این نسبت در گیرنده اندازه‌گیری می‌شود، زیرا در این نقطه است که تلاش برای پردازش سیگنال و ترمیم داده‌ها صورت می‌گیرد. برای سادگی، این نسبت اغلب برحسب دسیبل اندازه‌گیری می‌شود:

۱- برخی از SNR و برخی از S/N استفاده می‌کنند. در برخی موارد، کمیته بدون بُعد را با SNR یا S/N نشان می‌دهند. این کمیت برحسب دسیبل به صورت SNR_{dB} یا $(S/N)_{dB}$ نشان داده می‌شود. در بقیه موارد، SNR یا S/N به معنی کیفیت dB استفاده می‌شود. در اینجا، SNR و SNR_{dB} استفاده می‌شود.

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}}$$

این رابطه مقداری را، برحسب دسیبل، نشان می‌دهد که سیگنال موردنظر بالاتر از سطح نویز قرار دارد. مقدار SNR زیاد به معنی سیگنالی با کیفیت بالا است و مقدار کم آن، نشان دهنده نیاز به تکرار کننده‌ها است.

نسبت سیگنال به نویز در ارسال داده‌های دیجیتالی مهم است زیرا حد بالای سرعت انتقال قابل دسترسی را نشان می‌دهد. نتیجه شانون این است که حداکثر ظرفیت کانال، برحسب بیت در ثانیه، از این معادله تبعیت می‌کند:

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (2-1)$$

که C ظرفیت کانال برحسب بیت بر ثانیه و B، پهنای باند کانال برحسب هرتز می‌باشد. فرمول شانون، حداکثری تئوری است که می‌تواند به دست آید. در عمل، سرعت‌های خیلی کمتری به دست خواهد آمد. یک دلیل این مسئله این است که این فرمول، نویز سفید (نویز حرارتی) را در نظر می‌گیرد. نویز ایمپالس و اعوجاج تضعیف، یا اعوجاج تأخیر به حساب نیامده‌اند.

این ظرفیت نشان داده شده در معادله قبلی، ظرفیت بدون خطا نامیده می‌شود. شانون ثابت کرد که اگر سرعت واقعی انتقال اطلاعات در کانال، کمتر از ظرفیت بدون خطا باشد، از نظر تئوری، استفاده از کد سیگنال مناسب برای دستیابی به انتقالی بدون خطا از طریق کانال وجود دارد. تئوری شانون، بدبختانه، مفهومی را برای یافتن چنین کدی ارائه نمی‌دهد، اما معیار مقایسه‌ای را فراهم می‌کند که بوسیله آن، کارایی ارتباطات عملی می‌تواند اندازه‌گیری شود. چندین مشاهده دیگر مربوط به معادله قبلی قابل انجام است. برای یک سطح نویز مشخص، به نظر می‌رسد که سرعت انتقال داده، با افزایش قدرت سیگنال یا پهنای باند، افزایش می‌یابد. به هر حال، با افزایش قدرت سیگنال، اثرات غیرخطی بودن سیستم ظاهر می‌شود، و باعث افزایش نویز مدولاسیون داخلی می‌گردد. توجه داشته باشید که، چون فرض شده نویز از نوع سفید است، هر چه پهنای باند بیشتر باشد، نویز بیشتری به سیستم وارد می‌شود. بنابراین، با افزایش B، SNR کاهش می‌یابد.

مثال ۲-۳. مثالی را در نظر بگیرید که مرتبط با فرمولهای نایکوئیست و شانون است. فرض کنید طیف کامل بین ۳ MHz و ۴ MHz است و $SNR_{dB} = 24 \text{ dB}$. در این صورت:

$$\begin{aligned} B &= 4 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz} \\ SNR_{dB} &= 24 \text{ dB} = 10 \log_{10}(SNR) \\ SNR &= 251 \end{aligned}$$

با استفاده از فرمول شانون:

$$C = 10^6 \times \log_2(1 + 251) \approx 10^6 \times 8 = 8 \text{ Mbps}$$

این یک حد تئوری است و همانطور که گفته شد، قابل دستیابی نیست. اما فرض کنید به این حد رسیده‌ایم. بر مبنای فرمول نایکوئیست، چند سطح سیگنالینگ لازم است؟

$$\begin{aligned} C &= 2B \log_2 M \\ 8 \times 10^6 &= 2 \times (10^6) \times \log_2 M \\ 4 &= \log_2 M \\ M &= 16 \end{aligned}$$

در نهایت، پارامتری مربوط به SNR را بررسی می‌نمائیم که برای تعیین سرعت انتقال داده‌های دیجیتال و سرعت خطاها مناسب‌تر است و معیار استاندارد کیفیت برای کارایی سیستم ارتباطی دیجیتال می‌باشد. این پارامتر، نسبت انرژی سیگنال برای هر بیت، به دانسیته قدرت نویز برای هر هرتز (Hz)، E_b/N_0 ، می‌باشد. سیگنالی دیجیتال یا آنالوگ را در نظر بگیرید، که حاوی داده‌های باینری دیجیتال ارسال شده با سرعت انتقال R می‌باشد. به خاطر آورید که $1 \text{ watt} = 1 \text{ J/s}$ ، انرژی هر بیت در سیگنال، با $E_b = ST_b$ مشخص می‌شود که S ، قدرت سیگنال و T_b زمان لازم برای ارسال یک بیت می‌باشد. سرعت انتقال داده برابر است با $R = \frac{1}{T_b}$. بنابراین:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N_0} = \frac{S}{kTR}$$

یا برحسب دسیبل:

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{dB}} &= S_{\text{dBW}} - 10 \log R - 10 \log k - 10 \log T \\ &= S_{\text{dBW}} - 10 \log R + 228.6 \text{ dBW} - 10 \log T \end{aligned}$$

نسبت E_b/N_0 مهم است زیرا سرعت خطای بیتی برای داده‌های دیجیتالی، تابعی نزولی از این نسبت می‌باشد. با داشتن مقدار E_b/N_0 که برای رسیدن به سرعت خطای مطلوب مورد نیاز است، پارامترهای فرمول قبلی می‌توانند انتخاب شوند. توجه داشته باشید که با افزایش سرعت انتقال بیت R ، قدرت سیگنال ارسالی، نسبت به نویز، باید افزایش یابد تا E_b/N_0 لازم حفظ شود.

برای فهم این نتیجه، مجدد شکل (۱۶-۳) را در نظر بگیرید. این سیگنال دیجیتال است، اما استنتاج برای سیگنال آنالوگ، مشابه می‌باشد. در چندین مورد، میزان نویز برای تغییر مقدار یک بیت کافی است. اگر سرعت انتقال داده دو برابر شود، بیت‌ها بیشتر به یکدیگر فشرده می‌شوند، و همان نویز می‌تواند دو بیت را از بین ببرد. بنابراین، اگر قدرت سیگنال و نویز ثابت باشد، افزایش سرعت انتقال داده، سرعت بروز خطا را افزایش می‌دهد. فایده E_b/N_0 نسبت به SNR این است که مورد آخر به پهنای باند بستگی دارد.

مثال ۴-۳. برای مدولاسیون شیفته فاز باینری (فصل ۵)، $E_b/N_0 = 8/4 \text{ dB}$ لازم است تا سرعت خطای 10^{-4} (یک بیت خطا برای ۱۰۰۰۰ بیت) بدست آید. اگر دمای مؤثر نویز برابر 290°K (درجه حرارت اتاق) باشد، و سرعت انتقال داده 2400 bps باشد، چه سطح سیگنال دریافتی لازم است؟

$$\begin{aligned} 8.4 &= S(\text{dBW}) - 10 \log 2400 + 228.6 \text{ dBW} - 10 \log 290 \\ &= S(\text{dBW}) - (10)(3.38) + 228.6 - (10)(2.46) \\ S &= -161.8 \text{ dBW} \end{aligned}$$

می‌توان E_b/N_0 را به SNR اینگونه مرتبط نمود:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N_0 R}$$

پارامتر N_0 دانسیته قدرت نویز برحسب هرتز/وات می‌باشد. در این صورت، نویز در سیگنالی با پهنای باند B_T

برابر است با $N = N_0 B_T$ با جایگزینی، خواهیم داشت:

$$(2-2) \quad \frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \frac{B_T}{R}$$

فرمول دیگر، E_b/N_0 را به کارایی طیفی مرتبط می‌نماید. نتیجه شانون (معادله ۶-۲) اینگونه نوشته می‌شود:

$$\frac{S}{N} = 2^{C/B} - 1$$

با استفاده از معادله ۲-۲، و برابر قرار دادن B_T با B و R با C ، داریم:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B}{C} (2^{C/B} - 1)$$

این فرمول، کارایی طیفی C/B را به E_b/N_0 مرتبط می‌کند.

مثال ۳-۵. فرض کنید می‌خواهیم حداکثر E_b/N_0 لازم برای دستیابی به کارایی طیفی ۶ bps/Hz را به

$$E_b/N_0 = (1/6)(2^6 - 1) = 10.5 = 10.21 \text{ dB}$$

۳-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر

کتابهای زیادی وجود دارد که اصول ارسال آنالوگ و دیجیتال را پوشش می‌دهند. [CoUCo1] کاملاً مناسب است. کتابهای مرجع دیگر عبارتند از [FREE99]، که شامل برخی مثالهای استفاده شده در این فصل می‌باشد، همچنین [HAYK01] نیز می‌تواند مناسب باشد.

- | | |
|--------|--|
| COUC01 | Couch, L. <i>Digital and Analog Communication Systems</i> . Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001. |
| FREE99 | Freeman, R. <i>Fundamentals of Telecommunications</i> . New York: Wiley, 1999. |
| HAYK01 | Haykin, S. <i>Communication Systems</i> . New York: Wiley, 2001. |

۳-۶ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل

واژه‌های کلیدی

پهنای باند مطلق	داده دیجیتال	دامنه حداکثر
داده آنالوگ	سیگنال دیجیتال	پریود
سیگنال آنالوگ	انتقال دیجیتال	سیگنال پریودیک
انتقال آنالوگ	اتصال مستقیم	اتصال نقطه - به - نقطه
غیرپریودیک	پهنای باند مؤثر	فاز
تضعیف	فرکانس	سیگنال
اعوجاج تضعیف	حوزه فرکانس	سیگنالینگ
پهنای باند	full duplex	simplex
فرکانس مرکزی	فرکانس پایه	طیف
ظرفیت کانال	رسانه هدایت شده	نویز حرارتی
القاء متقابل	half duplex	حوزه زمان
داده	نویز ایمپالس	انتقال
مؤلفه dc	نویز مدولاسیون داخلی	رسانه هدایت نشده
دسیبل (dB)	اتصال چند نقطه‌ای	طول موج
اعوجاج تأخیر	نویز	بی‌سیم

سؤالات

- ۳-۱ تفاوت‌های بین رسانه هدایت شده و رسانه هدایت نشده چیست؟
- ۳-۲ تفاوت‌های بین سیگنال الکترومغناطیسی آنالوگ و دیجیتال چیست؟
- ۳-۳ سه خصوصیت مهم سیگنال پریودیک چیست؟
- ۳-۴ چند رادیان در یک سیکل ۳۶۰ درجه وجود دارد.
- ۳-۵ رابطه بین طول موج و فرکانس موج سینوسی چیست؟
- ۳-۶ رابطه بین طیف سیگنال و پهنای باند چیست؟
- ۳-۷ تضعیف چیست؟
- ۳-۸ ظرفیت کانال را تعریف کنید.
- ۳-۹ فاکتورهای کلیدی تأثیرگذار بر ظرفیت کانال کدامند؟

مسائل

- ۳-۱ الف - در پیکربندی چند نقطه‌ای، فقط یک دستگاه در یک زمان می‌تواند ارسال نماید. چرا؟
- ب - دو روش برای برقراری این قانون که فقط یک دستگاه بتواند ارسال نماید، وجود دارد. در روش

مرکزی، یک ایستگاه وظیفه کنترل دارد و می تواند ارسال نماید، یا به ایستگاه خاص دیگری اجازه ارسال بدهد. در روش غیر مرکزی، ایستگاهها برای تعیین نوبت، با یکدیگر همکاری می کنند. در مورد نقاط قوت و ضعف این روشها بحث نمائید.

۳-۲ یک سیگنال دارای فرکانس پایه 1000 Hz می باشد. پریود آن چیست؟

۳-۳ موارد زیر را به ساده ترین شکل ممکن توضیح دهید:

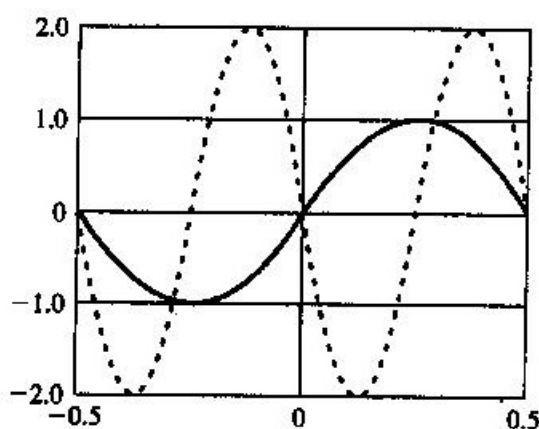
الف - $\sin(2\pi ft - \pi) + \sin(2\pi ft + \pi)$

ب - $\sin 2\pi ft + \sin(2\pi ft - \pi)$

۳-۴ صوت می تواند با توابع سینوسی مدلسازی شود. فرکانس نسبی و طول موج نت های موسیقی را مقایسه نمائید. سرعت صوت را 330 m/s و فرکانسهای زیر را برای موسیقی در نظر بگیرید.

Note	C	D	E	F	G	A	B	C
Frequency	264	297	330	352	396	440	495	528

۳-۵ اگر منحنی پررنگ شکل (۳-۱۷) نشان دهنده $\sin(2\pi t)$ باشد، منحنی نقطه چین چه چیزی را نشان می دهد؟ یعنی، منحنی نقطه چین می تواند به شکل $A \sin(2\pi ft + \phi)$ نوشته شود؛ A ، f و ϕ را مشخص کنید.



شکل ۳-۱۷ شکل مسئله ۳-۵

۳-۶ سیگنال $\cos 100t (1 + 0.1 \cos 5t)$ را به ترکیب خطی تابع سینوسی تجزیه نمائید، و دامنه، فرکانس، و فاز هر مؤلفه را مشخص کنید. نکته: از $\cos a \cos b$ استفاده کنید.

۳-۷ پریود تابع $f(t) = (10 \cos t)^2$ را بدست آورید.

۳-۸ دو تابع پریودیک $f_1(t)$ و $f_2(t)$ را با پریودهای T_1 و T_2 در نظر بگیرید. آیا همیشه تابع $f(t) = f_1(t) + f_2(t)$ نیز پریودیک است؟ در این صورت، این حقیقت را نشان دهید. در غیر این صورت، در چه شرایطی $f(t)$ پریودیک است؟

۳-۹ شکل (۳-۴) اثر حذف مؤلفه های هارمونیک بالاتر از موج مربعی و نگهداری چند مؤلفه هارمونیک پایین تر

را نشان می‌دهد. این سیگنال در حالت مخالف، شبیه چه چیزی است، یعنی، نگهداری تمام هارمونیک‌های بالا و حذف چند هارمونیک پایین‌تر.

۳-۱۰ شکل (۵-۳-ب) - تابع محدوده فرکانسی را برای یک پالس مربعی نشان می‌دهد. این پالس منفرد می‌تواند ۱ دیجیتال را در یک سیستم ارتباطی نشان دهد. توجه داشته باشید که بی‌نهایت فرکانس بالاتر با دامنهٔ رو به کاهش، برای نشان دادن این پالس لازم است. اثر آن در یک سیستم انتقال دیجیتالی واقعی چیست؟

۳-۱۱ IRA کدی هفت‌بیتی است که امکان تعریف ۱۲۸ کاراکتر را می‌دهد. در دههٔ ۱۹۷۰، روزنامه‌های بسیاری، داستانهایی را با استفاده از سرویس سیمی با کدی ۶ بیتی به نام TTS دریافت نمودند. این کد، شامل کاراکترهای حروف بزرگ و کوچک، همراه با کاراکترهای خاص بسیاری بود. مجموعه کاراکترهای معمول TTS امکان تعریف ۱۰۰ کاراکتر را فراهم نموده است. این عمل چگونه انجام می‌شود؟

۳-۱۲ برای سیگنال ویدئویی، چه افزایشی در دقت افقی امکان‌پذیر است اگر پهنای باند ۵ MHz استفاده شود؟ چه افزایشی در دقت عمودی امکان‌پذیر است؟ این دو سؤال را جداگانه بررسی نمایید؛ یعنی، پهنای باند افزوده شده، برای افزایش یکی از دقت‌های افقی و عمودی استفاده می‌شود و نه هر دو.

۳-۱۳ (الف) - فرض کنید که یک تصویر تلویزیونی دیجیتالی شده، قرار است از یک مبدأ ارسال شود که ماتریسی شامل 480×500 عنصر تصویر (پیکسل) دارد، و هر پیکسل می‌تواند یکی از ۳۲ مقدار شدت را داشته باشد. فرض کنید که ۳۰ تصویر در ثانیه ارسال می‌شود (این مبدأ دیجیتالی مشابه استانداردهای بخش تلویزیونی است که بحث شده است). سرعت مبدأ R را برحسب bps بدست آورید.

ب- فرض کنید که تصویر تلویزیونی قرار است توسط کانالی با پهنای باند ۵/۴ MHz و نسبت سیگنال به نویز ۳۵ dB ارسال شود. ظرفیت کانال را برحسب bps محاسبه کنید.

پ- توضیح دهید چگونه پارامترهای داده شده در بخش الف، می‌توانند اصلاح شوند تا امکان ارسال سیگنالهای رنگی تلویزیونی را بدون افزایش مقدار مورد نیاز R فراهم نمایند؟

۳-۱۴ تقویت‌کننده‌ای با درجه حرارت نویز موثر 100000°K و پهنای باند ۱۰ MHz در اختیار داریم. چه سطحی از سطح نویز حرارتی در خروجی آن مورد انتظار است؟

۳-۱۵ ظرفیت کانال برای کانال چاپگری با پهنای باند ۳۰۰ Hz و نسبت سیگنال به نویز ۳ dB چقدر است، نویز آن نیز نویز سفید حرارتی است.

۳-۱۶ یک سیستم سیگنالینگ دیجیتالی برای کار با سرعت ۹۶۰۰ bps مورد نیاز است.

الف- اگر یک عنصر سیگنال، با کلمه‌ای ۴ بیتی کدگذاری شود، حداقل پهنای باند لازم برای کانال چیست؟
ب- بخش الف را برای کلمات ۸ بیتی تکرار کنید.

۳-۱۷ سطح نویز حرارتی برای کانالی با پهنای باند ۱۰ KHz که ۱۰۰۰ وات توان را در 50°C تحمل می‌کند چیست؟

۳-۱۸ کارهای شانون و نایکوئیست را در مورد ظرفیت کانال مطالعه کنید. هر کدام، حد بالایی را برای سرعت انتقال بیت‌ها در کانال بر مبنای دو روش متفاوت ارائه می‌دهند. این دو چگونه به هم مرتبط هستند؟

۳-۱۹ در کانالی با ظرفیت ۲۰ Mbps، پهنای باند کانال، ۳ MHz می‌باشد. با در نظر گرفتن نویز سفید حرارتی،

نسبت سیگنال به نویز لازم برای دستیابی به این ظرفیت چقدر است.

۳-۲۰ موج مربعی شکل (۷-۳-ج) با $T = 1 \text{ ms}$ ، از یک فیلتر پایین گذر عبور داده می شود که فرکانسهای تا ۸ KHz را بدون تضعیف عبور می دهد.

الف - قدرت شکل موج خروجی را بدست آورید.

ب - فرض کنید که در ورودی فیلتر، ولتاژ نویز حرارتی وجود دارد با $N_0 = 0.1 \text{ } \mu\text{watt/Hz}$. نسبت سیگنال به نویز خروجی را برحسب dB محاسبه کنید.

۳-۲۱ اگر سطح سیگنال دریافت شده برای یک سیستم دیجیتال خاص، ۱۵۱ dBW باشد، و سیستم گیرنده دارای درجه حرارت نویز مؤثر ۱۵۰۰ K باشد، مقدار E_b/N_0 برای اتصال با سرعت ۲۴۰۰ bps چقدر است.

۳-۲۲ جاهای خالی جدول زیر را که شامل نسبت های قدرت تقریبی برای سطوح مختلف dB می باشد، تکمیل نمائید.

دسیبل	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
اتلاف			0.5							0.1
بهره			2							10

۳-۲۳ اگر یک تقویت کننده دارای بهره ولتاژ ۳۰ dB باشد، چه نسبت ولتاژی را این بهره، تولید می کند؟

۳-۲۴ یک تقویت کننده دارای خروجی ۲۰ W است. خروجی آن برحسب dBW چقدر است؟

ضمیمه ۳ - الف دسیبل و قدرت سیگنال

یک پارامتر مهم در هر سیستم انتقال، قدرت سیگنال می باشد. با انتشار سیگنال در رسانه انتقال، تضعیفی بر روی قدرت سیگنال به وجود خواهد آمد. به منظور خنثی نمودن آن، تقویت کننده هایی می تواند در نقاط گوناگون قرار داده شود تا قدرت سیگنال افزایش یابد.

اغلب میزان بهره، اتلاف، و سطوح نسبی، برحسب دسیبل بیان می شوند زیرا:

- قدرت سیگنال اغلب به صورت نمایی کاهش می یابد، بنابراین نمایی بودن اتلاف به راحتی برحسب دسیبل قابل درک می باشد.

- بهره یا اتلاف شبکه در یک مسیر انتقال متوالی، با جمع یا تفریق ساده قابل محاسبه است. دسیبل، معیاری است بر مبنای نسبت دو سطح سیگنال. میزان بهره برحسب دسیبل اینگونه محاسبه می شود:

$$G_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

که G_{dB} = میزان بهره برحسب دسیبل

P_{in} = سطح قدرت ورودی

P_{out} = سطح قدرت خروجی

$\log_{10}$ = لگاریتم بر مبنای ۱۰

جدول ۲-۳ مقادیر دسیبل

نسبت توان	dB	نسبت توان	dB
10^1	۱۰	10^{-1}	-۱۰
10^2	۲۰	10^{-2}	-۲۰
10^3	۳۰	10^{-3}	-۳۰
10^4	۴۰	10^{-4}	-۴۰
10^5	۵۰	10^{-5}	-۵۰
10^6	۶۰	10^{-6}	-۶۰

جدول ۲-۳ رابطه بین مقادیر دسیبل و توان‌های ۱۰ را نشان می‌دهد.

عدم تطابقی در استفاده از مفاهیم واژه‌های بهره و اتلاف وجود دارد. اگر مقدار G_{dB} مثبت باشد، بهره واقعی توان را نشان می‌دهد. برای مثال، بهره ۳ dB به این معنی است که توان، دو برابر شده است. اگر مقدار G_{dB} منفی باشد، نشان دهنده اتلاف واقعی توان خواهد بود. برای مثال، بهره ۳ dB - به این معنی است که توان، نصف شده است، که نشان دهنده اتلاف توان خواهد بود. به طور نرمال، این مسئله اینگونه بیان می‌شود که، اتلاف ۳ dB وجود دارد. به هر حال، برخی بیان می‌کنند که اتلاف آن ۳ dB - است. این مطلب قابل فهم‌تر است که بهره منفی معادل است با اتلاف مثبت. بنابراین، تضعیف برحسب دسیبل اینگونه تعریف می‌شود:

$$L_{dB} = -10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

مثال ۶-۳. اگر سیگنالی با سطح قدرت ۱۰ mW بر روی خط انتقال قرار داده شود، قدرت اندازه‌گیری شده در مسافتی دورتر از مبدأ، ۵ mW است. اتلاف آن اینگونه محاسبه می‌شود:

$$L_{dB} = 10 \log(10/5) = 10(0.3) = 3 \text{ dB}$$

توجه داشته باشید که دسیبل، معیاری نسبی است و نه مطلق. اتلافی از ۱۰۰۰ mW تا ۵۰۰ mW، معادل اتلاف ۳ dB است.

دسیبل، برای اندازه‌گیری تفاوت ولتاژ نیز استفاده می‌شود. این توان متناسب است با مربع ولتاژ:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

که

P = توان مصرف شده توسط مقاومت R

V = ولتاژ دو سر مقاومت R

بنابراین:

$$L_{dB} = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}} = 10 \log \frac{V_{in}^2/R}{V_{out}^2/R} = 20 \log \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

مثال ۷-۳. دسیبل برای تعیین بهره یا اتلاف عناصر انتقال مفید است. یک سری عناصری را در نظر بگیرید که ورودی آنها دارای سطح قدرت 4 mW می باشد. اولین عنصر، خط انتقالی است با اتلاف 12 dB (بهره -12 dB)، دومین عنصر، تقویت کننده ای است با بهره 35 dB ، و سومین عنصر، خط انتقالی است با اتلاف 10 dB . بهره کلی برابر است با 13 dB $(-12 + 35 - 10) =$ ، به منظور محاسبه قدرت خروجی P_{out} :

$$G_{\text{dB}} = 13 = 10 \log(P_{\text{out}}/4 \text{ mW})$$

$$P_{\text{out}} = 4 \times 10^{1.3} \text{ mW} = 79.8 \text{ mW}$$

مقادیر دسیبل، به دامنه نسبی یا تغییرات دامنه اشاره دارد، و نه به سطح مطلق. مناسب است که بتوان به سطح قدرت یا ولتاژ نیز برحسب دسیبل اشاره نمود تا بهره یا اتلاف نسبت به سطح سیگنال اولیه به راحتی قابل محاسبه باشد. dBW (دسیبل - وات)، به طور گسترده ای در کاربردهای مایکروویو استفاده می شود. مقدار 1 W به عنوان مرجع استفاده می شود و 0 dBW تعریف شده است. سطح قدرت مطلق دسیبل برحسب dBW اینگونه تعریف شده است:

$$\text{Power}_{\text{dBW}} = 10 \log \frac{\text{Power}_w}{1 \text{ W}}$$

مثال ۸-۳. توان 1000 W برابر 30 dB ، و توان 1 mW برابر -30 dBW است.

واحد متداول دیگر، dBm (دسیبل - میلی وات) می باشد، که 1 mW را به عنوان مرجع استفاده می کند. بنابراین،

$$0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW} \quad \text{فرمول آن عبارت است از:}$$

$$\text{Power}_{\text{dBW}} = 10 \log \frac{\text{Power}_{\text{mW}}}{1 \text{ mW}}$$

به این رابطه توجه کنید:

$$+30 \text{ dBm} = 0 \text{ dBW}$$

$$0 \text{ dBm} = -30 \text{ dBW}$$

واحدی که به طور گسترده در کاربردهای تلویزیون و LAN باند وسیع استفاده می شود، dBmV (دسیبل - میلی ولت) می باشد. در این واحد مطلق، 0 dBmV معادل 1 mV است. بنابراین:

$$\text{Voltage}_{\text{dBmV}} = 20 \log \frac{\text{Voltage}_{\text{mV}}}{1 \text{ mV}}$$

در این حالت، سطوح ولتاژ در دو سر مقاومت 75 اهم فرض شده است.

رسانه انتقال هدایت شده وبی سیم

۴-۱ رسانه انتقال هدایت شده

زوج تاییده
کابل کواکسیال
فیبر نوری

۴-۲ انتقال بی سیم

آنتن ها
مایکرو ویو زمینی
مایکرو ویو ماهواره ای
پخش رادیو
مادون قرمز

۴-۳ انتشار بی سیم

انتشار موج زمینی
انتشار موج جوی
انتشار در یک خط دید

۴-۴ انتقال یک خط دید

اتلاف فضای آزاد
جذب اتمسفری
چند مسیری
خمیدگی

۴-۵ توصیه هایی برای مطالعه بیشتر و سایت های وب

۴-۶ واژه های کلید، سوالات و مسائل

نکات کلیدی

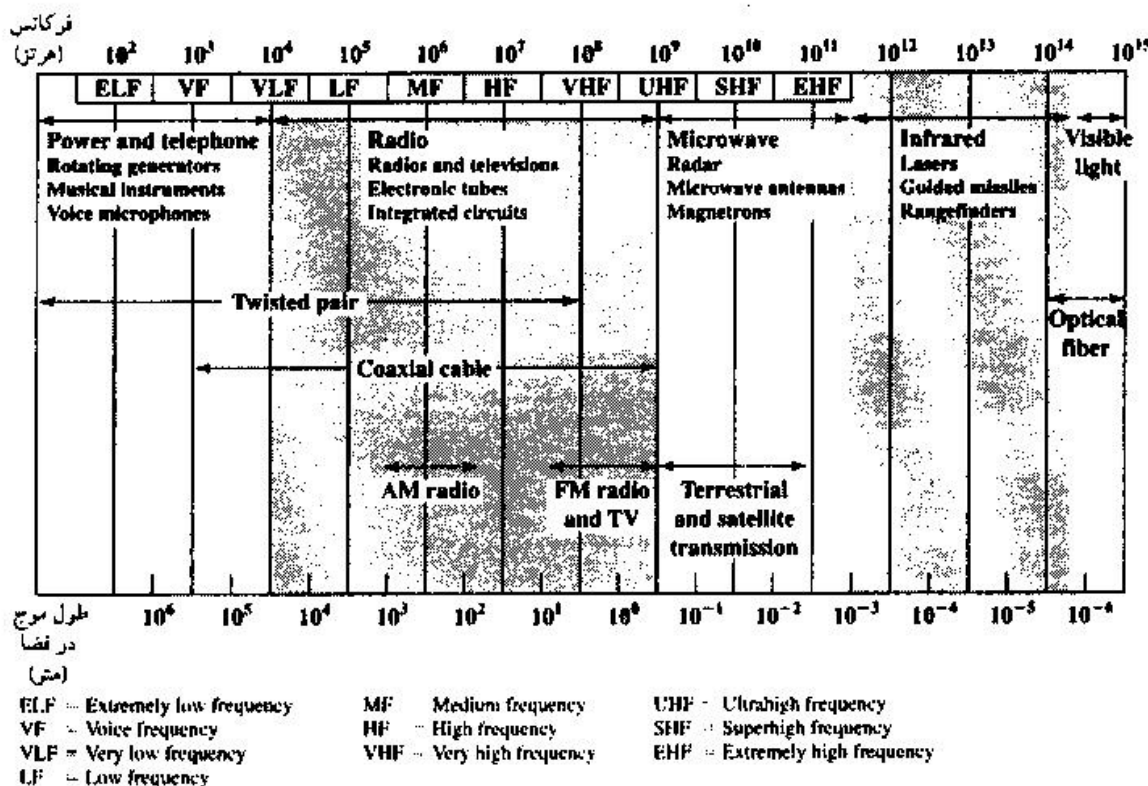
- رسانه انتقال که برای تغذیه اطلاعات استفاده می شود، می تواند به دو بخش هدایت شده و هدایت نشده طبقه بندی گردد. رسانه هدایت شده، مسیری فیزیکی را فراهم می کند که از طریق آن، سیگنالها منتشر می شوند و این مسیرها عبارتند از زوج های تابیده، کابل کواکسیال، و فیبر نوری. رسانه هدایت نشده، از آنتن برای انتقال از طریق هوا، خلاء یا آب استفاده می کند.
- به طور معمول، زوج تابیده، برای ارتباطاتی از هر نوع استفاده می شود. سرعت های انتقال داده بالا در مسافت های طولانی، با کابل کواکسیال بدست می آید، و بنابراین، کابل کواکسیال اغلب برای شبکه محلی سرعت بالا و کاربردهای ظرفیت بالای مسافت طولانی، استفاده می شود. به هر حال، ظرفیت بالای فیبر نوری، باعث شده آن رسانه جذاب تر از کابل کواکسیال باشد، و بنابراین، فیبر نوری، اکثر بازار شبکه های LAN سرعت بالا و کاربردهای مسافت طولانی را به خود اختصاص داده است.
- تکنیک های انتقال هدایت نشده، معمولاً برای ارتباطات شامل پخش رادیویی، مایکرو ویو زمینی، و ماهواره ای استفاده می شوند. انتقال مادون قرمز، در برخی کاربردهای LAN استفاده می شود.

در سیستم های انتقال داده، رسانه انتقال، مسیری فیزیکی بین فرستنده و گیرنده است. از فصل ۳ به خاطر آوردید که برای رسانه هدایت شده، امواج الکترومغناطیسی، در طول رسانه سخت مانند زوج های تابیده مسی، کابل کواکسیال مسی، و فیبر نوری، هدایت می شوند. برای رسانه هدایت نشده، انتقال بی سیم از طریق اتمسفر، فضای خارجی، یا آب انجام می گیرد.

خصوصیات و کیفیت انتقال داده، توسط خصوصیات رسانه و خصوصیات سیگنال مشخص می شوند. برای رسانه هدایت نشده، پهنای باند سیگنال تولید شده توسط آنتن فرستنده، در تعیین خصوصیات انتقال، مهمتر از رسانه است. یک خصوصیت کلیدی سیگنالهایی که توسط آنتن ارسال می شوند، جهت دار بودن است. در حالت کلی، سیگنالهایی با فرکانسهای پایین تر، چند جهتی هستند، یعنی، سیگنال در تمام جهات از طریق آنتن منتشر می شود. در فرکانسهای بالاتر، امکان تمرکز سیگنال به صورت اشعه جهت دار، وجود دارد.

در طراحی سیستم های انتقال داده، عوامل کلیدی، عبارتند از: سرعت انتقال داده، و مسافت: هر چه سرعت انتقال داده و مسافت بیشتر باشد، بهتر است. چند عامل طراحی، به رسانه انتقال و سیگنال مرتبط می شوند، که سرعت انتقال و مسافت را تعیین می نمایند.

- پهنای باند: اگر تمام فاکتورهای دیگر ثابت بمانند، هر چه پهنای باند سیگنال بیشتر باشد، سرعت انتقال داده ای که بدست می آید، بیشتر است.
- موانع انتقال: مواعی مانند تضعیف، مسافت را محدود می نمایند. برای رسانه هدایت شده، زوج تابیده عموماً تضعیفی بیش از کابل کواکسیال دارد، و آن نیز تضعیفی بیشتر از فیبر نوری دارد.
- تداخل: تداخل ناشی از تلاش سیگنالها برای گرفتن باندهای فرکانسی، می تواند سیگنال را حذف یا تضعیف



شکل ۱-۴ طیف الکترومغناطیسی برای مخابرات

نماید. تداخل، برای رسانه هدایت نشده دارای اهمیت خاصی است اما مشکلی برای رسانه هدایت شده نیز می باشد. برای رسانه هدایت شده، تداخل می تواند ناشی از القاء از کابل های نزدیک به هم باشد. برای مثال، زوج های تابیده اغلب با یکدیگر به صورت دسته ای قرار می گیرند و کانالها اغلب چندین کابل را حمل می کنند. تداخل می تواند در انتقال های هدایت نشده نیز به وجود آید. شیلد نمودن رسانه هدایت شده، می تواند این مشکل را به حداقل برساند.

- تعداد گیرنده ها: یک رسانه هدایت شده، می تواند برای ایجاد اتصال نقطه به نقطه یا یک اتصال مشترک با چندین قطعه متصل شده، استفاده شود. در حالت اخیر، هر جزء متصل شده، تضعیف و اعوجاجی را بر روی خط ایجاد می کند و باعث محدود شدن مسافت و سرعت انتقال داده می شود.

شکل (۱-۴) طیف الکترومغناطیسی را به تصویر کشیده است و فرکانس هایی را نشان می دهد که رسانه های هدایت شده متعدد و تکنیک های انتقال هدایت نشده، در آن عمل می نمایند. در این فصل، راه های انتقال هدایت شده و هدایت نشده مورد توجه هستند. در تمام موارد، سیستم ها به طور فیزیکی توصیف می شوند، کاربردها به طور خلاصه بحث می گردند، و خصوصیات کلیدی انتقال به طور خلاصه مرور می شوند.

۱-۴ رسانه هدایت شده

برای رسانه انتقال هدایت شده، ظرفیت انتقال، برحسب سرعت انتقال داده یا پهنای باند، بستگی دارد به مسافت و این که آیا رسانه از نوع نقطه به نقطه است یا چند نقطه. جدول ۱-۴ خصوصیات معمول رسانه هدایت شده

جدول ۱-۲ خصوصیات ارتباط نقطه-به-نقطه رسانه هدایت شده

فاصله تکرار کننده	تاخیر معمول	تضعیف معمول	محدوده فرکانس
۲ km	۵۰ μ s/km	۰/۲ dB/km @ ۱kHz	۰ تا ۳/۵ kHz زوج تاییده
۲ km	۵ μ s/km	۳ dB/km @ ۱kHz	۰ تا ۱ MHz زوج های تاییده (کابل های چند زوج)
۱ تا ۹ km	۴ μ s/km	۷ dB/km @ ۱۰ MHz	۰ تا ۵۰۰ MHz کابل کواکسیال
۴۰ km	۵ μ s/km	۰/۲ تا ۰/۵ dB/km	۱۸۰ تا ۳۷۰ THz فیبرنوری

معمولی را برای کاربردهای مسافت طولانی نقطه به نقطه نشان می دهد. بحث مربوط به استفاده از این رسانه برای شبکه های LAN چند نقطه، به بخش چهارم منتقل شده است. سه رسانه هدایت شده متداول برای انتقال داده ها عبارتند از زوج تاییده، کابل کواکسیال، و فیبر نوری (شکل ۲-۴). به ترتیب هر یک از اینها را بررسی می نمایم.

زوج تاییده

ارزان ترین و پر استفاده ترین رسانه انتقال هدایت شده، زوج تاییده است.

توصیف فیزیکی

زوج تاییده شامل دو سیم مسی ایزوله شده است که به صورت مارپیچ پیچیده شده اند. یک زوج سیم، یک اتصال ارتباطی است. به طور معمول، چندین زوج از آنها به صورت یک دسته در داخل کابل قرار می گیرند، و توسط شیلد محافظت می شوند. در مسافت های طولانی، کابلها حاوی صداها زوج هستند. تاییده بودن، باعث کاهش تداخل القاء متقابل بین زوج های مجاور در کابل می شود. زوج های همسایه در یک دسته معمولاً طول پیچش متفاوتی دارند تا تداخل القاء متقابل را کاهش دهند. در اتصالات طولانی، طول پیچش معمولاً بین ۵ تا ۱۵ سانتی متر متفاوت است. هر زوج سیم قطری بین ۰/۴ تا ۰/۹ میلی متر دارد.

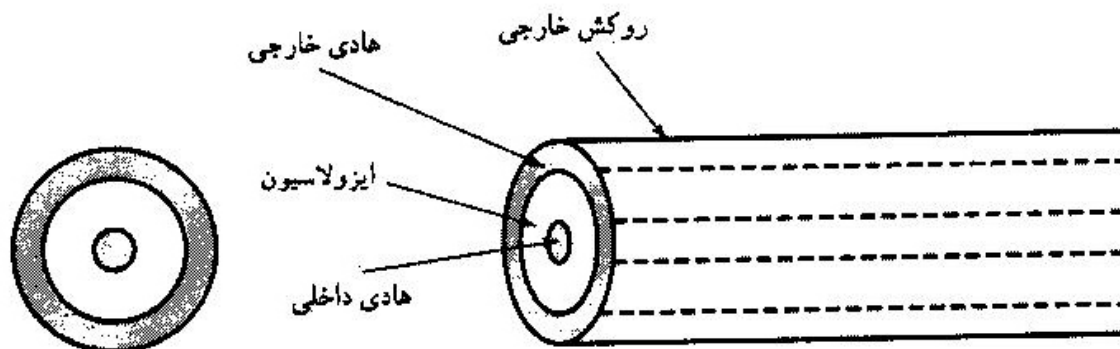
کاربردها

متداول ترین رسانه انتقال برای سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال، زوج تاییده است. اکثراً در شبکه تلفن استفاده می شود و برای ارتباطات داخل ساختمانها نیز مناسب می باشد.

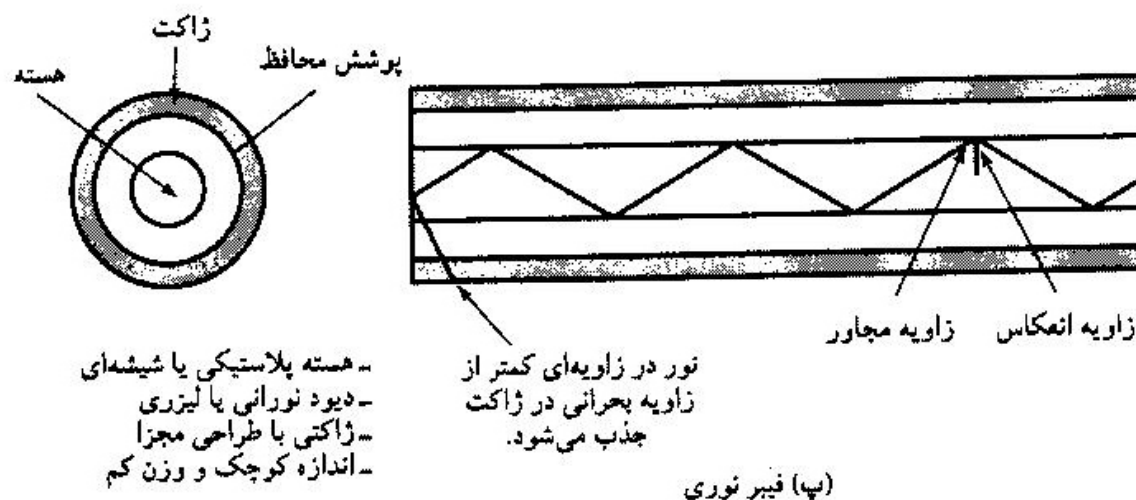
در سیستم تلفن، هر مجموعه خط تلفن یک ناحیه، به مرکز تلفن محلی از طریق سیم زوج تاییده، متصل است. به اینها، حلقه های مشترکین می گویند. در اداره، هر تلفن نیز به یک زوج تاییده متصل می باشد، که به سیستم مبادله انشعابات اختصاصی (PBX) یا به دستگاه مرکزی در این اداره متصل می گردد. این مجموعه های زوج های تاییده، برای حمایت از ترافیک صوتی با استفاده از سیگنالینگ آنالوگ، طراحی شده اند. به هر حال، به وسیله یک مودم، این امکانات، می توانند ترافیک داده های دیجیتال را با سرعت های انتقال داده متوسط،



- ایزوله شده مجزا
- تابیده شده با هم
- اغلب در داخل کابل قرار می گیرند
- معمولاً در ساختمان در ضمن ساخت نصب می شوند



- (ب) کابل کواکسیال
- هادی خارجی، شیلد بافته شده است.
 - هادی داخلی، فلز توپر است.
 - با ماده ایزوله جدا شده اند.
 - با روکش پوشیده شده اند.

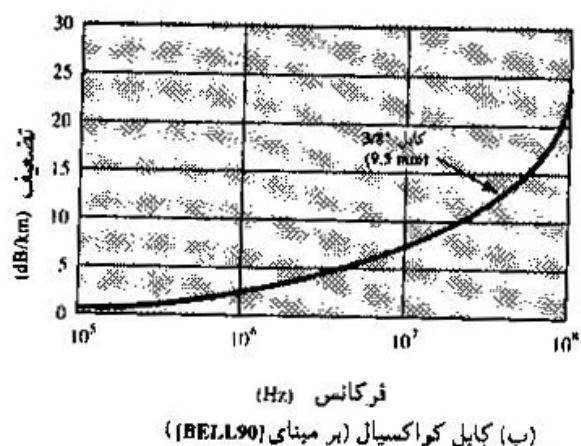
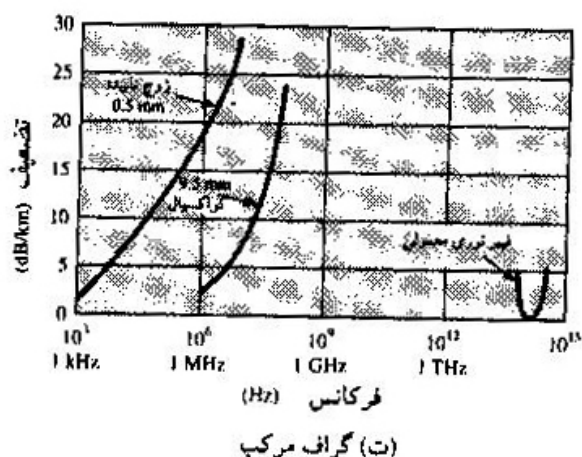
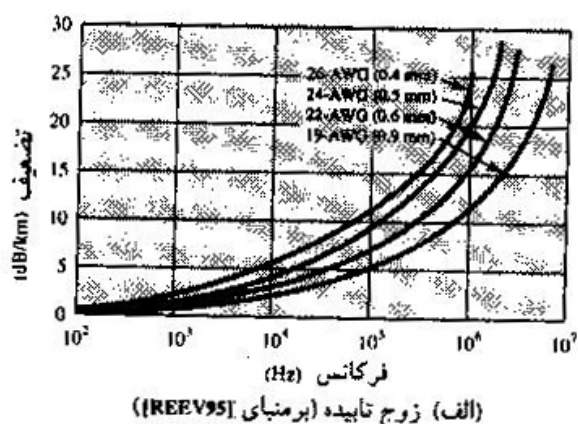
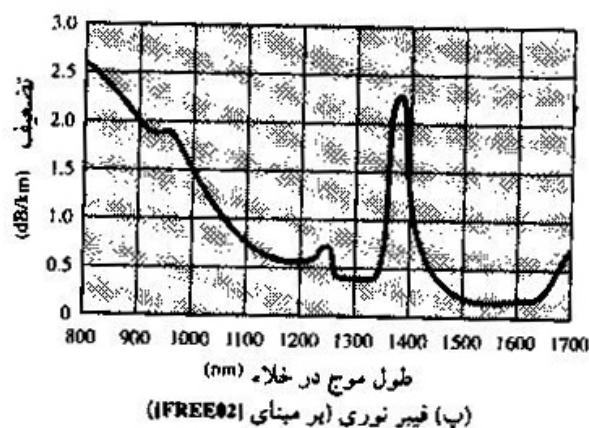


- (پ) فیبر نوری
- هسته پلاستیکی یا شیشه ای
 - دیود نوری یا لیزری
 - ژاکتی با طراحی مجزا
 - اندازه کوچک و وزن کم
- نور در زاویه ای کمتر از زاویه بحرانی در ژاکت جذب می شود.

شکل ۲-۴ رسانه انتقال هدایت شده

اداره نمایند.

زوج تابیده همچنین متداول ترین رسانه استفاده شده برای سیگنالینگ دیجیتال می باشد. برای ارتباطات با سوئیچ داده های دیجیتال یا PBX دیجیتال در داخل ساختمان، سرعت انتقال داده ۶۴ Kbps متداول است. زوج تابیده در یک ساختمان برای شبکه های محلی کامپیوترهای شخصی نیز استفاده می شود. سرعت انتقال داده برای چنین محصولاتی معمولاً نزدیک ۱۰ Mbps می باشد. به هر حال، شبکه های زوج تابیده، با سرعت انتقال داده ۱ Gbps نیز توسعه داده شده اند، اگرچه از نظر تعداد دستگاهها و محدوده جغرافیایی شبکه کاملاً محدودیت دارند. برای کاربردهایی با مسافت طولانی، زوج تابیده می تواند در سرعت های ۴ Mbps یا بیشتر کار نماید.



شکل ۳-۴ تضعیف رسانه هدایت شده معمولی

زوج تابیده خیلی ارزان‌تر از روشهای متداول دیگر استفاده شده در رسانه انتقال هدایت شده (کابل کواکسیال، فیبر نوری) می‌باشد و کار با آن ساده‌تر است.

خصوصیات انتقال

زوج تابیده می‌تواند برای انتقال آنالوگ و دیجیتال استفاده شود. برای سیگنالهای آنالوگ، تقویت‌کننده‌هایی در هر ۵ یا ۶ کیلومتر مورد نیاز می‌باشد. برای انتقال دیجیتال (با استفاده از سیگنالهای آنالوگ یا دیجیتال)، تکرار کننده‌هایی در هر ۲ یا ۳ کیلومتر مورد نیاز است.

در مقایسه با روشهای متداول دیگر استفاده شده در رسانه انتقال هدایت شده (کابل کواکسیال، فیبر نوری)، زوج تابیده از نظر مسافت، پهنای باند، و سرعت انتقال داده محدود است. همانطور که در شکل (۳-۴-الف) دیده می‌شود، تضعیف برای زوج تابیده تابع قدرتمندی از فرکانس می‌باشد و موانع دیگر نیز برای زوج تابیده قابل توجه هستند. این رسانه خیلی حساس به تداخل و نویز است، زیرا کوپل ساده‌ای با میدانهای مغناطیسی برقرار می‌شود. برای مثال، سیمی که در کنار خط انتقال نیروی ac قرار دارد، انرژی Hz ۶۰ را جذب می‌کند. نویز ایمپالس نیز به راحتی در زوج تابیده تأثیر دارد. معیارهای متعددی برای کاهش موانع مطرح شده‌اند. شیلد نمودن سیم با صفحه متالیک یا پوشش دادن آن، تداخل را کاهش می‌دهد. پیچش سیم، تداخل فرکانس پایین را کاهش می‌دهد، و استفاده از طولهای پیچش متفاوت در زوجهای مجاور، آلفا متقابل را کاهش می‌دهد.

برای سیگنالینگ آنالوگ نقطه به نقطه، پهنای باندی تا 1 MHz امکان پذیر است. این عمل باعث استفاده از چندین کانال صوتی می شود. برای سیگنالینگ دیجیتال نقطه به نقطه مسافت طولانی، سرعت های انتقال داده تا چندین Mbps امکان پذیر است. در مسافت های خیلی کوتاه، سرعت های انتقال داده ای تا 1 Gbps در محصولات تجاری بدست آمده است.

زوج های تابیده شیلد دار و بدون شیلد

در نوع زوج تابیده وجود دارد: شیلد دار و بدون شیلد. زوج تابیده بدون شیلد (UTP)، سیم تلفن معمولی است. ساختمانهای اداری، در سطح جهانی، با استفاده از زوج تابیده بدون شیلد سیم کشی شده اند که چیزی بیش از حد نیاز برای ارتباط تلفنی است. این روش، ارزان ترین رسانه انتقال است که به طور معمول برای شبکه های محلی استفاده می شود و نصب و کار با آن نیز ساده است.

زوج تابیده بدون شیلد در معرض تداخل الکترومغناطیسی است، شامل تداخل از زوج تابیده کناری و نویز تولید شده در محیط. یک روش برای ارتقاء خصوصیات این رسانه، شیلد نمودن زوج تابیده با پوشش متالیک یا پوشش دادن آن می باشد، که تداخل را کاهش می دهد. زوج تابیده شیلد شده (STP)، کارایی بهتری در سرعت های انتقال داده بالا فراهم می نماید. به هر حال، گران تر و کار با آن مشکل تر از زوج تابیده بدون شیلد است.

دسته بندی ۳ و دسته بندی ۵ برای UTP

اکثر ساختمانهای اداری با نوعی کابل زوج تابیده ۱۰۰ اهم از قبل سیم کشی شده اند که معمولاً کابل رده صوتی نامیده می شود. چون زوج تابیده صوتی از قبل نصب شده است، راه خوبی برای استفاده به عنوان رسانه LAN می باشد. بدبختانه، سرعت های انتقال داده و مسافت های قابل دسترسی با زوج تابیده صوتی، محدود است.

در ۱۹۹۱، جامعه صنایع الکترونیک، استاندارد EIA-568 را به نام کابل کشی استاندارد مخابراتی ساختمان تجاری، منتشر نمود که استفاده از زوج تابیده صوتی بدون شیلد را همراه با زوج تابیده شیلد دار، برای کاربردهای انتقال داده داخل ساختمان پیشنهاد نموده است. در آن زمان، مشخصه آن، برای رنج فرکانسها و سرعت های انتقال داده ای مناسب بود که در محیط های اداری یافت می شد. تا آن زمان، علاقه اولیه برای طراحی های LAN، در محدوده سرعت های انتقال داده ای بین 1 Mbps تا 16 Mbps بود. در ادامه، کاربران به سمت ایستگاههای کاری و کاربردهایی با کارایی بیشتر گرایش پیدا کردند، و تمایل روزافزونی برای فراهم نمودن LAN هایی آغاز شد که بتوانند تا 100 Mbps بر روی کابل های ارزان عمل نمایند. در پاسخ به این نیاز، EIA-568-A در ۱۹۹۵ معرفی شد. این استاندارد جدید، پیشرفتهایی را در طراحی کابل و هادی ها و روشهای آزمایش، منعکس می نماید. این استاندارد، زوج های تابیده شیلد دار 150 اهم و زوج های تابیده بدون شیلد 100 اهم را پوشش می دهد.

استاندارد EIA-568-A سه گروه کابل UTP را پوشش می دهد:

- دسته بندی ۳: کابل های UTP و اتصالات سخت افزاری مربوطه که خصوصیات ارتباطی آنها تا 16 MHz مشخص شده است.
- دسته بندی ۴: کابل های UTP و اتصالات سخت افزاری مربوطه که خصوصیات ارتباطی آنها تا 20 MHz مشخص شده است.

- دسته‌بندی ۵: کابل‌های UTP و اتصالات سخت‌افزاری مربوطه که خصوصیات ارتباطی آنها تا ۱۰۰ MHz مشخص شده است.

از بین اینها، کابل‌های دسته‌بندی ۳ و دسته‌بندی ۵، بیشترین توجه را برای کاربردهای LAN به خود اختصاص داده‌اند. دسته‌بندی ۳ معادل است با کابل‌های صوتی یافت شده در اکثر ساختمانهای اداری. در مسافتهای محدود، و با طراحی مناسب، سرعت‌های انتقال داده‌ای تا ۱۶ Mbps در دسته‌بندی ۳ در دسترس می‌باشد. دسته‌بندی ۵، کابل داده‌ای است که برای نصب در ساختمانهای اداری جدید، استفاده از آن روبه افزایش است. در مسافتهای محدود، و با طراحی مناسب، سرعت‌های انتقال داده‌ای تا ۱۰۰ Mbps با دسته‌بندی ۵، قابل دستیابی است. تفاوت اصلی بین کابل‌های دسته‌بندی ۳ و دسته‌بندی ۵، تعداد پیچش‌ها در کابل در واحد طول می‌باشد. دسته‌بندی ۵ پیچش خیلی بیشتری دارد و طول پیچش‌های آن بین ۰/۶ تا ۰/۸۵ سانتی‌متر است، در مقایسه با ۷/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر برای دسته‌بندی ۳. پیچش بیشتر دسته‌بندی ۵ باعث گران‌تر شدن آن می‌شود، ولی کارایی بهتری نسبت به دسته‌بندی ۳ دارد.

جدول ۲-۴، کارایی دسته‌بندی ۳ و ۵ را برای UTP همراه با STP مشخص شده در EIA-568-A نشان می‌دهد. اولین پارامتر استفاده شده برای مقایسه، تضعیف است که کاملاً مشخص می‌باشد. قدرت سیگنال در طول مسیر در هر رسانه انتقال کاهش می‌یابد. برای رسانه هدایت شده، تضعیف، عموماً نمایی است و بنابراین به طور معمول برحسب عددی ثابت بر مبنای دسیبل در واحد طول بیان می‌شود.

القاء متقابل نزدیک به انتها، برای سیستم‌های سیم‌بندی زوج تاییده، کوپل سیگنال از یک زوج هادی به زوج دیگر است. این هادی‌ها می‌توانند بین‌های فلزی در کانکتور یا زوج سیم‌های کابل باشند. نزدیک به انتها، اشاره به کوپلی دارد که سیگنال ارسالی وارد شده به زوج‌های اتصال، از طریق زوج هادی گیرنده در همان سمت اتصال، به گیرنده باز می‌گردد.

جدول ۲-۴ مقایسه زوج تابیده شیلدار و بدون شیلد

Frequency (MHz)	تضعیف (dB در هر ۱۰۰ m)			القاء متقابل نزدیک به - انتها (dB)		
	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP
۱	۲/۶	۲/۰	۱/۱	۴۱	۶۲	۵۸
۴	۵/۶	۴/۱	۲/۲	۳۲	۵۳	۵۸
۱۶	۱۳/۱	۸/۲	۴/۴	۲۳	۴۴	۵۰/۴
۲۵	—	۱۰/۴	۶/۲	—	۴۱	۴۷/۵
۱۰۰	—	۲۲/۰	۱۲/۳	—	۳۲	۳۸/۵
۳۰۰	—	—	۲۱/۴	—	—	۳۱/۳

جدول ۳-۳ دسته‌بندی‌ها و رده‌های زوج تابیده

	Category 3 class	Category 5 classD	Category 5E CAT 5E	Category 6 classE	Category 7 classF
پهنای باند	۱۶ MHz	۱۰۰ MHz	۱۰۰ MHz	۲۰۰ MHz	۶۰۰ MHz
نوع کابل	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	UTP/FTP	SSTP
هزینه اتصال (Cat 5 = 1)	۰/۷	۱	۱/۲	۱/۵	۲/۲

UTP = زوج تابیده بدون شیلد

FTP = زوج تابیده پیچیده شده

SSTP = زوج تابیده شیلدار

از زمان انتشار EIA-568-A، کارهایی برای توسعه استانداردهایی به منظور کابل‌کشی ساختمانها، در دو زمینه انجام شده است. اول، مشخصه اترنت گیگابیت، نیازمند تعریف پارامترهایی است که به طور کامل در استاندارد کابل‌کشی چاپ شده، مشخص نشده‌اند. دوم، تعاملی برای مشخص نمودن کارایی کابل‌کشی در سطوح بالاتر، به نام دسته‌بندی ۵ ارتقاء یافته (Cat 5E)، دسته‌بندی ۶، و دسته‌بندی ۷ وجود دارد. جدول ۳-۴ و ۴-۴ این طرح‌های کابل‌کشی جدید را خلاصه نموده است و آنها را با استانداردهای موجود مقایسه می‌نماید.

کابل کواکسیال

توصیف فیزیکی

کابل کواکسیال، مانند زوج تابیده، شامل دو هادی می‌باشد، اما به طور متفاوتی ساخته شده است تا امکان عملکرد آن را در محدوده وسیعی از فرکانسها بدهد. شامل سیلندر خارجی توخالی از جنس هادی است که یک سیم هادی داخلی را احاطه نموده است (شکل ۲-۴ - ب). هادی داخلی، توسط حلقه‌های ایزوله کننده منظم یا یک ماده جامد دی‌الکتریک در محل خود ثابت شده است. هادی خارجی، با پوشش یا شیلد محافظت شده است. یک کابل کواکسیال، قطری از ۱ تا ۲/۵ سانتی‌متر دارد. کابل کواکسیال می‌تواند در مسافت‌های طولانی استفاده شود و ایستگاههای بیشتری را بر روی یک خط مشترک، نسبت به زوج تابیده حمایت نماید.

کاربردها

کابل کواکسیال شاید گسترده‌ترین رسانه انتقال باشد و در کاربردهای متعدد به طور گسترده استفاده می‌شود.

مهمترین آنها، عبارتند از:

- توزیع تلویزیون
- انتقال تلفن راه دور
- اتصالات کامپیوتری کوتاه
- شبکه‌های محلی

جدول ۴-۴ انتخاب‌های کابل مسی LAN با کارایی بالا [JOHN 98]

نام	ساختار	کارایی مورد انتظار	هزینه
CAT5 UTP	کابلی شامل ۴ زوج 24 AWG (0.50 mm) مسی با ژاکت پلاستیکی ضد حرارت FEP polyolefin. بخش خارجی شامل PVC، polyolefin یا fluoropolymers ضد حرارت می‌باشد.	کابل‌های ترکیبی قابل اتصال و سخت افزارهای متصل کننده، از سازندگان مختلف که استانداردهای قابل قبول کانال CAT5 و TIA Class D را دارند. ضمانت سازنده را شامل نمی‌شود.	1
CAT5 UDP ارتقاء یافته (CAT5E)	کابلی است شامل ۴ زوج 24 AWG (0.50 mm) مسی با ژاکت ضد حرارت FEP polyolefin. روکش خارجی شامل PVC، polyolefin یا fluoropolymers ضد حرارت می‌باشد. توجه بیشتری در طراحی و ساخت آن صورت گرفته است.	اجزاء CAT5 از یک عرضه کننده یا چندین عرضه کننده را شامل می‌شود که این اجزاء عملاً با یکدیگر متصل می‌شوند تا تعادل و امپدانس را ارتقاء دهند. کارایی ACR را بیش از کانال CAT5 و Class D فراهم می‌کند، همراه با ۱۰ سال یا بیشتر ضمانت.	1.2
CAT6 UTP	کابلی است شامل ۴ زوج 0.5 mm تا 0.53 mm مسی با ژاکت ضد حرارت FEP polyolefin. روکش خارجی شامل PVC، fluoropolymers ضد حرارت می‌باشد. توجه خیلی زیادی در طراحی و ساخت آن صورت گرفته، طراحی‌های پیشرفته اتصالات را شامل می‌شود.	اجزاء CAT6 از یک عرضه کننده خیلی خوب با یکدیگر متصل می‌شوند. نقطه ACR کانال صفر (بهینای باند مؤثر) تا ۲۰۰ MHz یا بیشتر تضمین شده است. بهترین UTP موجود می‌باشد. مشخصه‌های کارایی برای CAT6 UTP تا ۲۵۰ MHz در حال توسعه است.	1.5
زوج تابیده روکش دار	کابلی است شامل ۴ زوج 24 AWG (0.50 mm) مسی با ژاکت ضد حرارت FEP polyolefin. زوج‌ها با شیلد فلزی معمولی روکش شده‌اند. روکش خارجی شامل PVC، polyolefin یا fluoropolymers ضد حرارت می‌باشد.	اجزاء CAT5 یک عرضه کننده یا چندین عرضه کننده مختلف را شامل می‌شود. اجزاء بگونه‌ای طراحی شده‌اند که حساسیت EMI را به حداقل رسانند و امنیت EMI را حداکثر نمایند. درجه‌های متفاوت می‌توانند کارایی ACR بالایی را ایجاد کنند.	1.3
زوج تابیده روکش دار شیلدار	کابلی است شامل ۴ زوج 24 AWG (0.50 mm) مسی با ژاکت ضد حرارت FEP polyolefin. زوج‌ها با شیلد فلزی معمولی روکش شده‌اند، همراه با شیلد پیچیده شده فلزی. روکش خارجی شامل PVC، polyolefin یا fluoropolymers ضد حرارت می‌باشد.	اجزاء CAT5 یک یا چند عرضه کننده برای به حداقل رساندن حساسیت به EMI و به حداکثر رساندن امنیت EMI طراحی شده‌اند. حفاظت بیشتر EMI را برای FTP فراهم می‌کند.	1.4
CAT7 شیلدار زوج تابیده	PiMF (زوج‌ها در روکش فلزی) نیز نامیده می‌شوند، شامل SSTP با ۴ زوج 22-23 AWG مسی با ژاکت ضد حرارت FEP polyolefin است. زوج‌ها هر کدام با شیلد فلزی احاطه شده‌اند، همراه با شیلد پیچیده شده فلزی. روکش خارجی از PVC یا fluoropolymers ضد حرارت ساخته شده	کابل CAT7 فراهم کننده ACR مثبت بین ۶۰۰ MHz تا ۱۲۰۰ MHz می‌باشد. شیلد نمودن هر یک از زوج‌ها، ACR مطلوبی را فراهم می‌کند.	2.2

ACR = Attenuation to crosstalk ratio

EMI = Electromagnetic interference

FPE = Fluorinated ethylene propylene

کابل کواکسیال، به طور گسترده‌ای برای توزیع سیگنالهای تلویزیونی برای هر یک از منازل استفاده می‌شود. از زمان آغاز ارائه تلویزیون از طریق آنتن تجمعی (CATV)، که به منظور فراهم نمودن سرویس برای ناحیه‌های دور دست استفاده شد، تلویزیون کابلی تقریباً به اندازه تلفن در بسیاری از منازل ارائه گردیده است. یک سیستم تلویزیونی کابلی می‌تواند دهها یا صدها کانال تلویزیونی را با رنج‌هایی حدود چند ده کیلومتر، حمل نماید.

کابل کواکسیال، به طور معمول، بخش مهمی از شبکه تلفن راه دور را تشکیل می‌دهد. امروزه، رقابت روبه افزایش با فیبرنوری و مایکروویو زمینی و ماهواره‌ای، دارد. با استفاده از مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس (FDM)، فصل ۸)، کابل کواکسیال می‌تواند تا ۱۰,۰۰۰ کانال صوتی را همزمان حمل نماید.

کابل کواکسیال به طور متداول برای ارتباطات کوتاه بین دستگاهها استفاده می‌شود. با استفاده از سیگنالینگ دیجیتال، کابل کواکسیال می‌تواند برای فراهم نمودن کانالهای I/O سرعت بالای سیستم‌های کامپیوتری استفاده شود.

خصوصیات انتقال

کابل کواکسیال، برای استفاده در سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال استفاده شده است. همانطور که در شکل (۳-۴ - ب) دیده می‌شود، خصوصیات فرکانسی کابل کواکسیال از زوج تابیده بالاتر است، و می‌تواند به طور مؤثری در فرکانسها و سرعت‌های انتقال داده بالا استفاده شود. به دلیل شیلد بودن و هم مرکز بودن کابل کواکسیال، خیلی کمتر از زوج تابیده به تداخل و القاء متقابل حساس است. اصلی‌ترین محدودیت‌های کارایی عبارتند از، تضعیف، نویز حرارتی، و نویز مدولاسیون داخلی. مورد آخر فقط زمانی به وجود می‌آید که چندین کانال (FDM) یا باند فرکانسی بر روی یک کابل استفاده می‌شود.

برای انتقال سیگنالهای آنالوگ در مسافت‌های طولانی، تقویت‌کننده‌هایی در هر چند کیلومتر مورد نیاز می‌باشد. اگر فرکانسهای بالاتر استفاده شود، فاصله نزدیک‌تری لازم است. طیف قابل استفاده برای سیگنالینگ آنالوگ، تا ۵۰۰ MHz توسعه می‌یابد. برای سیگنالینگ دیجیتال، تکرار کننده‌هایی در هر کیلومتر استفاده می‌شود. برای سرعت‌های بالاتر، فاصله نزدیک‌تری باید استفاده گردد.

فیبر نوری

توصیف فیزیکی

یک فیبر نوری، کابل رسانه نازک ($2 \mu m$ تا $125 \mu m$)، و قابل انعطاف برای هدایت اشعه نوری است. شیشه‌های متعددی برای ایجاد فیبرهای نوری استفاده می‌شوند. پایین‌ترین اتلاف با استفاده از فیبر fused silica خیلی خالص، بدست آمده است. ساخت فیبر خیلی خالص، بسیار مشکل است؛ فیبرهای شیشه‌ای ترکیبی با اتلاف بالاتر، مقرون به صرفه‌تر هستند و هنوز کارایی خوبی دارند. فیبر پلاستیکی نیز ارزان‌تر است و می‌تواند در اتصالات کوتاه داخل سالن، که اتلاف‌های نسبتاً بالا قابل قبول هستند نیز استفاده شود.

یک کابل فیبر نوری، شکل سیلندر دارد و شامل سه بخش مرکزی است: هسته، پوشش محافظ، و پوسته (شکل ۲-۴ - پ). هسته، داخلی‌ترین بخش است و شامل یک یا چند لایه نازک، یا فیبر بوده که از شیشه یا پلاستیک ساخته شده است. هسته، قطری در محدوده ۸ تا $100 \mu m$ دارد. هر فیبر با محافظ شیشه یا پلاستیک

پوشیده شده است که خصوصیات نوری متفاوت با هسته دارد. رابط بین هسته و محافظ، به صورت منعکس کننده‌ای عمل می‌کند تا مانع از خروج نور از هسته شود. خارجی‌ترین لایه، که یک یا چند فیبر روکش شده را محافظت می‌نماید، ژاکت نام دارد. این ژاکت تشکیل شده است از پلاستیک و ماده دیگری که برای محافظت در مقابل رطوبت، خراشیدگی، ضربه، و خطرات محیطی دیگر بکار رفته است.

کاربردها

یکی از مهمترین جهش‌های تکنولوژی در انتقال داده‌ها، توسعه سیستم‌های ارتباطی عملی فیبر نوری بوده است. فیبر نوری به میزان قابل توجهی در ارتباطات راه دور استفاده می‌شود و استفاده از آن در کاربردهای نظامی در حال افزایش است. ارتقاء مداوم در کارایی و کاهش قیمت، همراه با فواید ذاتی فیبر نوری، باعث جذابیت روزافزون آن برای شبکه‌های محلی شده است. خصوصیات زیر، فیبر نوری را از زوج تابیده و کابل کواکسیال متمایز می‌نماید:

- ظرفیت بیشتر: پهنای باند بالقوه، و سرعت انتقال داده فیبر نوری قابل توجه است؛ سرعت‌های انتقال داده‌ای در حدود صدها Gbps در ده‌ها کیلومتر، به اثبات رسیده است. این سرعت را با حداکثر صدها Mbps در 1 km برای کابل کواکسیال، و چند Mbps در 1 km یا 100 Mbps تا 1 Gbps در چند ده متر برای زوج تابیده، مقایسه نمایید.
 - اندازه کوچکتر و وزن کمتر: فیبرهای نوری تا حد قابل ملاحظه‌ای نازک‌تر از کابل کواکسیال یا دسته کابل زوج تابیده هستند و در کانالهای باریک ساختمانها و مسیرهای مستقیم زیرزمینی، فایده این اندازه کوچک قابل توجه است. کاهش وزن، امکانات مورد نیاز را نیز کاهش می‌دهد.
 - تضعیف کمتر: تضعیف تا حد زیادی در فیبر نوری کمتر از کابل کواکسیال یا زوج تابیده می‌باشد (شکل ۳-۴ پ) و در محدوده گسترده‌ای ثابت است.
 - ایزوله الکترومغناطیسی: سیستم‌های فیبر نوری از میدان‌های خارجی الکترومغناطیسی تأثیر نمی‌پذیرند. بنابراین، سیستم از نظر تداخل، نویز ایمپالس، یا القاء متقابل، آسیب‌پذیر نیست. به همین ترتیب، فیبرها، تشعشع انرژی ندارند، و بنابراین تداخل اندکی با تجهیزات دیگر دارند و دارای امنیت بالایی می‌باشند. در مقابل، اتصال فیبر ذاتاً مشکل است.
 - فاصله بیشتر تکرار کننده: تکرار کننده‌های کمتر به معنی هزینه کمتر و منابع خطای کمتر می‌باشد. کارایی سیستم‌های فیبر نوری از این دیدگاه، در حال ارتقاء است. فاصله تکرار کننده در ده‌ها کیلومتر برای فیبر نوری، متداول است، و فواصل تکرار کننده‌هایی با صدها کیلومتر نیز دیده شده است. سیستم‌های کابل کواکسیال و زوج تابیده، عموماً در هر چند کیلومتر نیاز به تکرار کننده دارند.
- پنج دسته‌بندی اصلی کاربردی برای فیبر نوری دارای اهمیت است:
- مسیرهای طولانی
 - مسیرهای شهری
 - مسیرهای تبادل ناحیه‌ای
 - حلقه‌های مشترکین
 - شبکه‌های محلی

انتقال از طریق فیبر در مسیرهای طولانی در شبکه‌های تلفنی در حال گسترش است. مسیرهای طولانی به طور متوسط ۱۵۰۰ km فاصله دارند و ظرفیت بالایی را (معمولاً ۲۰,۰۰۰ تا ۶۰,۰۰۰ کانال صوتی) حمل می‌کنند. این سیستم‌ها از نظر اقتصادی با مایکروویو رقابت می‌کنند. این مطلب، برای کابل کواکسیال در بسیاری از کشورهای توسعه یافته‌ای که کابل کواکسیال به سرعت در حال خارج شدن از شبکه تلفن آنها می‌باشد نیز صادق است. کابل‌های فیبر نوری زیردریایی نیز استفاده گسترده‌ای دارند.

مسیرهای شهری طول متوسطی حدود ۱۲ km دارند و می‌توانند تا ۱۰۰,۰۰۰ کانال صوتی را در یک گروه منتقل کنند. اکثر امکانات، در کانالهای زیرزمینی نصب شده‌اند و بدون تکرار کننده هستند، و مراکز تلفن را در ناحیه شهری به یکدیگر متصل می‌کنند. در این گروه، مسیر یاب‌هایی قرار دارند که امکانات مایکروویو مسیر طولانی را که در حومه شهر خاتمه می‌یابند، به مرکز تلفن اصلی مرکز شهر متصل می‌نمایند.

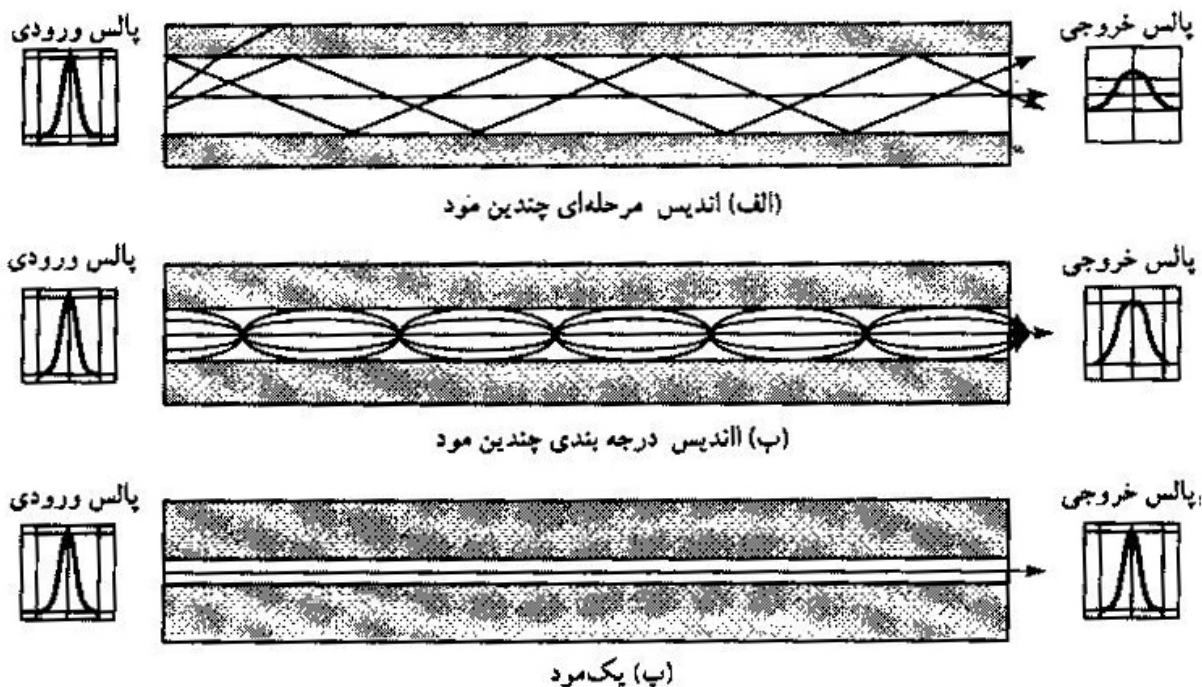
مسیرهای ناحیه‌ای، دارای طول مداری بین ۴۰ تا ۱۶۰ km می‌باشند و شهرها و روستاها را متصل می‌نمایند. در ایالات متحده، آنها اغلب مراکز تلفنی چندین شرکت مخابراتی را به یکدیگر متصل می‌نمایند. اکثر این سیستم‌ها کمتر از ۵۰۰۰ کانال صوتی دارند. تکنولوژی استفاده شده در این کاربردها، با امکانات مایکروویو رقابت می‌نماید. مدارات حلقه مشترکین، فیبرهایی هستند که مستقیم از مرکز تلفن به مشترکین متصل می‌شوند. این امکانات به تدریج جایگزین اتصالات زوج تابیده و کواکسیال می‌شوند تا با تکامل شبکه‌های تلفنی، به شبکه‌هایی با سرویس کاملی تبدیل شوند که قادرند صوت و داده و حتی تصویر و ویدئو را حمل نمایند. نفوذ اولیه فیبر نوری در این کاربرد، برای ارائه خدمات شغلی به مشترکین می‌باشد، اما انتقال از طریق فیبر نوری به منازل به زودی ظاهر می‌شود.

یک کاربرد مهم دیگر فیبر نوری، برای شبکه‌های محلی است. استانداردهایی توسعه داده شده‌اند و محصولاتی برای شبکه‌های فیبر نوری با ظرفیتی از ۱۰۰ Mbps تا ۱۰ Gbps معرفی گردیده‌اند که می‌توانند صداها یا هزاران ایستگاه را در ساختمانهای اداری بزرگ یا مجموعه‌ای از ساختمانها، حمایت نمایند. فواید فیبر نوری نسبت به زوج تابیده و کابل کواکسیال، در ضمن افزایش تقاضا برای انواع اطلاعات (صوت، داده، تصویر، ویدئو)، واضح‌تر می‌شود.

خصوصیات انتقال

فیبر نوری، یک اشعه نور گد شده توسط سیگنال را به وسیله انعکاس داخلی کامل منتقل می‌نماید. انعکاس داخلی کامل می‌تواند در هر رسانه شفاف که ضریب انعکاس بیشتر از رسانه اطراف آن دارد، انجام شود. در نتیجه، فیبر نوری به صورت موج‌بری برای فرکانسهایی در محدوده 10^{14} تا 10^{15} هرتز عمل می‌نماید؛ این محدوده، بخشی از طیف مادون قرمز و قابل رؤیت را پوشش می‌دهد.

شکل (۴-۴)، اصول انتقال فیبر نوری را نشان می‌دهد. نور یک منبع، به سیلندر شیشه‌ای یا هسته پلاستیکی وارد می‌شود. اشعه‌ها در زوایای سطحی منعکس می‌شوند و در طول فیبر انتشار می‌یابند؛ اشعه‌های دیگر، توسط ماده پیرامونی جذب می‌شوند. این شکل از انتشار، اندیس مرحله‌ای با چند مود، نامیده می‌شود، که اشاره به زوایای متعددی دارد که انعکاس انجام خواهد شد. در انتقال با چندین مود، چندین مسیر انتشار وجود دارد، هر یک با طول مسیر و در نتیجه زمان پیمودن متفاوتی در فیبر. این عمل باعث می‌شود عناصر سیگنال (پالس‌های نوری)، در



شکل ۴-۴ مدهای انتقال فیبر نوری

طول زمان پراکنده شوند، و باعث محدود شدن سرعت دریافت دقیق داده‌ها می‌گردد. به عبارت دیگر، نیاز برای حفظ فاصله بین پالس‌ها، سرعت انتقال را محدود می‌نماید. این نوع فیبر، برای انتقال در مسیرهای خیلی کوتاه مناسب است. هنگامی که شعاع هسته فیبر کاهش می‌یابد، زوایای کمتری منعکس می‌شوند. با کاهش شعاع هسته به اندازه طول موج، فقط یک زاویه یا مود می‌تواند عبور کند که اشعه محوری نامیده می‌شود. انتشار تک مود، کارایی بالایی را به دلیل زیر فراهم می‌کند. چون یک مسیر انتقال و یک مود انتقال وجود دارد، اعوجاج موجود در حالت چندین مود، نمی‌تواند ایجاد شود. انتقال تک مود، معمولاً برای کاربردهای مسیر طولانی شامل تلفن و تلویزیون کابلی استفاده می‌شود. در نهایت، با تغییر اندیس انعکاس هسته، نوع سوم انتقال، به نام اندیس درجه‌بندی شده با چند مود، امکان‌پذیر است. این نوع، بین دو خصوصیت دیگر قرار می‌گیرد. هر چه ضریب شکست در مرکز بیشتر باشد، باعث می‌شود اشعه نور در حرکت در طول محور، آهسته‌تر از آنهایی حرکت کند که نزدیک پوشش خارجی هستند. به جای زیگزآگ در پوشش بیرونی، نور در هسته به صورت منحنی حرکت می‌کند زیرا، به دلیل اندیس درجه‌بندی شده، فاصله حرکت خود را کاهش می‌دهد. مسیر کوتاه شده و سرعت بالاتر، به نور امکان می‌دهد در همان زمانی به گیرنده برسد که اشعه‌های مستقیم در محور هسته خواهند رسید. فیبرهایی با اندیس درجه‌بندی شده، اغلب در شبکه‌های محلی استفاده می‌شوند.

دو نوع متفاوت منبع نور در سیستم‌های فیبر نوری وجود دارد: دیود نورانی (LED) و دیود لیزری (ILD). هر دو، دستگاه‌های نیمه هادی هستند که اشعه‌ای از نور را با دادن ولتاژ، منتشر می‌کنند. LED هزینه کمتری دارد، در محدوده حرارتی گسترده‌ای عمل می‌کند، و طول عمر عملیاتی بیشتری دارد. ILD که براساس لیزر عمل می‌کند، کارایی بیشتری دارد و می‌تواند سرعت انتقال داده بالاتری را بدست آورد. رابطه‌ای بین طول موج استفاده شده، نوع انتقال، و سرعت انتقال داده بدست آمده وجود دارد. تک مود

جدول ۴-۵. استفاده از فرکانسها در کاربردهای فیبر نوری

کاربرد	نوع فیبر	برحسب باند	محدوده فرکانس (THz)	طول موج (در خلاء) محدوده nm
LAN	چند مود		۳۳۳ تا ۳۶۶	۸۲۰ تا ۹۰۰
Various	یک مود	S	۲۲۲ تا ۲۳۴	۱۲۸۰ تا ۱۳۵۰
WDM	یک مود	C	۱۹۲ تا ۱۹۶	۱۵۲۸ تا ۱۵۶۱
WDM	یک مود	L	۱۸۵ تا ۱۹۲	۱۵۶۱ تا ۱۶۲۰

WDM = wavelength division multiplexing (فصل ۸)

و چند مود می‌توانند چندین طول موج نور را حمایت کنند و می‌توانند منابع نوری لیزر یا LED را استفاده نمایند. در فیبر نوری، بر مبنای خصوصیات تضعیف رسانه و خصوصیات منابع نوری و گیرنده‌ها، چهار پنجره انتقال مناسب است که در جدول ۴-۵ نشان داده شده‌اند.

به پهنای باند گسترده قابل دسترس توجه نمائید. برای این چهار پنجره، پهنای باندها به ترتیب ۳۳ THz، ۱۲ THz، ۴ THz و ۷ THz می‌باشد. این مقادیر چندین برابر بیشتر از پهنای باند قابل دسترس در طیف فرکانس رادیویی است.

یک جنبه گیج کننده از اشکال تضعیف گزارش شده برای انتقال فیبر نوری این است که، به طور غیر قابل تغییری، کارایی فیبر نوری برحسب طول موج به جای فرکانس مشخص می‌شود. طول موج‌هایی که در جداول و گرافها ظاهر می‌شوند، طول موج‌هایی بر مبنای انتقال در خلاء می‌باشند. به هر حال، در فیبر نوری، سرعت انتشار کمتر از سرعت نور در خلاء می‌باشد (ج)؛ نتیجه این که اگر چه فرکانس سیگنال تغییر نمی‌کند، طول موج متغیر است.

مثال ۴-۱. برای طول موج ۱۵۵۰ nm در خلاء، فرکانس متناظر برابر است با:

$$f = c/\lambda = (3 \times 10^8)/(1550 \times 10^{-9}) = 193/4 \times 10^{13} = 193/4 \text{ THz}$$

برای فیبر نوری معمولی با یک مود، سرعت انتشار تقریباً برابر است با: $v = 2/0.4 \times 10^8$. در این حالت، فرکانس ۱۹۳/۴ THz معادل است با این طول موج:

$$\lambda = v/f = (2/0.4 \times 10^8)/(193/4 \times 10^{13}) = 1055 \text{ nm}$$

بنابراین، در این فیبر نوری، هنگامی که طول موج ۱۵۵۰ nm بیان می‌شود، طول موج واقعی در فیبر برابر ۱۰۵۵ nm خواهد بود.

این چهار پنجره انتقال در بخش مادون قرمز طیف فرکانسی قرار دارند، که پایین‌تر از بخش قابل رؤیت نور در ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm است. ائتلاف در طول موج‌های بالاتر کمتر است، و امکان استفاده از سرعت‌های انتقال داده بیشتر را در مسافت‌های طولانی فراهم می‌کند. بسیاری از کاربردهای محلی امروزی از منابع نوری LED با ۸۵۰ nm استفاده می‌کنند. اگرچه این ترکیب نسبتاً گران است، ولی عموماً به سرعت‌های انتقال داده‌ای کمتر از Mbps

۱۰۰ و مسافت‌های چند کیلومتر محدود می‌شود. به منظور دستیابی به سرعت‌های انتقال داده بالاتر و مسافت‌های طولانی‌تر، یک منبع نور LED با 1300 nm لازم است. بالاترین سرعت‌های انتقال داده و طولانی‌ترین مسافت‌ها نیازمند منابع نور لیزر 1500 nm می‌باشند.

شکل (۳-۴-پ) تضعیف را نسبت به طول موج برای یک فیبر نوری معمولی نشان می‌دهد. شکل غیر معمول منحنی در نتیجه ترکیب عوامل گوناگونی است که در تضعیف سهم هستند. مهمترین دو عامل آنها عبارتند از جذب و پراکندگی. در این رابطه واژه پراکندگی اشاره دارد به تغییر جهت اشعه‌های نوری بعد از برخورد به اشیاء کوچک یا ناخالصی رسانه.

۲-۴ انتقال بی سیم

سه محدوده عمومی فرکانسها در بحث انتقال بی سیم مورد توجه می‌باشند. فرکانسهای در محدوده حدود GHz ۱ (هر گیگاهرتز معادل 10^9 هرتز است) تا 40 GHz ، فرکانسهای مایکروویو هستند. در این فرکانسها، دستیابی به اشعه‌هایی با جهت‌گیری بالا امکان‌پذیر است، و مایکروویو برای انتقال نقطه به-نقطه مناسب است. مایکروویو برای ارتباطات ماهواره‌ای نیز مناسب است. فرکانسهای در محدوده 30 MHz تا 1 GHz برای کاربردهای یک جهت مناسبند. این محدوده را محدوده رادیویی می‌نامیم.

محدوده فرکانسی مهم دیگر، برای کاربردهای محلی، بخش مادون قرمز طیف است. این طیف، محدوده Hz 10^{11} تا 10^{13} را پوشش می‌دهد. مادون قرمز برای کاربردهای محلی نقطه به-نقطه و چند نقطه در ناحیه‌ای مانند یک اتاق مناسب است.

برای رسانه هدایت نشده، ارسال و دریافت به وسیله یک آنتن بدست می‌آیند. قبل از توجه به دسته‌بندی‌های خاص انتقال بی سیم، مقدمه مختصری در مورد آنتن‌ها را ارائه می‌دهیم.

آنتن‌ها

آنتن می‌تواند به صورت یک هادی الکتریکی یا سیستمی از هادی‌ها تعریف شود که برای تشعشع انرژی الکترومغناطیسی یا برای جمع‌آوری انرژی الکترومغناطیسی استفاده می‌شود. برای ارسال سیگنال، انرژی الکتریکی از فرستنده، با استفاده از آنتن، به انرژی الکترومغناطیسی، تبدیل می‌شود و به محیط اطراف تشعشع می‌نماید (اتمیسفر، فضا، آب). برای دریافت سیگنال، انرژی الکترومغناطیسی برخورد کرده به آنتن، به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد و به گیرنده وارد می‌شود.

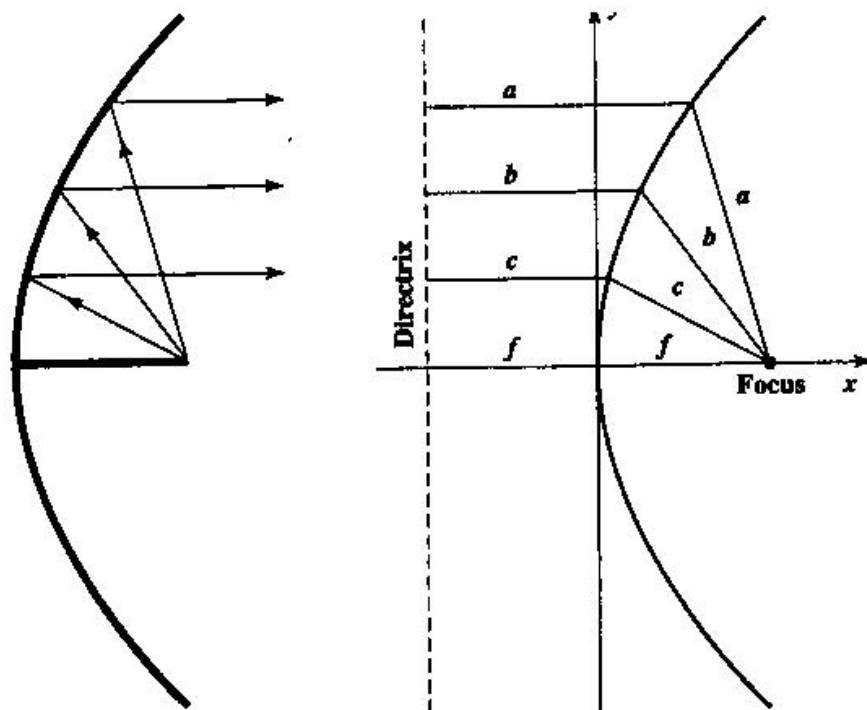
در ارتباط دو طرفه، یک آنتن می‌تواند برای ارسال و دریافت استفاده شود. این عمل امکان‌پذیر است زیرا هر آنتن انرژی را از محیط اطراف به ترمینالهای ورودی گیرنده خود با همان کارایی مستقل می‌کند که انرژی را از خروجی ترمینال فرستنده به محیط اطراف منتشر می‌نماید، فرض بر این است که یک فرکانس در هر دو جهت استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، خصوصیات آنتن، در هر دو حالت ارسال یا دریافت انرژی الکترومغناطیسی ضرورتاً مشابه است.

آنتن، انرژی را در تمام جهات منتشر می‌کند اما معمولاً در تمام جهات به طور یکسان عمل نمی‌کند. یک راه

برای مشخص نمودن کارایی آنتن، الگوی تشعشع است، که نمایش گرافیکی خصوصیات تشعشعی آنتن بصورت تابعی از مختصات فضایی است. ساده‌ترین الگو توسط آنتن ایده‌آلی به نام آنتن ایزوتروپیک تولید می‌شود. آنتن ایزوتروپیک، نقطه‌ای در فضا است که قدرت را در تمام جهات به طور مساوی تشعشع می‌نماید. الگوی اصلی تشعشع برای آنتن ایزوتروپیک، بصورت کره‌ای است که آنتن در مرکز آن قرار دارد.

آنتن پارابولیک انعکاسی

نوع مهمی از آنتن، آنتن پارابولیک انعکاسی است، که در مایکروویو زمینی و کاربردهای ماهواره‌ای استفاده می‌شود. بحث هندسه پیش دانشگاهی را بخاطر آورد که سهمی، شکلی هندسی است که فاصله تمام نقاط آن از یک خط ثابت و یک نقطه ثابت خارج از خط، یکسان است. این نقطه ثابت، نقطه تمرکز یا مرکز، و خط ثابت، خط هادی نامیده می‌شود (شکل ۴-۵ - الف). اگر سهمی حول محور خودش دوران کند، سطحی که تولید می‌شود، پارابولونید نامیده می‌شود. تقاطع پارابولونید با صفحه‌ای به موازات محور آن، سهمی است، و تقاطع آن با محور عمود بر محور دایره می‌باشد. چنین سطوحی، در لامپ‌های روشنایی سقفی، تلسکوپ‌های رادیویی و نوری، و آنتن‌های مایکروویو استفاده می‌شوند زیرا این خاصیت را دارند که: اگر منبع انرژی الکترومغناطیسی (یا صوتی)، در مرکز پارابولونید قرار داده شود، و اگر پارابولونید سطحی انعکاسی داشته باشد، امواج مایکروویو، به موازات محور پارابولونید خارج می‌شوند؛ شکل (۴-۵ - ب) این اثر را نشان می‌دهد. در تئوری، این اثر، اشعه‌ای موازی بدون پراکندگی تولید می‌نماید. در عمل، مقداری پراکندگی وجود دارد، زیرا منبع انرژی، بیش از یک نقطه را اشغال می‌نماید. هر چه قطر آنتن بیشتر باشد، جهت دار بودن اشعه بیشتر خواهد بود. در سمت گیرنده، اگر امواج ورودی به موازات محور پارابولونید منعکس کننده باشند، سیگنال بدست آمده، در مرکز متمرکز می‌شود.



(ب) بخش تقاطع آنتن پارابولیک
خاصیت انعکاسی آن را نشان می‌دهد.

(الف) سهمی

شکل ۴-۵ آنتن انعکاسی پارابولیک

بهره آنتن

بهره آنتن، معیاری است از جهت دار بودن آنتن. بهره آنتن، به صورت توان خروجی، در یک جهت خاص، مقایسه با توان تولید شده در هر جهت، توسط انعکاس از آنتن چند جهته (آنتن ایزوتروپیک) تعریف می‌شود. برای مثال، اگر آنتنی دارای بهره ۳ dB باشد، آن آنتن، نسبت به آنتن ایزوتروپیک در همان جهت، به اندازه ۳ dB ارتقاء می‌یابد، که معادل ضریب ۲ است. در نتیجه، توان افزایش یافته، در یک جهت هدایت می‌شود، با کاهش توان تشعشع شده در جهات دیگر. توجه به این نکته مهم است که بهره آنتن، به گرفتن توان خروجی بیشتر از توان ورودی، مربوط نمی‌شود و به میزان جهت دادن امواج مرتبط است. مفهومی در رابطه با بهره آنتن، ناحیه مؤثر آنتن می‌باشد. ناحیه مؤثر یک آنتن، مربوط می‌شود به اندازه فیزیکی آنتن و شکل آن. رابطه بین بهره آنتن و ناحیه مؤثر آن اینگونه است:

(۴-۱)

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

که:

$$G = \text{بهره آنتن}$$

$$A_e = \text{ناحیه مؤثر}$$

$$f = \text{فرکانس حامل}$$

$$c = \text{سرعت نور } (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

$$\lambda = \text{طول موج حامل}$$

برای مثال، ناحیه مؤثر آنتن ایزوتروپیک ایده آل، $\frac{\lambda^2}{4\pi}$ است، با بهره توان ۱؛ ناحیه مؤثر آنتن پارابولیک با سطح A ، برابر $A/56^\circ$ ، و بهره توان $\frac{4\pi A}{\lambda^2}$ می‌باشد.

مثال ۴-۲. برای یک آنتن پارابولیک انعکاسی با قطر ۲ m، که در فرکانس ۱۲ GHz کار می‌کند، ناحیه

مؤثر و بهره آنتن چیست؟ ناحیه آن $A = \pi r^2 = \pi$ و ناحیه مؤثر آن $A_e = 56^\circ \pi$ می‌باشد. طول موج برابر است با:

$$G = (7A)/\lambda^2 = (7 \times \pi)/(0.025)^2 = 35,186$$

$$G_{dB} = 45.46 \text{ dB}$$

مایکروویو زمینی

توصیف فیزیکی

متداول‌ترین نوع آنتن مایکروویو، بشقاب پارابولیک است. اندازه معمول آن، حدود ۳ m قطر دارد. این آنتن، در محلی ثابت می‌شود و اشعه باریکی را متمرکز می‌کند تا ارسال دید مستقیم را برای آنتن گیرنده بدست آورد. آنتن‌های مایکروویو معمولاً ارتفاع زیادی بالاتر از سطح زمین قرار دارند تا محدوده آنها افزایش یابد و بتوانند از بین موانع میانی، انتقال را انجام دهند. به منظور انتقال در مسیر طولانی، یک سری برج‌های رله مایکروویو استفاده می‌شود، و اتصالات نقطه به نقطه مایکروویو در مسیر موردنظر به یکدیگر متصل می‌شوند.

استفاده اولیه از سیستم‌های مایکروویو زمینی، در سرویس‌های ارتباطات راه دور، به عنوان جایگزینی برای کابل کواکسیال یا فیبر نوری است. امکانات مایکروویو، تعداد اندکی تقویت کننده یا تکرار کننده نسبت به کابل کواکسیال در همان مسافت دارند، اما نیازمند ارسال دید مستقیم هستند. مایکروویو به طور متداول برای انتقال صوت و تصویر استفاده می‌شود.

استفاده روزافزون دیگر مایکروویو، برای اتصالات کوتاه نقطه به نقطه بین ساختمانها است. این روش می‌تواند برای تلویزیون مدار بسته، یا اتصال داده بین شبکه‌های محلی، استفاده شود. مایکروویو مسیر کوتاه می‌تواند برای کاربردهای عبوری استفاده شود. یک شرکت، می‌تواند اتصال مایکروویوی با امکانات مخابراتی راه دور در همان شهر برقرار کند، و شرکت تلفن محلی را کنار بگذارد. این کاربرد، عبوری نامیده می‌شود. استفاده مهم دیگر مایکروویو، در سیستم‌های سلولی است که در فصل ۱۴ بررسی می‌شوند.

خصوصیات انتقال

انتقال مایکروویو، بخش عمده‌ای از طیف الکترومغناطیسی را پوشش می‌دهد. فرکانسهای متداول استفاده شده برای انتقال، در محدوده ۱ تا ۴۰ GHz قرار دارند. هر چه فرکانس استفاده شده بیشتر باشد، پهنای باند بالقوه، و بنابراین پتانسیل سرعت انتقال داده بیشتر خواهد بود. جدول ۶-۴، پهنای باند و سرعت انتقال داده را برای برخی سیستم‌های متداول نشان می‌دهد.

برای سیستم انتقال، منبع عمده اتلاف، تضعیف است. برای مایکروویو (و فرکانسهای رادیویی)، اتلاف اینگونه محاسبه می‌شود:

$$L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB} \quad (4-2)$$

که d ، مسافت و λ طول موج، با همان واحد، می‌باشد. بنابراین، اتلاف با مربع مسافت متناسب است. در مقابل، برای زوج تابیده و کابل کواکسیال، اتلاف، به صورت نمایی با مسافت متناسب است (تغییرات خطی دسیبل). بنابراین، تکرار کننده‌ها یا تقویت کننده‌ها می‌توانند در سیستم‌های مایکروویو در فواصل دورتری قرار داده شوند، حدود ۱۰ km تا ۱۰۰ km متداول است. تضعیف، با ریزش باران افزایش می‌یابد. اثرات ریزش باران، برای فرکانسهای بالاتر از ۱۰ GHz قابل توجه است. منبع دیگر ایجاد مانع، تداخل می‌باشد. با رشد استفاده از مایکروویو، ناحیه‌های انتقال، همپوشانی دارند، و تداخل، همیشه خطر ساز است. بنابراین، اختصاص باندهای فرکانسی، تا حد زیادی سازماندهی شده است.

جدول ۶-۴. کارایی متداول مایکروویو دیجیتال ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر

سرعت انتقال داده (Mbps)	پهنای باند (MHz)	باند (GHz)
۱۲	۷	۲
۹۰	۳۰	۶
۱۳۵	۴۰	۱۱
۲۷۴	۲۲۰	۱۸

متداول‌ترین باندهای ارتباطات راه دور، باندهای ۴ GHz تا ۶ GHz می‌باشند. با افزایش تجمع در این فرکانسها، باند ۱۱ GHz نیز اینک استفاده می‌شود. باند ۱۲ GHz برای سیستم‌های تلویزیون کابلی استفاده می‌شود. اتصالات مایکروویو، برای فراهم نمودن سیگنالهای تلویزیونی جهت سازماندهی CATV استفاده می‌شوند. سپس، این سیگنالها برای هر یک از مشترکین، از طریق کابل کواکسیال توزیع می‌گردند. مایکروویو فرکانس بالاتر، برای اتصالات کوتاه نقطه به نقطه بین ساختمانها استفاده می‌شود؛ به طور معمول، باند ۲۲ GHz استفاده می‌شود. فرکانسهای بالاتر مایکروویو، کمتر برای مسافت‌های طولانی‌تر مفید هستند زیرا تضعیف افزایش می‌یابد، اما برای مسافت‌های کوتاه‌تر مناسب هستند. علاوه بر آن، در فرکانسهای بالاتر، آنتنهای کوچکتر و ارزان‌تر هستند.

مایکروویو ماهواره‌ای

توصیف فیزیکی

یک ماهواره مخابراتی، در عمل، یک ایستگاه رله مایکروویو است. این ماهواره، به منظور اتصال دو یا چند فرستنده گیرنده مایکروویو زمینی به نام ایستگاههای زمینی، استفاده می‌شود. ماهواره، سیگنالهای ارسال شده در یک باند فرکانس را دریافت می‌کند (uplink)، سیگنال را تقویت یا تکرار می‌کند، و آن را با فرکانس دیگری ارسال می‌نماید (downlink). یک ماهواره مداری، بر روی چند باند فرکانسی عمل می‌کند به نام کانالهای **transponder** یا فقط **transponders**.

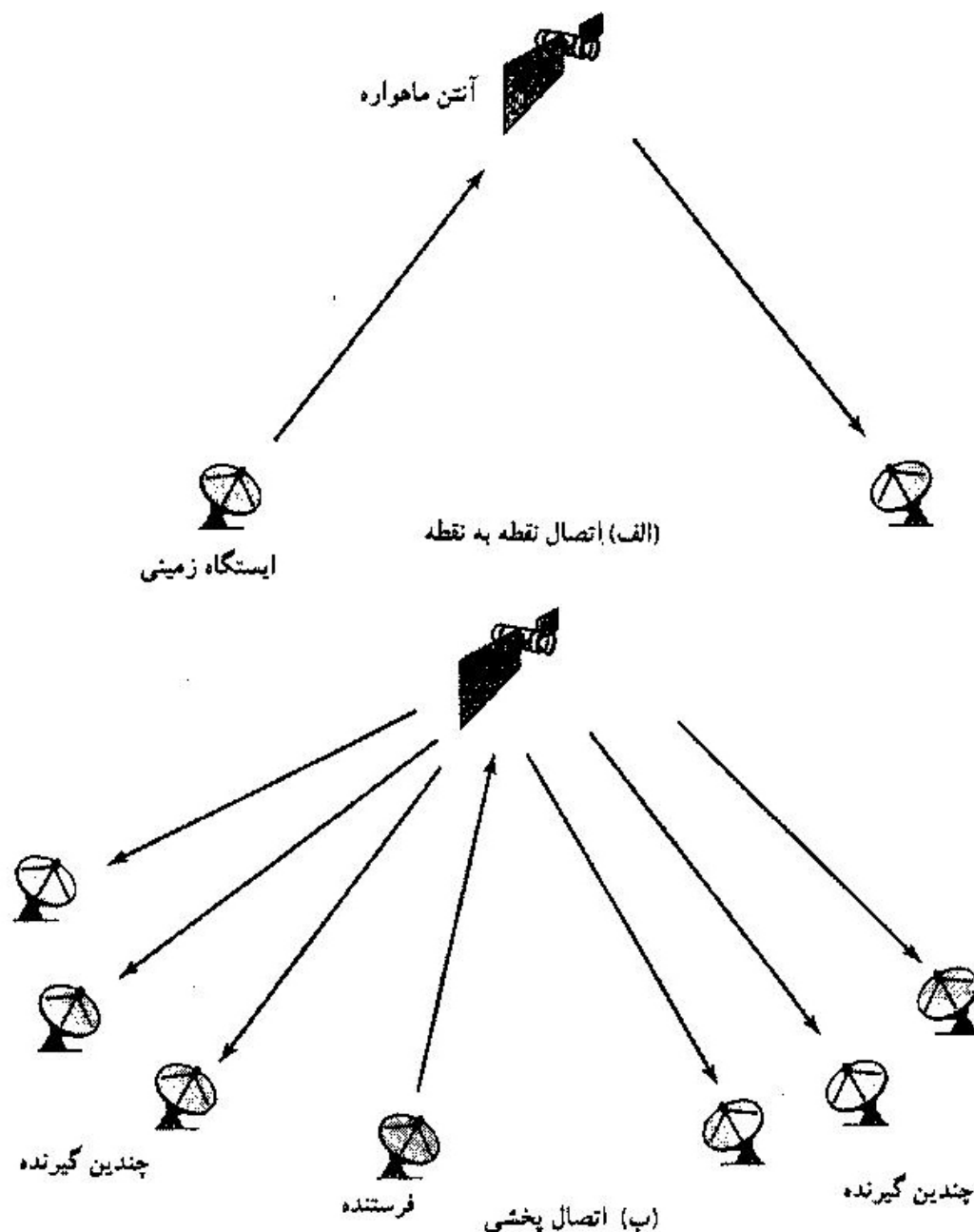
شکل (۴-۶) به طور کلی دو پیکربندی را برای ارتباطات ماهواره‌ای نشان می‌دهد. در اولین مورد، ماهواره، به منظور فراهم نمودن اتصال نقطه به نقطه‌ای بین دو آنتن زمینی دور دست استفاده می‌شود. در دومین حالت، ماهواره، ارتباطاتی را بین یک فرستنده زمینی، و چندین گیرنده زمینی برقرار می‌کند.

برای عملکرد مؤثر یک ماهواره مخابراتی، عموماً لازم است که نسبت به مکانی بر روی زمین ثابت بماند. در غیر این صورت، در تمام مدت در دید مستقیم ایستگاههای زمینی قرار نمی‌گیرد. برای ثابت ماندن، ماهواره باید پیود گردش معادل پیود گردش زمین داشته باشد. این انطباق در مداری در ارتفاع ۳۵,۸۶۳ km انجام می‌شود. دو ماهواره‌ای که از یک باند فرکانسی استفاده می‌کنند، اگر به اندازه کافی به یکدیگر نزدیک باشند، با یکدیگر تداخل می‌نمایند. به منظور اجتناب از این عمل، استانداردهای فعلی، فاصله‌ای ۴° را (اختلاف زاویه‌ای که از زمین اندازه‌گیری می‌شود) در باند ۴/۶ GHz و فاصله‌ای ۳° را در ۱۲/۱۴ GHz نیاز دارند. بنابراین، تعداد ماهواره‌های ممکن، بسیار محدود است.

کاربردها

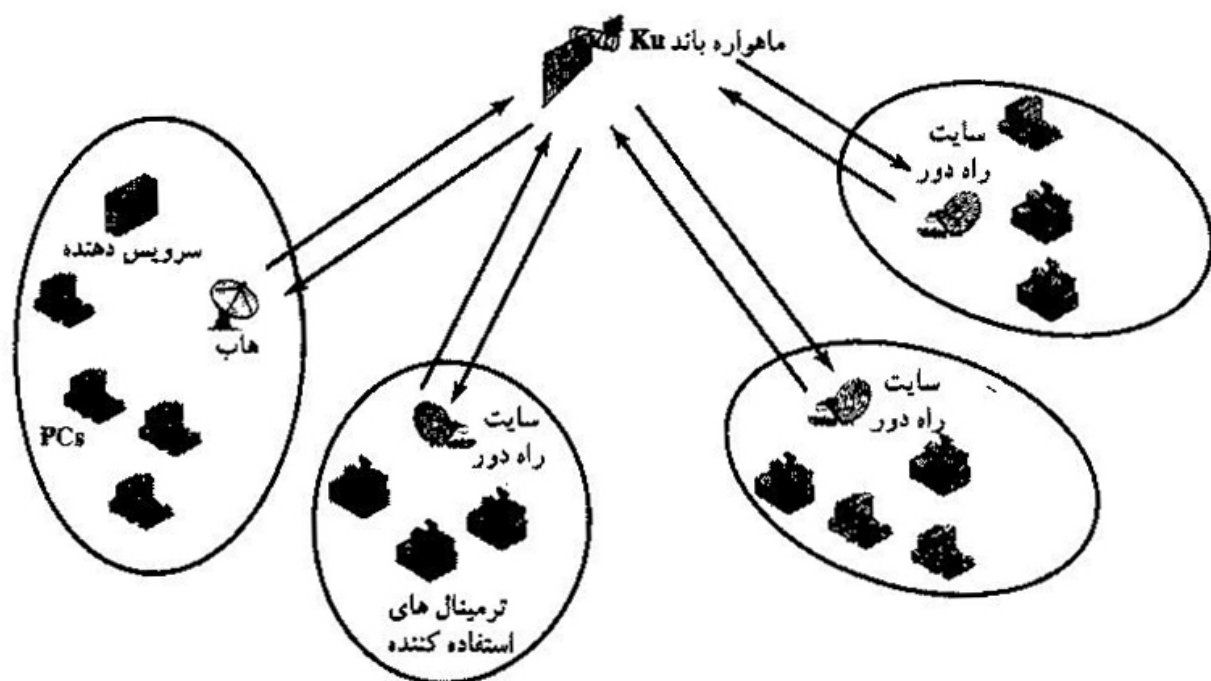
ماهواره مخابراتی، انقلابی در تکنولوژی است با اهمیتی در حدود فیبر نوری. در بین مهمترین کاربردهای ماهواره‌ای، این موارد دیده می‌شوند:

- پخش تلویزیونی
- انتقال راه دور تلفن
- شبکه‌های تجاری خصوصی



شکل ۴-۶ پیکر بندی های ارتباط ماهواره ای

به دلیل ماهیت پراکندگی آن، ماهواره ها برای پخش تلویزیونی مناسب هستند و تا حد زیادی در ایالات متحده و در سطح دنیا، برای این منظور استفاده می شوند. در استفاده معمول، یک شبکه، برنامه ها را در ایستگاه مرکزی فراهم می نماید. برنامه ها به ماهواره ارسال می شوند و سپس به چندین ایستگاه، پخش می شوند که پس از آن، این برنامه ها بین هر یک از بینندگان توزیع می شوند. یک شبکه سرویس پخش عمومی (PBS)، برنامه های تلویزیونی خود را به طور منحصربه فرد با استفاده از کانالهای ماهواره ای توزیع می نماید. شبکه های تجاری دیگر نیز استفاده زیادی از ماهواره می برند، و سیستم های تلویزیونی کابلی نیز بخش رو به افزایش برنامه های خود را از ماهواره دریافت می کنند. جدیدترین کاربرد تکنولوژی ماهواره ای برای پخش تلویزیونی، پخش مستقیم ماهواره ای (DBS) می باشد که سیگنالهای ویدئوی ماهواره ای، به طور مستقیم به کاربران خانگی ارسال می شوند. هزینه و



شکل ۴-۷ پیکربندی معمولی VSAT

اندازهٔ روبه کاهش آنتن‌های گیرنده، باعث اقتصادی شدن DBS شده است، و تعداد زیادی از کانالها از قبل در این سرویس قرار داشته‌اند یا در مرحلهٔ برنامه‌ریزی هستند.

انتقال ماهواره‌ای، برای ارتباط نقطه به نقطه بین مراکز تلفنی در شبکه‌های تلفن سراسری استفاده می‌شود. ماهواره، یک رسانهٔ بهینه برای خطوط تلفن بین‌المللی است و در حال رقابت با سیستم‌های زمینی در بسیاری از اتصالات بین‌المللی راه دور می‌باشد.

در نهایت، چندین کاربرد داده‌های تجاری برای ماهواره وجود دارد. فراهم کنندهٔ سرویس ماهواره، می‌تواند ظرفیت کلی را به چند کانال تقسیم کند و این کانالها را به کاربران تجاری گوناگون اجاره دهد. کاربری که مجهز به آنتن‌هایی در چندین سایت می‌باشد، می‌تواند از کانال ماهواره‌ای برای شبکهٔ خصوصی استفاده نماید. به طور معمول، چنین کاربردهایی کاملاً گران، و محدود برای سازمانهای بزرگتر با نیازهایی با حجم بالا می‌باشند. توسعه‌ای که اخیراً انجام شده، سیستم ترمینال بسیار کوچک (VSAT) است که راه‌حل دیگری با هزینهٔ کم می‌باشد. شکل (۴-۷) یک پیکربندی معمول برای VSAT را نشان می‌دهد. چندین ایستگاه مشترکین، با آنتن‌های کم هزینهٔ VSAT مجهز می‌شوند. با استفاده از روش خاصی، این ایستگاهها، در بخشی از ظرفیت انتقال ماهواره برای انتقال به ایستگاه هاب مشترک می‌شوند. این ایستگاه هاب می‌تواند پیغامهایی را با هر یک از مشترکین مبادله نماید و می‌تواند پیغامها را بین مشترکین، رله کند.

خصوصیات انتقال

بهترین محدودهٔ فرکانسی برای انتقال ماهواره‌ای، ۱ تا ۱۰ GHz است. در کمتر از ۱ GHz، نویز زیادی از منابع طبیعی ایجاد می‌شود، شامل نویزهای منظومه‌ای، خورشیدی، و اتمسفری؛ تداخل ایجاد شده توسط انسان، ناشی از دستگاههای الکترونیکی، را نیز شامل می‌شود. بالاتر از ۱۰ GHz، سیگنال تا حد زیادی در اثر جذب

توسط اتمسفر و بارش‌ها تضعیف می‌گردد.

اکثر ماهواره‌ها، سرویس نقطه به نقطه را فراهم می‌کنند که امروزه، باند فرکانسی در محدوده ۵/۹۲۵ GHz تا ۶/۴۲۵ GHz را برای انتقال از زمین به ماهواره (uplink) و پهنای باندی در محدوده ۳/۷ GHz تا ۴/۲ GHz را برای ارسال از ماهواره به زمین (downlink) استفاده می‌کنند. این ترکیب، باند ۴/۶ نامیده می‌شود. توجه داشته باشید که فرکانسهای uplink و downlink متفاوت هستند. برای انجام عمل پیوسته‌ای بدون تداخل، ماهواره نمی‌تواند بر روی یک فرکانس، ارسال و دریافت را انجام دهد. بنابراین، سیگنالهای دریافت شده از ایستگاه زمینی بر روی یک فرکانس، باید بر روی فرکانس دیگر، بازگشت داده شوند. باند ۴/۶ GHz در ناحیه بهینه ۱ GHz تا ۱۰ GHz قرار دارد، اما اشباع شده است. فرکانسهای دیگر این محدوده، در دسترس نمی‌باشند زیرا منابع تداخلی که در این فرکانسها عمل می‌نمایند، مایکروویو زمینی هستند. بنابراین، باند ۱۲/۱۴ GHz نیز توسعه داده شده است (۱۱/۷ GHz تا ۱۲/۲ GHz : downlink ; ۱۴ GHz تا ۱۴/۵ GHz : uplink). در این باند فرکانسی بر مشکلات تضعیف باید غلبه شود. به هر حال، گیرنده‌های کوچکتر و ارزان‌تر زمینی، قابل استفاده هستند. پیش‌بینی می‌شود که این باند نیز اشباع شود، و استفاده، به باند ۲۰/۳۰ GHz (۱۷/۷ GHz تا ۲۰/۲ GHz : downlink و ۲۷/۵ GHz تا ۳۰ GHz : uplink) منتقل گردد. این باند مشکلات تضعیف بیشتری دارد، اما پهنای باند بیشتری را فراهم می‌نماید (۵۰۰ MHz در مقابل ۲۵۰۰ MHz) و گیرنده‌هایی کوچکتر و ارزان‌تری نیاز دارد.

چندین خصوصیت ارتباط ماهواره‌ای باید مورد توجه قرار گیرد. ابتدا، به دلیل وجود مسافت طولانی، تأخیر انتشاری در حدود یک چهارم ثانیه، بین ارسال از یک ایستگاه زمینی تا دریافت توسط ایستگاه زمینی دیگر، وجود دارد. این تأخیر، در مکالمات تلفنی معمولی قابل توجه است. همچنین مشکلاتی در زمینه‌های کنترل خطا و کنترل جریان وجود دارد که در فصل‌های بعدی بررسی می‌شوند. دوم، مایکروویو ماهواره‌ای، ذاتاً یک امکان پخش شده می‌باشد. ایستگاههای بسیاری می‌توانند به ماهواره ارسال نمایند، و ارسال از ماهواره، می‌تواند توسط ایستگاههای متعددی دریافت شود.

پخش رادیویی

توصیف فیزیکی

تفاوت اصلی بین پخش رادیویی و مایکروویو این است که مورد اول در تمام جهات، و مورد دوم، در جهت مشخصی عمل می‌کند. بنابراین، پخش رادیویی نیازمند آنتن‌های بشقابی شکل نمی‌باشد، و نیازی به نصب آنتنها با تنظیم دقیق، ندارد.

کاربردها

رادیو واژه‌ای عمومی است شامل فرکانسهای در محدوده ۳ kHz تا ۳۰۰ GHz. واژه غیررسمی آن را که پخش رادیویی است، بکار می‌بریم تا باند VHF و بخشی از باند UHF را پوشش دهد: ۳۰ MHz تا ۱ GHz. این محدوده، رادیوی FM، و تلویزیون VHF و UHF را پوشش می‌دهد. این محدوده، برای چندین کاربرد شبکه‌های داده نیز استفاده می‌شود.

خصوصیات انتقال

محدوده ۳۰ MHz تا ۱ GHz، بخش مؤثری برای ارتباطات broadcast می‌باشد. برخلاف حالت امواج الکترومغناطیسی فرکانس پایین، یونوسفر، برای امواج رادیویی بالاتر از ۳۰ MHz شفاف است. بنابراین، انتقال، به دید مستقیم محدود می‌شود و فرستنده‌های دور دست، در اثر انعکاس از طریق اتمسفر، با یکدیگر تداخل نخواهد داشت. برخلاف ناحیه فرکانسهای بالاتر مایکروویو، امواج رادیویی broadcast، کمتر به تضعیف در اثر ریزش باران حساس هستند.

همانند مایکروویو، میزان تضعیف در اثر فاصله، از معادله ۲-۴ تبعیت می‌کند که به این صورت می‌باشد:

$$10 \log \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}$$

به دلیل طول موج بیشتر، امواج رادیویی تضعیف کمتری دارند. موانع اصلی برای پخش رادیویی، تداخل چندین مسیر است. انعکاس از طریق زمین، آب، و اشیاء طبیعی یا ساخت بشر، می‌تواند چندین مسیر بین آنتنها ایجاد نماید. این اثر به دفعات دیده می‌شود، زمانی که چند تصویر بر روی صفحه، در زمان عبور هواپیما، ظاهر می‌شود.

مادون قرمز

ارتباطات مادون قرمز، با استفاده از فرستنده‌ها - گیرنده‌هایی انجام می‌شوند که نور مادون قرمز غیر همسان را مدوله می‌نمایند. فرستنده گیرنده‌ها باید در یک خط دید قرار داشته باشند، به طور مستقیم یا از طریق انعکاس از روی سطحی روشن مانند سقف اتاق.

یک تفاوت مهم بین انتقال مادون قرمز و مایکروویو، این است که اولی از دیوارها عبور نمی‌کند. بنابراین، مشکلات امنیتی و تداخل، که در سیستم‌های مایکروویو وجود دارند، ظاهر نمی‌شوند. علاوه بر آن، موردی برای تخصیص فرکانس برای مادون قرمز وجود ندارد، زیرا نیازی به گرفتن مجوز نمی‌باشد.

۴-۳ انتشار بی سیم

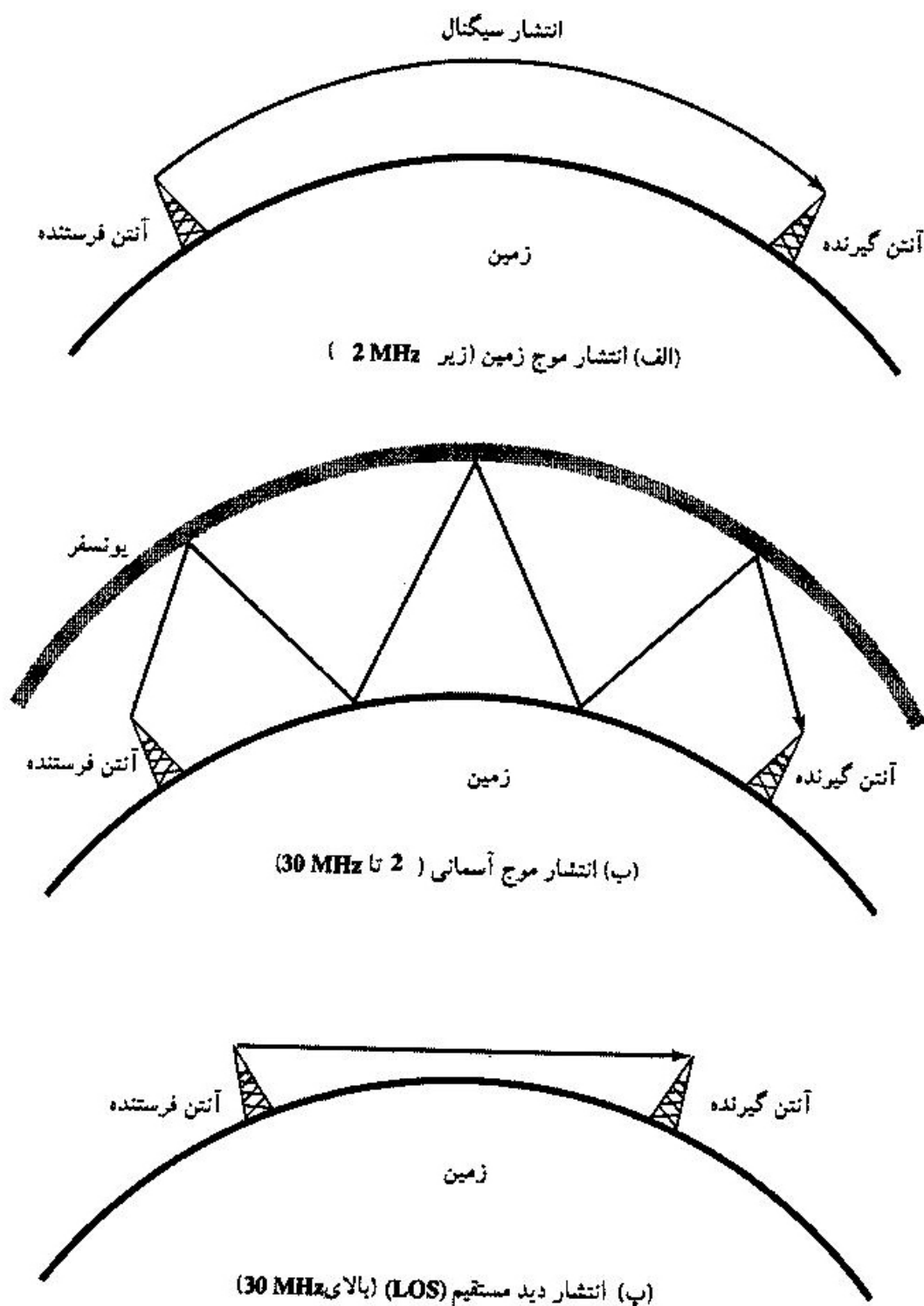
سیگنالی که از آنتن تشعشع می‌نماید، از طریق یکی از این سه مسیر منتشر می‌شود: موج زمینی، موج آسمانی، یا دید مستقیم. جدول ۷-۴ نشان می‌دهد در کدام رنج فرکانسی، هر یک از آنها حاکم هستند. در این کتاب، منحصراً بر ارتباط LOS توجه داریم، اما مرور مختصری بر هر روش دیگر نیز در این بخش خواهیم داشت.

انتشار موج زمینی

انتشار موج زمینی (شکل ۸-۴ - الف)، کم و بیش محیط زمین را طی می‌کند و می‌تواند در مسافت قابل توجهی، تا افق بصری منتشر شود. این اثر، در فرکانسهای تا حدود ۲ MHz دیده می‌شود. چندین عامل، برای تمایل موج الکترومغناطیسی در این باند فرکانسی، به دنبال نمودن انحناى زمین وجود دارد. یک عامل این است که موج الکترومغناطیسی، جریانی را در سطح زمین القاء می‌نماید که نتیجه آن، کند نمودن حرکت جبهه موج در نزدیکی سطح زمین است، و باعث می‌شود جبهه موج به سمت پایین خم شود و انحناى زمین را دنبال کند. عامل دیگر،

جدول ۷-۴. باندهای فرکانس

باند	محدوده فرکانسی	محدوده طول موج فضای آزاد	خصوصیات انتشار	استفاده معمول
ELF (extraemely low frequency)	30 to 300 Hz	10,000 to 1000 km	GW	استفاده در فرکانسهای خطوط انتقال قدرت؛ توسط سیستم های کنترل
VF (voice frequency)	300 to 3000 Hz	1000 to 100 km	GW	استفاده در سیستم های تلفنی برای خطوط آناالوگ مشترکین
VLF (very low frequency)	3 to 30 kHz	100 to 10 km	تضعیف کم در شب و روز؛ سطح نویز اتمسفری بالا	ناوبری های طولانی؛ ارتباطات زیر دریایی
LF (low frequency)	30 to 300 kHz	10 to 1 km	قابلیت اطمینان کمتری نسبت به VLF دارد؛ جذب آن در روز است.	ناوبری های طولانی؛ ارتباطات دریایی رادیویی
MF (medium frequency)	300 to 3000 kHz	1000 to 100 m	SW و شبانه؛ تضعیف کم در شب، و زیاد در روز؛ نویز اتمسفری	رادیوی دریایی؛ یافتن جهت؛ پخش AM
HF (high frequency)	3 to 30 MHz	100 to 10 m	کیفیت متفاوت در طول روز؛ فصل، و فرکانس	رادیوی آماتور؛ پخش بین السطی؛ ارتباطات نظامی؛ ارتباطات راه دور هواپیماها و کشتی ها
VHF (very high frequency)	30 to 300 MHz	10 to 1 m	پراکندگی به دلیل تغییر دما؛ نویز کهکشان	تلویزیون VHF؛ پخش FM و رادیوی دو طرفه؛ ارتباطات هواپیمایی؛ کمک های جابجایی هوایی
UHF (ultra high frequency)	300 to 3000 MHz	100 to 10 cm	نویز کهکشان	تلویزیون UHF؛ تلفن سلولی؛ رادار؛ اتصالات مایکروویو؛ سیستم های مخابراتی شخصی
UHF (ultra high frequency)	3 to 30 GHz	10 to 1 cm	تضعیف در زمان ریزش باران در بالای 10 GHz؛ تضعیف اتمسفری در اثر اکسیژن و بخار آب	مخابرات ماهواره ای؛ رادار؛ اتصالات مایکروویو زمینی؛ حلقه های بی سیم محلی
EHF (extremely high frequency)	30 to 300 GHz	10 to 1 mm	تضعیف اتمسفری در اثر اکسیژن و بخار آب	آزمایشی؛ حلقه های بی سیم محلی
Infrared	300 GHz to 400 THz	1 mm to 770 nm	LOS	LAN های مادون قرمز؛ کاربردهای الکترونیکي مصر فاشکنده
Visible light	400 THz to 900 THz	770 nm to 330 nm	LOS	مخابرات نوری



شکل ۸-۴ مدهای انتشار بی سیم

شکست می باشد، که رخدادی است در نتیجه رفتار امواج الکترومغناطیسی در برخورد با موانع. امواج الکترومغناطیسی در این محدوده فرکانسی، توسط اتمسفر به گونه ای پراکنده می شوند که به اتمسفر بالاتر نفوذ نمایند. بهترین مثال ارتباط موج زمینی، رادیوی AM است.

انتشار موج آسمانی

انتشار موج آسمانی برای رادیوی آماتور، رادیوی CB، و پخش بین‌المللی مانند BBC و صدای آمریکا می‌باشد. در انتشار موج آسمانی، سیگنالی از آنتن زمینی، از لایه یونیزه در اتمسفر بالایی (یونسفر) منعکس می‌شود و به زمین برمی‌گردد. اگرچه به نظر می‌رسد که موج از یونسفر منعکس شده است، گویا یونسفر سطح منعکس کننده سختی است، این اثر در واقع در نتیجه شکست ناشی می‌شود. شکست در ادامه توضیح داده خواهد شد.

سیگنال موج آسمانی می‌تواند چندین قوس را پشت سرگذارد، و بین یونسفر و سطح زمین به طور متوالی منعکس شود شکل (۸-۴ - ب). با این مود انتشار، یک سیگنال می‌تواند هزاران کیلومتر از فرستنده فاصله بگیرد.

انتشار دید مستقیم

بالای ۳۰ MHz، انتشار موج زمینی و آسمانی هیچ یک عمل نمی‌کنند، و ارتباط باید در دید مستقیم باشد شکل (۸-۴ - پ). برای ارتباط ماهواره‌ای، سیگنالی بالای ۳۰ MHz توسط یونسفر منعکس نمی‌شود و بنابراین، سیگنال می‌تواند بین ایستگاه زمینی و ماهواره بالای آن که خارج از جو نیست، منتقل شود. برای ارتباطات زمینی، آنتن‌های فرستنده و گیرنده باید در دید مستقیم مؤثر یکدیگر باشند. واژه مؤثر به این دلیل استفاده شده که امواج مایکروویو از طریق اتمسفر شکست پیدا می‌کنند. میزان و جهت خمیدگی به شرایط بستگی دارد، اما عموماً امواج مایکروویو با انحنای زمین خمیده می‌شوند و بنابراین، دورتر از دید مستقیم نوری انتشار می‌یابند.

خمیدگی

قبل از ادامه، بحث مختصری در مورد خمیدگی لازم است. خمیدگی به این دلیل اتفاق می‌افتد که سرعت موج الکترومغناطیسی تابعی از دانسیته رسانه‌ای است که در آن منتشر می‌شود. در خلاء یک موج الکترومغناطیسی (مانند نور یا موج رادیویی)، با سرعت تقریبی 3×10^8 m/s حرکت می‌کند. این سرعت ثابت است و معمولاً با سرعت نور (C) نشان داده می‌شود، اما در واقع اشاره به سرعت نور در خلاء دارد.^۱ در هوا، آب، شیشه، و مواد شفاف دیگر با رسانه شفاف، امواج الکترومغناطیسی با سرعتی کمتر از C حرکت می‌کنند.

هنگامی که یک موج الکترومغناطیسی، از رسانه‌ای با یک دانسیته، به رسانه‌ای با دانسیته دیگر وارد می‌شود، سرعت آن تغییر می‌نماید. اثر آن، باعث خمیده شدن جهت موج در مرز بین دو رسانه می‌شود. اگر موج از رسانه‌ای با دانسیته کمتر، به رسانه‌ای با دانسیته بیشتر حرکت کند، به سمت رسانه با دانسیته بیشتر خمیده خواهد شد. این اثر به راحتی با قرار دادن بخشی از یک چوب در آب مشاهده می‌شود.

ضریب خمیدگی یک رسانه نسبت به دیگری، سینوس زاویه مجاور، تقسیم بر سینوس زاویه انعکاس می‌باشد. ضریب خمیدگی، همچنین معادل است با نسبت سرعت‌های نسبی در دو رسانه. ضریب شکست مطلق یک رسانه، در مقایسه با خلاء حساب می‌شود. ضریب خمیدگی، با طول موج تغییر می‌کند، به گونه‌ای که اثرات خمیدگی، برای سیگنالهایی با طول موج‌های متفاوت، تغییر می‌نماید.

اگرچه یک تغییر ناگهانی در جهت، به صورت حرکت سیگنال از یک رسانه به دیگری اتفاق می‌افتد، در ضمن

^۱ مقدار دقیق آن $299,792,458$ m/s می‌باشد.

این که سیگنال از یک رسانه به دیگری حرکت می‌کند، خمیدگی تدریجی پیوسته‌ای برای سیگنال بوجود می‌آید اگر از رسانه‌ای عبور کند که ضریب خمیدگی آن به تدریج تغییر می‌نماید. در شرایط طبیعی انتشار، ضریب خمیدگی اتمسفر با ارتفاع کاهش می‌یابد، به شکلی که امواج رادیویی، نزدیک زمین آهسته‌تر از ارتفاعات بالاتر حرکت می‌کنند. نتیجه آن، خمیدگی امواج رادیویی به سمت زمین است.

دید مستقیم نوری و رادیویی

اگر موانع میانی وجود نداشته باشند، دید مستقیم نوری می‌تواند اینگونه بیان شود:

$$d = 3.57 \sqrt{h}$$

که d فاصله بین آنتن و افق برحسب کیلومتر و h ، ارتفاع آنتن برحسب متر می‌باشد. دید مستقیم مؤثر یا رادیویی، نسبت به افق، اینگونه بیان می‌شود شکل (۹-۴):

$$d = 3.57 \sqrt{Kh}$$

که K فاکتور تنظیم برای به حساب آوردن شکست می‌باشد. یک قانون سرانگشتی آن $K = 4/3$ است. بنابراین، حداکثر فاصله بین دو آنتن برای انتشار LOS، برابر است با $(\sqrt{Kh_1} + \sqrt{Kh_2})$ ، که h_1 و h_2 ارتفاع‌های دو آنتن می‌باشند.

مثال ۳-۴. حداکثر فاصله بین دو آنتن برای ارسال LOS که یکی از آنتن‌ها در ارتفاع ۱۰۰ m و دیگری در سطح زمین می‌باشد برابر است با:

$$d = 3.57 \sqrt{Kh} = 3.57 \sqrt{133} = 41 \text{ km}$$

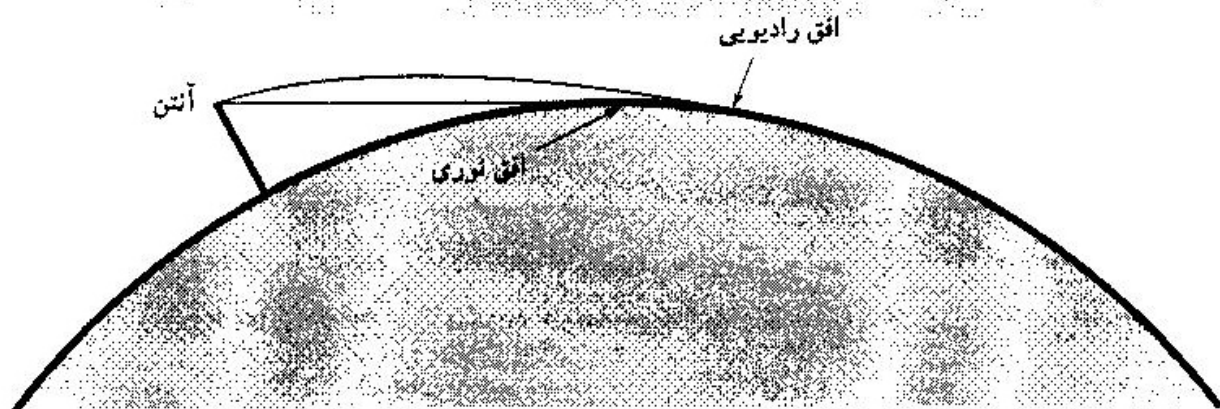
اینک فرض کنید که آنتن گیرنده در ارتفاع ۱۰ m قرار داشته باشد. به منظور دستیابی به همان فاصله، ارتفاع آنتن فرستنده چقدر باید باشد؟ نتیجه این است که:

$$41 = 3.57 (\sqrt{Kh_1} + \sqrt{13.3})$$

$$\sqrt{Kh_1} = \frac{41}{3.57} - \sqrt{13.3} = 7.84$$

$$h_1 = 7.84^2 / 1.33 = 46.2 \text{ m}$$

که باعث صرفه‌جویی ۵۰ m در ارتفاع آنتن فرستنده می‌شود. این مثال، فایده بالا بردن آنتن‌های گیرنده را از سطح زمین، برای کاهش ارتفاع فرستنده، نشان می‌دهد.



شکل ۹-۴ افق‌های نوری و رادیویی

۴-۴ انتقال دید مستقیم

بخش ۳-۳، موانع گوناگون انتقال را برای انتقال هدایت شده و بی سیم، نشان داد. در این بخش، این بحث را توسعه می دهیم تا برخی موانع خاص انتقال بی سیم دید مستقیم را بررسی نمائیم.

اتلاف فضای آزاد

برای هر نوع ارتباط بی سیم، سیگنال در طول مسافت تضعیف می شود. بنابراین، آنتنی با سطحی ثابت، قدرت سیگنال کمتری را با دور شدن از آنتن فرستنده، دریافت می کند. برای ارتباط ماهواره ای، این مورد، اولین روش اتلاف سیگنال می باشد. حتی اگر هیچ منبع تضعیف یا مانع دیگری در نظر گرفته نشود، سیگنال ارسال شده، در طول مسافت تضعیف می شود زیرا، سیگنال در ناحیه ای بزرگتر و بزرگتر پخش می گردد. این شکل تضعیف، به تضعیف فضای آزاد معروف است، که برحسب نسبت قدرت تشعشع شده P_t به قدرت دریافت شده P_r توسط آنتن گیرنده، یا برحسب دسیبل، با گرفتن لگاریتم مبنای ۱۰ این نسبت، بیان می شود. برای آنتن ایزوتروپیک ایده آل، اتلاف فضای آزاد برابر است با:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}$$

که

P_t = قدرت سیگنال در آنتن فرستنده

P_r = قدرت سیگنال در آنتن گیرنده

λ = طول موج حامل

d = فاصله انتشار بین آنتن ها

c = سرعت نور (3×10^8 m/s)

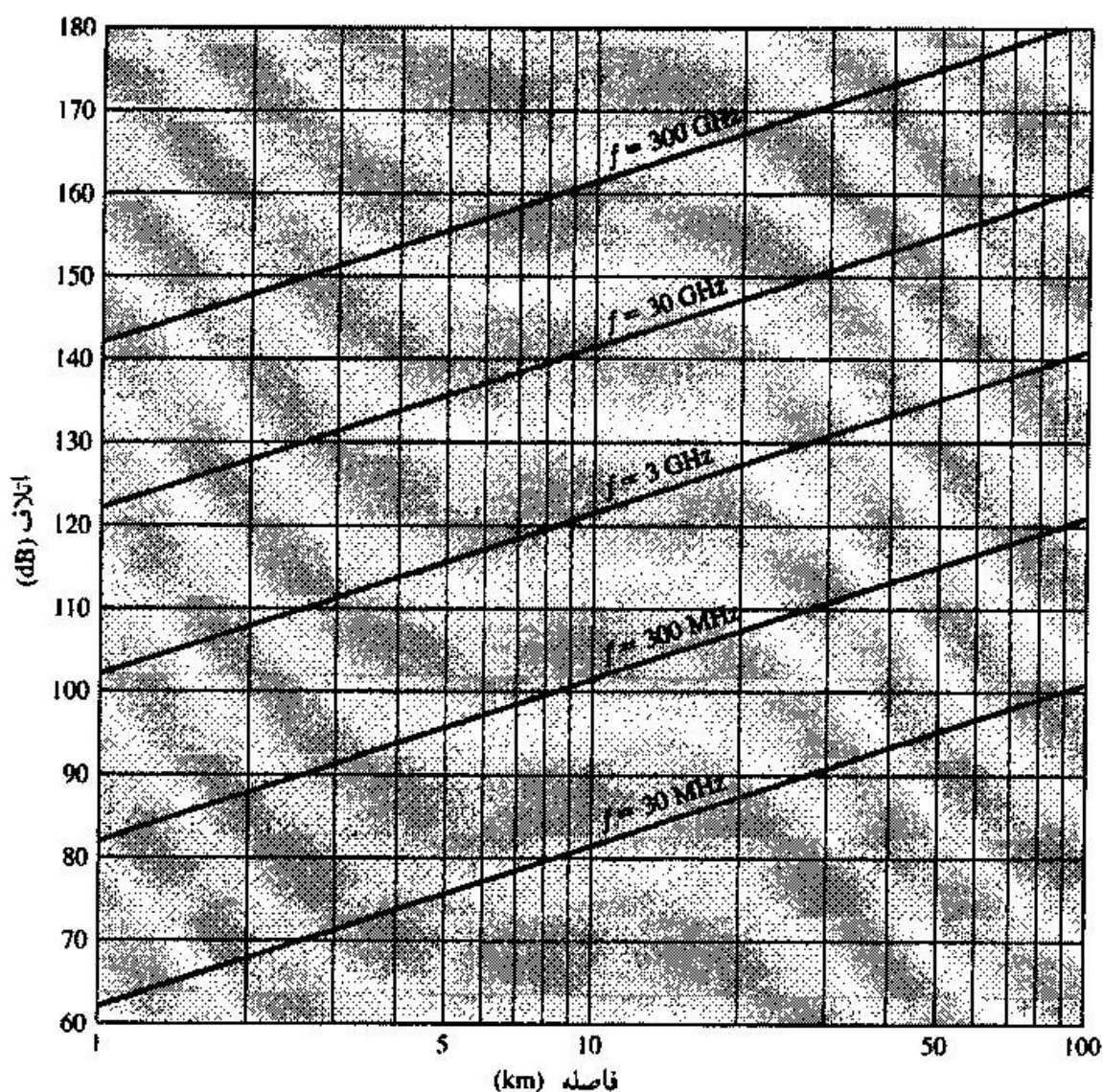
که d و λ یک واحد دارند (برای مثال، متر).

این مطلب اینگونه بیان می شود:

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 20 \log \sqrt{\frac{4\pi d}{\lambda}} = -20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 21.98 \text{ dB} \\ (4-3) \quad &= 20 \log \sqrt{\frac{4\pi f d}{c}} = 20 \log(f) + 20 \log(d) - 147.56 \text{ dB} \end{aligned}$$

شکل (۴-۱۰) معادله اتلاف فضای آزاد را نشان می دهد.^۱

- همانگونه که در ضمیمه ۳- الف اشاره شد، عدم تطابقی در استفاده از واژه بهره و اتلاف وجود دارد. معادله ۴-۳ همان روش معادله ۲-۲ را دنبال می کند.



شکل ۱-۴ اتلاف فضای آزاد

برای آنتن‌های دیگر، بهره آنتن نیز باید به حساب آورده شود، که به این معادله اتلاف فضای آزاد منتهی می‌شود:

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi)^2(d)^2}{G_r G_t \lambda^2} = \frac{(\lambda d)^2}{A_r A_t} = \frac{(cd)^2}{f^2 A_r A_t}$$

که

G_t = بهره آنتن فرستنده

G_r = بهره آنتن گیرنده

A_t = ناحیه مؤثر آنتن فرستنده

A_r = ناحیه مؤثر آنتن گیرنده

کسر سوم، از کسر دوم با استفاده از رابطه بین بهره آنتن و ناحیه مؤثر تعریف شده در معادله ۱-۴ بدست آمده

است. معادله اتلاف اینگونه تغییر داده می‌شود:

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 20 \log(\lambda) + 20 \log(d) - 10 \log(A_r A_r) \\ &= -20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(A_r A_r) + 169.54 \text{ dB} \end{aligned} \quad (4-4)$$

بنابراین، برای آنتنی با همان ابعاد و فاصله، هر چه طول موج حامل بیشتر باشد، (فرکانس حاصل، f ، کمتر باشد)، اتلاف مسیر فضای آزاد بیشتر است. مقایسه معادله‌های ۳-۴ و ۴-۴ می‌تواند جالب باشد. معادله ۳-۴ نشان می‌دهد که در فرکانسهای بالاتر، اتلاف تأثیر منفی بیشتری دارد. به هر حال، معادله ۴-۴ نشان می‌دهد که به راحتی می‌توان این اتلاف افزوده شده را با بهره آنتن‌ها خنثی نمود. در واقع، بهره مشخصی در فرکانسهای بالاتر وجود دارد، اگر فاکتورهای دیگر ثابت بمانند. معادله ۳-۴ نشان می‌دهد که در فاصله ثابتی، افزایش فرکانس، باعث افزایش اتلاف می‌گردد که با $20 \log(f)$ اندازه‌گیری می‌شود. به هر حال، اگر بهره آنتن را به حساب می‌آوریم، و سطح آنتن را ثابت در نظر می‌گیریم، در این صورت، تغییر در اتلاف با $-20 \log(f)$ اندازه‌گیری می‌شود؛ یعنی، در واقع، در فرکانسهای بالاتر، اتلاف کاهش می‌یابد.

مثال ۴-۴. اتلاف فضای آزاد ایزوتروپیک را در ۴ GHz برای کوتاه‌ترین مسیر به ماهواره سکرون از زمین، محاسبه نمایند (۳۵۸۶۳ km). در ۴ GHz، طول موج برابر است با 0.075 m (10^9)
بنابراین $(3 \times 10^8) / (4 \times 10^9)$

$$L_{dB} = -20 \log(0.075) + 20 \log(35.853 \times 10^6) + 21.98 = 195.6 \text{ dB}$$

اینک بهره آنتن، ماهواره و آنتن را به ترتیب ۴۴ dB و ۴۸ dB در نظر بگیرید. اتلاف فضای آزاد برابر است با:

$$L_{dB} = 195.6 - 44 - 48 = 103.6 \text{ dB}$$

اینک در نظر بگیرید که قدرت فرستنده ۲۵۰ W در ایستگاه زمینی است. قدرت دریافت شده در آنتن ماهواره چیست؟ قدرت ۲۵۰ W یعنی ۲۴ dBW، بنابراین، قدرت در آنتن گیرنده برابر است با dBW
 $24 - 103.6 = -79.6$

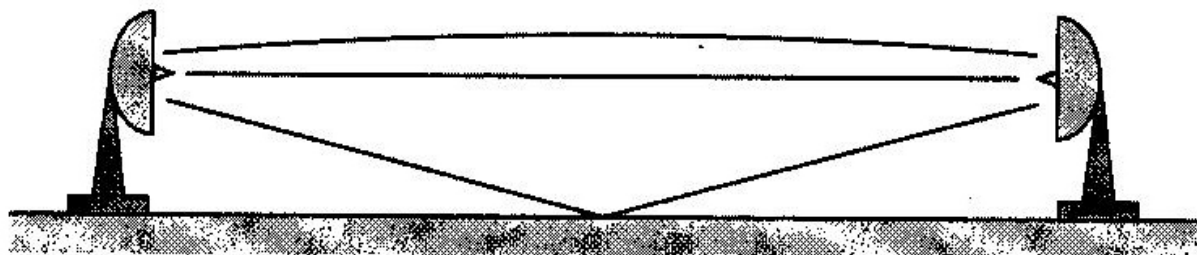
جذب اتمسفر

اتلاف بیشتر بین آنتن‌های فرستنده و گیرنده، مربوط به جذب اتمسفر می‌باشد. بخار آب و اکسیژن، اکثر این تضعیف را باعث می‌شوند. تضعیف حداکثر، در نزدیکی ۲۲ GHz، در اثر بخار آب است. در فرکانسهای کمتر از ۱۵ GHz، تضعیف کمتر است. وجود اکسیژن باعث می‌شود حداکثر جذب در نزدیکی ۶۰ GHz باشد، اما در فرکانسهای زیر ۳۰ GHz، سهم کمتری دارد. باران و مه (قطرات آب) باعث پراکندگی امواج رادیویی می‌شوند و در نتیجه اتلاف ایجاد می‌کنند. در این رابطه، واژه پراکندگی، در رابطه با امواج رادیویی به تولید امواجی با جهت یا فرکانس متفاوت اشاره دارد. این حالت، می‌تواند عامل عمده اتلاف سیگنال باشد. بنابراین، در نواحی بارانی، طول مسیر باید کوتاه باشد یا باندهایی با فرکانس کمتر استفاده شوند.

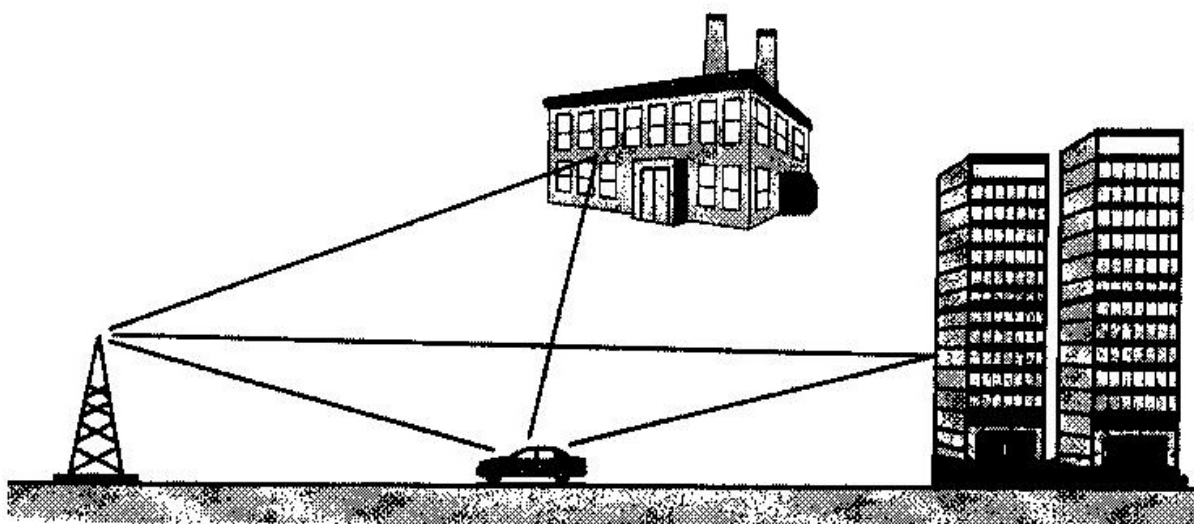
چند مسیر

برای امکانات بی سیم که انتخاب آزاد برای محل قرارگیری آنتن وجود دارد، آنتن ها باید به گونه ای قرار داده شوند که اگر مانعی برای تداخل وجود نداشته باشد، مسیر دید مستقیمی از فرستنده به گیرنده برقرار گردد. این حالت، عموماً برای بسیاری از امکانات ماهواره ای و مایکروویو نقطه به نقطه برقرار است. در حالت های دیگر، مانند تلفن همراه، موانع بسیاری وجود دارد. سیگنال، می تواند توسط موانعی منعکس شود که چندین کپی از سیگنال، با تأخیرهای متفاوت، قابل دریافت باشند. در واقع، در بدترین حالت، ممکن است مسیر مستقیمی وجود نداشته باشد. برحسب تفاوت طول مسیر امواج مستقیم و غیرمستقیم، سیگنال مرکب، می تواند بیشتر یا کمتر از سیگنال مستقیم باشد. افزایش شدت یا حذف سیگنال در نتیجه دنبال نمودن چندین مسیر توسط سیگنال، می تواند برای ارتباط بین آنتن های ثابت و بین ماهواره و ایستگاههای ثابت زمینی، کنترل شود. یک استثناء زمانی است که این مسیر از طریق آب برقرار می شود، جایی که باد، باعث حرکت سطح منعکس کننده آب می گردد. برای تلفن همراه، و ارتباط با آنتن هایی که کاملاً ثابت نشده اند، وجود چندین مسیر می تواند بسیار مهم باشد.

شکل (۴-۱۱) به طور کلی، انواع تداخل متداول ناشی از چندین مسیر را در مایکروویو ثابت زمینی، و ارتباطات متحرک، نشان می دهد. برای مایکروویو ساکن، علاوه بر دید مستقیم، سیگنال ممکن است مسیر منحنی را از طریق اتمسفر در اثر شکست، طی کند یا این سیگنال ممکن است از طریق زمین منعکس شود. برای ارتباطات متحرک، ساختمانها و موانع دیگر، سطوح انعکاس دهنده می باشند.



(الف) خط دید امواج مایکروویو



(ب) رادیوی سیار

شکل ۴-۱۱ مثالهایی از تداخل چند مسیره

امواج رادیویی، شکسته (یا خمیده) می‌شوند، زمانی که از طریق اتمسفر انتشار می‌یابند. این خمیدگی در اثر تغییرات در سرعت سیگنال، در اثر ارتفاع، یا تغییرات جوی دیگر در شرایط اتمسفری ایجاد می‌شود. به طور معمول، سرعت سیگنال با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد، و باعث می‌شود امواج رادیویی به سمت پایین خمیده شوند. به هر حال، گاهی، شرایط جوی ممکن است باعث تغییراتی در سرعت، به میزانی شوند که تا حد قابل توجهی با تغییرات معمولی متفاوت هستند. این عمل، می‌تواند باعث حالتی شود که کسری یا هیچ بخشی از موج دید مستقیم، به آنتن گیرنده نرسد.

۴-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر و سایت‌های وب

توضیحات مفصلی در مورد خصوصیات انتقال رسانه انتقال، در این فصل داده شده است که در [FREE98] یافت می‌شود. [REEV95] مطالب خوبی را در مورد زوج تابیده و فیبر نوری فراهم می‌نماید. [BORE97] بحث کاملی در مورد اجزاء انتقال فیبر نوری دارد. مقاله مفید دیگری در این موضوع، [WILL97] می‌باشد. [FREE02] مرجع تکنیکی کاملی در مورد فیبر نوری است. [STAL00] در مورد خصوصیات رسانه انتقال برای LAN ها، با جزئیات بیشتر صحبت می‌کند.

به منظور بررسی بیشتر در مورد انتقال و انتشار بی‌سیم، به [STAL02] و [RAPP96] مراجعه کنید. [FREE97] مرجع کاملی برای موضوع بی‌سیم می‌باشد.

- BORE97** Borella, M., et al., "Optical Components for WDM Lightwave Networks." *Proceedings of the IEEE*, August 1997.
- FREE97** Freeman, R. *Radio System Design for Telecommunications*. New York: Wiley, 1997.
- FREE98** Freeman, R. *Telecommunication Transmission Handbook*. New York: Wiley, 1998.
- FREE02** Freeman, R. *Fiber-Optic Systems for Telecommunications*. New York: Wiley, 2002.
- RAPP96** Rappaport, T. *Wireless Communications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
- REEV95** Reeve, W. *Subscriber Loop Signaling and Transmission Handbook*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995.
- STAL00** Stallings, W. *Local and Metropolitan Area Networks, 4th Edition*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- STAL02** Stallings, W. *Wireless Communications and Networks*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- WILL97** Willner, A. "Mining the Optical Bandwidth for a Terabit per Second." *IEEE Spectrum*, April 1997.



- Siemon Company : مجموعه خوبی در مورد موضوع کابل، به علاوه اطلاعاتی در مورد استانداردهای کابل ها دارد.
- Wireless Developer Network : اخبار، گزارشات، و بحث هایی در مورد موضوع بی سیم است.

۴-۶ واژه های کلیدی، سؤالات، و مسائل

واژه های کلیدی

ماهوره	دید مستقیم	آنتن
زوج تابیده شیلددار (STP)	فرکانسهای مایکروویو	بهره آنتن
انتشار موج آسمانی	چند مسیر	جذب اتمسفری
مایکروویو زمینی	آنتن چند جهته	تضعیف
رسانه انتقال	فیبر نوری	کابل کواکسیال
زوج تابیده	LOS نوری	آنتن جهت دار
رسانه هدایت نشده	آنتن انعکاسی پارابولیک	ناحیه مؤثر
زوج تابیده بدون شیلد (UTP)	رادیویی	اتلاف فضای آزاد
LOS رادیویی	انتشار موج زمینی	رسانه هدایت شده
مانتی پلکسینگ تقسیم طول موج	خمیدگی	مادون قرمز
(WDM)	انتقال بی سیم	اندیس خمیدگی
	آنتن ایزوتروپیک	پراکندگی

سؤالات

- ۴-۱ چرا سیم ها در سیم مسی زوج تابیده، تابیده می شوند؟
- ۴-۲ محدودیت های عمده سیم زوج تابیده چیست؟
- ۴-۳ تفاوت بین زوج تابیده بدون شیلد و زوج تابیده شیلددار چیست؟
- ۴-۴ اجزاء کابل فیبرنوری را توضیح دهید.
- ۴-۵ نقاط قوت و ضعف عمده انتقال مایکروویو چیست؟
- ۴-۶ ماهواره پخش مستقیم چیست (DBS) ؟
- ۴-۷ چرا ماهواره باید فرکانسهای مجزایی برای uplink و downlink داشته باشد؟
- ۴-۸ چند تفاوت مهم بین پخش رادیو و مایکروویو را توضیح دهید.

۴-۹ دو عملی که توسط آنتن انجام می شوند کدامند؟

۴-۱۰ آنتن ایزوتروپیک چیست؟

۴-۱۱ فایده آنتن انعکاسی پارابولیک چیست؟

۴-۱۲ چه عواملی مشخص کننده بهره آنتن هستند؟

۴-۱۳ علت اصلی اتلاف سیگنال در ارتباطات ماهواره ای چیست؟

۴-۱۴ خمیدگی چیست؟

۴-۱۵ تفاوت بین شکست و پراکندگی چیست؟

مسائل

۴-۱ فرض کنید که داده ها در دیسکتهای ۴/۱ Mbyte ذخیره شده اند که هر یک g ۳۰ وزن دارد. فرض کنید که

یک خط هوایی، kg ۱۰۰ از این دیسکتهای را با سرعت km/h ۱۰۰۰ در مسافتی km ۵۰۰۰ حمل می نماید.

سرعت انتقال داده ها بر حسب بیت بر ثانیه برای این سیستم چیست؟

۴-۲ یک خط تلفن، اتلافی برابر dB ۲۰ دارد. قدرت سیگنال ورودی، W ۰/۵ است، و سطح نویز خروجی،

μW ۴/۵ اندازه گیری شده است. با این اطلاعات، نسبت سیگنال به نویز را بر حسب dB محاسبه کنید.

۴-۳ با یک منبع W ۱۰۰ نیرو، حداکثر طول مجاز برای این رسانه های انتقال چقدر است اگر سیگنال $Watt$ ۱

باید دریافت شود؟

الف - زوج تابیده درجه ۲۴ (mm ۰/۵) که در kHz ۳۰۰ کار می کند.

ب - زوج تابیده درجه ۲۴ (mm ۰/۵) که در MHz ۱ عمل می کند.

ج - کابل کواکسیال $inch$ ۳/۷۵ (mm ۹/۵) که در MHz ۱ عمل می کند.

د - کابل کواکسیال mm ۳/۷۵ (mm ۹/۵) که در MHz ۲۵ عمل می کند.

ه - فیبر نوری که در فرکانس بهینه کار می کند.

۴-۴ کابل کواکسیال، سیستم انتقال دو سیمی است. فایده متصل نمودن هادی خارجی به زمین چیست؟

۴-۵ نشان دهید که دو برابر نمودن فرکانس انتقال، یا دو برابر نمودن فاصله بین آنتن های فرستنده و گیرنده،

قدرت دریافتی را به اندازه dB ۶ تضعیف می کند.

۴-۶ عمقی در اقیانوس که سیگنالهای الکترومغناطیسی هوانوردی می توانند در آن آشکار شوند، با طول موج

افزایش می یابد. بنابراین، ایده استفاده از طول موج های خیلی بلند در صنایع نظامی در حدود Hz ۳۰ مطرح

شد تا از طریق آن با زیر دریایی ها ارتباط برقرار کنند. لازم است آنتنی در حدود نصف طول موج استفاده

شود. اندازه آن چقدر است؟

۴-۷ قدرت صوت صدای انسان، در حدود Hz ۳۰۰ متمرکز شده است. آنتن هایی با اندازه مناسب برای این

فرکانس، تا حد غیر عملی بزرگ هستند، به شکلی که برای ارسال صدا توسط رادیو، این سیگنال صوتی باید

بر روی فرکانس بالاتری (حامل) که برای آن، طول آنتن کوتاه تر است، مدوله شود.

الف - طول آنتنی به اندازه نصف طول موج برای ارسال رادیو در Hz ۳۰۰ چقدر است؟

ب - راه دیگر، استفاده از طرح مدولاسیون، همانند فصل ۵، برای ارسال سیگنال صوتی می باشد. این

طرح، سیگنال صوتی را به شکلی بر روی حامل مدوله می‌نماید که پهنای باند سیگنال، باریک و با مرکزیت فرکانس حامل باشد. فرض کنید می‌خواهیم آنتنی به اندازه نصف طول موج داشته باشیم با طول 1 m . چه فرکانس حاملی باید استفاده شود.

۴-۸ داستانهایی در مورد افرادی که سیگنالهای رادیویی را از طریق دندانهای پر شده خود دریافت می‌کنند، گفته شده است. فرض کنید دندان پر شده‌ای دارید که $2/5\text{ mm}$ ($0/0025\text{ m}$) طول دارد و به صورت آنتن رادیویی عمل می‌کند. یعنی، از نظر طول، معادل نصف طول موج است. چه فرکانسی را دریافت می‌کنید؟

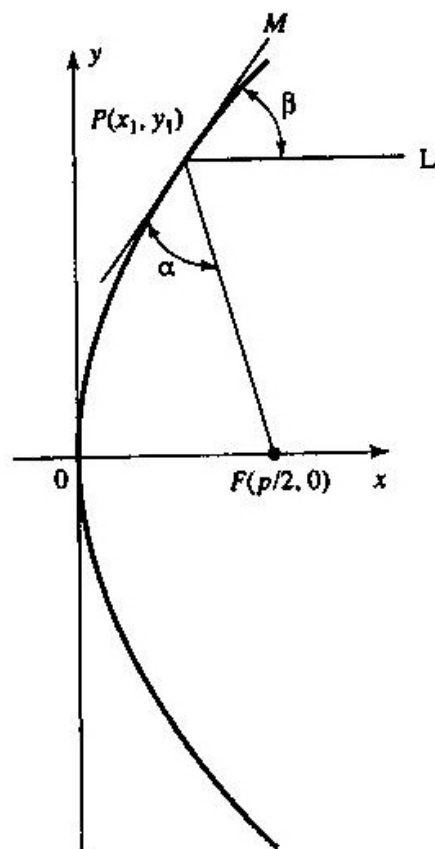
۴-۹ شما در حال ارتباط بین دو ماهواره هستید. این انتقال، از قانون فضای آزاد تبعیت می‌کند. سیگنال خیلی ضعیف است. فروشنده دو امکان به شما داده است. فروشنده می‌تواند فرکانس بالاتری استفاده کند که دو برابر فرکانس فعلی است، یا می‌تواند سطح مؤثر دو آنتن را دو برابر کند. کدام روش باعث می‌شود توان بیشتری دریافت کنید، یا هر دو، افزایشی به یک اندازه خواهند داشت، تمام فاکتورهای دیگر ثابت هستند؟ چه میزان افزایش در قدرت گیرنده، در بهترین حالت بدست می‌آید؟

۴-۱۰ برای انتقال در فضای آزاد، قدرت سیگنال نسبت به مربع فاصله از منبع کاهش می‌یابد، در حالی که در انتقال از طریق سیم، تضعیف عدد ثابتی برحسب dB برای هر کیلومتر است. جدول زیر استفاده می‌شود تا کاهش dB را نسبت به مرجعی برای انتقال رادیویی فضای آزاد و سیم یکنواخت، نشان دهد. جدول را کامل کنید.

سیم (dB)	رادیو (dB)	فاصله (km)
-3	-6	1
		2
		4
		8
		16

۴-۱۱ بخش ۲-۴ بیان می‌نماید که اگر یک منبع انرژی الکترومغناطیسی در مرکز یک پارابولونید قرار گیرد، و اگر پارابولونید سطحی منعکس کننده باشد، امواج به موازات محور آن باز می‌گردند. به منظور نشان دادن این مطلب، سهمی $y^2 = 2px$ را در نظر بگیرید که در شکل (۴-۱۲) نشان داده شده است. $P(x_1, y_1)$ نقطه‌ای بر روی سهمی است، و PF خطی است از P تا مرکز. خط L تا P را به موازات محور x ، و خط M را مماس با سهمی در P رسم کنید. زاویه بین L و M ، برابر β است، و زاویه بین PF و M برابر α می‌باشد. زاویه α ، زاویه‌ای است که اشعه از F ، به سهمی در P برخورد می‌کند. چون زاویه مجاور، معادل زاویه انعکاس می‌باشد، اشعه منعکس شده از P باید با M ، زاویه α داشته باشد. بنابراین، اگر بتوانیم نشان دهیم که $\alpha = \beta$ ، نشان داده‌ایم که اشعه‌های منعکس شده از سهمی، که از F شروع می‌شوند، موازی محور x هستند.

الف - ابتدا نشان دهید که $\tan \beta = \left(\frac{p}{y_1}\right)$. نکته: بخاطر آوردید که شیب خط، معادل است با تانژانت زاویه خط با جهت مثبت محور x . همچنین بخاطر آوردید که شیب خط مماس بر منحنی در یک نقطه، معادل است با مشتق منحنی در آن نقطه.



شکل ۴-۱۲ انعکاس سهمی

ب - اینک نشان دهید $\tan \alpha = \left(\frac{p}{y_1}\right)$ ، که نشان می دهد $\alpha = \beta$. نکته: بخاطر آورید که فرمول تانژانت تفاضل زاویه های α_1 و α_2 برابر است با:

$$\tan(\alpha_2 - \alpha_1) = (\tan \alpha_1 - \alpha_2) / (1 + \tan \alpha_2 \times \tan \alpha_1)$$

۴-۱۲ اغلب بهتر است که فاصله برحسب km به جای m محاسبه شود، و فرکانس برحسب MHz به جای Hz. معادله ۴-۳ را با این ابعاد بنویسید.

۴-۱۳ فرض کنید فرستنده، قدرت ۵۰ W تولید می کند.

الف - قدرت فرستنده را برحسب dBm و dBW محاسبه کنید.

ب - اگر قدرت به آنتنی با بهره واحد داده شود، با فرکانس حامل ۹۰۰ MHz، قدرت دریافتی برحسب dBm در فضای آزاد در فاصله ۱۰۰ m چیست؟

ج - بخش ب را برای فاصله ۱۰ km تکرار کنید.

د - بخش ج را تکرار کنید، اما فرض کنید آنتن گیرنده بهره ۲ دارد.

۴-۱۴ فرستنده مایکروویو خروجی ۱ W در ۱/۲ GHz دارد. فرض کنید این فرستنده در یک سیستم مخابرات مایکروویو استفاده می شود که آنتن های فرستنده و گیرنده پارابولیک هستند با قطر ۱/۲ m.

الف - بهره هر آنتن برحسب دسیبل چیست؟

ب - با در نظر گرفتن بهره آنتن، قدرت مؤثر تشعشع شده از سیگنال ارسالی چقدر است؟

ج - اگر آنتن گیرنده در فاصله ۲۴ km از آنتن فرستنده در مسیر فضای آزاد قرار داشته باشد، قدرت

سیگنال دریافتی در آنتن گیرنده را برحسب dBm محاسبه کنید.

۴-۱۵ بخش ۳-۴ بیان می نماید که بدون موانع میانی، دید مستقیم نوری می تواند به صورت $d = 3.57 \sqrt{h}$ محاسبه شود که d ، فاصله بین یک آنتن و افق برحسب کیلومتر است و h ارتفاع آنتن برحسب متر. با در نظر گرفتن مقدار 6370 km برای قطر زمین، این معادله را بدست آورید. نکته: فرض کنید آنتن عمود بر سطح زمین است و توجه داشته باشید که خطی از بالای آنتن تا افق، در افق، مماس بر سطح زمین است. تصویری رسم کنید و آنتن، دید مستقیم، و شعاع زمین را برای کمک به حل مسئله، نشان دهید.

۴-۱۶ ارتفاع آنتنی را برای ایستگاه تلویزیونی مشخص کنید که باید به مشربانی تا شعاع 80 km دورتر برسد.

۴-۱۷ فرض کنید اشعه ای از نور مرئی از اتمسفر عبور کند و با زاویه 30° نسبت به افق به آب وارد شود. زاویه این اشعه در آب چقدر است؟ توجه: در شرایط استاندارد جوی در سطح زمین، مقدار ضریب انعکاس $1/0003$ می باشد. ضریب انعکاس نسبی آب نیز $4/3$ است.

تکنیک های کدگذاری سیگنال

۵-۱ داده های دیجیتال، سیگنالهای دیجیتال

بدون بازگشت به صفر (NRZ)

باینری چند سطحی

دو فاز

سرعت مدولاسیون

تکنیک های جابجایی

۵-۲ داده های دیجیتال، سیگنالهای آنالوگ

شیفت دامنه

شیفت فرکانس

شیفت فاز

کارایی

مدولاسیون دامنه کوادراچر

۵-۳ داده های آنالوگ، سیگنالهای دیجیتال

مدولاسیون کد پالس

مدولاسیون دلتا

کارایی

۵-۴ داده های آنالوگ، سیگنالهای آنالوگ

مدولاسیون دامنه

مدولاسیون زاویه

۵-۵ توصیه هایی برای مطالعه بیشتر

۵-۶ واژه های کلید، سؤالات و مسائل

واژه های کلیدی

سؤالات

مسائل

نکات کلیدی

- اطلاعات آنالوگ و دیجیتال، می‌توانند به صورت آنالوگ یا دیجیتال، کدگذاری شوند. کدگذاری خاصی که انتخاب می‌شود، بستگی دارد به نیازهای خاصی که باید تأمین شوند، و امکانات رسانه ارتباطی قابل دسترس.

- داده‌های دیجیتال، سیگنالهای دیجیتال: ساده‌ترین شکل کدگذاری دیجیتال برای داده‌های دیجیتال، انتساب یک سطح ولتاژ به یک و سطح ولتاژ دیگری به صفر باینری می‌باشد. طرح‌های کدگذاری پیچیده‌تر برای ارتقاء کارایی استفاده می‌شوند. این طرح‌ها، طیف سیگنال را تغییر می‌دهند و توانایی همزمانی را ایجاد می‌نمایند.

- داده‌های دیجیتال، سیگنال آنالوگ: یک مودم، داده‌های دیجیتال را به سیگنال آنالوگ تبدیل می‌کند، به شکلی که بتواند در یک خط آنالوگ منتقل شود. تکنیک‌های اصلی آنها عبارتند از متد شیفت دامنه (ASK)، متد شیفت فرکانس (FSK)، و متد شیفت فاز (PSK). همه آنها، یک یا چند خصوصیت فرکانس حامل را برای نشان دادن داده‌های باینری، تغییر می‌دهند.

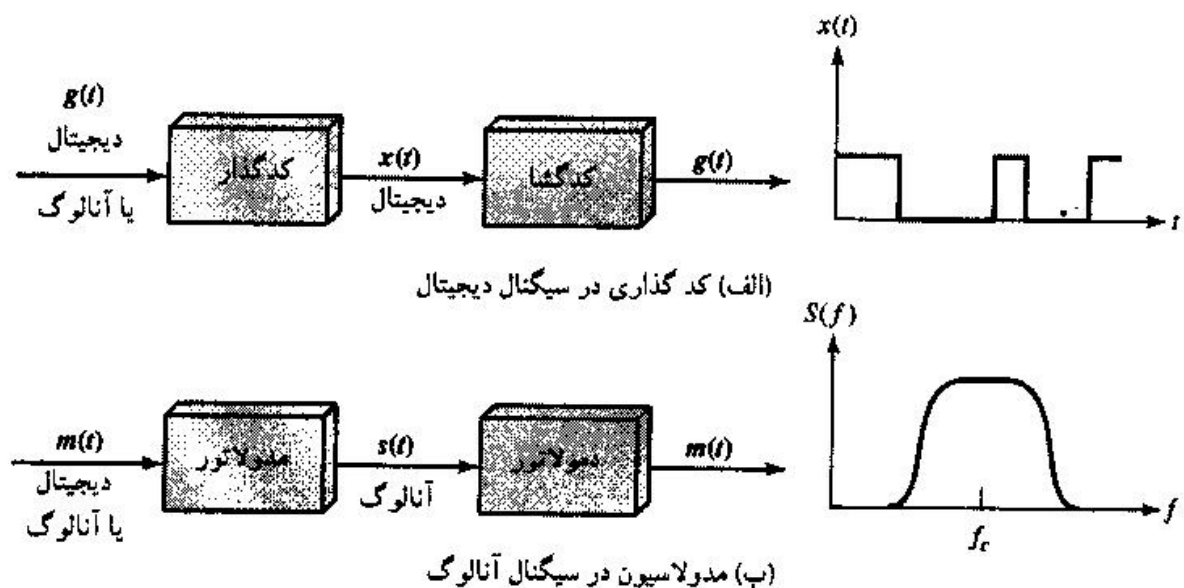
- داده‌های آنالوگ، سیگنالهای دیجیتال: داده‌های آنالوگ، مانند صوت و ویدئو، اغلب به دیجیتال تبدیل می‌شوند تا بتوانند از امکانات انتقال دیجیتال استفاده نمایند. ساده‌ترین تکنیک، مدولاسیون کد پالس (PCM) است، که شامل نمونه‌برداری از داده‌های آنالوگ به صورت دوره‌ای و درجه‌بندی این نمونه‌ها، می‌باشد.

- داده‌های آنالوگ، سیگنالهای آنالوگ: داده‌های آنالوگ، توسط فرکانس حامل، مدوله می‌شوند تا سیگنال آنالوگی با باند فرکانسی متفاوت را تولید نمایند، که بتواند در یک سیستم ارسال آنالوگ استفاده شود. تکنیک‌های اصلی آنها عبارتند از مدولاسیون دامنه (AM)، مدولاسیون فرکانس (FM) و مدولاسیون فاز (PM).

در فصل ۳، مقایسه‌ای بین داده‌های آنالوگ و دیجیتال، و سیگنالهای آنالوگ و دیجیتال انجام شده است. شکل (۳-۱۳) پیشنهاد می‌کند که هر یک از اشکال داده‌ها می‌توانند به هر یک از اشکال سیگنال، کد شوند.

شکل (۵-۱)، نمود دیگری است که بر فرآیند آن تأکید دارد. برای سیگنالینگ دیجیتال، یک منبع داده $g(t)$ ، که می‌تواند دیجیتال یا آنالوگ باشد، به یک سیگنال دیجیتال $x(t)$ کد می‌شود. شکل اصلی $x(t)$ بستگی به تکنیک کدگذاری دارد و برای استفاده بهینه از رسانه انتقال انتخاب می‌شود. برای مثال، تکنیک کدگذاری می‌تواند برای فشرده‌سازی پهنای باند یا به حداقل رساندن خطاها انتخاب شود.

مبنای سیگنالینگ آنالوگ، سیگنالی پیوسته با فرکانس ثابت به نام سیگنال حامل می‌باشد. فرکانس سیگنال حامل به شکلی انتخاب می‌شود که با رسانه انتقال استفاده شده، سازگار باشد. داده‌ها می‌توانند با استفاده از مدولاسیون بر روی سیگنال حامل، ارسال شوند. مدولاسیون فرآیند کدگذاری داده‌های مبدأ به سیگنال حاملی با فرکانس f_c است. تمام تکنیک‌های مدولاسیون، بر روی یک یا چند پارامتر از سه پارامتر فرکانس پایه عمل می‌کنند: دامنه، فرکانس، و فاز.



شکل ۵-۱ تکنیک‌های کدگذاری و مدولاسیون

سیگنال ورودی $x(t)$ می‌تواند آنالوگ یا دیجیتال باشد، و سیگنال مدوله کننده یا سیگنال باند مبنا نامیده می‌شود. نتیجه مدوله نمودن سیگنال حامل، سیگنال مدوله شده یا $s(t)$ نامیده می‌شود. همانطور که شکل (۵-۱) - (ب) نشان می‌دهد، $s(t)$ سیگنالی با پهنای باند محدود است. مکان پهنای باند بر روی طیف، به f_c مربوط می‌شود و اغلب، مرکزیت آن f_c است. مجدد، شکل واقعی کدگذاری، به منظور بهینه‌سازی خصوصیتی از انتقال، انتخاب می‌گردد.

هر یک از چهار ترکیب ممکن، که در شکل (۵-۱) نشان داده شده است، استفاده گسترده‌ای دارد. دلیل انتخاب ترکیب خاصی برای هر ارتباط، متفاوت است. چند دلیل آن عبارتند از:

- داده دیجیتال، سیگنال دیجیتال: در حالت کلی، تجهیزات کدگذاری داده‌های دیجیتالی به سیگنال دیجیتالی، پیچیدگی کمتری دارند، و ارزانتر از تجهیزات مدولاسیون دیجیتال به آنالوگ می‌باشند.
- داده آنالوگ، سیگنال دیجیتال: تبدیل داده آنالوگ به شکل دیجیتالی، امکان استفاده از تجهیزات مدرن ارسال و سوئیچینگ دیجیتال را فراهم می‌نماید. فواید شیوه دیجیتال، در بخش ۲-۳ بحث شده است.
- داده دیجیتال، سیگنال آنالوگ: برخی رسانه‌های انتقال، مانند فیبر نوری و رسانه هدایت نشده، فقط سیگنالهای آنالوگ را منتشر می‌نمایند.
- داده آنالوگ، سیگنال آنالوگ: داده آنالوگ به شکل الکتریکی، می‌تواند به صورت سیگنالهای باند مبنا، به راحتی و ارزانی ارسال شود. این عمل، برای ارسال صوت بر روی خطوط صوتی انجام می‌شود. یک استفاده متداول از مدولاسیون، انتقال پهنای باند سیگنال باند مبنا، به بخش دیگری از طیف است. به این روش، چندین سیگنال، هر کدام در بخش متفاوتی از این طیف، می‌توانند از یک رسانه انتقال، به طور مشترک استفاده نمایند. این روش، مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس نامیده می‌شود.

اینک، تکنیک‌های موجود در هر یک از این چهار ترکیب بررسی می‌شوند:

۵-۱ داده دیجیتال - سیگنال دیجیتال

یک سیگنال دیجیتال، دنباله‌ای از پالس‌های ولتاژ گسسته، و مقطع می‌باشد. هر پالس، عنصری از سیگنال است. داده‌های باینری با استفاده از کدگذاری هر بیت داده در اجزاء سیگنال، ارسال می‌شوند. در ساده‌ترین حالت، تطابق یک به یک، بین بیت‌ها و اجزاء سیگنال وجود دارد. مثالی از آن، در شکل (۳-۱۵) نشان داده شده است، که ۱ باینری با سطح ولتاژ پایین‌تر، و صفر باینری با سطح ولتاژ بالاتر نشان داده شده است. در این بخش، نشان داده می‌شود که طرح‌های متعدد دیگری نیز برای کدگذاری استفاده می‌شوند.

ابتدا، برخی واژه‌ها را تعریف می‌نمایم. اگر اجزاء سیگنال همگی یک علامت جبری داشته باشند، یعنی همگی مثبت باشند، در این صورت سیگنال، تک قطبی است. در سیگنالینگ دو قطبی، یک حالت منطقی، با سطح ولتاژ مثبت، و حالت دیگر، با سطح ولتاژ منفی نشان داده می‌شود. سرعت سیگنالینگ داده، یا فقط سرعت داده، برای یک سیگنال، سرعتی برحسب بیت در ثانیه است که داده‌ها ارسال می‌شوند. مدت یا طول یک بیت، میزان زمانی است که برای ارسال یا انتشار آن بیت لازم است؛ برای سرعت انتقال داده R ، مدت بیت، $\frac{1}{R}$ خواهد بود. سرعت مدولاسیون، برخلاف آن، سرعتی است که سطح سیگنال تغییر می‌نماید. این عمل، بستگی به طبیعت کدگذاری دیجیتال دارد، که بعداً توضیح داده می‌شود. سرعت مدولاسیون، برحسب بُود بیان می‌شود، که به معنی تعداد عناصر سیگنال در ثانیه است. در نهایت، واژه علامت و فاصله، به دلایل تاریخی، به ترتیب به ارقام باینری ۱ و صفر اشاره دارند. جدول ۵-۱، واژه‌های کلیدی را خلاصه نموده است؛ این مطالب واضح‌تر خواهند شد اگر مثالی در ادامه بخش ارائه گردد.

کارهای مربوط به توصیف سیگنالهای دیجیتال در گیرنده، با مراجعه مجدد به شکل (۳-۱۵) خلاصه می‌گردد. ابتدا، گیرنده باید زمانبندی هر بیت را بداند. یعنی، گیرنده باید با دقت معینی، بداند چه زمانی یک بیت شروع می‌شود و خاتمه می‌یابد. دوم، گیرنده باید مشخص کند که آیا سطح سیگنال برای هر موقعیت بیت، زیاد (صفر) یا کم (۱) می‌باشد. در شکل (۳-۱۵)، این کارها، با نمونه‌برداری از هر موقعیت بیت، در وسط بازه، و مقایسه مقدار آن با سطح مبنا انجام می‌گیرد. به دلیل وجود نویز و موانع دیگر، خطاهایی نیز وجود دارد، که نشان داده شده است.

جدول ۵-۱. واژه‌های کلیدی انتقال داده

واژه	واحد	تعریف
عنصر داده	بیت‌ها	یک یا صفر باینری
سرعت انتقال داده	بیت در ثانیه (bps)	سرعتی که عناصر داده ارسال می‌شوند
عنصر سیگنال	دیجیتال: پالس ولتاژی با دامنه ثابت آنالوگ: پالسی با فرکانس، فاز، و دامنه ثابت	بخشی از سیگنال که کوتاه‌ترین بازه کد سیگنالینگ را اشغال می‌کند.
سرعت سیگنالینگ یا سرعت مدولاسیون	عناصر سیگنال در ثانیه (بُود)	سرعتی که عناصر سیگنال ارسال می‌شوند

چه عواملی تعیین کننده میزان موفقیت گیرنده، در توصیف سیگنال ورودی می باشند؟ در فصل ۳ مشاهده شد که سه عامل مهم هستند: نسبت سیگنال به نویز (یا $\frac{E_b}{N_0}$)، سرعت انتقال داده، و پهنای باند. اگر عوامل دیگر ثابت باشند، این احکام صحیح هستند:

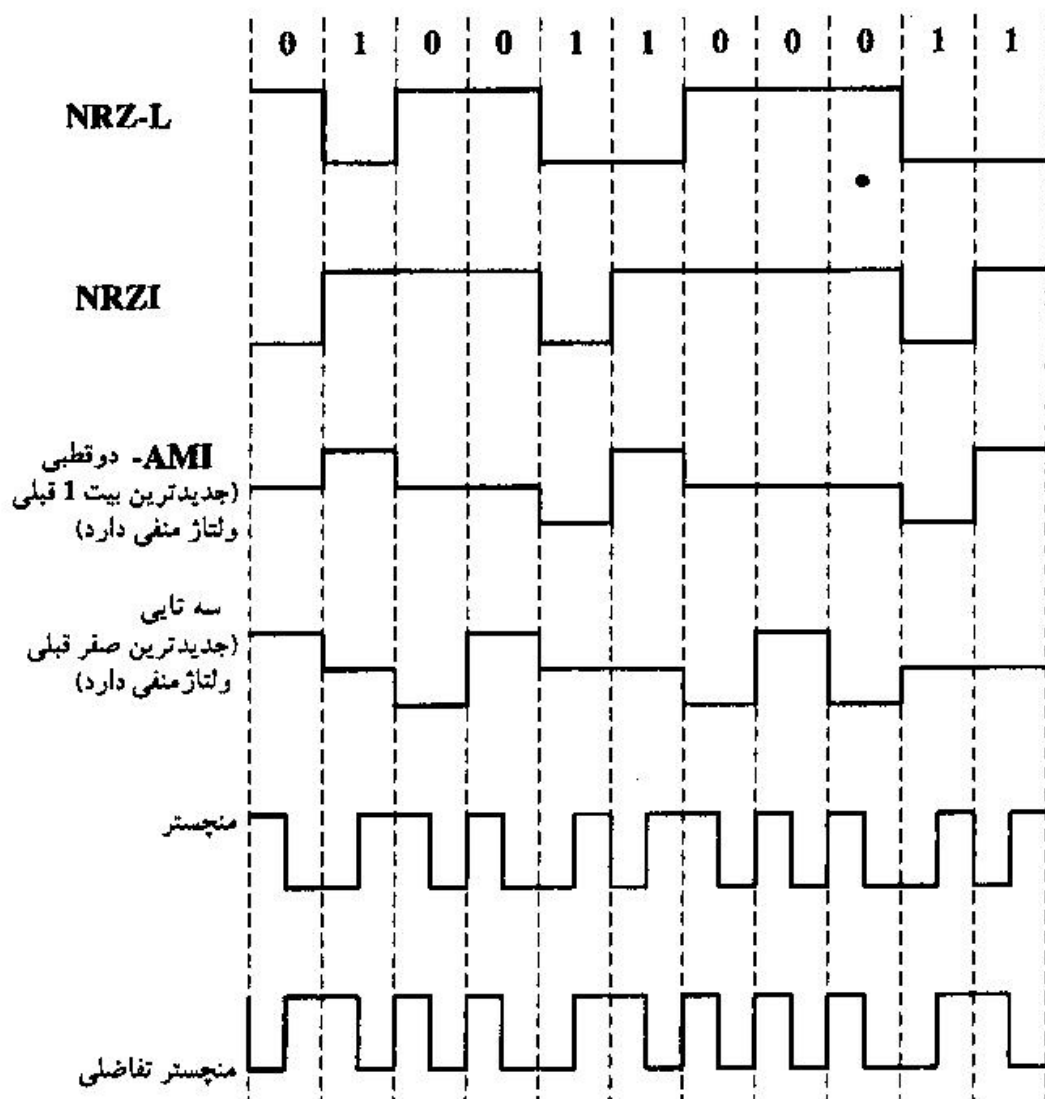
- افزایش در سرعت انتقال داده، سرعت خطای بیت ها (BER) را افزایش می دهد.^۱
- افزایش SNR، سرعت خطای بیت ها را کاهش می دهد.
- افزایش پهنای باند، امکان افزایش سرعت انتقال داده را فراهم می نماید.

فاکتور دیگری وجود دارد که می تواند برای ارتقاء کارایی استفاده شود، که طرح کدگذاری است. طرح کدگذاری، فقط تصویر نمودن بیت های داده، به عناصر سیگنال می باشد. شیوه های گوناگونی مورد آزمایش قرار گرفته است. در ادامه، برخی از متداول ترین آنها را بررسی می نمایم؛ این شیوه ها را در جدول ۵-۲ تعریف نموده ایم و در شکل (۵-۲) نیز آورده شده اند.

جدول ۵-۲ تعریف قالب های کدگذاری سیگنال دیجیتال

بدون بازگشت به سطح صفر (NRZ-L)
سطح بالا = ۰
سطح پایین = ۱
بدون بازگشت به صفر معکوس شده (NRZI)
تغییر حالتی در شروع بازه ندارد (مدت یک بیت) = ۰
تغییر حالت در ابتدای بازه دارد = ۱
AMI - دوقطبی
عدم وجود سیگنال در خط = ۰
تغییر سطح مثبت یا منفی، برای یک های متوالی = ۱
سه تایی
سطح مثبت یا منفی، برای صفرهای متوالی تغییر می کند = ۰
عدم وجود سیگنال در خط = ۱
منچستر
تغییر حالت از زیاد به کم در وسط بازه = ۰
تغییر حالت از کم به زیاد در وسط بازه = ۱
منچستر تفاضلی
همیشه تغییر حالتی در وسط بازه وجود دارد
تغییر حالت در ابتدای بازه = ۰
عدم وجود تغییر حالت در ابتدای بازه = ۱
B8ZS
مشابه AMI دو قطبی، بجز این که هر رشته ای شامل هشت صفر یا رشته ای با دو کد نقض جایگزین می شود
HDB3
مشابه AMI دو قطبی، بجز این که هر رشته ای شامل چهار صفر یا رشته ای با دو کد نقض جایگزین می شود

۱ - BER، متداول ترین معیار کارایی خطا در مدارات انتقال داده می باشد و به صورت احتمال دریافت یک بیت خطا تعریف می شود. نسبت خطای بیت نیز نامیده می شود. این واژه آخر واضح تر است، زیرا واژه سرعت معمولاً اشاره به کمیتی دارد که با زمان تغییر می کند.



شکل ۲-۵ قالب‌های کدگذاری سیگنال دیجیتال

- قبل از توضیح این روشها، راههای زیر را برای ارزیابی مقایسه تکنیک‌های متعدد در نظر می‌گیریم.
- **طیف سیگنال:** چندین جنبه از طیف سیگنال مهم است. فقدان مؤلفه‌های فرکانس بالا به این معنی است که پهنای باند کمتری برای انتقال، لازم است. علاوه بر آن، فقدان مؤلفه جریان مستقیم (dc) نیز مطلوب است. با وجود مؤلفه dc در سیگنال، باید اتصال فیزیکی مستقیمی به مؤلفه‌های انتقال وجود داشته باشد. بدون مؤلفه dc، کوپل ac از طریق ترانس امکان‌پذیر است؛ این عمل، ایزولاسیون الکتریکی خوبی را برقرار می‌کند، و تداخل را کاهش می‌دهد. در نهایت، دامنه اثرات اعوجاج سیگنال و تداخل، بستگی به خصوصیات طیفی سیگنال منتقل شده دارد. در عمل، اغلب اتفاق می‌افتد که خصوصیات انتقال کانال، در نزدیکی لبه‌های باند، بدتر باشد. بنابراین، یک طراحی سیگنال خوب باید قدرت انتقال را در وسط پهنای باند انتقال متمرکز نماید. در چنین موردی، اعوجاج کمتری باید در سیگنال دریافت شده وجود داشته باشد. به منظور دستیابی به این هدف، کدهایی طراحی می‌شود با هدف شکل دادن به طیف سیگنال ارسال شده.
 - **ساعت زدن:** به نیاز برای تعیین شروع و انتهای هر موقعیت بیت، اشاره شد. این عمل بسیار ساده است. روش

نسبتاً گران آن، فراهم نمودن ساعت مجزایی است که برای همزمان نمودن فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود. راه دیگر، نوعی مکانیزم همزمانی را ایجاد می‌کند که بر مبنای سیگنال ارسال شده است. این روش می‌تواند کدگذاری مناسبی را نتیجه دهد.

- آشکارسازی خطا: تکنیک‌های متعدد آشکارسازی خطا را در فصل ۶ بحث می‌نمائیم و نشان می‌دهیم که اینها مسئولیت یک لایه منطقی در بالای سطح سیگنالینگ است که کنترل اتصال داده نامیده می‌شود. به هر حال، مفید است که نوعی توانایی آشکارسازی خطا در طرح فیزیکی کدگذاری سیگنالینگ ایجاد شود. این عمل باعث می‌شود خطاها سریع‌تر آشکار گردند.
- تداخل سیگنال و امنیت نویز: کدهای خاصی، کارایی خوبی را در صورت وجود نویز، نشان می‌دهند. کارایی معمولاً برحسب BER محاسبه می‌شود.
- هزینه و پیچیدگی: اگرچه هزینه منطقی دیجیتال در عمل رو به کاهش است، ولی این فاکتور، نباید صرف‌نظر شود. در حالت خاص، هر چه سرعت سیگنالینگ برای رسیدن به هر سرعت انتقال داده بیشتر باشد، هزینه نیز بالاتر است. خواهید دید که برخی کدها نیازمند سرعت سیگنالینگ هستند که بزرگتر از سرعت واقعی انتقال داده است.

اینک به بحث در مورد تکنیک‌های گوناگون باز می‌گردیم.

بدون بازگشت به صفر (NRZ)

متداول‌ترین و ساده‌ترین راه برای انتقال سیگنالهای دیجیتال، استفاده از دو سطح ولتاژ برای دو رقم باینری است. کدهایی که این استراتژی را دنبال می‌کنند، این خاصیت را دارند که سطح ولتاژ، در طول فاصله یک بیت، ثابت است؛ تغییر حالتی وجود ندارد (بازگشتی به سطح ولتاژ صفر وجود ندارد). برای مثال، عدم وجود ولتاژ می‌تواند برای نشان دادن صفر باینری استفاده شود، ولتاژ ثابت مثبت نیز می‌تواند نشان دهنده ۱ باینری باشد. روش متداول‌تر این است که ولتاژ منفی، یک مقدار باینری، و ولتاژ مثبت، مقدار باینری دیگری را نشان می‌دهد. این کد اخیر، با عنوان بدون بازگشت به سطح صفر (NRZ-L)، در شکل (۵-۲) نشان داده شده است. ^۱ NRZ-L عموماً کدی است که برای تولید یا تفسیر داده‌های دیجیتالی توسط ترمینال‌ها و دستگاههای دیگر استفاده می‌شود. اگر کد متفاوتی برای انتقال استفاده گردد، عموماً از سیگنال NRZ-L توسط سیستم انتقال ساخته می‌شود. [براساس شکل (۵-۱)، NRZ-L، $g(t)$ است و سیگنال کد شده نیز $x(t)$ خواهد بود].

شکل دیگری از NRZ، با عنوان NRZI (بدون بازگشت به صفر، با تغییر یک‌ها) است. مانند NRZ-L، روش NRZI در برگیرنده پالس با ولتاژ ثابت برای مدت زمان یک بیت است. خود داده‌ها براساس حضور یا عدم حضور تغییر حالت در سیگنال، در شروع زمان بیت، کدگذاری می‌شوند. یک تغییر حالت (کم به زیاد، یا زیاد به کم) در شروع زمان بیت، مشخص کننده ۱ باینری برای آن زمان بیت است؛ عدم وجود تغییر حالت، نشان دهنده صفر

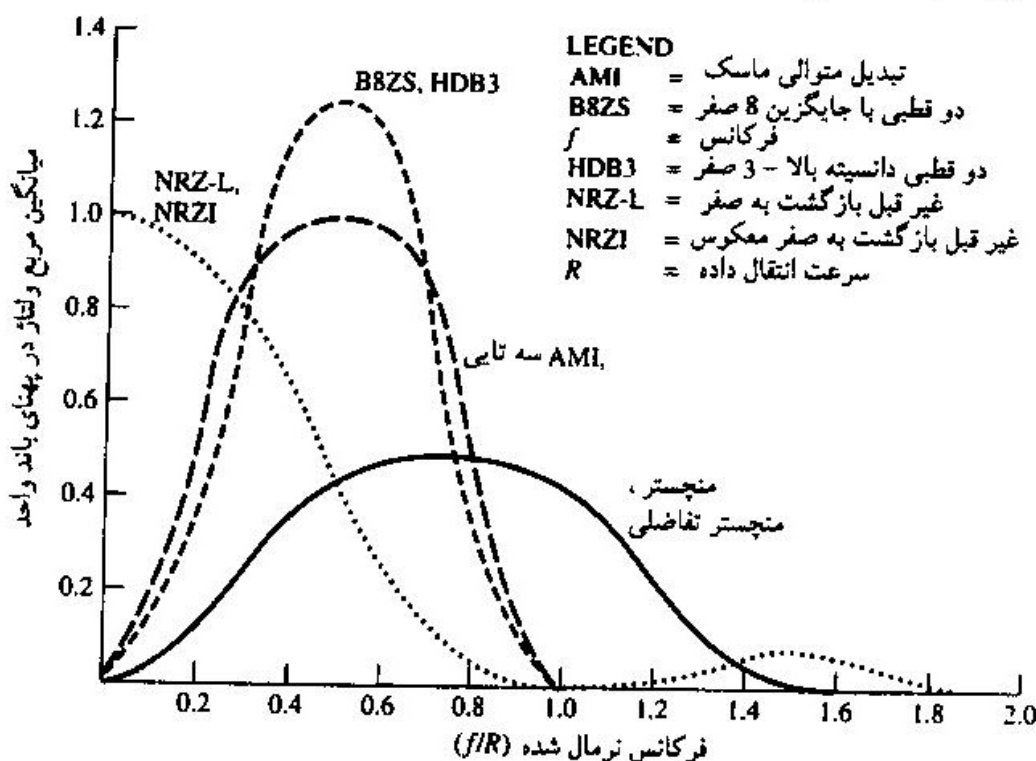
۱- در این شکل، ولتاژ منفی معادل است با ۱ باینری و ولتاژ مثبت معادل صفر است. این حالت، برخلاف تعریف استفاده شده در تمام کتابهای دیگر است. تعریف ارائه شده در اینجا، با استفاده از NRZ-L در رابطهای ارتباطی داده‌ها و استانداردهایی که این رابطها دارند، مطابقت دارد.

باینری است.

NRZI، مثالی از کدگذاری تفاضلی است. در کدگذاری تفاضلی، اطلاعاتی که باید ارسال شوند، برحسب تغییرات بین عناصر متوالی سیگنال نشان داده می‌شوند، به جای این که براساس خود عناصر سیگنال نشان داده شوند. در حالت کلی، کدگذاری بیت جاری به این صورت مشخص می‌شود: اگر بیت جاری صفر باینری باشد، در این صورت، بیت جاری، با همان سیگنال قبلی کد می‌شود؛ اگر بیت جاری، ۱ باینری باشد، بیت جاری، با سیگنالی متفاوت با بیت قبلی کد می‌شود. یک فایده کدگذاری تفاضلی این است که، آشکارسازی یک تغییر حالت، در صورت وجود نویز، نسبت به مقایسه آن مقدار با یک سطح ولتاژ، قابل اطمینان‌تر است. فایده دیگر این است که با وجود اجزاء ارتباطی پیچیده، از دست دادن پلاریت سیگنال به راحتی انجام می‌شود. برای مثال، در یک خط زوج تابیده چندتایی، اگر اتصالات از دستگاه متصل شده به زوج تابیده، تصادفاً جابجا شوند، تمام ۱ها و صفرها، برای NRZ-L معکوس خواهند شد. این عمل با کدگذاری تفاضلی اتفاق نخواهد افتاد.

کدهای NRZ، ساده‌ترین برای اعمال مهندسی می‌باشند و، علاوه بر آن، استفاده بهینه‌ای از پهنای باند می‌نمایند. این ویژگی اخیر، در شکل (۳-۵) نشان داده شده است، که دانسیته طیف طرح‌های گوناگون کدگذاری را مقایسه می‌نماید. در این شکل، فرکانس، با سرعت انتقال داده نرمال شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اکثر انرژی در سیگنالهای NRZ و NRZI، بین dc و نصف سرعت انتقال بیت‌ها است. اگر کد NRZ برای تولید سیگنالی با سرعت ۹۶۰۰ bps استفاده شود، اکثر انرژی سیگنال، بین dc و ۴۸۰۰ Hz متمرکز می‌شود.

محدودیت‌های اصلی سیگنالهای NRZ، حضور مؤلفه dc و فقدان توانایی همزمانی است. برای به تصویر کشیدن مشکل اخیر، در نظر بگیرید که بارشته‌ای طولانی از ۱ها و صفرها برای NRZ-L یا رشته‌های طولانی برای NRZI، خروجی، ولتاژ ثابتی در دوره‌ای طولانی از زمان خواهد بود. در این موارد، هر اختلافی در تایمینگ بین فرستنده و گیرنده، باعث از بین رفتن همزمانی بین آن دو می‌شود.



شکل ۳-۵ طیف دانسیته طرح‌های مختلف کدگذاری سیگنال

به دلیل سادگی و پاسخ فرکانسی نسبتاً پایین، کدهای NRZ به طور متداول برای ضبط مغناطیسی دیجیتال استفاده می‌شوند. به هر حال، محدودیت‌های آنها باعث می‌شود برای کاربردهای انتقال سیگنال، جذابیت نداشته باشند.

باینری چند سطحی

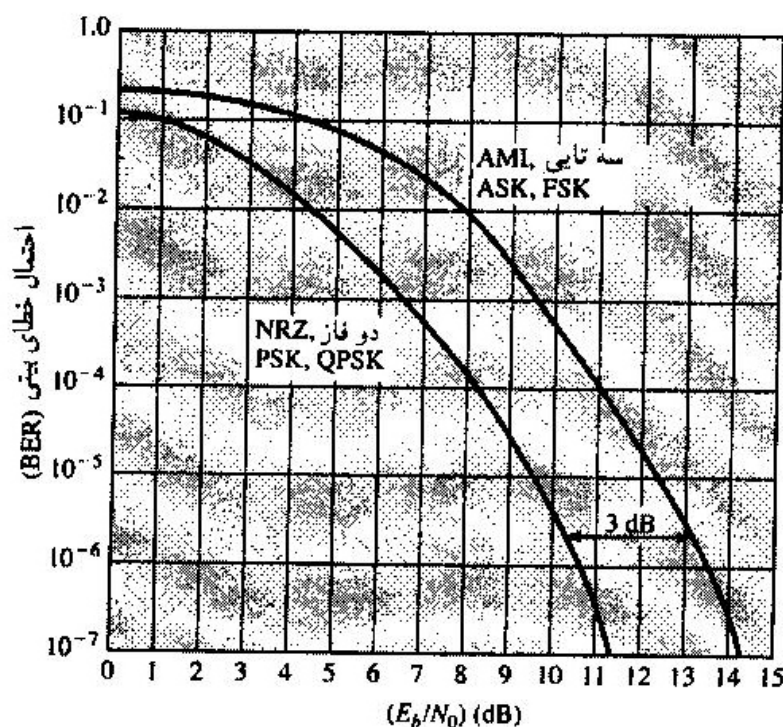
یک گروه از تکنیک‌های کدگذاری شناخته شده به عنوان باینری چند سطحی، برخی نقاط ضعف کدهای NRZ را مورد توجه قرار داده‌اند. این کدها، بیش از دو سطح را برای سیگنال استفاده می‌نمایند. دو مثال از این طرح، در شکل (۵-۲) نشان داده شده است که AMI - دو قطبی (تبدیل علامت متوالی) و سه سطحی می‌باشند.^۱ در حالت AMI - دو قطبی، صفر باینری با خط بدون سیگنال، و یک باینری با پالس مثبت یا منفی نشان داده می‌شود. پالس‌های ۱ باینری باید به طور متوالی پلاریده را تغییر دهند. چندین فایده در این روش وجود دارد. ابتدا، فقدان همزمانی به وجود نمی‌آید اگر، رشته‌ای طولانی از ۱ها وجود داشته باشد. هر ۱ باعث تغییر حالت می‌شود، و گیرنده می‌تواند با آن تغییر حالت، همزمان شود. رشته‌ای طولانی از صفرها هنوز مشکل ساز است. دوم، به دلیل تغییر ولتاژ سیگنال‌های ۱ از مثبت به منفی، مولفه dc خالص وجود ندارد. همچنین، پهنای باند سیگنال بدست آمده، تا حد قابل توجهی کمتر از پهنای باند NRZ شکل (۵-۳) است. در نهایت، خاصیت توالی پالس‌ها، امکان ساده آشکارسازی خطا را فراهم می‌نماید. هر خطای ایزوله شده، اگر باعث حذف پالس شود یا به آن اضافه گردد، باعث نقض این خاصیت می‌گردد.

توضیحات پاراگراف قبلی، برای روش سه سطحی نیز استفاده می‌شود. در این حالت، ۱ باینری توسط عدم حضور سیگنال خطی، و صفر باینری توسط پالس‌های متوالی مثبت و منفی نشان داده می‌شود. فایده خاصی این تکنیک‌ها نسبت به هم ندارند، و هر یک، مبنایی برای کاربردهای خاصی می‌باشند.

اگرچه درجه‌ای از همزمانی با این کدها فراهم می‌شود، رشته‌ای طولانی از صفرها در AMI، یا رشته‌ای از ۱ها در روش سه سطحی، هنوز مشکل ساز است. چندین تکنیک برای توجه به این نقطه ضعف استفاده شده است. یک شیوه، قرار دادن بیت‌های اضافی است که تغییر حالت‌هایی را ایجاد کنند. این تکنیک در ISDN برای ارسال با سرعت نسبتاً پایین انجام می‌شود. البته، در سرعت‌های انتقال بالا، این طرح گران است، زیرا، باعث افزایش سرعت انتقال سیگنال می‌شود. به منظور رفع این مشکل در سرعت‌های انتقال داده بالا، تکنیکی استفاده می‌شود که شامل رمزگذاری داده‌ها است. دو مثال از این تکنیک در این بخش بررسی می‌شوند.

بنابراین، با اصلاحات مناسب، طرح‌های باینری چند سطحی، بر مشکل کدهای NRZ غلبه می‌نمایند. البته، همانند هر تصمیم طراحی مهندسی دیگر، موانعی وجود دارد. با کدگذاری باینری چند سطحی، سیگنال خطی می‌تواند یکی از سه سطح را اشغال نماید، اما هر عنصر سیگنال، که می‌تواند $\log_2 3 = 1.58$ بیت اطلاعات را نشان دهد، فقط یک بیت اطلاعات دارد. بنابراین، باینری چند سطحی، به اندازه کدگذاری NRZ کارایی ندارد. راه دیگری برای بیان این مطلب، این است که گیرنده سیگنال باینری چند سطحی، باید سه سطح را تشخیص دهد.

۱- این واژه‌ها معادل هم استفاده نمی‌شوند. در برخی کتابها، این دو واژه، برای طرح‌های کدگذاری متفاوت با آنچه در اینجا تعریف شده، استفاده می‌گردند. و واژه‌های متعددی برای این دو طرح استفاده شده‌اند که در شکل (۵-۲) نشان داده شده است.



شکل ۴-۵ سرعت بروز خطای تئوری برای طرح‌های مختلف کدگذاری

به جای این که فقط دو سطح را در قالب‌های سیگنالینگ قبلی شناسایی نماید. به این دلیل، سیگنال باینری چند سطحی، تقریباً نیازمند قدرت سیگنالی با ۳ dB بیشتر از سیگنال دو مقداری برای همان احتمال خطای بیتی می‌باشد. این مطلب در شکل (۴-۵) نشان داده شده است. به بیان دیگر، سرعت خطای بیتی برای کدهای NRZ، برای یک نسبت سیگنال به نویز مشخص، تا حد قابل ملاحظه‌ای کمتر از باینری چند سطحی است.

دو فازی

مجموعه دیگری از تکنیک‌های کدگذاری، با عنوان دو فازی گروه‌بندی شده‌اند، که بر محدودیت‌های کدهای NRZ غلبه نمایند. دو مورد از این تکنیک‌ها، منچستر، و منچستر تفاضلی به طور متداول استفاده می‌شوند. در کد منچستر، تغییر حالتی در وسط هر دوره بیت وجود دارد. این تغییر حالت بین بیت، هم به عنوان مکانیزم ساعت و هم به عنوان داده عمل می‌کند: تغییر حالت از پایین به بالا، نشان دهنده ۱ و تغییر حالت از بالا به پایین نشان دهنده صفر می‌باشد.^۱ در منچستر تفاضلی، تغییر حالتی در ابتدای دوره یک بیت انجام می‌شود، و ۱، با عدم حضور تغییر حالت در ابتدای دوره بیت مشخص می‌گردد. منچستر تفاضلی، فایده دیگر استفاده از کدگذاری تفاضلی را نیز دارد.

تمام این تکنیک‌های دو فازی، نیازمند حداقل یک تغییر حالت در زمان بیت هستند و می‌توانند تا دو تغییر

۱ - تعریف منچستر که در اینجا ارائه شده است، با آنچه در اکثر کتابها استفاده شده متفاوت است. زیرا تغییر از سطح و لثا کم به زیاد نشان دهنده صفر باینری، و تغییر از زیاد به کم، نشان دهنده ۱ باینری می‌باشد. در اینجا، ما به مدار صنعتی عملی و تعریف استفاده شده در اکثر استانداردهای LAN مانند IEEE 802.3 توجه داریم.

حالت داشته باشند. بنابراین، حداکثر سرعت مدولاسیون، دو برابر NRZ است؛ به این معنی که پهنای باند لازم نیز بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر، طرح دو فازي چندین فایده دارد:

- همزمانی: چون تغییر حالت قابل پیش‌بینی در ضمنی هر زمان بیت وجود دارد، گیرنده می‌تواند با آن تغییر حالت، همزمان شود. به این دلیل، کدهای دو فازي، به کدهای خود - ساعتی نیز معروفند.
- عدم وجود مؤلفه dc: کدهای دو فازي فاقد مؤلفه dc می‌باشند، و در نتیجه، فواید ذکر شده را دارند.
- آشکارسازی خطا: عدم وجود تغییر حالت مورد انتظار، می‌تواند برای آشکارسازی خطاها استفاده شود. نویزهای موجود بر روی خط، باید سیگنال را قبل و بعد از تغییر حالت مورد انتظار تغییر دهند تا باعث خطای آشکار نشده گردند.

همانطور که در شکل (۳-۵) دیده می‌شود، پهنای باند کدهای دو فازي، تا حد زیادی باریک است و فاقد مؤلفه dc می‌باشد. به هر حال، عریض‌تر از پهنای باند کدهای باینری چند سطحی است.

کدهای دو فازي، تکنیک‌های مشهوری برای انتقال داده‌ها هستند. کد منچستر برای استاندارد IEEE 802.3 (اترنت) به منظور استفاده در کابل کواکسیال باند پایه و LAN‌های زوج تأیید شده CSMA/CD، مشخص شده است. منچستر تفاضلی، برای LAN‌های token ring در استاندارد IEEE 802.5 با استفاده از زوج تأیید شده شیلددار، تعیین گردیده است.

سرعت مدولاسیون

هنگامی که تکنیک‌های کدگذاری سیگنال استفاده می‌شوند، تشابهی باید بین سرعت انتقال داده (برحسب بیت بر ثانیه) و سرعت مدولاسیون (برحسب بُود) ایجاد شود. سرعت انتقال داده، یا سرعت انتقال بیت‌ها، $\frac{1}{T_b}$ است، که T_b = مدت بیت. سرعت مدولاسیون، سرعتی است که اجزاء سیگنال تولید می‌شوند. برای مثال، کدگذاری منچستر را در نظر بگیرید. حداقل اندازه یک مؤلفه سیگنال، پالس با نصف مدت فاصله یک بیت است. برای رشته‌ای شامل صفرهای باینری، یا شامل یک‌های باینری، رشته پیوسته‌ای از این پالس‌ها تولید می‌شود. با این وجود، حداکثر سرعت مدولاسیون برای منچستر، برابر است با $\frac{1}{2T_b}$. این حالت، در شکل (۵-۵) نشان داده شده است. این شکل، انتقال یک دنباله ۱‌های باینری را با سرعت ۱ Mbps با استفاده از NRZI و منچستر، نشان می‌دهد. در حالت کلی:

$$D = \frac{R}{L} = \frac{R}{\log_2 M}$$

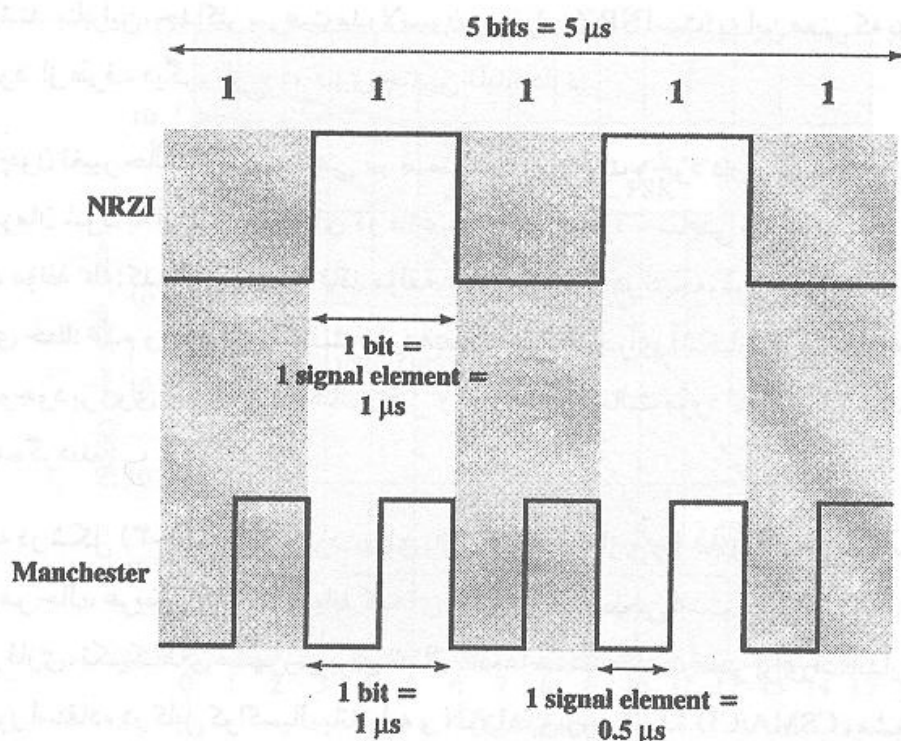
که D = سرعت مدولاسیون برحسب بُود

R = سرعت انتقال داده برحسب pbs

M = تعداد عناصر سیگنال متفاوت 2^L

L = تعداد بیت‌ها در هر جزء سیگنال

یک راه مشخص نمودن سرعت مدولاسیون، تعیین متوسط تعداد تغییر حالت‌هایی است که در مدت زمان هر



شکل ۵-۵ دنباله‌ای از ۱‌های باینری در 1 Mbps

بیت اتفاق می‌افتد. در حالت کلی، این حالت، بستگی به دنباله دقیق بیت‌های ارسالی دارد. جدول ۳-۵ سرعت تغییر حالت را برای تکنیک‌های مختلف مقایسه می‌نماید. این جدول، سرعت تغییر حالت سیگنال را برای دنباله‌ای از داده‌ها شامل ۱ها و صفرهای متوالی، و برای دنباله‌ای از داده‌هایی که سرعت مدولاسیون حداقل و حداکثر را تولید می‌کنند، نشان می‌دهند.

جدول ۳-۵. سرعت تغییر حالت سیگنال نرم‌افزار شده برای طرح‌های مختلف کدگذاری سیگنال

	حداقل	101010...	Maximum
NRZ-L	0 (all 0s or 1s)	1.0	1.0
NRZI	0 (all 0s)	0.5	1.0 (all 1s)
دو قطبی	0 (all 0s)	1.0	1.0
سه تایی	0 (all 0s)	1.0	1.0
منچستر	1.0 (1010...)	1.0	2.0 (all 0s or 1s)
منچستر تفاضلی	1.0 (all 1s)	1.5	2.0 (all 0s)

تکنیک‌های جابجایی

اگرچه تکنیک‌های دو فازی، استفاده گسترده‌ای در کاربردهای شبکه‌های محلی با سرعت نسبتاً بالا (تا 10 Mbps) دارند، به طور گسترده در کاربردهای مسافت طولانی استفاده نمی‌شوند. دلیل اصلی این مسئله این است که این روشها نیازمند سرعت سیگنالینگ بالا نسبت به سرعت انتقال داده، هستند. این نوع عدم کارایی، در کاربردهای مسافت طولانی هزینه زیادی دارد.

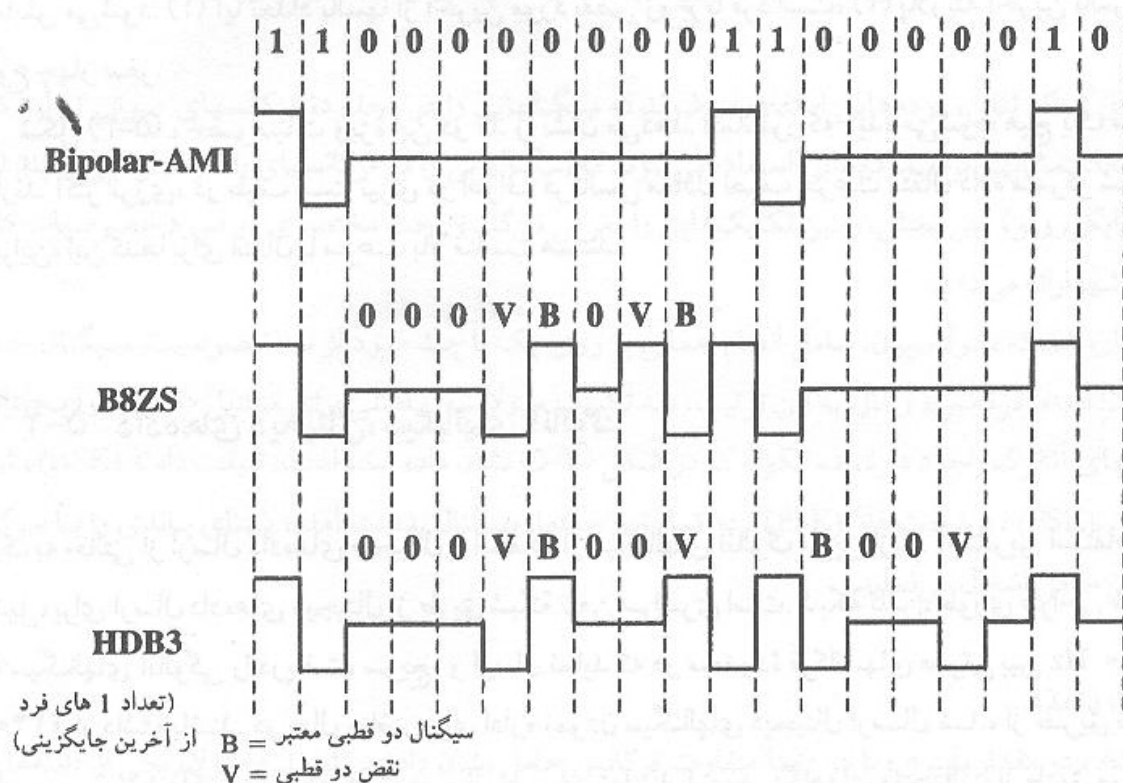
شیوه دیگر، استفاده از نوعی طرح جابجایی است. ایده‌ای که در این شیوه قرار دارد، ساده است: دنباله‌هایی که باعث ایجاد سطح ولتاژ ثابت بر روی خط می‌شوند، با دنباله‌هایی جایگزین می‌شوند حاوی تغییر حالت‌های کافی برای ساعت گیرنده، به طوری که بتواند همزمانی را حفظ کند. این دنباله باید توسط گیرنده تشخیص داده شود و با دنباله اصلی داده جایگزین گردد. اندازه این دنباله، مشابه دنباله اصلی است، بنابراین، ریسک سرعت انتقال داده وجود ندارد. اهداف طراحی برای این روش، به طور خلاصه عبارتند از:

- عدم وجود مؤلفه dc
- عدم وجود دنباله طولانی سیگنالهای سطح صفر
- عدم کاهش سرعت انتقال داده
- توانایی آشکارسازی خطا

در سرویس‌های انتقال مسافت طولانی، دو تکنیک معمولاً استفاده می‌شود که در شکل (۵-۶) نشان داده شده‌اند.

یک طرح کدگذاری متداول در آمریکای شمالی، دو قطبی با جایگزینی ۸ - صفر (B8ZS) می‌باشد. این طرح کدگذاری، بر مبنای AMI - دو قطبی است. قبلاً مشاهده نمودید که نقطه ضعف کدگذاری AMI این است که رشته طولانی صفرها، ممکن است باعث از بین رفتن همزمانی شود. به منظور غلبه بر این مشکل، این کدگذاری، با قوانین زیر تغییر می‌کند:

- اگر یک octet شامل صفر باشد و آخرین پالس ولتاژ قبل از این octet مثبت باشد، سپس هشت صفر مربوط به این octet به صورت + - ۰ - + ۰ ۰ ۰ ۰ کد می‌شود.



شکل ۵-۶ قوانین کدگذاری برای B8ZS و HDB3

جدول ۴-۵ قوانین جایگزینی HDB3

تعداد پالس‌های دو قطبی (یک‌ها) از آخرین جایگزینی		
زوج	فرد	پلاریته پالس قبلی
+00+	000-	-
-00-	000+	+

● اگر یک octet فقط شامل صفر باشد و آخرین پالس ولتاژ قبل از آن منفی باشد، هشت صفر مربوط به این octet به صورت - + ۰ + - ۰ + ۰۰۰ کد می‌شوند.

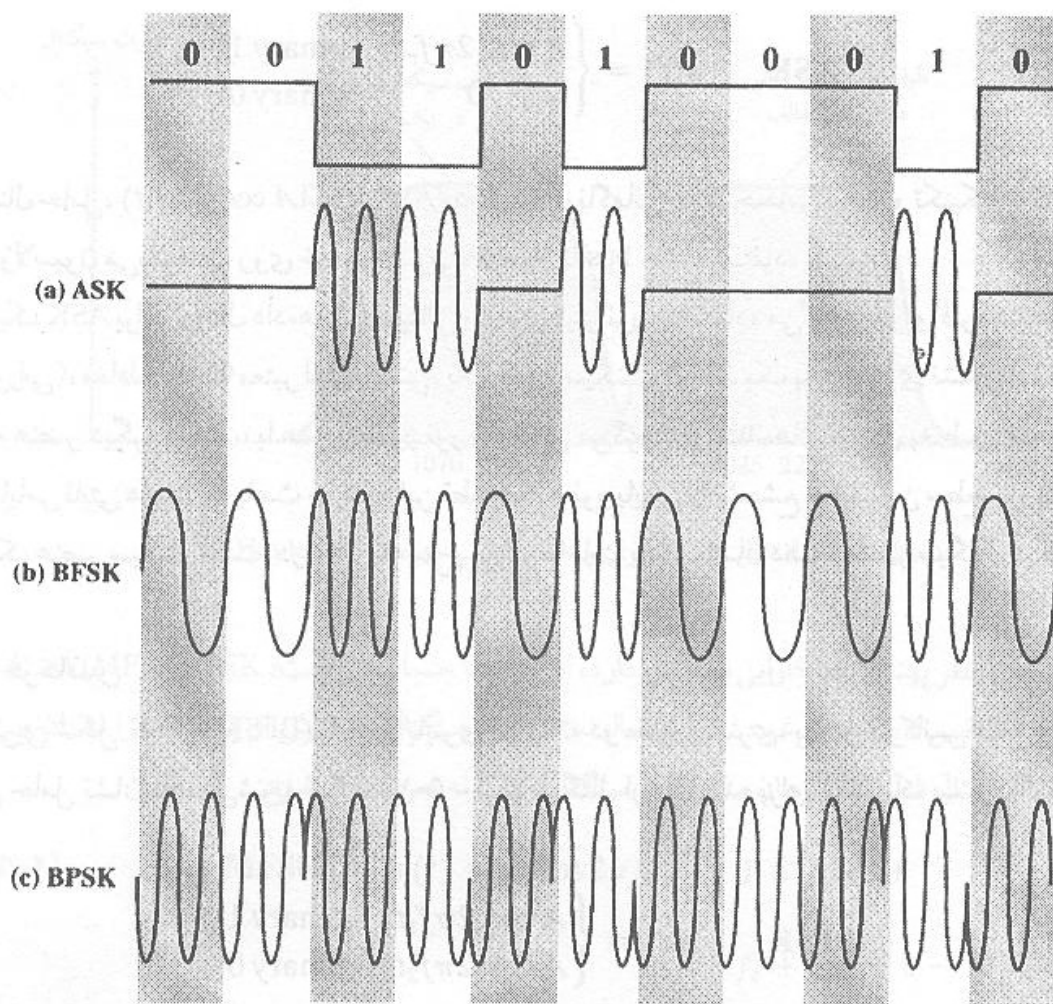
این تکنیک باعث ایجاد دو حالت نقض شده در کد AMI می‌شود (الگوهای سیگنالی که در AMI مجاز نیستند)، که واقعه‌ای است با احتمال وقوع کم در اثر نویز یا موانع دیگر انتقال. گیرنده این الگو را تشخیص می‌دهد و octet را شامل تماماً صفر شناسایی می‌نماید.

یک طرح کدگذاری که به طور متداول در اروپا و ژاپن استفاده می‌شود، کد دانسیته بالای دو قطبی - با ۳ صفر (HDB3) است (جدول ۴-۵). مانند قبل، بر مبنای استفاده از کدینگ AMI می‌باشد. در این حالت، این طرح، رشته‌های شامل چهار صفر را با دنباله‌هایی شامل یک یا دو پالس جایگزین می‌نماید. در هر حالت، چهارمین صفر، با یک حالت نقض شده کد جایگزینی می‌شود. علاوه بر آن، قانونی لازم است، برای اطمینان از این که نقض شدنهای متوالی، پلاریته متفاوتی داشته باشند تا مؤلفه dc تولید نشود. بنابراین، اگر آخرین مورد نقض مثبت باشد، این مورد نقض باید منفی باشد و برعکس. جدول ۴-۵ نشان می‌دهد که این شرط با مشخص نمودن این موارد آزمایش می‌شود: (۱) آیا تعداد پالسها از آخرین مورد نقض زوج یا فرد است، (۲) پلاریته آخرین پالس، قبل از وقوع چهار صفر.

شکل (۳-۵)، خصوصیات ویژه این دو کد را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود، هیچ یک مؤلفه dc ندارند. اکثر انرژی، در طیف نسبتاً تیزی در اطراف فرکانسی معادل نصف سرعت انتقال داده متمرکز شده است. بنابراین، این کدها برای انتقال با سرعت بالا مناسب هستند.

۵-۲ داده‌های دیجیتال، سیگنالهای آنالوگ

اینک به حالتی از ارسال داده‌های دیجیتال با استفاده از سیگنالهای آنالوگ می‌پردازیم. آشناترین استفاده از این تبدیل، برای ارسال داده‌های دیجیتال از طریق شبکه تلفن سراسری است. شبکه تلفن، طوری طراحی شده است که سیگنالهای آنالوگی را دریافت، سوچ، و ارسال نماید که در محدوده فرکانسهای صوتی بین ۳۰۰ Hz تا ۳۴۰۰ Hz قرار داشته باشند. در حال حاضر برای اداره نمودن سیگنالهای دیجیتال ارسال شده از طریق مشترکین مناسب نمی‌باشد (اگرچه این وضعیت در حال تغییر است). بنابراین، دستگاههای دیجیتالی، از طریق مودم به این شبکه متصل می‌باشند، که داده‌های دیجیتالی را به سیگنالهای آنالوگ تبدیل می‌کند، و برعکس.



شکل ۵-۷ مدولاسیون سیگنالهای آنالوگ برای داده‌های دیجیتال

برای شبکه تلفن، مودم‌هایی استفاده می‌شوند که سیگنالهایی را در محدوده فرکانسهای صوتی تولید کنند. تکنیک‌های مشابهی برای مودم‌هایی استفاده می‌شوند که سیگنالهایی را در فرکانسهای بالاتر تولید می‌نمایند (برای مثال، مایکروویو). این بخش، چنین تکنیک‌هایی را معرفی می‌کند و بحث مختصری در مورد خصوصیات کارایی این روشها ارائه می‌دهد.

اشاره شد که مدولاسیون، شامل انجام اعمالی بر روی یک یا چند مورد از سه خصوصیت سیگنال حاصل می‌باشد: دامنه، فرکانس، و فاز. به این ترتیب، سه تکنیک مدولاسیون اصلی برای تبدیل داده‌های دیجیتال به سیگنالهای آنالوگ وجود دارد، همانگونه که در شکل (۵-۷) نشان داده شده است: شیفت دامنه (ASK)، شیفت فرکانس (FSK)، و شیفت فاز (PSK). در تمام این حالتها، سیگنال بدست آمده، پهنای باندی را با مرکزیت فرکانس حامل اشغال می‌نماید.

شیفت دامنه

در ASK، دو مقدار باینری، با دو دامنه متفاوت فرکانس حامل نشان داده می‌شوند. معمولاً، یکی از دامنه‌ها صفر است؛ یعنی، یک رقم باینری، با حضور موج حاملی با دامنه ثابت، و دیگری با عدم حضور موج حامل نشان داده می‌شود شکل (۵-۷ - الف). سیگنال ارسال شده برای مدت یک بیت اینگونه تعریف می‌شود:

$$(5-2) \quad \text{ASK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ 0 & \text{binary 0} \end{cases}$$

که سیگنال حامل، $A \cos(2\pi f_c t)$ است. ASK، به تغییرات ناگهانی بهره، حساس است و تکنیکی با کارایی پایین برای مدولاسیون می باشد. بر روی خطوط صوتی، معمولاً تا ۱۲۰۰ bps استفاده می گردد.

تکنیک ASK برای ارسال داده های دیجیتال بر روی فیبر نوری استفاده می گردد. برای فرستنده های LED (دیود نوری)، معادله (۵-۲) معتبر است. یعنی، یک عنصر سیگنال، توسط یک پالس نوری نشان داده می شود در حالی که عنصر دیگر سیگنال، با عدم حضور نور مشخص می گردد. فرستنده های لیزری به طور معمول دارای جریان بایاس ثابتی هستند که باعث می شود این قطعه سطح نور پایینی را تشعشع نماید. این سطح نور پایین، نشان دهنده یک عنصر سیگنال است، در حالی که موج نورانی با دامنه بالاتر، نشان دهنده عنصر سیگنال دیگری است.

شیفت فرکانس

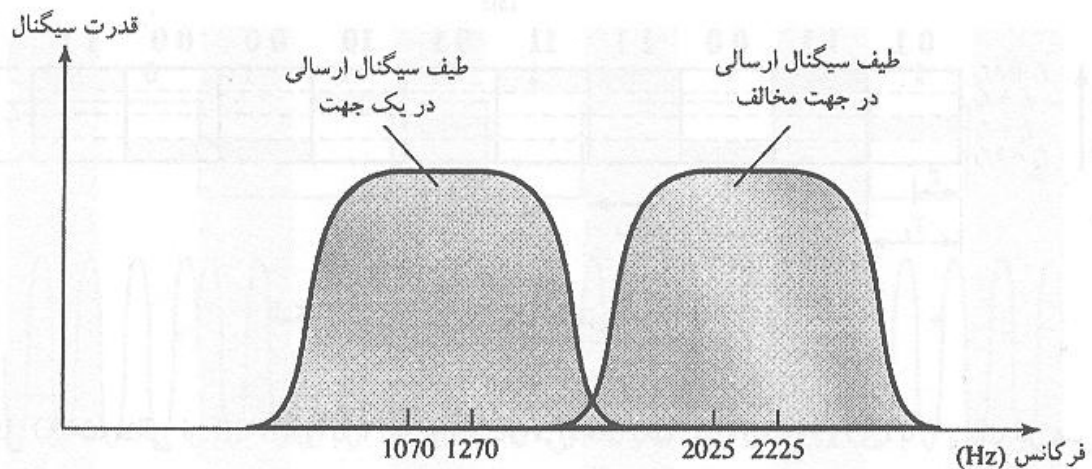
متداول ترین شکل FSK، (BFSK) یا FSK باینری است که دو مقدار باینری، با دو فرکانس مختلف نزدیک فرکانس حامل نشان داده می شوند شکل (۵-۷ - ب). سیگنال ارسال شده برای یک بیت اینگونه تعریف می شود:

$$(5-3) \quad \text{BFSK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_2 t) & \text{binary 0} \end{cases}$$

که f_1 و f_2 معمولاً تفاوت از فرکانس حامل f_c به اندازه مساوی اما مقادیر مخالف هستند.

شکل (۵-۸) مثالی از استفاده BFSK را برای عملکرد full-duplex بر روی خط صوتی نشان می دهد. این شکل، مشخصه ای برای سیستم Bell سری مودم های ۱۰۸ است. به خاطر آوردن که خط صوتی، فرکانسهایی را در حدود ۳۰۰ Hz تا ۳۴۰۰ Hz عبور می دهد، و full duplex به معنی ارسال سیگنالها در هر دو جهت در یک زمان است. به منظور دستیابی به ارسال full-duplex، این پهنای باند تقسیم می شود. در یک جهت، (ارسال یا دریافت)، فرکانسهایی که برای نشان دادن ۱ و ۰ استفاده می شوند، در مرکز ۱۱۷۰ Hz قرار دارند، با شیفت ۱۰۰ Hz در هر طرف. اثر جابجایی بین این دو فرکانس، تولید سیگنالی است که طیف آن به صورت ناحیه سایه دار در سمت چپ شکل (۵-۸) نشان داده شده است. به طور مشابه، در جهت دیگر (دریافت یا ارسال)، مودم، فرکانسهایی را با شیفت ۱۰۰ Hz برای هر طرف، با فرکانس مرکزی ۲۱۲۵ Hz تولید می کند. این سیگنال، با ناحیه سایه دار در سمت راست شکل (۵-۸) نشان داده شده است. توجه داشته باشید که همپوشانی اندکی وجود دارد و بنابراین تداخل کم است.

BFSK کمتر در مقابل خطا نسبت به ASK حساس است. بر روی خطوط صوتی، معمولاً ۱۲۰۰ bps را استفاده می کند. همچنین به طور متداول برای ارسال رادیویی فرکانس بالا (۳ MHz تا ۳۰ MHz) استفاده می گردد. همچنین می تواند در فرکانسهای بالاتر بر روی شبکه محلی که از کابل کواکسیال استفاده می کند، مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۵-۸. انتقال FSK بر روی خط صوتی به صورت Full-Duplex

سیگنالی که از نظر پهنای باند کارایی بیشتری دارد، اما به خطا حساس تر است، FSK (MFSK) است، که در آن، بیش از دو فرکانس استفاده می شود. در این حالت، هر جزء سیگنالینگ، بیش از یک بیت را نشان می دهد. سیگنال MFSK ارسال شده برای زمان یک عنصر سیگنال، اینگونه تعریف می شود:

$$(۵-۴) \quad \text{MFSK} \quad s_i(t) = A \cos 2\pi f_i t, \quad 1 \leq i \leq M$$

$$f_c + (2i - 1 - M)f_d = f_i \quad \text{که}$$

$$f_c = \text{فرکانس حامل}$$

$$f_d = \text{فرکانس تفاضل}$$

$$M = \text{تعداد عناصر سیگنال} = 2^L$$

$$L = \text{تعداد بیت ها در هر عنصر سیگنال}$$

به منظور انطباق سرعت انتقال داده رشته بیت های ورودی، هر عنصر سیگنال خروجی، برای یک پریود $T_s = LT$ ثانیه نگهداری می شود، که T پریود بیت می باشد ($\frac{1}{T}$ = سرعت انتقال داده). بنابراین، یک عنصر سیگنال، که تون فرکانسی ثابتی است، L بیت را کدگذاری می کند. پهنای باند کلی لازم، $2Mf_d$ است. نشان داده می شود که حداقل فاصله فرکانسی لازم، $\frac{1}{T_s} = 2f_d$ خواهد بود. بنابراین، مدولاتور به پهنای باند $W_d = 2Mf_d = \frac{M}{T_s}$ نیاز دارد.

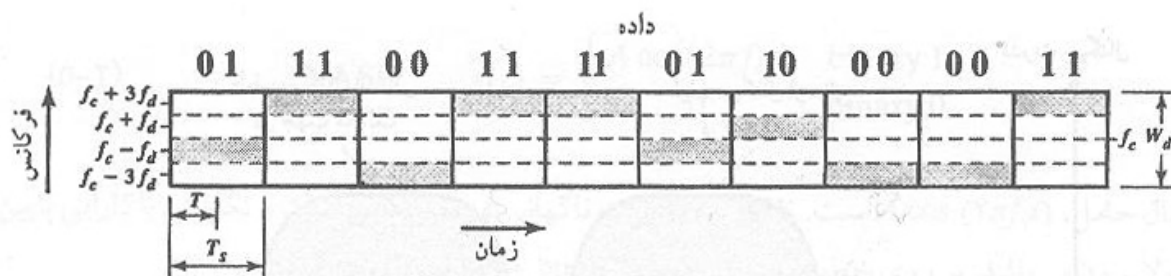
مثال ۵-۱. با $f_c = 250 \text{ kHz}$ ، $f_d = 25 \text{ kHz}$ ، و $(L = 3 \text{ بیت})$ ، $M = 8$ ، انتساب های فرکانسی زیر

برای هر یک از هشت ترکیب داده ۳ بیتی اینگونه است:

$$f_1 = 75 \text{ kHz } 000 \quad f_2 = 125 \text{ kHz } 001 \quad f_3 = 175 \text{ kHz } 010 \quad f_4 = 225 \text{ kHz } 011$$

$$f_5 = 275 \text{ kHz } 100 \quad f_6 = 325 \text{ kHz } 101 \quad f_7 = 375 \text{ kHz } 110 \quad f_8 = 425 \text{ kHz } 111$$

این طرح می تواند سرعت انتقال داده $\frac{1}{T_s} = 50 \text{ kbps}$ را حمایت کند.



شکل ۵-۹ استفاده از فرکانس در MFSK (M=4)

شکل (۵-۹) مثالی از MFSK را با $M = 4$ نشان می‌دهد. یک رشته بیت ورودی، با ۲ بیت در هر دفعه، کدگذاری می‌شود. هر یک از این چهار ترکیب ۲ بیتی، به صورت فرکانس متفاوتی ارسال می‌شوند.

شیفت فاز

در PSK، فاز سیگنال حامل، برای نشان دادن داده، شیفت داده می‌شود.

PSK دو سطحی

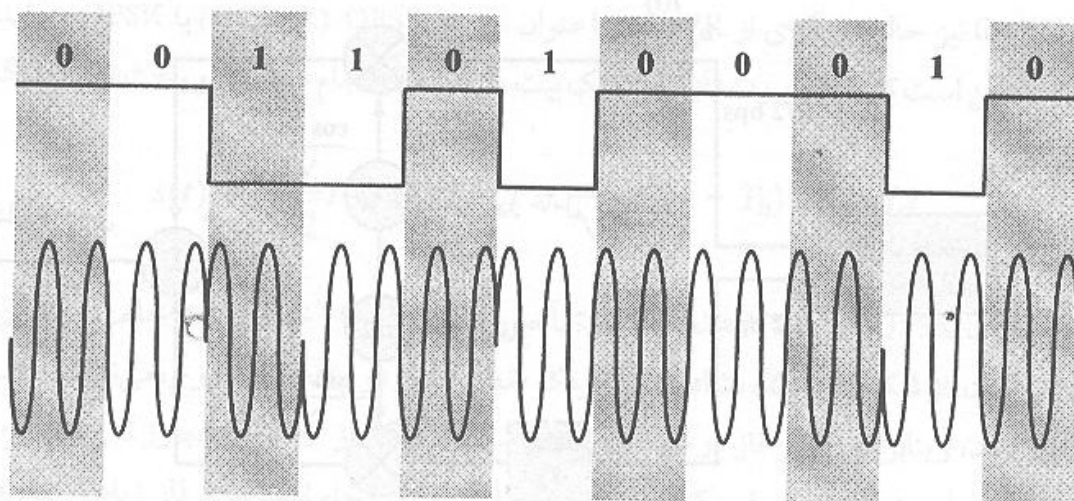
ساده‌ترین طرح، از دو فاز برای نشان دادن دو رقم باینری استفاده می‌کند (شکل ۵-۷ ج)، و با شیفت فاز باینری شناخته می‌شود. سیگنال ارسال شده برای زمان یک بیت، اینگونه تعریف می‌گردد:

$$(5-5) \quad \text{BPSK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{binary 1} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) & \text{binary 0} \end{cases}$$

به دلیل شیفت فاز $180^\circ (\pi)$ که معادل وارونه نمودن موج سینوسی یا ضرب نمودن آن در -1 است، سمت راست‌ترین عبارتها در معادله ۵-۵ می‌توانند استفاده شوند. این عمل باعث فرمول‌بندی مناسبی می‌گردد. اگر رشته‌ای از بیت‌ها را در اختیار داشته باشیم، و $d(t)$ به صورت تابع گسسته‌ای تعریف شود که مقدار $+1$ را برای یک مدت بیت بگیرد اگر بیت متناظر آن در رشته بیت‌ها 1 باشد، و مقدار -1 را برای مدت یک بیت بگیرد اگر بیت متناظر آن در رشته بیت‌ها صفر باشد، در این صورت سیگنال ارسال شده اینگونه تعریف می‌گردد:

$$(5-6) \quad \text{BPSK} \quad s_d(t) = A d(t) \cos(2\pi f_c t)$$

شکل دیگر PSK دو سطحی، PSK تفاضلی (DPSK) است. شکل (۵-۱۰) مثالی را نشان می‌دهد. در این طرح، صفر باینری، با ارسال سیگنالی با همان فاز سیگنال قبلی نشان داده می‌شود. ۱ باینری، با ارسال سیگنالی با فاز مخالف سیگنال قبلی، نشان داده می‌شود. واژه تفاضلی اشاره به این واقعیت دارد که شیفت فاز، نسبت به بیت قبلی ارسال شده در نظر گرفته می‌شود، به جای این که با سیگنال مرجع ثابتی سنجیده شود. در کدگذاری تفاضلی، اطلاعاتی که باید ارسال شوند، برحسب تغییرات بین نمادهای متوالی داده‌ها، نشان داده می‌شوند، به جای این که بر مبنای عناصر خود سیگنال تعیین گردند. DPSK، از نیاز برای اسیلاتور محلی با فاز دقیق در گیرنده که با فرستنده منطبق باشد، اجتناب می‌نماید. تا زمانی که فاز قبلی به درستی دریافت می‌شود، مرجع فاز، دقیق است.



شکل ۵-۱۰ مدولاسیون شیفت فاز تفاضلی (DPSK)

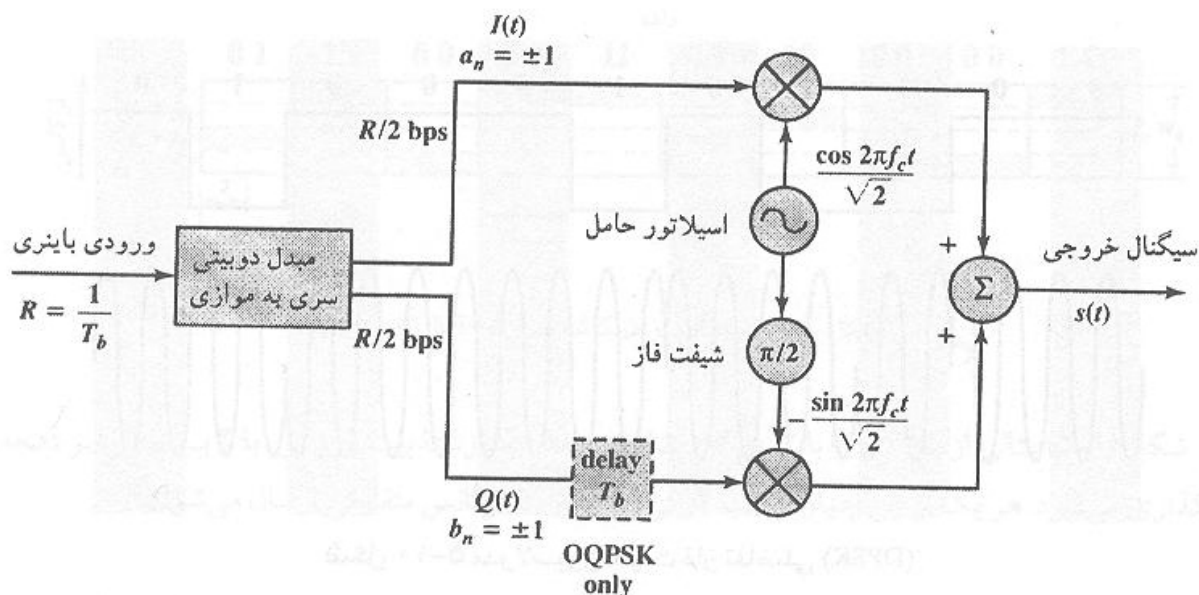
PSK چهار سطحی

استفاده کارآمدتر از پهنای باند، بدست می آید اگر، هر عنصر سیگنالینگ، بیش از یک بیت را نشان دهد. برای مثال، به جای شیفت فاز 180° ، که در BPSK مجاز می باشد، یک تکنیک کدگذاری متداول، به نام شیفت فاز کوادراچر (QPSK)، شیفت های فازی با مضرب $\frac{\pi}{4}$ (90°) را استفاده می نماید.

$$(5-7) \quad \text{QPSK} \quad s(t) = \begin{cases} A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right) & 11 \\ A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}\right) & 01 \\ A \cos\left(2\pi f_c t - \frac{3\pi}{4}\right) & 00 \\ A \cos\left(2\pi f_c t - \frac{\pi}{4}\right) & 10 \end{cases}$$

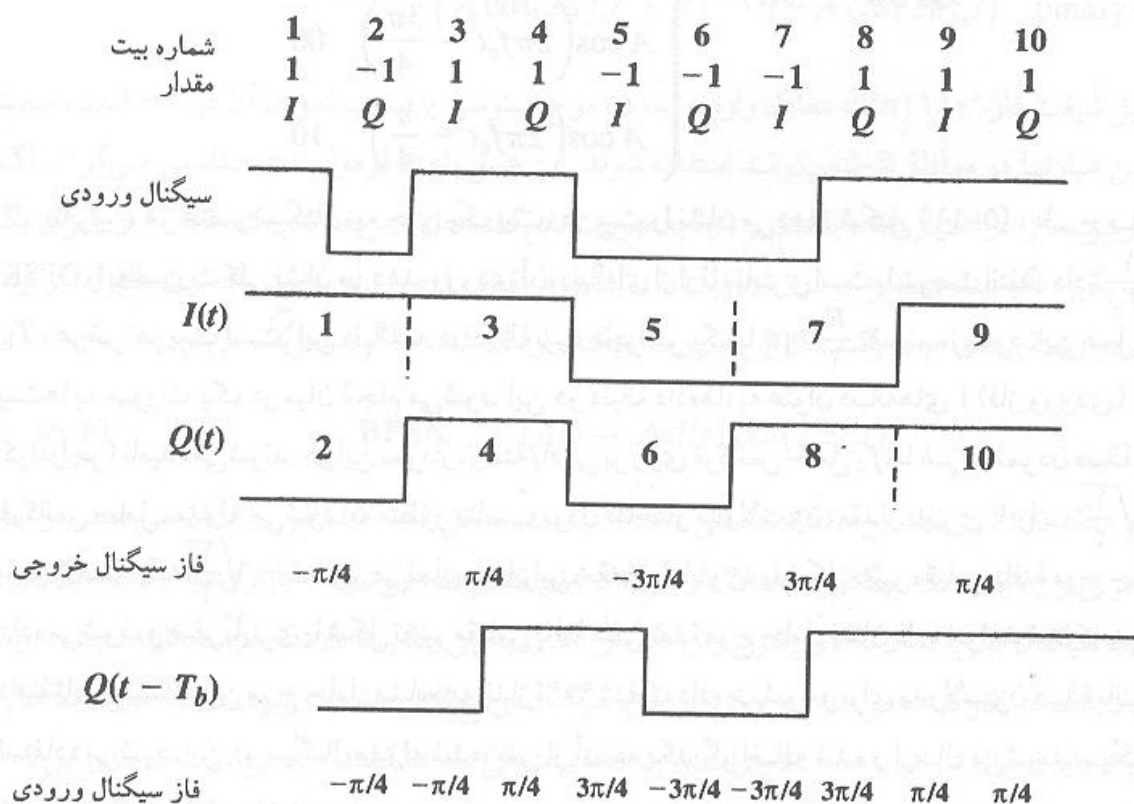
بنابراین، هر عنصر سیگنال، به جای یک بیت، دو بیت را نشان می دهد. شکل (۵-۱۱)، طرح مدولاسیون QPSK را به صورت کلی نشان می دهد. ورودی آن، دنباله ای از ارقام باینری است با سرعت انتقال داده $R = \frac{1}{T_b}$ که T_b ، عرض هر بیت است. این دنباله به دو دنباله بیت مجزا هر یک با $\frac{R}{2}$ تقسیم می شود. این عمل، با گرفتن بیت ها به صورت یک در میان انجام می شود. این دو دنباله داده ها، به عنوان دنباله های I (فاز ورودی) و Q (فاز کوادراچر) نامیده می شوند. در این نمودار، رشته بالایی بر روی فرکانس حامل f_c ، با ضرب نمودن دنباله بیت ها در فرکانس حامل، مدوله می شود. به منظور مناسب بودن ساختار مدولاسیون، مقدار باینری ۱ را به $\sqrt{\frac{1}{2}}$ و مقدار باینری صفر را به $-\sqrt{\frac{1}{2}}$ تصویر می نماییم. بنابراین، مقدار ۱ باینری، با شکل تغییر مقیاس یافته موج حامل، نشان داده می شود، و صفر باینری با شکل تغییر مقیاس یافته منفی شده موج حامل نشان داده خواهد شد، که هر دو دارای دامنه ثابتی هستند. این موج حامل مشابه، به اندازه 90° شیفت داده می شود و برای مدولاسیون دنباله باینری پایینی استفاده می شود. این دو سیگنال مدوله شده، پس از آن، به یکدیگر اضافه شده و ارسال می شوند. سیگنال ارسال شده می تواند اینگونه بیان شود:

$$\text{QPSK} \quad s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} I(t) \cos 2\pi f_c t - \frac{1}{\sqrt{2}} Q(t) \sin 2\pi f_c t$$



شکل ۵-۱۱ مدولاتورهای QPSK و OQPSK

شکل (۵-۱۲) مثالی از کدگذاری QPSK را نشان می‌دهد. هر یک از دو رشته مدوله شده، سیگنال BPSK، با سرعت انتقال داده‌ای نصف دنباله بیت‌های اولیه خواهد بود. بنابراین، سیگنالهای ترکیب شده، سرعت انتقال نمادی دارند که نصف سرعت بیت‌های ورودی است. توجه داشته باشید که از زمان یک نماد تا دیگری، یک تغییر فاز به اندازه 180° (π) امکان‌پذیر است.



شکل ۵-۱۲ مثالی از شکل موج‌های QPSK و OQPSK

شکل (۵-۱۱) نیز حالت دیگری از QSPK را با عنوان آفست QPSK (OQPSK) یا QPSK متعامد، نشان می‌دهد. تفاوت این است که تأخیری به اندازه زمان یک بیت در دنباله Q انجام می‌شود، و باعث تولید سیگنال زیر می‌گردد:

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} I(t) \cos 2\pi f_c t - \frac{1}{\sqrt{2}} Q(t - T_b) \sin 2\pi f_c t$$

به دلیل تفاوت OQPSK با QPSK فقط به اندازه تأخیری در دنباله Q، خصوصیات خاص و کارایی خطا، مشابه QPSK است. از شکل (۵-۱۲)، مشاهده می‌شود که فقط یکی از دو بیت در این زوج، می‌تواند علامت را در هر دفعه تغییر دهد، و بنابراین، تغییر فاز در سیگنال ترکیب شده، هیچگاه از 90° ($\frac{\pi}{2}$) تجاوز نمی‌کند. این حالت، یک فایده است زیرا محدودیت‌های فیزیکی مدولاتورهای فاز، امکان انجام انتقال‌های فاز زیاد در سرعت‌های انتقال بالا را مشکل می‌نماید. همچنین OQPSK کارایی بیشتری دارد زمانی که کانال ارتباطی (شامل فرستنده و گیرنده)، مؤلفه‌های غیرخطی عمده‌ای دارد. اثر غیر خطی بودن، پخش نمودن پهنای باند سیگنال می‌باشد، که باعث تداخل کانالهای مجاور می‌گردد. کنترل نمودن این پخش شدگی ساده‌تر است اگر تغییرات فاز کوچکتر باشند؛ که همان برتری OQPSK نسبت به QPSK است.

PSK چند سطحی

استفاده از چند سطح، می‌تواند فراتر از گرفتن دو بیت در دفعه باشد. امکان ارسال سه بیت در هر دفعه، با استفاده از هشت زاویه پالس مجزا وجود دارد. علاوه بر آن، هر زاویه، می‌تواند بیش از یک دامنه داشته باشد. برای مثال، مودم استاندارد bps ۹۶۰۰، از ۱۲ زاویه فاز استفاده می‌کند، که چهار عدد آنها دارای دو مقدار دامنه می‌باشند، با مجموع ۱۶ عنصر سیگنال متفاوت.

این مثال آخر، تفاوت بین سرعت انتقال داده R (برحسب bps) و سرعت مدولاسیون (برحسب بُود) را برای سیگنال نشان می‌دهد. فرض کنید که این طرح برای ورودی دیجیتالی به کار می‌رود که در آن، هر بیت، با پالسی با ولتاژ ثابت نشان داده می‌شود، یک سطح برای ۱ باینری و یک سطح برای صفر باینری. سرعت انتقال داده، برابر $R = \frac{1}{T_b}$ است. به هر حال، سیگنال کد شده حاوی $L = 4$ بیت در هر عنصر سیگنال می‌باشد، با به کارگیری $M = 16$ ترکیب دامنه و فاز متفاوت. سرعت مدولاسیون، می‌تواند $\frac{R}{4}$ باشد، زیرا هر تغییر در عنصری از سیگنال، چهار بیت را انتقال می‌دهد. بنابراین، سرعت سیگنالینگ خطی، ۲۴۰۰ بُود خواهد بود، اما سرعت انتقال داده، bps ۹۶۰۰ است. به همین دلیل، سرعت‌های انتقال بیت بالاتری بر روی خطوط صوتی، با بکارگیری طرح‌های پیچیده‌تر مدولاسیون، بدست می‌آید.

کارایی

با نگاهی به کارایی طرح‌های مختلف مدولاسیون دیجیتال - به - آنالوگ، اولین پارامتر مورد توجه، پهنای باند سیگنال مدوله شده است. این پهنای باند، به عامل‌های متعددی بستگی دارد، شامل تعریف پهنای باند استفاده شده، و تکنیک فیلتر نمودن، استفاده شده برای ایجاد سیگنال میان‌گذر. نتایج مشخصی را از مرجع [COUC01] استفاده می‌نمائیم.

پهنای باند انتقال B_T برای ASK برابر است با:

$$(5-8) \quad \text{ASK} \quad B_T = (1 + r)R$$

که R ، سرعت انتقال بیت، و r مربوط به تکنیکی است که به وسیله آن، سیگنال، فیلتر شده است تا پهنای باندی را برای ارسال، ایجاد نماید؛ معمولاً $0 < r < 1$. بنابراین، پهنای باند، مستقیماً به سرعت انتقال بیت‌ها مرتبط است. فرمول قبلی برای PSK نیز معتبر است. برای FSK، پهنای باند برابر است با:

$$(5-9) \quad \text{FSK} \quad B_T = 2\Delta F + (1 + r)R$$

که $\Delta F = f_1 - f_c = f_c - f_2$ ، فاصله فرکانس مدوله شده، از فرکانس حامل خواهد بود. هنگامی که فرکانسهای خیلی بالا استفاده می‌شوند، عبارت شامل ΔF حاکم می‌شود. برای مثال، یکی از استانداردها برای سیگنالینگ FSK بر روی شبکه‌های محلی چند نقطه‌ای با استفاده از کابل کواکسیال، از $\Delta F = 1.25 \text{ MHz}$ ، $F_c = 5 \text{ MHz}$ ، و $R = 1 \text{ Mbps}$ استفاده می‌کند؛ در این حالت، عبارت $\Delta F = 2.5 \text{ MHz}$ حاکم است. در مثال بخش قبل برای مودم 108 Bell، $\Delta F = 100 \text{ Hz}$ ، $f_c = 1170 \text{ Hz}$ (در یک جهت)، و $R = 300 \text{ bps}$ می‌باشد؛ در این حالت، عبارت $R(1 + r)$ حاکم است.

در PSK چند سطحی (MPSK)، ارتقاء عمده‌ای در پهنای باند بدست می‌آید. در حالت کلی:

$$(5-10) \quad \text{MPSK} \quad B_T = \left(\frac{1 + r}{L} \right) R = \left(\frac{1 + r}{\log_2 M} \right) R$$

که L ، تعداد بیت‌های کد شده برای هر جزء سیگنال، و M تعداد اجزاء متفاوت سیگنال می‌باشد. برای FSK چند سطحی (MFSK)، داریم:

$$(5-11) \quad \text{MFSK} \quad B_T = \left(\frac{(1 + r)M}{\log_2 M} \right) R$$

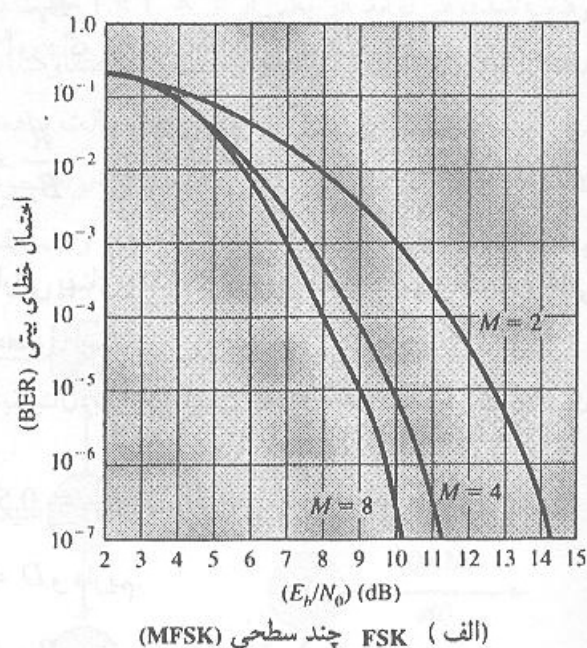
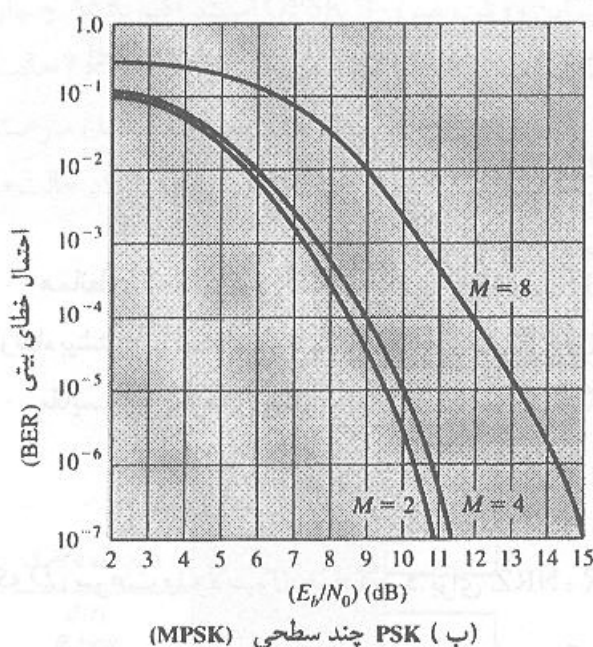
جدول 5-5 نسبت سرعت انتقال داده (R) را به پهنای باند انتقال، برای طرح‌های مختلف نشان می‌دهد. این نسبت، کارایی پهنای باند نامیده می‌شود. همانطور که از نام آن مشخص است، این پارامتر، کارایی استفاده از پهنای باند برای ارسال داده‌ها را اندازه می‌گیرد. فایده سیگنالینگ چند سطحی، در اینجا روشن می‌شود.

البته، بحث قبلی اشاره دارد به طیف سیگنال ورودی بر روی خط ارتباطی. هنوز چیزی در مورد کارایی، در صورت وجود نویز، گفته نشده است. شکل (5-4) برخی نتایج را بر مبنای فرضیات قابل قبول در رابطه با سیستم انتقال، خلاصه نموده است [COUC01]. در اینجا، سرعت خطای بی‌ی، به صورت تابعی از نسبت $\frac{E_b}{N_0}$ که در فصل 3 تعریف گردیده، رسم شده است. البته، با افزایش این نسبت، سرعت خطای بی‌ی کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، DPSK و BPSK در حدود 3 dB بیش از ASK و BFSK هستند.

جدول ۵-۵ سرعت انتقال داده نسبت به پهنای باند انتقال برای طرح‌های مختلف کدگذاری دیجیتال - به - آنالوگ

	$r = 0$	$r = 0.5$	$r = 1$
ASK	1.0	0.67	0.5
FSK			
باند وسیع ($\Delta F \gg R$)	~ 0	~ 0	~ 0
باند باریک ($\Delta F \approx f_c$)	1.0	0.67	0.5
PSK	1.0	0.67	0.5
سیگنالینگ چند سطحی			
$L = 4, b = 2$	2.00	1.33	1.00
$L = 8, b = 3$	3.00	2.00	1.50
$L = 16, b = 4$	4.00	2.67	2.00
$L = 32, b = 5$	5.00	3.33	2.50

شکل (۵-۱۳) همین اطلاعات را برای سطوح مختلف M برای MFSK و MPSK نشان می‌دهد. تفاوت مهمی وجود دارد. برای MFSK، احتمال خطا برای یک مقدار $\frac{E_b}{N_0}$ ، با افزایش M ، کاهش می‌یابد، در حالی که خلاف این مطلب برای MPSK صادق است. از طرف دیگر، با مقایسه معادله‌های (۶-۱۰) و (۶-۱۱) کارایی پهنای باند MFSK، با افزایش M ، کاهش می‌یابد، در حالی که برعکس این مطلب برای MPSK صادق است.



شکل ۵-۱۳ سرعت خطای بیتی تئوری برای FSK چند سطحی و PSK

مثال ۵-۲. کارایی پهنای باند برای FSK، ASK، PSK و QPSK برای سرعت خطای بیتی 10^7 بر روی کانالی با SNR برابر با ۱۲ dB چیست؟
با استفاده از معادله (۲-۲)، داریم:

$$\frac{E_b}{N_0} = 12 \text{ dB} - \left(\frac{R}{B_T} \right)_{\text{dB}}$$

برای FSK و ASK، از شکل (۵-۴):

$$\frac{E_b}{N_0} = 14.2 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{R}{B_T} \right)_{\text{dB}} = -2.2 \text{ dB}$$

$$\frac{R}{B_T} = 0.6$$

برای PSK از شکل (۵-۴) داریم:

$$\frac{E_b}{N_0} = 11.2 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{R}{B_T} \right)_{\text{dB}} = 0.8 \text{ dB}$$

$$\frac{R}{B_T} = 1.2$$

این نتیجه برای QPSK باید این مورد را به حساب آورد که baud rate $D = \frac{R}{4}$ است. بنابراین:

$$\frac{R}{B_T} = 2.4$$

همانطور که مثال قبلی نشان می‌دهد، ASK و FSK، کارایی پهنای باند مشابهی دارند، PSK بهتر است، و حتی ارتقاء بیشتری با استفاده از سیگنالینگ چند سطحی قابل حصول است.
مقایسه این نیازهای پهنای باند با نیازهای سیگنالینگ دیجیتال، بارزش است. تقریب خوب آن اینگونه است:

$$B_T = 0.5(1 + r)D$$

که D ، سرعت مدولاسیون خواهد بود. برای NRZ، $D = R$ و داریم:

$$\frac{R}{B_T} = \frac{2}{1 + r}$$

بنابراین، سیگنالینگ دیجیتال، برحسب کارایی پهنای باند، در همان موقعیت ASK، FSK و PSK قرار دارد. یک فایده مهم برای سیگنالینگ آنالوگ، در تکنیک‌های چند سطحی دیده می‌شود.

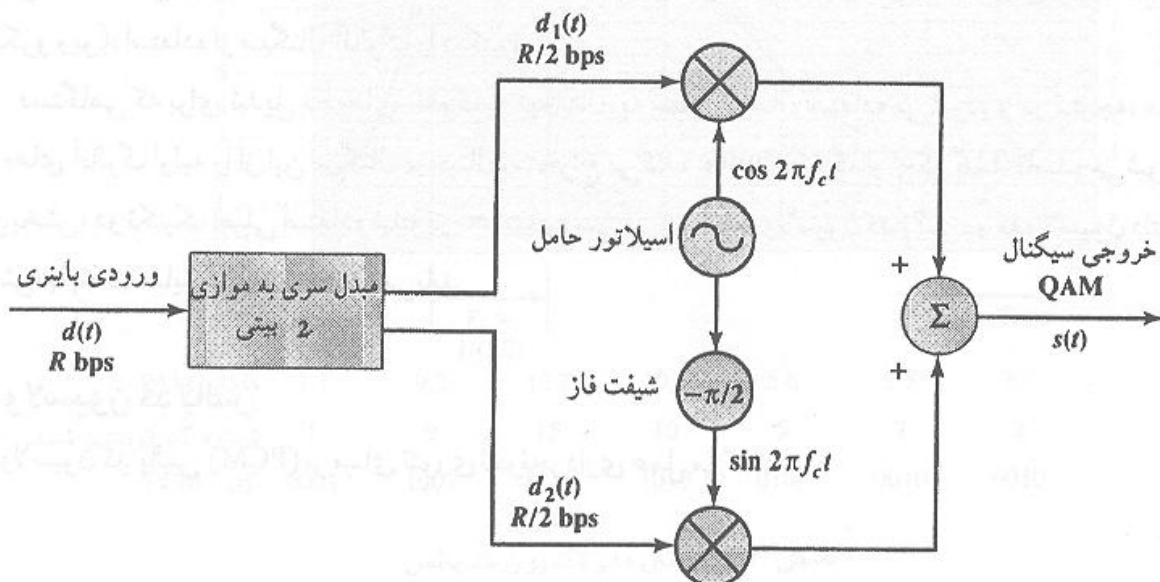
مدولاسیون دامنه کوادرچر

QAM یک تکنیک مشهور سیگنالینگ است که در خط نامتقارن دیجیتالی مشترکین (ADSL) (فصل ۸)، و برخی استانداردهای بی سیم استفاده می شود. این تکنیک مدولاسیون، ترکیبی است از ASK و PSK. QAM می تواند توسعه منطقی QPSK نیز در نظر گرفته شود. QAM از این واقعیت بهره می گیرد که امکان ارسال دو سیگنال متفاوت به صورت همزمان بر روی یک فرکانس حامل وجود دارد. این عمل، با استفاده از دو کپی فرکانس حامل، و یک شیفت 90° نسبت به دیگری انجام می گیرد. برای QAM، هر موج حامل، با ASK مدوله می شود. دو سیگنال مستقل، به طور همزمان بر روی یک رسانه ارسال می شوند. در سمت گیرنده، این دو سیگنال دمدوله شده و نتایج ترکیب می گردند تا ورودی باینری اصلی بدست آید.

شکل (۱۴-۵)، طرح مدولاسیون QAM را به صورت کلی نشان می دهد. ورودی، دنباله ای از ارقام باینری است که با سرعت R bps وارد می شوند. این دنباله، به دو دنباله بیت مجزا، هر یک با $\frac{R}{2}$ bps تقسیم می شود. این عمل، با گرفتن بیت ها به صورت یک در میان برای این دو دنباله، انجام می گیرد. در این نمودار، دنباله بالایی به صورت ASK بر روی فرکانس حامل f_c ، با ضرب نمودن دنباله بیت ها در این موج حامل، مدوله می شود. بنابراین، صفر باینری، به وسیله عدم حضور موج حامل، و ۱ باینری با حضور موج حامل، با دامنه ای ثابت، نشان داده می شود. همین موج حامل، با 90° شیفت برای مدولاسیون ASK در دنباله بیت های پایینی استفاده می شود. این دو سیگنال مدوله شده، سپس به یکدیگر افزوده شده و ارسال می گردند. سیگنال ارسال شده می تواند اینگونه بیان شود:

$$\text{QAM} \quad s(t) = d_1(t) \cos 2\pi f_c t + d_2(t) \sin 2\pi f_c t$$

اگر ASK دو سطحی استفاده شود، هر یک از این دو دنباله، می توانند در یکی از دو حالت قرار گیرند، و دنباله ترکیب شده، می تواند در یکی از $4 = 2 \times 2$ حالت باشد. این روش، ضرورتاً QPSK است. اگر ASK چهار سطحی استفاده شود (یعنی، چهار سطح دامنه متفاوت)، دنباله ترکیب شده، می تواند در یکی از $16 = 4 \times 4$ حالت قرار گیرد. سیستم هایی با ۶۴ یا حتی ۲۵۶ حالت پیاده سازی شده اند. هر چه تعداد حالت ها بیشتر باشد، سرعت انتقال داده ممکن، در یک پهنای باند، بیشتر خواهد بود. البته، همانگونه که قبلاً بحث شد، هر چه تعداد حالت ها بیشتر باشد، پتانسیل سرعت خطا، در اثر نویز و تضعیف، بیشتر خواهد بود.



شکل ۱۴-۵. مدولاتور QAM



شکل ۱۵-۵. دیجیتالایزر داده آنالوگ

۳-۵ داده‌های آنالوگ، سیگنالهای دیجیتال

در این بخش، فرآیند تبدیل داده‌های آنالوگ به سیگنالهای دیجیتال، بررسی می‌گردد. به بیان دقیق‌تر، ممکن است صحیح‌تر باشد که به این مورد، با عنوان فرآیندی برای تبدیل داده‌های آنالوگ به داده‌های دیجیتال، اشاره شود؛ این فرآیند، دیجیتال‌سازی نیز شناخته می‌شود. پس از تبدیل داده‌های آنالوگ به داده‌های دیجیتال، چند چیز می‌تواند اتفاق بیفتد. سه مورد متداول آن عبارتند از:

- ۱- داده‌های دیجیتال می‌توانند با استفاده از NRZ-L انتقال یابند. در این حالت، مستقیم از داده‌های آنالوگ به سیگنال دیجیتال می‌رسیم.
- ۲- داده‌های دیجیتال می‌توانند به صورت سیگنال دیجیتال، با استفاده از کدی به غیر از NRZ-L، کدگذاری شوند. بنابراین، مرحله اضافه دیگری نیز لازم است.
- ۳- داده‌های دیجیتال می‌توانند با استفاده از یکی از تکنیک‌های مدولاسیون بحث شده در بخش ۲-۵ به سیگنال آنالوگ تبدیل شوند.

این فرآیند آخر، که به نظر دارای ظرافت است، در شکل (۱۵-۵) نشان داده شده است. این شکل، داده‌های صوتی را نشان می‌دهد که به دیجیتال تبدیل می‌شوند و سپس به سیگنال آنالوگ ASK تبدیل می‌گردند. این عمل، امکان انتقال دیجیتال را، به شکلی که در فصل ۳ تعریف شده، فراهم می‌نماید. داده‌های صوتی، چون به دیجیتال تبدیل شده‌اند، می‌توان به صورت داده‌های دیجیتال با آنها رفتار نمود، اگرچه نیازهای انتقال (برای مثال، استفاده از مایکرو ویو)، استفاده از سیگنال آنالوگ را دیکته نمایند.

دستگاهی که برای تبدیل داده‌های آنالوگ به دیجیتال، به منظور ارسال استفاده می‌شود، و در نتیجه، مجدد داده‌های آنالوگ اولیه را از این سیگنال دیجیتال استخراج می‌کند، codec (کد گذار - کد گشا) نامیده می‌شود. در این بخش، دو تکنیک اصلی استفاده شده در codec بررسی می‌شوند، مدولاسیون کد پالس، و مدولاسیون دلتا. این بخش، با بحث مقایسه کارایی خاتمه می‌یابد.

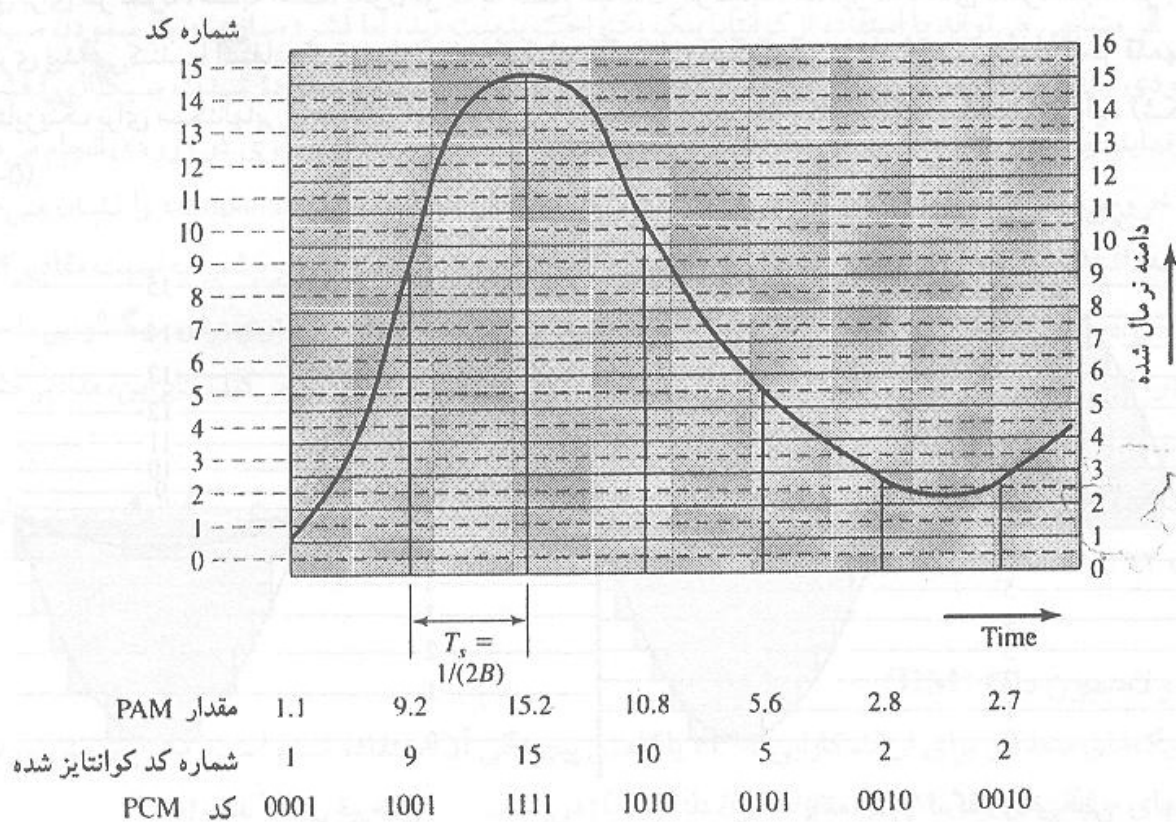
مدولاسیون کد پالس

مدولاسیون کد پالس (PCM) بر مبنای تئوری نمونه‌برداری عمل می‌کند:

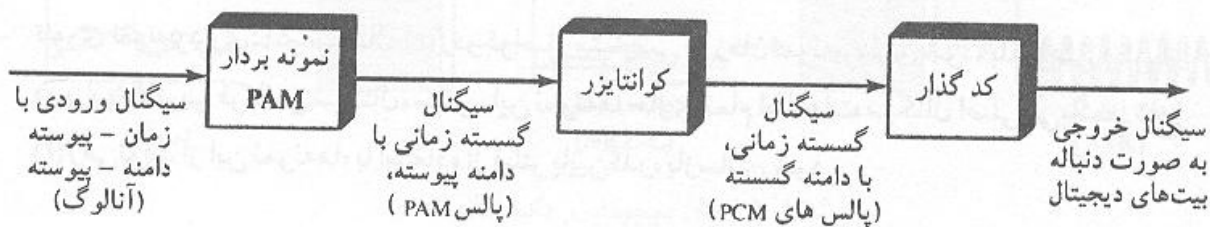
تئوری نمونه برداری: اگر سیگنال $f(t)$ در فواصل مشخصی از زمان نمونه برداری شود، با سرعتی بیش از دو برابر بالاترین فرکانس سیگنال، سپس، این نمونه ها حاوی تمام اطلاعات سیگنال اصلی می باشند. تابع $f(t)$ می تواند از این نمونه ها، با استفاده از فیلتر پایین گذر، بازسازی شود.

برای افراد علاقمند، اثبات این مطلب، در کتابها و سایت های وب حمایت کننده این کتاب، یافت می شود. اگر داده های صوتی به فرکانسهای کمتر از 4000 Hz محدود شوند، سرعت نمونه برداری 8000 نمونه در ثانیه، برای مشخص نمودن کامل سیگنال صوتی، کافی است. به هر حال، توجه داشته باشید که این نمونه ها آنالوگ هستند، و نمونه های مدولاسیون دامنه پالس (PAM)، نامیده می شوند. برای تبدیل به دیجیتال، به هر یک از نمونه های آنالوگ، باید یک کد باینری اختصاص داده شود.

شکل (۵-۱۶) مثالی است که در آن، فرض شده سیگنال اصلی، به پهنای باند B محدود شده است. نمونه های PAM با سرعت $2B$ یا یک نمونه در هر $T_s = \frac{1}{2B}$ ثانیه گرفته می شوند. هر نمونه PAM، به مقداری تقریب زده می شود. این عمل با کوانتایز نمودن به یکی از ۱۶ سطح متفاوت، انجام می گیرد. سپس هر نمونه، می تواند با چهار بیت نمایش داده شود. اما به دلیل این که مقادیر کوانتایز شده تقریبی هستند، امکان ترمیم دقیق سیگنال اصلی وجود ندارد. با استفاده از نمونه های ۸ بیتی، که امکان ۲۵۶ سطح کوانتایز شده را می دهد، کیفیت سیگنال صوتی ترمیم شده، با کیفیت بدست آمده از طریق آنالوگ قابل مقایسه خواهد بود. توجه داشته باشید که این مطلب دلالت دارد بر این که سرعت انتقال داده 8000 نمونه در ثانیه $\times 8$ بیت برای هر نمونه $= 64 \text{ kbps}$ برای سیگنال صوتی لازم است.



شکل ۵-۱۶ مثال مدولاسیون کد پالس

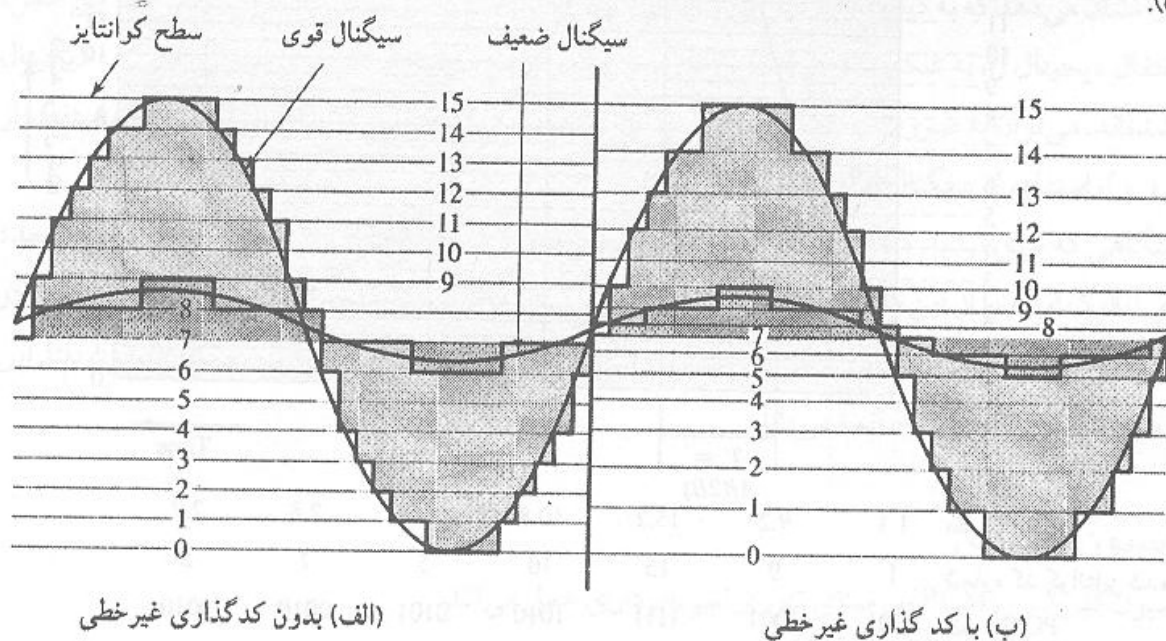


شکل ۱۷-۵ بلوک دیا گرام PCM

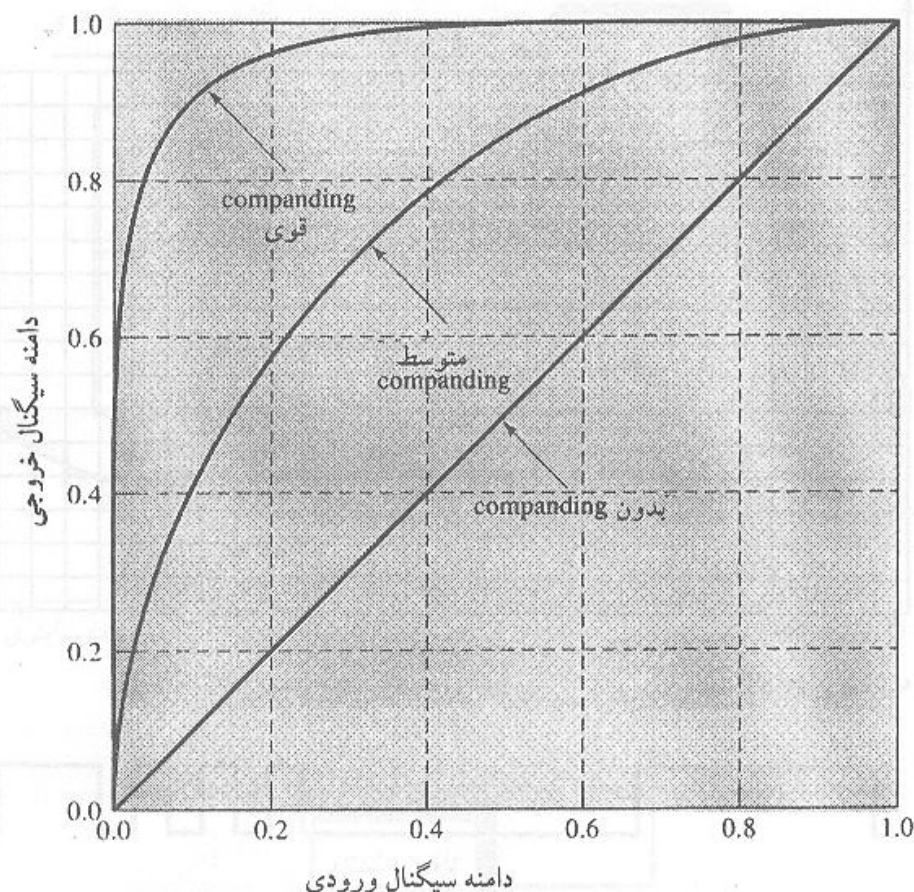
بنابراین، PCM، از سیگنالی پیوسته زمانی، و پیوسته دامنه شروع می شود، که می توان با استفاده از آن، سیگنال دیجیتال را تولید نمود شکل (۱۷-۵). این سیگنال دیجیتال، حاوی بلوک هایی n بیتی است که هر عدد n بیتی، دامنه پالس PCM می باشد. به هر حال، توجه داشته باشید که این فرآیند، عبارت قضیه نمونه برداری را نقض می کند. با کوانتایز نمودن پالس PAM، سیگنال اصلی، تقریب زده می شود و نمی تواند دقیقاً ترمیم گردد. این اثر، خطای کوانتایز یا نویز کوانتایز نامیده می شود. نسبت سیگنال به نویز، برای نویز کوانتایز، اینگونه محاسبه می شود [GIBS93]:

$$SNR_{dB} = 20 \log 2^n + 1.76 \text{ dB} = 6.02n + 1.76 \text{ dB}$$

بنابراین، اضافه نمودن هر بیت به کوانتایزینگ، SNR را به حدود ۶ dB افزایش می دهد که ضریب ۴ است. معمولاً، طرح PCM، با استفاده از تکنیکی به نام کدگذاری غیرخطی، پالایش می شود. در عمل، این روش، به این معنی است که سطوح کوانتایز، فواصل مساوی ندارند. مشکل فواصل مساوی این است که متوسط خطای مطلق برای هر نمونه، مشابه است، بدون توجه به سطح سیگنال. در نتیجه، مقادیر دامنه های کمتر، نسبتاً اعوجاج بیشتری پیدا می کنند. با استفاده از قدمهای بیشتر کوانتایزینگ برای سیگنالهایی با دامنه کم، و تعداد کمتر قدمهای کوانتایزینگ برای سیگنالهایی با دامنه زیاد، کاهش قابل توجهی در اعوجاج کلی سیگنال بدست می آید (شکل ۱۸-۵).



شکل ۱۸-۵ اثر کدگذاری غیرخطی



شکل ۱۹-۵ توابع معمولی Companding

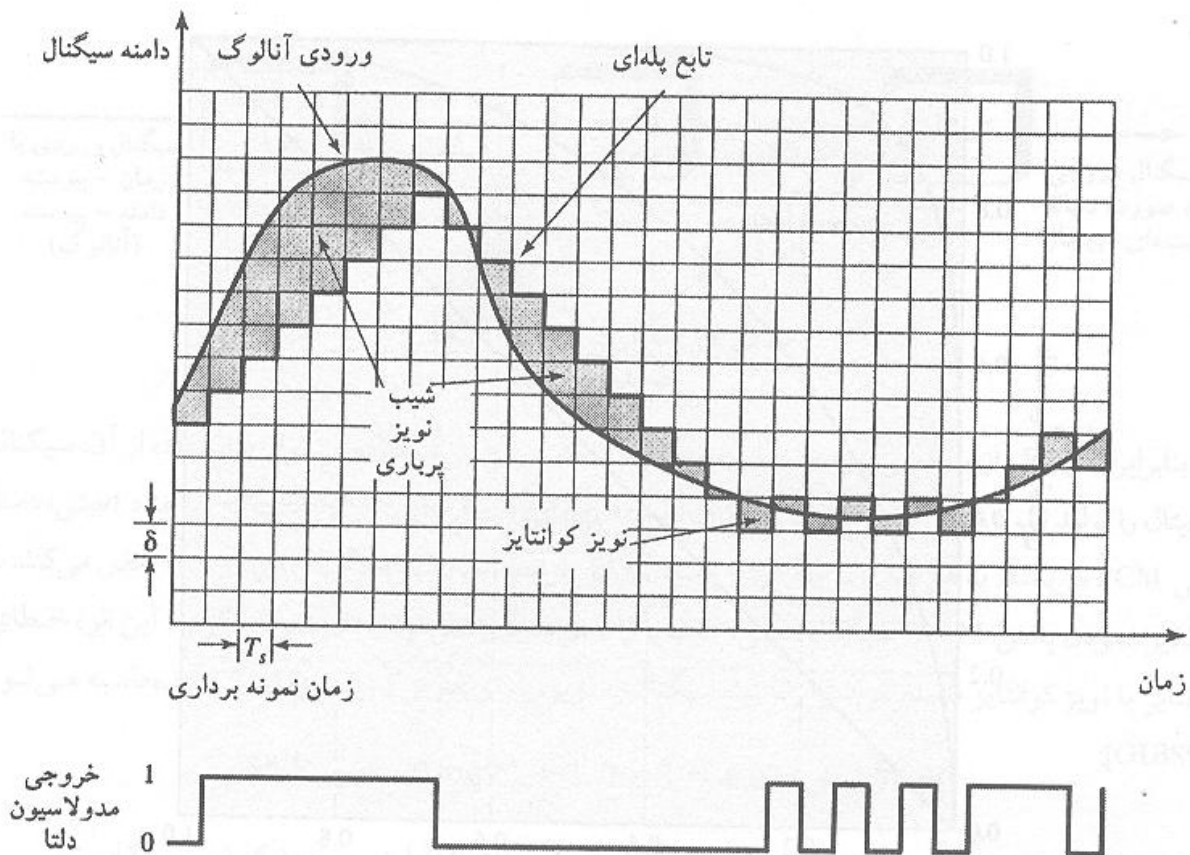
اثر مشابهی می‌تواند با استفاده از کوانتایزینگ یکنواخت بدست آید، اما فشرده‌سازی و باز نمودن سیگنال ورودی (companding) را در پی دارد. companding، فرآیندی است که محدوده شدت سیگنال را فشرده می‌نماید. این عمل را با دادن بهره بیشتر به سیگنالهای ضعیف نسبت به سیگنالهای قوی در ورودی انجام می‌دهد. در خروجی، عمل معکوس آن انجام می‌شود. شکل (۱۹-۵) یک تابع معمول companding را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که اثر آن در ورودی، فشرده نمودن نمونه به طوری است که مقادیر بیشتر، به نسبت مقادیر کمتر، کاهش بیشتری داشته باشند. بنابراین، با تعداد ثابت سطوح کوانتایزینگ، سطوح بیشتری برای سیگنالهایی با سطح کمتر، قابل دسترس می‌باشد. در سمت خروجی، compander، این نمونه‌ها را باز می‌کند، بنابراین، مقادیر فشرده شده، به مقادیر اصلی، بازیابی می‌شوند.

کدگذاری غیرخطی، می‌تواند تا حد زیادی، نسبت PCM SNR را ارتقاء دهد. برای سیگنالهای صوتی، ارتقاء ۲۴ dB تا ۳۰ dB بدست آمده است.

مدولاسیون دلتا (DM)

تکنیک‌های متعددی برای ارتقاء کارایی PCM یا کاهش پیچیدگی آن استفاده شده است. یکی از مشهورترین راههای جایگزینی برای PCM، مدولاسیون دلتا (DM) می‌باشد.

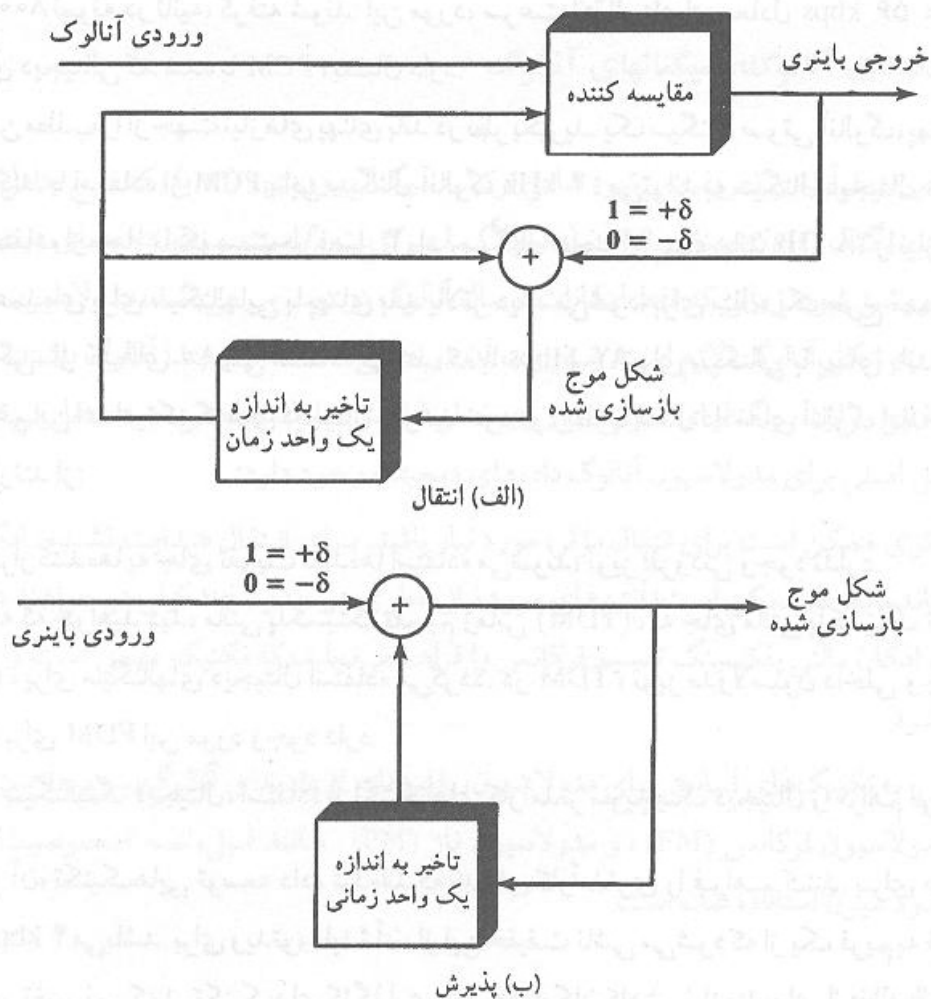
با مدولاسیون دلتا، ورودی آنالوگ، با یک تابع پله‌ای تقریب زده می‌شود که در فاصله نمونه‌برداری (T_s)، به



شکل ۲۰-۵ مثالی از مدولاسیون دلتا

اندازه یک سطح کوانتایز شده (δ) به بالا یا پایین تغییر می‌کند. مثال آن در شکل (۲۰-۵) نشان داده شده است که، تابع پله‌ای، بر روی شکل موج آنالوگ اصلی قرار دارد. خصوصیت مهم این تابع پله‌ای این است که رفتار آن باینری است: در زمان هر نمونه، این تابع، به میزان ثابت δ به بالا یا پایین حرکت می‌کند. بنابراین، خروجی فرآیند مدولاسیون دلتا، می‌تواند به صورت یک رقم باینری برای هر نمونه، نشان داده شود. در نتیجه، دنباله‌ای از بیت‌ها، با تقریب زدن مشتق سیگنال آنالوگ، به جای دامنه آن، بدست می‌آید: اگر تابع پله‌ای در ضمن بازه بعدی به بالا حرکت کند، خروجی ۱ تولید می‌شود؛ خروجی صفر در غیر این صورت تولید می‌گردد.

تغییر حالتی (به بالا یا پایین) که در هر بازه نمونه‌برداری انجام می‌شود، به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که تابع پله‌ای، شکل موج آنالوگ اصلی را با نزدیک‌ترین شکل ممکن، دنبال نماید. شکل (۲۱-۵)، منطق این فرآیند را نشان می‌دهد، که لزوماً مکانیزمی دارای فیدبک است. برای انتقال، این اعمال انجام می‌شود: در زمان هر نمونه‌برداری، ورودی آنالوگ، با جدیدترین مقدار تابع تقریب پله‌ای مقایسه می‌گردد. اگر مقدار شکل موج نمونه‌برداری شده، از مقدار تابع پله‌ای تجاوز نماید، خروجی ۱ تولید می‌گردد. در غیر این صورت، صفر تولید می‌شود. بنابراین، تابع پله‌ای همواره هم جهت با سیگنال ورودی تغییر می‌کند. بنابراین، خروجی فرآیند DM، دنباله‌ای باینری است که می‌تواند در گیرنده استفاده شود تا تابع پله‌ای را بازسازی نماید. این تابع پله‌ای می‌تواند با نوعی فرآیند انتگرال‌گیری، یا عبور از فیلتر پایین گذر، یکنواخت گردد تا تقریب آنالوگ برای سیگنال آنالوگ ورودی بدست آید.



شکل ۲۱-۵ مدولاسیون دلتا

دو پارامتر مهم در طرح DM وجود دارد: اندازه پله‌هایی که به هر رقم باینری نسبت داده می‌شود (δ)، و سرعت نمونه‌برداری. همانطور که شکل (۲۰-۵) نشان می‌دهد، δ باید طوری انتخاب شود که تعادلی بین دو نوع خطا یا نویز ایجاد کند. هنگامی که شکل موج آنالوگ، خیلی به آرامی تغییر می‌کند، نویز کوانتایزینگ وجود دارد. این نویز، با افزایش δ ، افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، هنگامی که شکل موج آنالوگ سریع‌تر از سرعت دنبال نمودن موج پله‌ای تغییر کند، نویز شیب زیاد وجود خواهد داشت. این نویز، با کاهش δ ، افزایش می‌یابد. این نکته واضح است که دقت این طرح می‌تواند با افزایش سرعت نمونه‌برداری، ارتقاء یابد. به هر حال، این مورد، باعث افزایش سرعت انتقال داده سیگنال خروجی می‌گردد.

فایده اصلی DM نسبت به PCM، سادگی پیاده‌سازی آن است. در حالت کلی، PCM شامل خصوصیات بهتر SNR در سرعت انتقال داده مشابه، می‌باشد.

کارایی

تولید مجدد صوتی خوب با استفاده از PCM، با ۱۲۸ سطح کوانتایز، یا کدینگ ۷ بیتی ($2^7 = 128$) بدست می‌آید. سیگنال صوتی، پهنای باندی حدود ۴ kHz را اشغال می‌نماید. بنابراین، بر طبق تئوری نمونه‌برداری، نمونه‌ها باید

با سرعت ۸۰۰۰ نمونه در ثانیه، گرفته شوند. این مورد، سرعت انتقال داده‌ای معادل $۵۶ \text{ kbps} = ۸۰۰۰ \times ۷$ را برای داده‌های دیجیتالی کد شده با PCM، بدنبال دارد.

مفهوم این مطلب را از جهت نیازهای پهنای باند در نظر بگیرید. یک سیگنال صوتی آنالوگ، پهنای باند ۴ kHz را اشغال می‌کند. با استفاده از PCM، این سیگنال آنالوگ ۴ kHz، می‌تواند به سیگنال دیجیتال ۵۶ kbps تبدیل شود. اما با استفاده از معیار نایکوئیست در فصل ۳، این سیگنال دیجیتال، پهنای باند ۲۸ kHz را نیاز خواهد داشت. تفاوت‌های عمده‌ای برای سیگنالهایی با پهنای باند بالاتر دیده می‌شود. برای مثال، یک طرح معمول PCM برای تلویزیون رنگی، از کدهای ۱۰ بیتی استفاده می‌کند، که با ۹۲ Mbps برای سیگنالی با پهنای باند ۴٫۶ MHz کار می‌کند. علیرغم این اعداد، تکنیک‌های دیجیتال به رشد خود در رابطه با انتقال داده‌های آنالوگ ادامه می‌دهند. دلایل اصلی آن عبارتند از:

- چون تکرار کننده‌ها به جای تقویت کننده‌ها استفاده می‌شوند، نویز افزودنی وجود ندارد.
- همانگونه که خواهید دید، مالتی پلکسینگ تقسیم زمانی (TDM)، به جای مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس (FDM)، برای سیگنالهای دیجیتال استفاده می‌گردد. در TDM، نویز مدولاسیون داخلی وجود ندارد، در حالی که برای FDM این مورد وجود دارد.
- تبدیل به سیگنالینگ دیجیتال، استفاده از تکنیک‌های کارآمدتر سوئیچینگ دیجیتال را فراهم می‌نماید.

علاوه بر آن، تکنیک‌هایی توسعه داده شده‌اند که کدهای کارآمدتری را فراهم کنند. برای صوت، هدف، دستیابی به ۴ kbps می‌باشد. برای ویدئو، فایده آن، از این حقیقت ناشی می‌شود که از یک فریم به فریم دیگر، اکثر عناصر تصویر تغییر نمی‌کنند. تکنیک‌های کدگذاری فریم‌ها، امکان کاهش نیازمندیهای انتقال داده را تا حدود ۱۵ Mbps فراهم می‌کنند. برای صحنه‌هایی که به آرامی تغییر می‌کنند، مانند کنفرانس ویدئویی، تا ۶۴ kbps یا کمتر نیز امکان‌پذیر است.

به عنوان نکته نهایی، اشاره می‌نمائیم که در بسیاری از موارد، استفاده از سیستم‌های مخابراتی، امکان پردازش دیجیتال به آنالوگ، و آنالوگ به دیجیتال را فراهم می‌نماید. اکثریت اتصالات مشترکین به شبکه مخابراتی، آنالوگ است. بنابراین، داده‌های دیجیتال ترمینال کاربر، باید با استفاده از مودم به آنالوگ تبدیل شوند، و در ادامه، با استفاده از یک Codec، به دیجیتال تبدیل گردند، و شاید تبدیلات تکراری را قبل از رسیدن به مقصد نیاز داشته باشند. امکانات مخابراتی، سیگنالهای آنالوگ مربوط به صوت و داده‌های دیجیتال را اداره می‌نمایند. خصوصیات شکل موج‌ها کاملاً متفاوت است. در حالی که سیگنال صوتی به سمت بخش پایینی پهنای باند کشیده می‌شود (شکل ۹-۳)، کدگذاری آنالوگ سیگنالهای دیجیتال، طیف یکنواخت‌تری در پهنای باند دارد و بنابراین، حاوی مؤلفه‌های فرکانس بالای بیشتری است. مطالعات نشان داده است که به دلیل حضور این فرکانسهای بالاتر، تکنیک‌های وابسته به PCM، نسبت به تکنیک‌های مرتبط با DM، برای تبدیل سیگنالهای آنالوگ به دیجیتال، ترجیح داده می‌شوند.

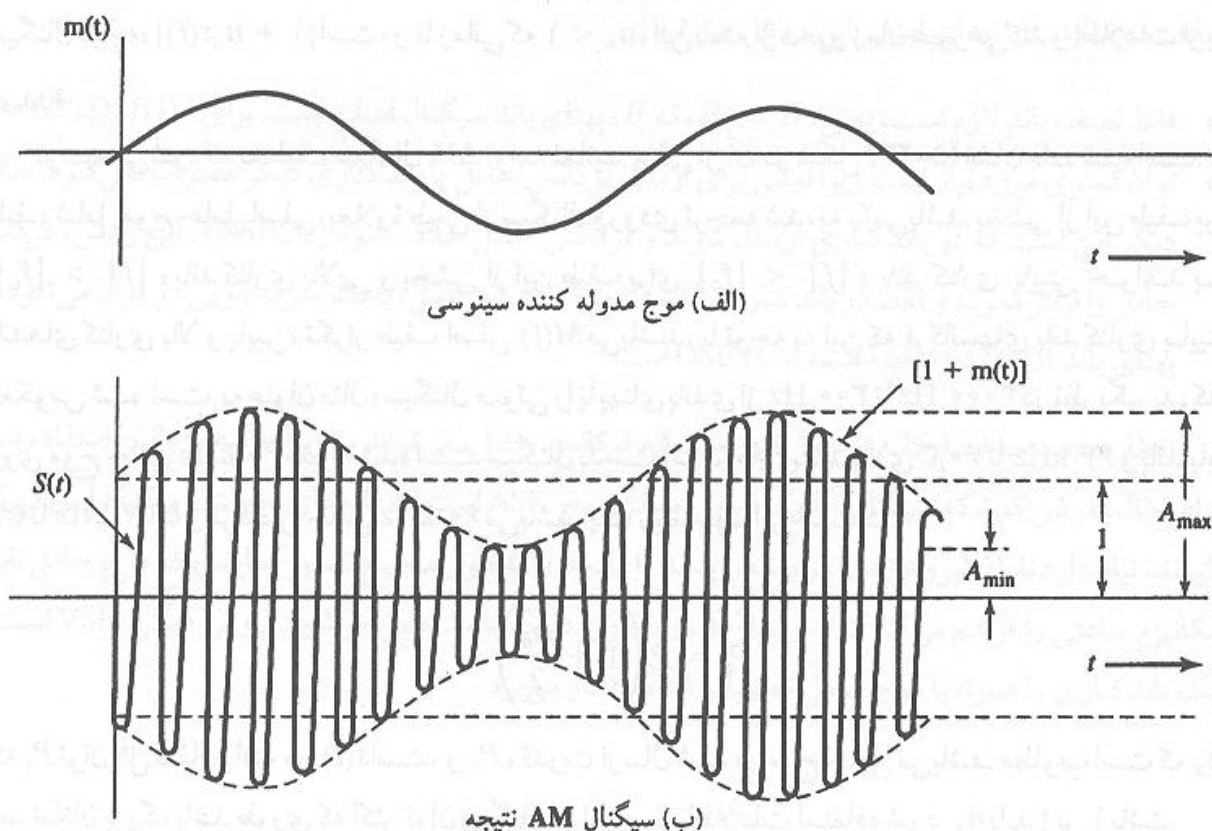
مدولاسیون به صورت فرآیندی تعریف می‌شود شامل ترکیب سیگنال ورودی $m(t)$ با یک موج حامل در فرکانس f_c به منظور تولید سیگنال $s(t)$ که پهنای باند آن (معمولاً) با مرکزیت f_c است. برای داده‌های دیجیتال، دلیل مدولاسیون باید روشن شود: زمانی که فقط امکانات ارسال آنالوگ در دسترس می‌باشد، مدولاسیون، برای تبدیل داده‌های دیجیتال به شکل آنالوگ، لازم است. ضرورت آن در حالتی که داده‌ها از ابتدا آنالوگ باشند، کمتر واضح است. بعد از همه این موارد، سیگنالهای صوتی، بر روی خطوط تلفنی، با طیف اصلی خود منتقل می‌شوند (انتقال باند پایه). دو دلیل اصلی برای مدولاسیون آنالوگ داده‌های دیجیتال وجود دارد:

- فرکانس بالاتری ممکن است برای انتقال مؤثر، مورد نیاز باشد. برای انتقال هدایت نشده، امکان ارسال سیگنالهای باند پایه، غیرممکن است؛ آنتن‌های مورد نیاز، قطری در حدود چند کیلومتر خواهند داشت.
- مدولاسیون، امکان مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس را فراهم می‌نماید، که تکنیک مهمی است و در فصل ۸ بررسی می‌شود.

در این بخش، به تکنیک‌های اساسی برای مدولاسیون، با استفاده از داده‌های آنالوگ، می‌پردازیم: مدولاسیون دامنه (AM)، مدولاسیون فرکانس (FM)، و مدولاسیون فاز (PM). مانند قبل، سه خصوصیت اصلی یک سیگنال، برای مدولاسیون استفاده شده است.

مدولاسیون دامنه

مدولاسیون دامنه (AM)، ساده‌ترین شکل مدولاسیون است و در شکل (۵-۲۲) نشان داده شده است. از نظر



شکل ۵-۲۲ مدولاسیون دامنه

ریاضی، این فرآیند، اینگونه بیان می‌شود:

$$(5-12) \quad \text{AM} \quad s(t) = [1 + n_a x(t)] \cos 2\pi f_c t$$

که $\cos 2\pi f_c t$ موج حامل، و $x(t)$ سیگنال ورودی (حامل داده‌ها) می‌باشند، که هر دو، به دامنه واحد، نرمال شده‌اند. پارامتر n_a ، به نام ضریب مدولاسیون، نسبت دامنه سیگنال ورودی به دامنه موج حامل است. براساس نشان‌گذاری قبلی، سیگنال ورودی، $m(t) = n_a x(t)$ است. مقدار "۱" در معادله ۵-۱۲، یک مؤلفه dc است که از اتلاف اطلاعات جلوگیری می‌کند، و در ادامه توضیح داده می‌شود. این طرح، موج حامل ارسال شده با دو باند کناری (DSBTC) نیز نامیده می‌شود.

مثال ۵-۳. عبارتی برای $s(t)$ بدست آورید، اگر $x(t)$ سیگنال مدوله کننده دامنه $\cos 2\pi f_m t$ باشد. داریم:

$$s(t) = [1 + n_a \cos 2\pi f_m t] \cos 2\pi f_c t$$

با رابطه مثلثاتی واحد، این رابطه بدست می‌آید:

$$s(t) = \cos 2\pi f_c t + \frac{n_a}{2} \cos 2\pi(f_c - f_m)t + \frac{n_a}{2} \cos 2\pi(f_c + f_m)t$$

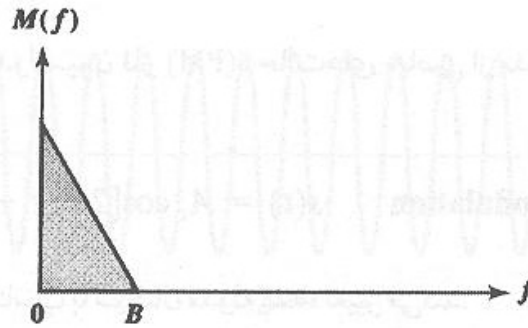
سیگنال نتیجه، مؤلفه‌ای در فرکانس حامل اصلی، بعلاوه زوجی از مؤلفه‌هایی با فاصله f_m هرترز از حامل، دارد.

از معادله (۵-۱۲)، و شکل (۵-۲۲)، دیده می‌شود که AM، شامل ضرب سیگنال ورودی در حامل است. بسته سیگنال نتیجه، $[1 + n_a x(t)]$ است، و تازمانی که $n_a < 1$ ، این بسته از محور زمان عبور می‌کند و اطلاعات از بین می‌رود.

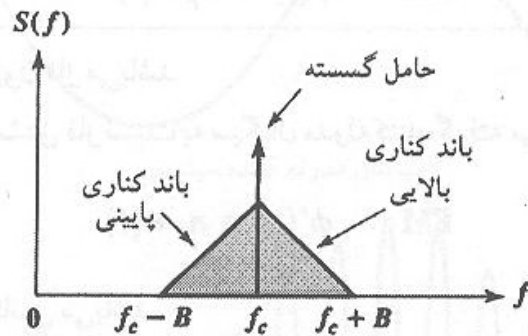
توصیه می‌شود که به طیف سیگنال AM توجه نمائید. مثالی از آن در شکل (۵-۲۳) نشان داده شده است. این طیف شامل موج حامل اصلی، بعلاوه طیفی از سیگنال ورودی ترجمه شده به f_c می‌باشد. بخشی از این طیف برای $|f| > |f_c|$ ، باند کناری بالایی و بخشی از این طیف برای $|f| < |f_c|$ ، باند کناری پایینی خواهد بود. باندهای کناری بالا و پایین، تکرار طیف اصلی $M(f)$ می‌باشند، با توجه به این که فرکانسهای باند کناری پایینی، معکوس شده است. به عنوان مثال، سیگنال صوتی را با پهنای باندی از ۳۰۰ Hz تا ۳۰۰۰ Hz در نظر بگیرید، که بر روی موج حامل ۶۰ kHz مدوله شده است. سیگنال بدست آمده، حاوی باند بالای ۶۰٫۳ kHz تا ۶۳ kHz و باند پایین ۵۷ تا ۵۹٫۷ kHz و فرکانس حامل ۶۰ kHz می‌باشد. یک رابطه مهم این است که:

$$P_t = P_c \left(1 + \frac{n_a^2}{2} \right)$$

که P_t توان کل انتقال یافته در $s(t)$ است، و P_c ، قدرت ارسال شده در موج حامل می‌باشد. مطلوب است که n_a تا حد امکان بزرگ باشد طوری که اکثر توان سیگنال، برای حمل اطلاعات استفاده شود. n_a باید زیر ۱ باشد.



(الف) طیف سیگنال مدوله کننده



(ب) طیف سیگنال AM با حاملی در f_c

شکل ۵-۲۳ طیف سیگنال AM

این نکته باید روشن شود که $s(t)$ حاوی مؤلفه‌های غیرضروری است، زیرا هر یک از باندهای کناری، حاوی طیف کاملی از $m(t)$ خواهد بود. شکل مشهور دیگری از AM، به نام باند کناری واحد (SSB)، از این واقعیت اینگونه استفاده می‌کند که تنها یکی از باندهای کناری را ارسال می‌نماید، و باند کناری دیگر و فرکانس حامل را حذف می‌نماید. فایده‌های اصلی این روش عبارتند از:

- فقط نصف باند لازم است، یعنی، $B_T = B$ ، که B ، پهنای باند سیگنال اصلی است. برای DSBTC، $B_T = 2B$ ،
- توان کمتری مورد نیاز است زیرا توانی برای ارسال فرکانس حامل یا باند کناری دیگر مصرف نمی‌شود. حالت دیگر این است که دو باند کناری ارسال شوند و فرکانس حامل حذف شود (DSBSC). این روش، فرکانس حامل را فیلتر نموده و فقط دو باند کناری را ارسال می‌نماید. این عمل، باعث صرفه‌جویی در توان می‌شود، اما پهنای باند آن به اندازه نقطه ضعف DSBTC است.

نقطه ضعف حذف فرکانس حامل این است که فرکانس حامل، می‌تواند برای انجام همزمانی، استفاده شود. برای مثال، فرض کنید که سیگنال آنالوگ اصلی، شکل موج ASK است که داده‌های دیجیتال را کدگذاری می‌کند. گیرنده نیاز دارد نقطه شروع زمان هر بیت را بداند تا داده‌ها را به طور صحیح تفسیر نماید. یک موج حامل ثابت، مکانیزم ساعتی را فراهم می‌کند که به وسیله آن، زمان ورود بیت‌ها مشخص می‌شود. روش دیگر، VSB است که یک باند کناری را همراه با موج حامل تضعیف شده، به کار می‌برد.

مدولاسیون زاویه

مدولاسیون فرکانس (FM) و مدولاسیون فاز (PM)، حالت‌های خاصی از مدولاسیون زاویه هستند. سیگنال مدوله شده اینگونه بیان می‌شود:

$$(5-13) \quad \text{Angle Modulation} \quad s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \phi(t)]$$

برای مدولاسیون فاز، این فاز متناسب با سیگنال مدوله کننده تغییر می‌کند:

$$(5-14) \quad \text{PM} \quad \phi(t) = n_p m(t)$$

که n_p ، اندیس ضریب مدولاسیون فاز می‌باشد.

برای مدولاسیون فرکانس، مشتق فاز نسبت به سیگنال مدوله کننده گرفته می‌شود:

$$(5-15) \quad \text{FM} \quad \phi'(t) = n_f m(t)$$

که n_f ، ایندکس مدولاسیون فرکانس می‌باشد.

برای جزئیات بیشتر ریاضی این بحث، به ادامه بحث توجه کنید. فاز $s(t)$ در هر لحظه، $2\pi f_c t + \phi(t)$ است. انحراف لحظه‌ای فاز از سیگنال حامل، $\phi(t)$ است. در PM، این انحراف لحظه‌ای فاز، نسبت به $m(t)$ است. چون فرکانس می‌تواند به صورت سرعت تغییر فاز سیگنال تعریف شود، فرکانس لحظه‌ای $s(t)$ برابر است با:

$$2\pi f_i(t) = \frac{d}{dt}[2\pi f_c t + \phi(t)]$$

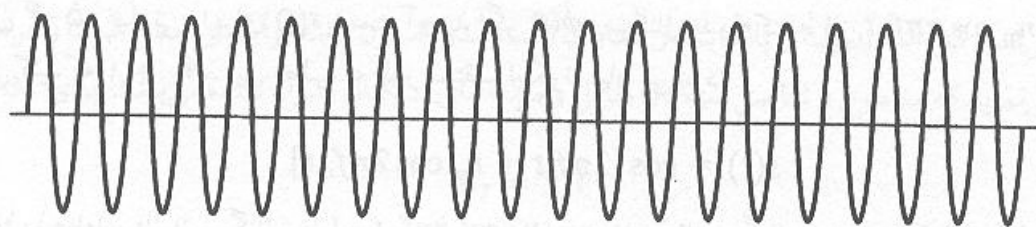
$$f_i(t) = f_c + \frac{1}{2\pi} \phi'(t)$$

و انحراف فرکانس لحظه‌ای از فرکانس حامل، برابر $\phi'(t)$ است که در FM، نسبت به $m(t)$ است.

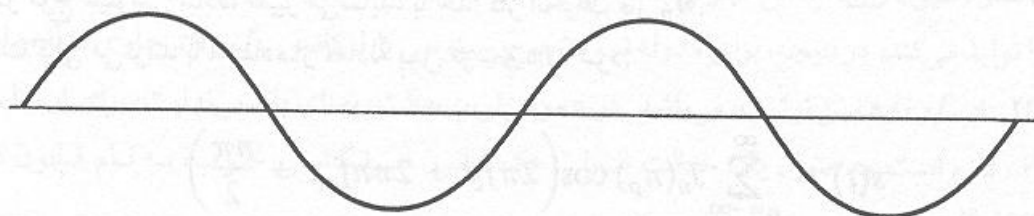
شکل (5-24)، مدولاسیون دامنه، فاز، و فرکانس را با موج سینوسی نشان می‌دهد. شکل سیگنال FM و PM خیلی مشابه است. علاوه بر آن، بدون تابع مدولاسیون، جدا نمودن آنها غیرممکن است. چند مشاهده در مورد فرآیند FM انجام می‌شود. انحراف حداکثر ΔF اینگونه محاسبه می‌شود:

$$\Delta F = \frac{1}{2\pi} n_f A_m \text{ Hz}$$

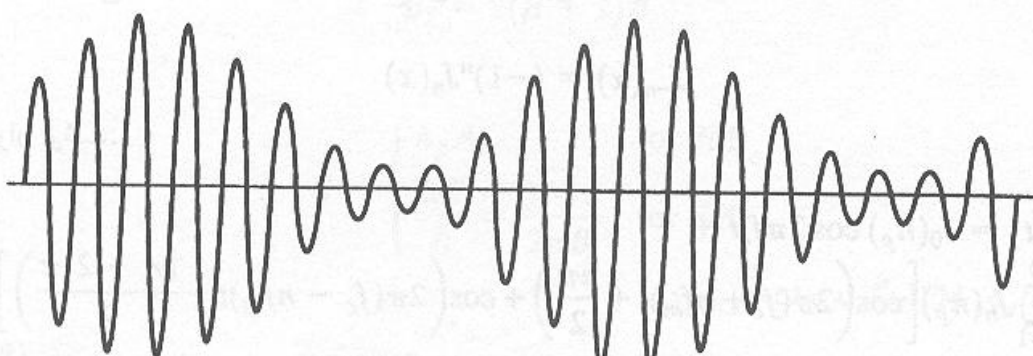
که A_m ، حداکثر مقدار $m(t)$ است. بنابراین، افزایش دامنه $m(t)$ ، باعث افزایش ΔF می‌شود، که در نتیجه، باید پهنای باند ارسال شده (B_T) را افزایش دهد. به هر حال، همانطور که در شکل (5-24) دیده می‌شود، این حالت، متوسط سطح توان سیگنال FM را افزایش نمی‌دهد، که $\frac{A_c^2}{2}$ است. این حالت، با AM متفاوت است، زیرا سطح مدولاسیون، بر توان سیگنال AM تأثیر می‌گذارد اما بر پهنای باند آن بی‌اثر است.



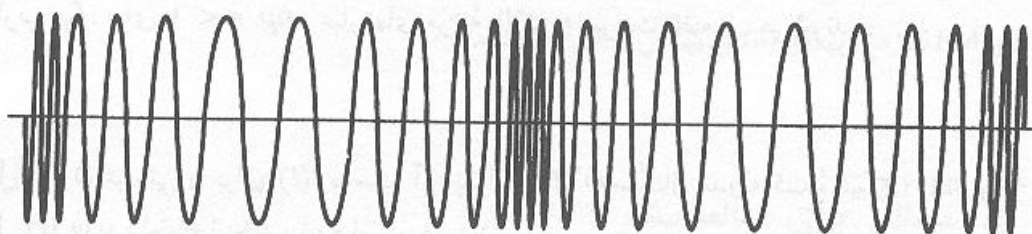
حامل



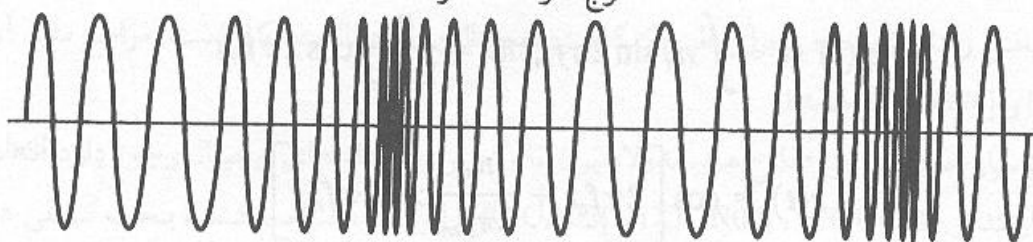
سیگنال مدوله کننده سینوسی



موج مدوله شده دامنه (DSBTC)



موج مدوله شده فاز



موج مدوله شده فرکانس

شکل ۲۴-۵ مدولاسیون دامنه، فاز، و فرکانس یک حامل سینوسی توسط سیگنال سینوسی

مثال ۴-۵. عبارتی را برای $s(t)$ بدست آورید اگر $\phi(t)$ ، سیگنال مدوله کننده فاز $n_p \cos 2\pi f_m t$ باشد. فرض کنید که $A_c = 1$. این مطلب به طور مستقیم اینگونه بیان می شود:

$$s(t) = \cos [2\pi f_c t + n_p \cos 2\pi f_m t]$$

انحراف لحظه ای فاز از سیگنال حامل، $n_p \cos 2\pi f_m t$ است. زاویه فاز سیگنال، نسبت به مقدار مدوله نشده آن در موج سینوسی ساده، تغییر می نماید، با حداکثر انحراف فاز n_p . عبارت قبلی می تواند با استفاده از معادله بسل توسعه داده شود:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(n_p) \cos \left(2\pi f_c t + 2\pi n f_m t + \frac{n\pi}{2} \right)$$

که $J_n(n_p)$ تابع بسل مرتبه n از اولین نوع می باشد. با این خاصیت:

$$J_{-n}(x) = (-1)^n J_n(x)$$

می توان نوشت:

$$s(t) = J_0(n_p) \cos 2\pi f_c t + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(n_p) \left[\cos \left(2\pi (f_c + n f_m) t + \frac{n\pi}{2} \right) + \cos \left(2\pi (f_c - n f_m) t + \frac{(n+2)\pi}{2} \right) \right]$$

سیگنال نتیجه، مؤلفه ای در فرکانس حامل اصلی دارد، بعلاوه مجموعه ای از باندهای کناری f_c ، همراه با تمام مضارب f_m . برای $1 < n_p$ ، عبارتهای مرتبه بالاتر به سرعت تضعیف می شوند.

مثال ۵-۵. عبارتی را برای $s(t)$ بدست آورید اگر $\phi'(t)$ سیگنال مدوله کننده $-n_f \sin 2\pi f_m t$ باشد. شکل $\phi'(t)$ به دلخواه انتخاب شده است. داریم:

$$\phi(t) = - \int n_f \sin 2\pi f_m t \, dt = \frac{n_f}{2\pi f_m} \cos 2\pi f_m t$$

بنابراین:

$$\begin{aligned} s(t) &= \cos \left[2\pi f_c t + \frac{n_f}{2\pi f_m} \cos 2\pi f_m t \right] \\ &= \cos \left[2\pi f_c t + \frac{\Delta F}{f_m} \cos 2\pi f_m t \right] \end{aligned}$$

انحراف لحظه ای فرکانس از سیگنال حامل، $-n_f \sin 2\pi f_m t$ می باشد. فرکانس سیگنال، نسبت به مقدار مدوله نشده در موج سینوسی ساده، تغییر می کند، با حداکثر انحراف n_f رادیان بر ثانیه. این معادله برای سیگنال FM، مشابه سیگنال PM می باشد، با توجه به این که $\frac{\Delta F}{f_m}$ جایگزین n_p می شود. بنابراین، عبارت بسل آن نیز مشابه است.

مانند AM، هر دو روش FM و PM، سیگنالی را با پهنای باندی به مرکزیت f_c تولید می‌کنند. به هر حال، اینک مشاهده می‌شود که دامنه آن پهنای باند، بسیار متفاوت است. مدولاسیون دامنه فرآیندی خطی است و فرکانسهایی را تولید می‌نماید که مجموع و تفاضل سیگنال حامل و مؤلفه‌های سیگنال مدوله کننده می‌باشد. برای AM:

$$B_T = 2B$$

به هر حال، مدولاسیون زاویه شامل عبارتی به شکل $\cos(\phi(t))$ است که غیرخطی بوده و محدوده وسیعی از فرکانسها را تولید می‌کند. در نتیجه، برای مدوله نمودن موج سینوسی با فرکانس f_m ، $s(t)$ حاوی مؤلفه‌هایی در $f_c + 2f_m$ و f_m به همین ترتیب، می‌باشد. در عمومی‌ترین حالت، پهنای باند بی‌نهایت، برای ارسال سیگنال FM یا PM، لازم است. به عنوان یک حالت عملی، یک قانون سرانگشتی خوب، به نام قانون کارسون [COUC01] اینگونه است:

$$B_T = 2(\beta + 1)B$$

که:

$$\beta = \begin{cases} n_p A_m & \text{for PM} \\ \frac{\Delta F}{B} = \frac{n_f A_m}{2\pi B} & \text{for FM} \end{cases}$$

این فرمول برای FM اینگونه نوشته می‌شود:

(۵-۱۶)

$$B_T = 2\Delta F + 2B$$

بنابراین، FM و PM نیازمند پهنای باندی بیشتر از AM هستند.

۵-۵ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر

به دلایلی، یافتن رفتاری مشخص برای طرح کدگذاری دیجیتال به دیجیتال، مشکل است. مراجع مفید آن شامل [SKLA01] و [BERG96] هستند.

مراجع بسیار خوبی در مورد طرح‌های مدولاسیون آنالوگ، بر روی داده‌های دیجیتال وجود دارد. انتخاب‌های مناسب، عبارتند از [COUC01]، [XION00] و [PROA02]؛ این سه، فراهم کننده بحث کاملی در مورد طرح‌های مدولاسیون آنالوگ و دیجیتال، برای داده‌های آنالوگ می‌باشند. یک مورد مناسب و استثنایی که تکنیک‌های دیجیتال - به - آنالوگ، آنالوگ - به - دیجیتال، و آنالوگ - به - آنالوگ را پوشش می‌دهد، [PEAR92] است.

مفاهیم سرعت انتقال بیت‌ها، Baud، و پهنای باند در [FREE98]، بحث شده‌اند. مروری بر مفاهیم چند فصل گذشته در مورد کارایی پهنای باند و طرح‌های کدگذاری، در [SKLA93] یافت می‌شود.

- BERG96 Bergmans, J. *Digital Baseband Transmission and Recording*. Boston: Kluwer, 1996.
- COUC01 Couch, L. *Digital and Analog Communication Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- FREE98 Freeman, R. "Bits, Symbols, Baud, and Bandwidth." *IEEE Communications Magazine*, April 1998.
- PEAR92 Pearson, J. *Basic Communication Theory*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1992.
- PROA02 Proakis, J. *Communication Systems Engineering*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- SKLA01 Sklar, B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- SKLA93 Sklar, B. "Defining, Designing, and Evaluating Digital Communication Systems." *IEEE Communications Magazine*, November 1993.
- XION00 Xiong, F. *Digital Modulation Techniques*. Boston: Artech House, 2000.

۵-۶ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل

واژه‌های کلیدی

تبدیل علامت متوالی (AMI)	کدگذاری تفاضلی	بدون بازگشت به سطح صفر (NRZ-L)
مدولاسیون دامنه (AM)	منچستر تفاضلی	مدولاسیون فاز (PM)
مدولاسیون شیفت دامنه (ASK)	PSK تفاضلی	مدولاسیون شیفت فاز (PSK)
مدولاسیون زاویه	مدولاسیون فرکانس (FSK)	قطبی
سیگنال باند پایه	مدولاسیون فرکانس (FM)	سه تایی
دو فاز	دو قطبی با دانسیته بالا با ۳	مدولاسیون دامنه پالس (PAM)
AMI دو قطبی	صفر (HDB3)	مدولاسیون کد پالس (PCM)
دو قطبی با جایگزینی	منچستر	مدولاسیون دامنه کوادراچر (QAM)
۸ صفر (B8ZS)	مدولاسیون	PSK کوادراچر (QPSK)
سرعت خطای بیت (BER)	سرعت مدولاسیون	جایجایی
مدولاسیون دلتا (DM)	باینری چند سطحی	تک قطبی
	بدون بازگشت به صفر (NRZ)	
	بدون بازگشت به صفر معکوس	
	(NRZI)	

سؤالات

- ۵-۱ فاکتورهای مهمی که می‌توانند در ارزیابی یا مقایسه تکنیک‌های گوناگون دیجیتال - به - دیجیتال استفاده شوند را نام برده و تعریف کنید.
- ۵-۲ کدگذاری تفاضلی چیست؟
- ۵-۳ تفاوت بین NRZ-L و NRZI را توضیح دهید.
- ۵-۴ دو تکنیک کدگذاری دیجیتال - به - دیجیتال باینری دو سطحی را توضیح دهید.
- ۵-۵ کدگذاری دو فاز را تعریف کنید و دو تکنیک کدگذاری دو فاز را توضیح دهید.
- ۵-۶ تابع رمزگذاری را در رابطه با تکنیک‌های کدگذاری دیجیتال - به - دیجیتال توضیح دهید.
- ۵-۷ عملکرد مودم چیست؟
- ۵-۸ چگونه مقادیر باینری، در شیفتر دامنه، نشان داده می‌شوند، و محدودیت این روش چیست؟
- ۵-۹ تفاوت بین QPSK و آفست QPSK چیست؟
- ۵-۱۰ QAM چیست؟
- ۵-۱۱ تئوری نمونه‌برداری چه چیزی را در مورد سرعت نمونه‌برداری لازم برای سیگنال آنالوگ بیان می‌کند؟
- ۵-۱۲ تفاوت‌های بین مدولاسیون زاویه، PM و FM چیست؟

مسائل

- ۵-۱ کدام یک از سیگنالهای جدول ۵-۲ از کدگذاری تفاضلی استفاده می‌کنند.
- ۵-۲ الگوریتم‌هایی را برای تولید هر یک از کدهای جدول ۵-۲ از NRZ-L، توسعه دهید.
- ۵-۳ یک کد اصلاح شده NRZ به نام NRZ-ارتقاء یافته (E-NRZ)، گاهی برای ضبط نوار مغناطیسی دانسته‌بالا استفاده می‌شود. کدگذاری E-NRZ، دنباله داده‌های NRZ-L را به کلمات ۷ بیتی جدا می‌کند؛ بیت‌های ۲، ۳، ۶ و ۷ را معکوس می‌کند؛ و یک بیت توازن را به هر کلمه می‌افزاید. بیت توازن برای این منظور انتخاب شده که تعداد کل بیت‌های ۱ کلمه ۸ بیتی را به فرد تبدیل کند. فواید E-NRZ نسبت به NRZ-L چیست؟ نقاط ضعف آن چیست؟
- ۵-۴ یک نمودار تغییر حالت (ماشین با حالت متناهی) برای نمایش کدگذاری سه‌تایی رسم کنید.
- ۵-۵ تکنیک کدگذاری سیگنال زیر را در نظر بگیرید. داده‌های باینری در ورودی به صورت a_m ، برای $\dots, 3, 2, 1, m$ نشان داده می‌شوند. دو سطح پردازش انجام می‌گیرد. ابتدا، مجموعه جدیدی از اعداد باینری تولید می‌گردد:

$$b_0 = 0$$

$$b_m = (a_m + b_{m-1}) \bmod 2$$

و به صورت زیر کدگذاری می‌شوند:

$$c_m = b_m - b_{m-1}$$

در گیرنده، داده‌های اصلی ترمیم می‌گردند.

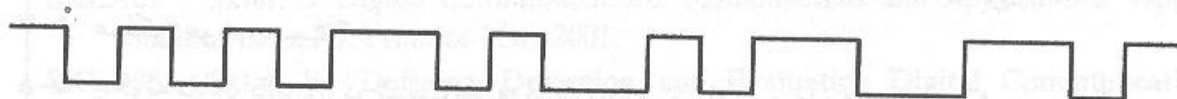
$$a_m = c_m \bmod 2$$

الف - بررسی کنید که مقادیر دریافت شده a_m ، مساوی مقادیر ارسال شده a_m می‌باشند.

ب - این روش، چه نوع کدگذاری است؟

۵-۶ برای دنباله بیت‌های ۰۱۰۰۱۱۱۰، شکل موج‌هایی برای هر یک از کدهای جدول ۵-۲ رسم کنید. فرض کنید که سطح سیگنال برای بیت قبلی برای NRZI، زیاد بوده است؛ آخرین بیت قبلی ۱ (AMI) ولتاژ منفی دارد؛ و آخرین بیت صفر قبلی (سه سطحی)، ولتاژ منفی دارد.

۵-۷ شکل موج شکل (۵-۲۵) متعلق به دنباله داده‌های باینری کد شده با منچستر می‌باشد. شروع و خاتمه پریودهای بیت‌ها را مشخص کنید (یعنی، اطلاعات ساعت را استخراج کنید) و ترتیب داده‌ها را تعیین نمایید.



شکل ۵-۲۵ دنباله منچستر

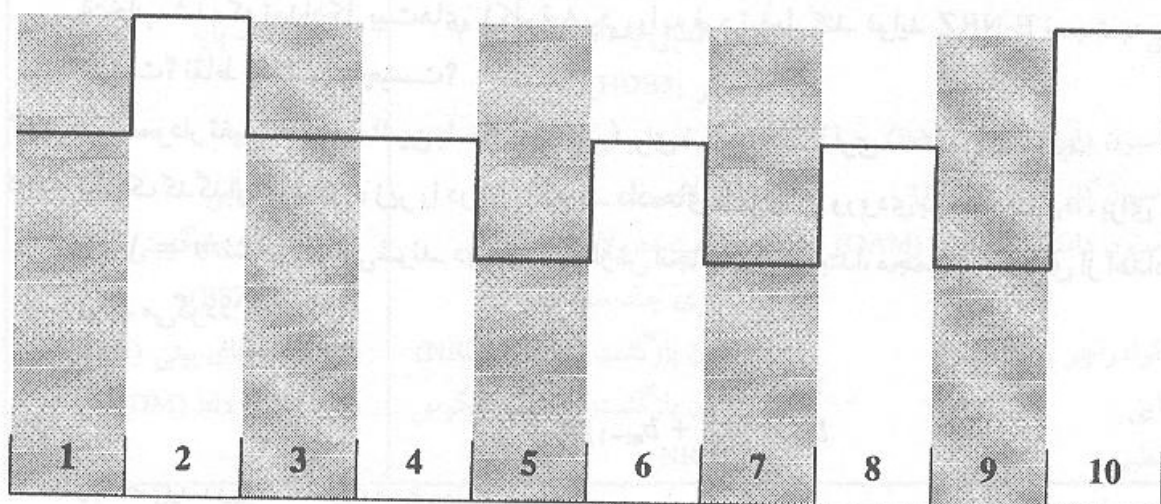
۵-۸ دنباله‌ای از داده‌های باینری را در نظر بگیرید که شامل دنباله‌ای طولانی از ۱ها است که به دنبال آن، مقدار صفر قرار می‌گیرد، همراه با دنباله‌ای طولانی از ۱ها، با همان فرض مسئله ۵-۶. شکل موج را برای این دنباله در این حالت‌ها رسم کنید:

الف - NRZ-L

ب - AMI - دو قطبی

ج - سه سطحی

۵-۹ شکل موج AMI - دو قطبی، دنباله باینری ۰۱۰۰۱۰۱۰۱۱ را نشان می‌دهد که بر روی یک کانال دارای نویز ارسال می‌شود. شکل موج دریافت شده، در شکل (۵-۲۶) نشان داده شده است. این شکل حاوی یک خطا است. موقعیت خطا را مشخص کنید و پاسخ را توضیح دهید.



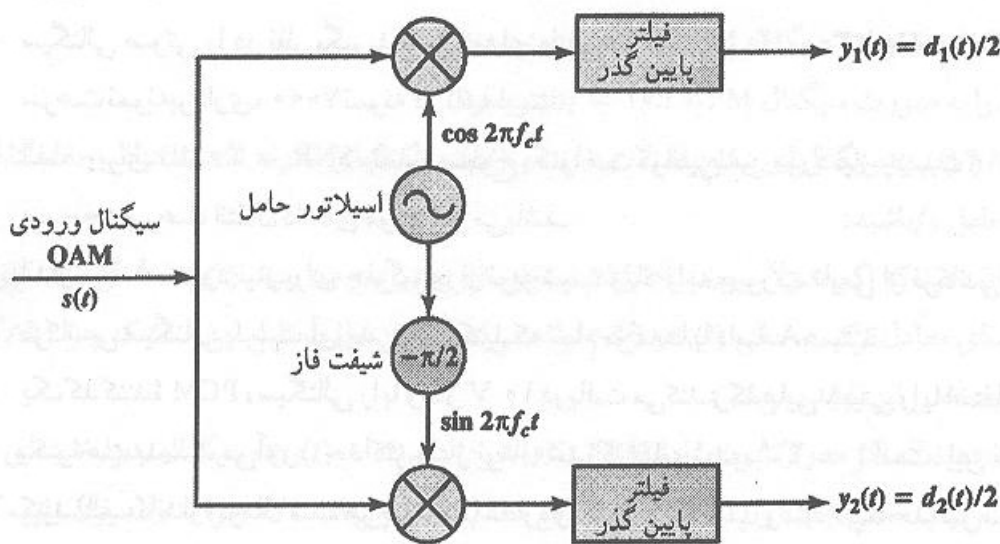
شکل ۵-۲۶ شکل موج AMI دو قطبی دریافت شده

۵-۱۰ یک اثر جانبی مثبت کدگذاری دو قطبی این است که یک حالت نقض دو قطبی (دو پالس مثبت متوالی یا دو پالس منفی متوالی که با هر تعداد صفر از یکدیگر جدا شده‌اند) به گیرنده نشان می‌دهد که خطایی در ارسال اتفاق افتاده است. بدبختانه، در دریافت چنین حالت نقضی، گیرنده نمی‌داند کدام بیت خطا است (فقط می‌داند خطایی اتفاق افتاده است). برای دنباله دریافت شده زیر:

+ - 0 + - 0 - +

کدام حالت، نقض می‌باشد. دو سناریو بسازید که همین الگوی بیت را در گیرنده بسازند. (هر یک شامل دنباله بیت‌های ارسال شده متفاوتی است، که بیت ارسال شده، از طریق خطا تغییر کرده است).

۵-۱۱ شکل (۵-۲۷) مدولاتور QAM را متناظر با مدولاتور QAM شکل (۵-۱۴) نشان می‌دهد. نشان دهید که این ترتیب، دو سیگنال $d_1(t)$ و $d_2(t)$ را، که می‌توانند ترکیب شوند تا ورودی اصلی را ترمیم نمایند، ترمیم نمی‌کند.



شکل ۵-۲۷ مدولاتور QAM

۵-۱۲ یک موج سینوسی قرار است برای دو طرح سیگنالینگ متفاوت استفاده شود: (الف) PSK؛ (ب) QPSK. مدت هر جزء سیگنال 10^{-5} s است. اگر سیگنال دریافت شده به این شکل باشد:

$$s(t) = 0.005 \sin(2\pi 10^6 t + \theta) \text{ volts}$$

و اگر قدرت نویز دریافت شده در گیرنده $10^{-8} \times 2.5$ وات باشد، مقدار E_b/N_0 را برای هر حالت برحسب dB مشخص کنید.

۵-۱۳ عبارتی برای baud rate (D) به صورت تابعی از سرعت انتقال بیت (R) برای QPSK، با استفاده از تکنیک‌های کدگذاری دیجیتال جدول ۵-۲، بدست آورید.

۵-۱۴ چه نسبتی از SNR لازم است تا کارایی پهنای باند 10^6 برای ASK، FSK، PSK و QPSK بدست آید؟ فرض کنید که سرعت خطای بی‌نی لازم، 10^{-6} است.

۵-۱۵ سیگنال NRZ-L از طریق فیلتری با $\tau = 0.5$ عبور می‌کند و سپس بر روی حامل، مدوله می‌شود. سرعت انتقال داده، ۲۴۰۰ bps است. پهنای باند را برای ASK و FSK محاسبه کنید. برای FSK، فرض کنید که دو

فرکانس استفاده شده، ۵۰ kHz و ۵۵ kHz می باشد.

۵-۱۶ فرض کنید که یک کانال خط تلفن متعادل شده است تا امکان عبور داده های ارسالی را بر روی محدوده فرکانس ۶۰۰ Hz تا ۳۰۰۰ Hz بدهد. پهنای باند در دسترس، ۲۴۰۰ Hz است. برای $r = 1$ ، پهنای باند را برای ۲۴۰۰ bps در QPSK و ۴۸۰۰ bps، در سیگنالینگ هشت سطحی، محاسبه کنید. آیا پهنای باند کافی است؟

۵-۱۷ چرا PCM بر DM برای کدگذاری سیگنالهای آنالوگی که داده های دیجیتال را نشان می دهند، ترجیح دارد.

۵-۱۸ آیا عملکرد مودم و codec معکوس یکدیگر است (یعنی، آیا عکس عملکرد مودم، مشابه عملکرد codec است و برعکس)؟

۵-۱۹ یک سیگنال، با استفاده از PCM ۱۰ بیتی کوانتایز شده است. نسبت سیگنال به نویز کوانتیزیشن را بدست آورید.

۵-۲۰ سیگنالی صوتی را در نظر بگیرید با مؤلفه های طیفی در محدوده ۳۰۰ Hz تا ۳۰۰۰ Hz. فرض کنید که سرعت نمونه برداری، ۷۰۰۰ نمونه در ثانیه است.

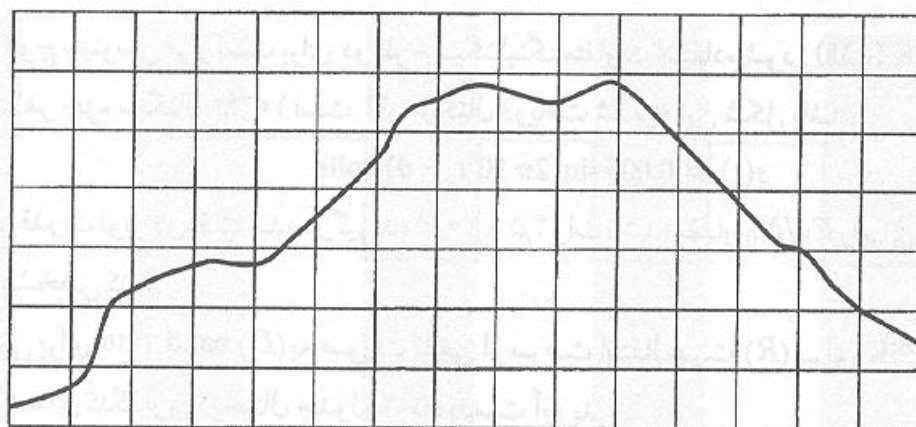
الف - برای $SNR = 30 \text{ dB}$ ، تعداد سطوح یکخواخت کوانتیزیشن مورد نیاز چیست؟

ب - چه سرعت انتقال داده ای مورد نیاز می باشد.

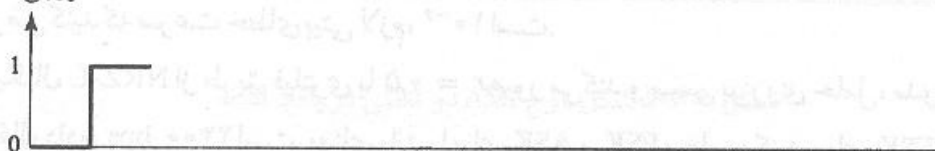
۵-۲۱ اندازه پله δ ، مورد نیاز برای جلوگیری از نویز شیب زیاد را به صورت تابعی از فرکانس بالاترین مؤلفه فرکانسی سیگنال، بدست آورید. فرض کنید که تمام مؤلفه ها با دامنه A هستند.

۵-۲۲ یک کدکننده PCM، سیگنالی را با ولتاژ ۱۰ V دریافت می کند و کدهایی ۸ بیتی را با استفاده از کوانتیزیشن یکخواخت بدست می آورد. حداکثر ولتاژ نرمال شده کوانتایز شده، $2^{-8} - 1$ است. این موارد را مشخص کنید (الف) اندازه نرمال شده هر پله، (ب) اندازه واقعی پله بر حسب ولت، (پ) حداکثر سطح کوانتایز شده واقعی بر حسب ولت، (ت) دقت نرمال شده، (ث) دقت واقعی، (ج) دقت درصدی.

۵-۲۳ شکل موج آنالوگ نشان داده شده در شکل (۵-۲۸) باید با روش دلتا، مدوله شود. پررود نمونه برداری و



خروجی DM



شکل ۵-۲۸ مثال مدولاسیون دلتا

اندازه پله، با شبکه‌های موجود در شکل، نشان داده شده‌اند. اولین خروجی DM و تابع پله‌ای برای این پریود نیز نشان داده شده است. باقیمانده تابع پله‌ای را نشان دهید و خروجی DM را مشخص کنید. نواحی را نشان دهید که اعوجاج شیب زیاد وجود دارد.

۵-۲۴ سیگنال مدوله شده با زاویه زیر را در نظر بگیرید:

$$s(t) = 10 \cos[(10^8)\pi t + 5 \sin 2\pi(10^3)t]$$

حداکثر انحراف فاز و حداکثر انحراف فرکانس را بدست آورید.

۵-۲۵ سیگنال مدوله شده با زاویه زیر را در نظر بگیرید:

$$s(t) = 10 \cos[2\pi(10^6)t + 0.1 \sin(10^3)\pi t]$$

الف - $s(t)$ را به صورت سیگنال PM با $n_p = 10$ بنویسید.

ب - $s(t)$ را به صورت سیگنال FM با $n_f = 10\pi$ بنویسید.

۵-۲۶ اگر $m_1(t)$ و $m_2(t)$ سیگنالهای پیغام باشند، و $s_1(t)$ و $s_2(t)$ سیگنالهای مدوله شده متناظر با استفاده از فرکانس حامل f_c باشند:

الف - نشان دهید که اگر مدولاسیون ساده AM استفاده شود، در این صورت، $m_1(t) + m_2(t)$ ، سیگنال مدوله شده‌ای معادل ترکیب خطی $s_1(t)$ و $s_2(t)$ تولید می‌نماید. این مطلب دلیل این است که چرا AM گاهی مدولاسیون خطی نیز نامیده می‌شود.

ب - نشان دهید که اگر مدولاسیون ساده PM استفاده شود، $m_1(t) + m_2(t)$ ، سیگنال مدوله شده‌ای تولید می‌کند که ترکیب خطی $s_1(t)$ و $s_2(t)$ نمی‌باشد. این مطلب دلیل این است که چرا مدولاسیون زاویه گاهی مدولاسیون غیرخطی نیز نامیده می‌شود.

تکنیک‌های ارتباط داده‌های دیجیتال

۶-۱ انتقال آسنکرون و سنکرون

انتقال آسنکرون

انتقال سنکرون

۶-۲ انواع خطاها

۶-۳ آشکارسازی خطا

بررسی توازن

بررسی افزونگی دوره‌ای (CRC)

۶-۴ تصحیح خطا

اصول کُدگذاری بلوکی

۶-۵ پیکربندی‌های خطی

توپولوژی

Full duplex و half duplex

۶-۶ رابط‌ها

V.24/EIA-232-F

رابط فیزیکی ISDN

۶-۷ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر

۶-۸ واژه‌های کلیدی، سؤالات، و مسائل

واژه‌های کلیدی

سؤالات

مسائل

نکات کلیدی

- انتقال دنباله‌ای از بیت‌ها از یک دستگاه به دیگری در یک مسیر انتقال، شامل همکاری‌ها و توافقات زیادی بین دو طرف می‌باشد. یکی از اساسی‌ترین نیازها، همزمانی است. گیرنده باید سرعت دریافت بیت‌ها را بداند بطوری که بتواند از خط، در بازه‌های مناسب نمونه‌برداری کند تا مقدار هر بیت دریافت شده را تعیین نماید. دو تکنیک برای این هدف استفاده می‌شود. در انتقال آسنکرون، با هر کارکتر داده بطور مستقل عمل می‌شود. هر کارکتر، با بیت شروع آغاز می‌شود که گیرنده را از رسیدن کارکتر مطلع می‌سازد. گیرنده، هر بیت موجود در کارکتر را نمونه‌برداری می‌کند، و بدنبال کارکتر بعدی آغاز می‌گردد. این تکنیک، برای بلوک‌های طولانی داده‌ها، خوب عمل نمی‌کند زیرا ساعت گیرنده ممکن است گاهی از همزمانی با ساعت فرستنده خارج شود. به هر حال، ارسال داده‌ها در بلوکهای بزرگ، کارایی بیشتری نسبت به ارسال داده‌ها به صورت یک کارکتر در هر دفعه دارد. برای بلوک‌های بزرگ، ارسال سنکرون استفاده می‌شود. هر بلوک از داده‌ها، به صورت فریمی قالب‌بندی می‌شود که شامل یک پرچم شروع و خاتمه باشد. شکلی از سنکرون نمودن، مانند استفاده از کدگذاری منچستر، نیز بکار گرفته می‌شود.
- آشکارسازی خطا با محاسبه کد آشکارکننده خطا انجام می‌شود که تابعی از بیت‌های ارسالی است. این کد به بیت‌های ارسال شده افزوده می‌شود. گیرنده، این کد را بر مبنای بیت‌های دریافتی محاسبه می‌کند و آن را با کد دریافتی مقایسه نموده تا خطاها را بیابد.
- تصحیح خطا به روشی مشابه آشکارسازی خطا عمل می‌کند اما قادر است خطاهای خاص را در دنباله بیت‌های ارسال شده، اصلاح نماید.
- برای اینکه دستگاهی بتواند از طریق رسانه، انتقال را انجام دهد، باید از طریق نوعی رابط به آن متصل گردد. این رابط، نه تنها خصوصیات الکتریکی سیگنال را تعریف می‌کند، بلکه شکل فیزیکی اتصال و رویه‌های ارسال و دریافت بیت‌های داده را نیز مشخص می‌نماید.

سه فصل قبل، ابتدا بر صفات انتقال داده متمرکز شدند، از قبیل، خصوصیات سیگنالهای داده، رسانه انتقال، کد گذاری سیگنالها، و کارایی انتقال. در این فصل، تاکید را از انتقال داده، بر ارتباطات داده‌ها قرار می‌دهیم. برای دو دستگاهی که با یک رسانه انتقال، برای تبادل اطلاعات به یکدیگر متصل شده‌اند، درجه بالایی از همکاری لازم است. معمولاً، داده‌ها به صورت یک بیت در هر دفعه، بر روی رسانه منتقل می‌شوند. زمانبندی (سرعت، مدت، فاصله)، برای این بیت‌ها، باید برای فرستنده و گیرنده مشابه باشد. دو تکنیک متداول برای کنترل نمودن این تایمینگ، آسنکرون و سنکرون می‌باشد که در بخش ۱-۶ توضیح داده شده است. سپس، نگاهی داریم به مشکل خطاهای بیت‌ها. همانطور که مشاهده شد، انتقال داده، فرایندی بدون خطا نمی‌باشد، و نوعی محاسبه برای این خطاها مورد نیاز است، پس از بحث مختصری در مورد تفاوت بین خطاهای تک بیتی، و خطاهای توده‌ای، این فصل، به دو روش برای برخورد با خطاها می‌پردازد: آشکارسازی خطا و تصحیح خطا.

سپس، این فصل، مروری دارد بر انواع پیکربندی‌های متداول برای خط انتقال. در نهایت، نگاهی دارد به رابط

فیزیکی بین دستگاه‌های انتقال داده و خط انتقال. معمولاً، دستگاه‌های مربوط به داده‌های دیجیتال، بطور مستقیم به رسانه متصل نمی‌شوند. در عوض، این فرایند، از طریق رابط استاندارد انجام می‌شود که کنترل قابل ملاحظه‌ای را بر تعامل بین دستگاه‌های فرستنده - گیرنده و خط انتقال دارد.

۶-۱ انتقال آسنکرون و سنکرون

در این کتاب، ابتدا به انتقال داده‌های سری می‌پردازیم؛ یعنی، داده‌ها بجای اینکه با استفاده از مجموعه خطوط موازی انتقال یابند از طریق مسیر سیگنال واحدی منتقل می‌شوند. این روش، در دستگاه‌های I/O و مسیرهای سیگنال داخلی کامپیوتر، بطور متداول انجام می‌گیرد. در انتقال سری، در هر دفعه، یکی از اجزاء سیگنالینگ ارسال می‌شود. هر جزء سیگنالینگ می‌تواند یکی از این موارد باشد:

- کمتر از یک بیت: برای مثال، حالتی است که در کدگذاری منچستر انجام می‌شود.
- یک بیت: NRZ-L و FSK به ترتیب مثالهای دیجیتالی و آنالوگ آن هستند.
- بیشتر از یک بیت: مثال آن QPSK است.

در این بحث، برای سادگی، فرض می‌شود برای هر جزء سیگنالینگ، یک بیت وجود دارد، هر حالت غیر از آن، به صراحت بیان می‌شود. این بحث، با این ساده سازی، تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد.

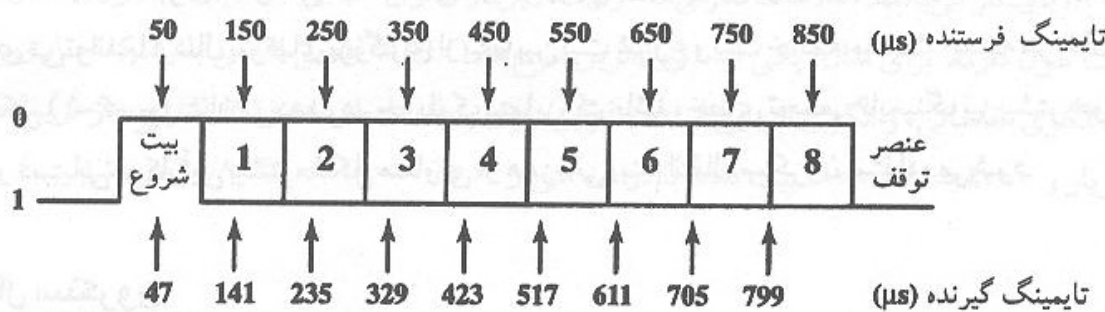
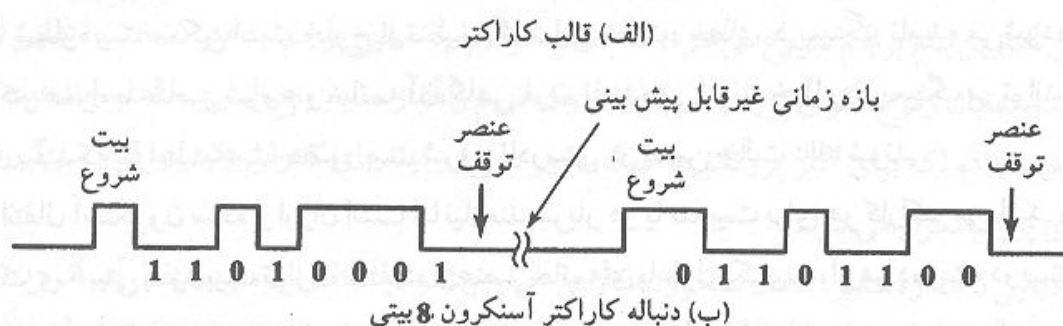
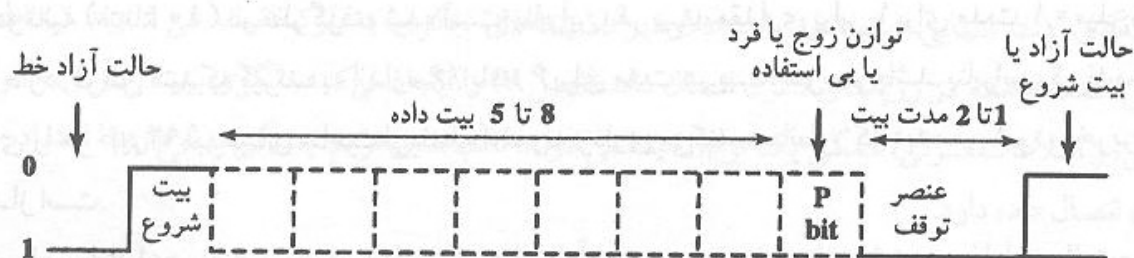
از شکل (۳-۱۵) بخاطر آورید که دریافت داده‌های دیجیتال، شامل نمونه برداری از سیگنال دریافتی در مدت هر بیت می‌باشد تا مقدار باینری آن مشخص شود. یکی از مشکلات مشخص شده در چنین فرایندی این است که موانع متعدد انتقال، سیگنال را مخدوش می‌نماید به شکلی که خطاهای ناگهانی اتفاق می‌افتند. این مسأله، با مشکل تایمینگ ترکیب می‌شود: برای اینکه گیرنده بتواند بیت‌های ورودی را بطور منظم نمونه برداری کند، باید زمان ورود و مدت هر بیت دریافت شده را بداند.

فرض کنید که فرستنده فقط دنباله‌ای از بیت‌های داده را ارسال کند. فرستنده، ساعتی دارد که تایمینگ بیت‌های ارسالی را مشخص می‌کند. برای مثال، اگر داده‌ها با سرعت یک میلیون بیت در ثانیه ارسال شوند (1 Mbps)، یک بیت، در هر $\frac{1}{10^6} = 1 \mu s$ میکروثانیه ارسال خواهد شد، که توسط ساعت فرستنده اندازه‌گیری می‌شود. بطور معمول، گیرنده سعی دارد از رسانه، در مرکز هر مدت زمان بیت نمونه برداری کند. گیرنده، نمونه‌ها را در بازه‌هایی شامل زمان یک بیت تنظیم می‌نماید. در این مثال، نمونه برداری، هر $1 \mu s$ انجام می‌گیرد. اگر گیرنده زمانهای نمونه را بر مبنای ساعت خود تنظیم کند، در این صورت اگر ساعت‌های فرستنده و گیرنده، دقیقاً تنظیم نباشند، مشکل پیش می‌آید. اگر انحراف ۱ درصدی وجود داشته باشد (ساعت گیرنده، ۱٪ سریعتر یا کندتر از ساعت فرستنده عمل کند)، در این صورت اولین نمونه برداری، برابر $0.99 \mu s$ مدت بیت یا $0.99 \mu s$ دورتر از مرکز یک بیت خواهد بود (مرکز بیت $1 \mu s$ از زمان شروع بیت فاصله دارد). پس از ۵۰ نمونه یا بیشتر، گیرنده دچار خطا می‌شود زیرا، با مدت بیت نادرستی نمونه برداری را انجام می‌دهد ($0.99 \mu s \times 50 = 0.5 \mu s$). برای تفاضل تایمینگ کمتر، این خطا دیرتر اتفاق می‌افتد، اما گاهی گیرنده، با فرستنده هماهنگ نخواهد بود اگر فرستنده دنباله طولانی از بیت‌ها را ارسال کند و هیچ کاری برای سنکرون نمودن فرستنده و گیرنده انجام نگیرد.

انتقال آسنکرون

دو روش برای دستیابی به همزمانی مطلوب وجود دارد. اولین روش، ارسال آسنکرون نامیده می‌شود. این استراتژی با این طرح، به این منظور استفاده می‌شود که از مشکل تایمینگ، با استفاده از عدم ارسال دنباله بیت‌های طولانی بدون وقفه، جلوگیری نماید. در عوض، داده‌ها به صورت یک کاراکتر در هر دفعه ارسال می‌شوند، و هر کاراکتر، بین پنج تا هشت بیت، طول دارد.^۱ تایمینگ یا همزمانی فقط باید در هر کاراکتر انجام گیرد؛ گیرنده امکان همزمانی مجدد را در شروع کاراکتر جدید خواهد داشت.

شکل (۱-۶) این تکنیک را نشان می‌دهد. هنگامی که کاراکتری ارسال نشود، خط بین فرستنده و گیرنده، در حالت idle قرار دارد. تعریف idle معادل است با عنصر سیگنالینگ ۱ باینری. بنابراین، برای سیگنالینگ NRZ-L شکل (۲-۵) که برای ارسال آسنکرون متداوال می‌باشد، idle، وجود ولتاژ منفی بر روی خط خواهد بود. شروع یک کاراکتر، توسط یک بیت شروع با مقدار باینری صفر، مشخص می‌شود. پس از آن، پنج تا هشت بیتی قرار می‌گیرد که کاراکتر را تشکیل می‌دهند. این بیت‌های کاراکتر ارسال می‌شوند، و شروع ارسال با کم ارزش‌ترین بیت



شکل ۱-۶ انتقال آسنکرون

۱ - تعداد بیت‌های تشیکل دهنده یک کاراکتر بستگی دارد به کد استفاده شده. قبلاً یک مثال متداول آن را بررسی نمودیم، که کد IRA می‌باشد و هفت بیت را در هر کاراکتر استفاده می‌کند. کد متداول دیگر، کد تبادل دهدهی کد شده به صورت باینری توسعه یافته (EBCDIC) می‌باشد که کدی هشت کاراکتری را تمام ماشین‌های IBM و ایستگاههای کاری، استفاده می‌نمایند.

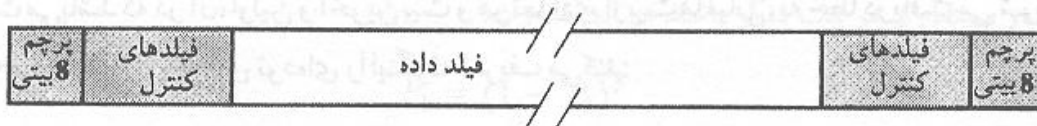
خواهد بود. برای مثال، برای کاراکترهای IRA، پس از بیت‌های داده، معمولاً بیت توازن قرار می‌گیرد، که با ارزش‌ترین موقعیت بیت خواهد بود. بیت توازن، توسط فرستنده قرار می‌گیرد، که مجموع کل یک‌های موجود در کاراکتر، شامل بیت توازن، مقداری زوج (توازن)، یا مقداری فرد (توازن فرد) باشد، برحسب قرار داد استفاده شده. این بیت، در گیرنده به منظور آشکارسازی خطا استفاده می‌شود، همانطور که در بخش ۳-۶ گفته شده است. عنصر نهایی، یک عنصر توقف می‌باشد که ۱ باینری است. حداقل طولی برای عنصر توقف مشخص می‌شود، که معمولاً ۱، ۱/۵ یا ۲ برابر مدت یک بیت باینری است. حداکثر مقدار برای آن تعیین نمی‌گردد. چون عنصر توقف مشابه حالت idle می‌باشد، فرستنده به ارسال عنصر توقف ادامه می‌دهد تا زمانی که آماده برای ارسال کاراکتر بعدی شود. نیازهای زمانبندی برای این طرح، اندک است. برای مثال، کاراکترهای IRA معمولاً به صورت واحدهای ۸ بیتی، شامل بیت توازن، ارسال می‌شوند. اگر گیرنده، ۵٪ کندتر یا تندتر از فرستنده باشد، نمونه‌برداری از هشتمین بیت کاراکتر، ۴۵٪ جابجا خواهد شد و هنوز نمونه‌برداری صحیح خواهد بود. شکل (۱-۶-ج)، اثرات خطای تایمینگ با اندازه مناسب را برای ایجاد خطا در گیرنده، نشان می‌دهد. در این مثال، سرعت انتقال داده‌ها، ۱۰۰۰۰ بیت در ثانیه (۱۰ kbps) در نظر گرفته شده است؛ بنابراین، هر بیت، مقداری برابر ۱ برای مدت ۰/۱ میلی ثانیه μs ۱۰۰ دارد. فرض کنید که گیرنده به اندازه ۶٪ یا $6 \mu s$ برای مدت هر بیت، سریعتر باشد. بنابراین، گیرنده، کاراکتر ورودی را هر $94 \mu s$ (بر مبنای ساعت فرستنده)، نمونه‌برداری می‌کند. همانطور که دیده می‌شود، آخرین نمونه، خطاساز است.

خطایی مانند این، باعث بروز دو خطا می‌شود. ابتدا، آخرین بیت نمونه‌برداری شده، به غلط دریافت می‌شود، دوم، شماره بیت ممکن است خارج از تنظیم باشد. این حالت، خطای فریمینگ نامیده می‌شود، چون بیت‌های کاراکتر همراه با عناصر شروع و خاتمه آن، گاهی فریم نامیده می‌شوند. خطای فریمینگ می‌تواند در صورتی نیز اتفاق بیفتد که شرایط، باعث حضور بیت شروع نادرستی در ضمن حالت idle شوند.

انتقال آسنکرون ساده و ارزان است اما نیازمند سربار دو یا سه بیت برای هر کاراکتر می‌باشد. برای مثال، برای کاراکتری ۸ بیتی بدون بیت توازن، استفاده از عنصر خاتمه‌ای با طول یک بیت، از هر ده بیت، دو بیت فاقد اطلاعات است، اما آنها فقط برای همزمانی استفاده می‌شود؛ بنابراین، سربار ۲۰٪ را ایجاد می‌نمایند. البته، درصد سربار کمتری می‌تواند با ارسال بلوک‌های بزرگتری از بیت‌ها بین بیت شروع و بیت خاتمه، بدست آید. به هر حال، همانطور که شکل (۱-۶-ج) نشان می‌دهد، هر چه بلوک بیت‌ها بزرگتر باشد، خطای تجمعی تایمینگ نیز بیشتر خواهد بود. به منظور دستیابی به کارایی بیشتر، شکل متفاوتی از همزمانی، بنام انتقال سنکرون استفاده می‌شود.

انتقال سنکرون

در انتقال سنکرون، یک بلوک از بیت‌ها به صورت دنباله‌ای یکنواخت، بدون کدهای شروع و توقف، ارسال می‌گردد. این بلوک می‌تواند حاوی تعداد زیادی بیت باشد. به منظور جلوگیری از انحراف تایمینگ بین فرستنده و گیرنده، ساعت‌های آنها باید تا حدی سنکرون باشند. یک امکان، فراهم نمودن خط مجزایی برای ساعت بین فرستنده و گیرنده است. یک طرف (فرستنده یا گیرنده)، بر روی این خط، پالس‌های منظمی را همراه با یک پالس کوتاه برای هر مدت زمان یک بیت، می‌فرستد. طرف دیگر، این پالس‌های منظم را به عنوان ساعت، استفاده می‌نماید. این تکنیک، بر روی مسافت‌های کوتاه خوب کار می‌کند، اما در مسافت‌های طولانی‌تر، این پالس‌های



شکل ۲-۶ قالب فریم سنکرون

ساعت، با همان موانع سیگنال دیجیتال مواجه هستند و خطای تایمینگ بوجود می‌آید. حالت دیگر قرار دادن اطلاعات ساعت در سیگنال داده می‌باشد. برای سیگنال‌های دیجیتال، این حالت، با کدگذاری منچستر یا منچستر تفاضلی بدست می‌آید. برای سیگنال‌های آنالوگ، چندین تکنیک استفاده می‌شود. برای مثال، فرکانس حامل، خودش برای همزمان نمودن گیرنده، بر مبنای فاز موج حامل، استفاده شود.

در انتقال سنکرون، سطح دیگری از همزمانی لازم است، تا به گیرنده امکان دهد شروع و انتهای یک بلوک داده را مشخص نماید. به منظور دستیابی به این هدف، هر بلوک، با یک الگوی بیت آغازین شروع می‌شود، و معمولاً با یک الگوی بیت انتهایی خاتمه می‌یابد. علاوه بر آن، بیت‌های دیگری، به بلوک اضافه می‌شوند که اطلاعات کنترلی استفاده شده در رویه‌های کنترل اتصال داده (فصل ۷) را ایجاد می‌کنند. الگوی بیت آغازین، الگوی بیت انتهایی، و اطلاعات کنترلی، همگی یک فریم نامیده می‌شوند. قالب دقیق فریم، بستگی به نوع رویه استفاده شده در کنترل اتصال داده دارد.

شکل (۲-۶)، به صورت کلی قالب معمولی یک فریم را برای انتقال همزمان نشان می‌دهد. بطور معمول، یک فریم، با بخش آغازین بنام پرچم شروع می‌شود، که ۸ بیت طول دارد. همین پرچم، به عنوان بخش انتهایی استفاده می‌شود. گیرنده، بدنبال وقوع الگوی پرچمی می‌گردد تا یک فریم را آغاز نماید. بدنبال این حالت، چند فیلد کنترلی و پس از آن فیلد داده (که برای اکثر پروتکل‌ها طول متغیر دارد) و فیلدهای کنترلی بیشتری قرار می‌گیرد، و در نهایت، الگوی پرچم تکرار می‌شود.

برای بلوک‌هایی با اندازه متغیر، انتقال سنکرون، کارایی خیلی بیشتر از آسنکرون دارد. انتقال آسنکرون، نیازمند سربار ۲۰٪ یا بیشتر می‌باشد. اطلاعات کنترل، الگوی آغازین، و الگوی انتهایی، در انتقال سنکرون معمولاً کمتر از ۱۰۰ بیت طول دارند. برای مثال، یکی از متداول‌ترین طرح‌ها، HDLC (فصل ۷) می‌باشد، که حاوی ۴۸ بیت کنترل، الگوی مقدماتی، و الگوی انتهایی است. بنابراین، برای بلوک داده‌ای ۱۰۰۰ کاراکتری، هر فریم حاوی ۴۸ بیت سربار و $8 \times 1000 = 8000$ بیت داده، با درصد سربار $\frac{48}{8048} \times 100 = 0.6\%$ می‌باشد.

٢-٦ انواع خطاها

در سیستم‌های انتقال دیجیتال، یک خط‌زمانی اتفاق می‌افتد که یک بیت، بین فرستنده و گیرنده تغییر نماید؛ یعنی ۱ باینری ارسال شود و صفر باینری دریافت شود، یا صفر باینری ارسال شود و ۱ باینری دریافت گردد. دو نوع کلی خطا می‌تواند اتفاق بیفتد: خطای تک بیتی، و خطای توده‌ای. خطای تک بیتی شرط بروز خطای مستقلی است که یک بیت را تغییر می‌دهد، اما بیت‌های مجاور را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. خطای توده‌ای با طول B ، دنباله پیوسته‌ای

شامل B بیت می باشد که در آن، اولین و آخرین بیت و هر تعدادی از بیت های میانی، به خطا دریافت می شوند. به بیان دقیق تر، IEEE std ۱۰۰، خطای توده ای را اینگونه تعریف می کند:

خطای توده ای: گروهی از بیت ها که در آن، دو بیت متوالی دارای خطا، همیشه توسط کمتر از x بیت صحیح جدا شده اند. آخرین بیت خطا در توده، و اولین بیت خطا در توده بعدی نیز با x یا بیشتر بیت صحیح، از یکدیگر جدا شده اند.

بنابراین، در خطای توده، گروهی از بیت ها هستند که در آنها چند خطا اتفاق می افتد، اگرچه لزوماً تمام بیت های این گروه، دارای خطا نمی باشند.

خطای تک بیتی می تواند در اثر وجود نویز سفید، هنگامی اتفاق بیفتد که کاهش اندکی در نسبت سیگنال به نویز، برای به اشتباه انداختن گیرنده در تصمیم برای یک بیت کافی باشد. خطاهای توده ای می توانند در اثر نویز ایمپالس بوجود آیند، که در فصل ۳ مورد بحث قرار گرفتند. علت دیگر آن، می تواند کم رنگ شدن در محیط بی سیم متحرک باشد. کم رنگ شدن در فصل ۱۴ بحث می شود.

توجه داشته باشید که اثرات خطاهای توده ای، در سرعت های بالا بیشتر است.

مثال ۱-۶. یک واقعه نویز ایمپالس یا یک واقعه کم رنگ شدن با مدت $1 \mu s$ اتفاق افتاده است. در سرعت انتقال داده ۱۰ Mbps، خطای توده ای آن ۱۰ بیت است. در سرعت انتقال داده ۱۰۰، ۱۰۰ Mbps، ۱۰۰ بیت خواهد بود.

۳-۶ آشکارسازی خطا

علیرغم طراحی سیستم های انتقال، خطا همواره وجود دارد، و باعث تغییر یک یا چند بیت در یک فریم ارسالی می شود. در آنچه در ادامه خواهد آمد، فرض می شود که داده ها به صورت یک یا چند دنباله پیوسته از بیت ها بنام فریم ها ارسال می گردند. این احتمالات، نسبت به خطاهای فریم ارسال شده تعریف می شوند:

P_b : احتمال اینکه یک بیت به صورت خطا دریافت گردد؛ سرعت خطای بیت (BER) نیز نامیده می شود.

P_1 : احتمال اینکه یک فریم بدون خطای بیتی دریافت شود.

P_2 : احتمال اینکه بایک الگوریتم آشکارسازی خطا، یک فریم، با یک یا چند خطای آشکار نشده دریافت شود.

P_3 : احتمال اینکه با یک الگوریتم آشکارساز خطا، یک فریم، با یک یا چند خطای بیتی آشکار شده و بدون خطاهای آشکار نشده دریافت شود.

ابتدا، حالتی را در نظر بگیرید که هیچ اقدامی برای آشکارسازی خطا صورت نگرفته باشد. در این صورت احتمال خطاهای آشکار شده (P_3) صفر است. به منظور فهم احتمالات دیگر، فرض کنید احتمال خطای هر بیت

(P_b) ثابت و مستقل از هر بیت دیگر باشد. در این صورت:

$$P_1 = (1 - P_b)^F$$

$$P_2 = 1 - P_1$$

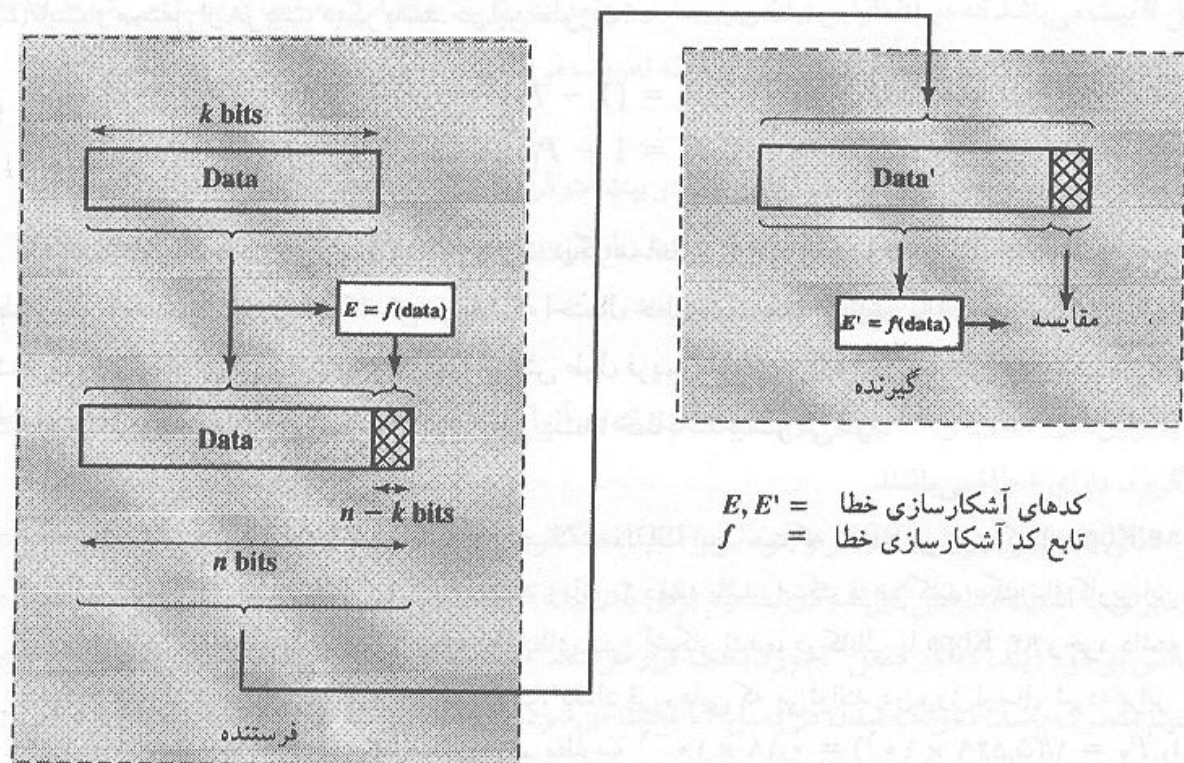
که F ، تعداد بیت‌ها در هر فریم است. به عبارت دیگر همانطور که انتظار می‌رود، احتمال اینکه یک فریم بدون خطای بی‌تی دریافت شود، زمانی کاهش می‌یابد که احتمال خطای یک بیت افزایش یابد. همچنین، احتمال اینکه یک فریم بدون خطای بی‌تی دریافت شود، با افزایش طول فریم، کاهش می‌یابد؛ هر چه طول فریم بیشتر باشد، بیت‌های بیشتری دارد، و احتمال اینکه یکی از این بیت‌ها خطا باشد بیشتر می‌شود.

مثال ۲-۶. یک هدف تعریف شده برای اتصالات ISDN این است که BER بر روی کانال ۶۴ Kbps باید کمتر از 10^{-6} در حداقل ۹۰٪ بازده‌های زمانی ۱ دقیقه باشد. اینک فرض کنید یک نیاز کاربر این است که بطور متوسط یک فریم در روز، با، خطای بی‌تی آشکار نشده، در کانالی با ۶۴ Kbps وجود داشته باشد. فرض کنید طول فریم ۱۰۰۰ بیت است. تعداد فریم‌هایی که می‌توانند در روز ارسال شود، برابر $5,529 \times 10^6$ می‌باشد که سرعت خطای فریم مطلوب $P_1 = 1/(5,529 \times 10^6) = 0,18 \times 10^{-6}$ را نتیجه می‌دهد. اما اگر فرض کنیم مقدار P_b برابر 10^{-6} باشد، در این صورت $P_1 = (0,999999)^{1000} = 0,999$ و بنابراین $P_2 = 10^{-3}$ خواهد بود که حدود سه برابر بیشتر از مقداری است که نیاز را برآورده نماید.

این همان نوع نتیجه‌ای است که باعث استفاده از تکنیکهای آشکارسازی خطاها می‌شود. همه این تکنیکها براساس این اصل عمل می‌نمایند (شکل ۳-۶). برای یک فریم از بیت‌ها، بیت‌های اضافی که شامل کد آشکارسازی خطا می‌باشند، توسط فرستنده افزوده می‌شوند. این کد به صورت تابعی از بیت‌های ارسالی دیگر محاسبه می‌گردد. بطور معمول، برای بلوک داده‌هایی شامل K بیت، الگوریتم آشکارسازی خطا، کد آشکارسازی خطایی را با $n - K$ بیت نتیجه می‌دهد که $(n - K) < K$. این کد آشکارسازی خطا، که بیت‌های بررسی نیز نامیده می‌شود، به بلوک داده اضافه می‌گردد تا فریمی شامل n بیت را برای ارسال تولید کند. گیرنده، فریم ورودی را به صورت K بیت داده و $(n - K)$ بیت کد آشکارسازی خطا تفکیک می‌نماید. گیرنده همان محاسبه آشکارسازی خطا را بر روی بیت‌های داده انجام می‌دهد و این مقدار را با مقدار کد آشکارسازی خطای دریافتی مقایسه می‌نماید. یک خطای آشکار شده زمانی است که اگر و فقط اگر یک عدم انطباق وجود داشته باشد. بنابراین، P_2 ، احتمال وجود خطا و آشکارسازی آن توسط این طرح آشکارسازی خطا است. P_2 نیز سرعت خطای باقیمانده نامیده می‌شود، یعنی علیرغم استفاده از طرح آشکارسازی خطا، خطای آشکار نشده‌ای وجود داشته باشد.

بررسی توازن

ساده‌ترین طرح آشکارسازی، افزودن بیت توازن به انتهای بلوک داده است. مثال معمول آن در انتقال کاراکتر می‌باشد، که بیت توازن به هر کاراکتر ۷ بیتی IRA افزوده می‌شود. مقدار این بیت بطوری انتخاب می‌شود که کاراکتر دارای تعداد ۱های زوج (توازن زوج) یا حاوی تعداد ۱های فرد باشد (توازن فرد) باشد.



شکل ۳-۶ فرآیند آشکارسازی خطا

مثال ۳-۶. اگر فرستنده، کد IRA را با مقدار $G(1110001)$ ارسال کند و از توازن فرد استفاده نماید، ۱ را به انتهای آن می‌افزاید و مقدار 11110001 را ارسال می‌کند.^۱ گیرنده، کاراکتر دریافتی را بررسی نموده و اگر تعداد کل یک‌ها فرد باشد، فرض می‌کند که خطایی اتفاق نیفتاده است. اگر یک بیت (یا تعداد فردی از بیت‌ها) به خطا در ضمن انتقال معکوس شود (برای مثال، 11100001)، گیرنده خطایی را آشکار می‌کند.

به هر حال، توجه داشته باشید که اگر دو (یا تعداد زوجی) از بیت‌ها در اثر خطا معکوس شوند، خطای آشکار نشده‌ای بروز خواهد نمود. به طور معمول، توازن زوج برای انتقال سنکرون و توازن فرد برای انتقال آسنکرون بکار می‌رود.

بررسی افزونگی دوره‌ای (CRC)

یکی از متداول‌ترین، و قدرتمندترین کدهای آشکارسازی خطا، بررسی افزونگی دوره‌ای (CRC) است، که اینگونه توصیف می‌شود. اگر بلوکی از بیت‌ها یا پیغامی با k بیت داده شود، فرستنده دنباله‌ای شامل $(n - k)$ بیت را به نام دنباله بررسی فریم (FCS) تولید می‌نماید، به طوری که فریم بدست آمده، شامل n بیت بوده، و به طور دقیق بر عدد از پیش تعیین شده‌ای قابل تقسیم باشد. سپس گیرنده، فریم دریافتی را بر این عدد تقسیم می‌کند، و اگر

۱- بخش ۵-۱ را بیاد آورید که کم‌ارزش‌ترین بیت کاراکتر ابتدا ارسال می‌شود و بیت توازن، با ارزش‌ترین بیت خواهد بود.

باقیمانده‌ای وجود نداشته باشد، فرض می‌کند که خطایی اتفاق نیفتاده است.^۱ به منظور واضح شدن مطلب، این رویه به سه روش معادل ارائه می‌شود: محاسبه باقیمانده تقسیم بر ۲، چند جمله‌ای‌ها، و منطق دیجیتال.

محاسبه مدول ۲

محاسبه مدول ۲، از جمع باینری بدون رقم‌های نقلی استفاده می‌کند، که فقط عمل XOR است. تفریق باینری بدون رقم نقلی نیز با عمل XOR انجام می‌گیرد، برای مثال:

$$\begin{array}{r} 1111 \\ + 1010 \\ \hline 0101 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1111 \\ - 0101 \\ \hline 1010 \end{array} \quad \begin{array}{r} 11001 \\ \times 11 \\ \hline 11001 \\ 11001 \\ \hline 11001 \\ 101011 \end{array}$$

اینک موارد زیر را تعریف می‌کنیم:

T = فریمی n بیتی که باید ارسال شود.

D = بلوک داده k بیتی یا پیغام موردنظر، که اولین k بیت در T است.

F = یک FCS با $(n - k)$ بیت، که آخرین $(n - k)$ بیت در T است.

P = الگوی $1 - k + n$ بیت؛ این همان مقسوم‌علیه از پیش تعیین شده است.

می‌خواهیم که $\frac{T}{P}$ باقیمانده نداشته باشد. واضح است که:

$$T = 2^{n-k}D + F$$

یعنی، با ضرب نمودن D در 2^{n-k} ، در عمل، آن را به سمت چپ به اندازه $n - k$ بیت انتقال داده‌ایم و به جای بیت‌های خارج شده، صفر قرار گرفته است. با جمع نمودن F ، الحاق D و F بدست می‌آید که همان T است. هدف این است که T دقیقاً بر P قابل تقسیم باشد. فرض کنید که $2^{n-k}D$ بر P تقسیم شود:

$$\frac{2^{n-k}D}{P} = Q + \frac{R}{P}$$

حاصل، دارای خارج قسمت و باقیمانده است. چون تقسیم، مدول ۲ است، باقیمانده همیشه حداقل یک بیت کوتاهتر از مقسوم‌علیه می‌باشد. این باقیمانده، به عنوان FCS استفاده می‌شود. سپس:

$$T = 2^{n-k}D + R$$

۱- این رویه کمی با شکل (۳-۶) متفاوت است. همانطور که دیده می‌شود، فرآیند CRC اینگونه پیاده‌سازی می‌گردد. گیرنده می‌تواند عمل تقسیمی را بر روی k بیت داده ورودی انجام دهد و نتیجه را با $(n - k)$ بیت بررسی، مقایسه نماید.

آیا این R ، شرط بدون باقیمانده بودن $\frac{T}{P}$ را برآورده می‌نماید؟ به منظور مشاهده این مطلب، در نظر بگیرید که:

$$\frac{T}{P} = \frac{2^{n-k}D + R}{P} = \frac{2^{n-k}D}{P} + \frac{R}{P}$$

با جایگزینی در معادله ۱-۶، داریم:

$$\frac{T}{P} = Q + \frac{R}{P} + \frac{R}{P}$$

به هر حال، هر عدد باینری اگر با متمم ۲ خودش جمع شود، حاصل آن صفر است. بنابراین:

$$\frac{T}{P} = Q + \frac{R + R}{P} = Q$$

باقیمانده‌ای ندارد، و بنابراین T دقیقاً بر P قابل تقسیم می‌باشد. در نتیجه، FCS براحتی تولید می‌شود: فقط $2^{n-k}D$ بر P تقسیم شود و از باقیمانده $(n - k)$ بیتی به عنوان FCS استفاده گردد. در زمان دریافت، گیرنده، T را بر P تقسیم می‌کند و اگر خطایی وجود نداشته باشد، باقیمانده‌ای وجود نخواهد داشت.

مثال ۴-۶

۱- داریم:

Message $D = 1010001101$ (10 bits)

Pattern $P = 110101$ (6 bits)

FCR $R =$ to be calculated (5 bits)

بنابراین، $n = 15$ ، $k = 10$ و $(n - k) = 5$.

۲- این پیغام، در 2^5 ضرب می‌شود و حاصل 101000110100000 خواهد بود.

۳- این حاصل، بر P تقسیم می‌شود:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{l}
 \leftarrow Q \\
 1101010110
 \end{array} \\
 \begin{array}{l}
 P \rightarrow 110101 \quad \overline{) 101000110100000} \\
 \underline{110101} \\
 111011 \\
 \underline{110101} \\
 111010 \\
 \underline{110101} \\
 111110 \\
 \underline{110101} \\
 101100 \\
 \underline{110101} \\
 110010 \\
 \underline{110101} \\
 01110 \leftarrow R
 \end{array}
 \end{array}$$

۴- باقیمانده، به $2^5 D$ افزوده می‌شود تا $T = 10100011010110$ بدست آید، که باید ارسال شود.

۵- اگر خطایی وجود نداشته باشد، گیرنده، T را بدون تغییر دریافت می‌کند. فریم دریافت شده بر P تقسیم می‌شود:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccccccccccc}
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & \leftarrow Q \\
 \hline
 P \rightarrow 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & / & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & \leftarrow T \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & & & & & & & & & & & & & & & & & \\
 \hline
 0 & \leftarrow R
 \end{array}
 \end{array}$$

چون باقیمانده‌ای وجود ندارد، فرض می‌شود که خطایی وجود نداشته است.

الگوی P طوری انتخاب می‌شود که یک بیت بیشتر از FCS موردنظر باشد، و الگوی دقیق بیت‌های انتخاب شده بستگی به نوع خطاهای مورد انتظار دارد. حداقل، بیت‌های بالاترین و پایین‌ترین مرتبه P باید ۱ باشد. روش جامعی برای مشخص نمودن وقوع یک یا چند خطا وجود دارد. یک خطا، باعث معکوس شدن یک بیت می‌شود. این حالت، معادل است با گرفتن XOR آن بیت با ۱ (جمع مدول ۲ آن بیت با یک): $1 + 1 = 0$ ؛ $0 + 1 = 1$. بنابراین، خطاهایی در فریمی n بیتی، می‌توانند با فیلدی n بیتی نشان داده شوند که در هر مکان خطا، 1 قرار گرفته است. در نتیجه، فریم T_r بدست آمده، اینگونه بیان می‌شود:

$$T_r = T \oplus E$$

که T = فریم ارسالی

E = الگوی خطا، با ۱‌هایی در موقعیت‌های خطا

T_r = فریم دریافتی

اگر خطایی وجود داشته باشد ($E \neq 0$)، گیرنده نمی‌تواند خطا را آشکار کند اگر و فقط اگر، T_r بر P قابل تقسیم باشد، که معادل است با قابل تقسیم بودن E بر P . در نتیجه، وقوع این حالت غیرمحتمل است.

چند جمله‌ای‌ها

راه دوم بررسی فرآیند CRC، در نظر گرفتن تمام مقادیر به صورت چند جمله‌ای‌هایی است با متغیر ساختگی X ، با ضرایب باینری. این ضرایب، معادل بیت‌های عدد باینری هستند. بنابراین، برای $D = 110011$ ، داریم: $D(X) = X^5 + X^4 + X + 1$ ، و برای $P = 11001$ ، داریم: $P(X) = X^4 + X^3 + 1$. اعمال محاسباتی باز

هم در مدول ۲ هستند. فرآیند CRC می تواند اینگونه توصیف شود:

$$\frac{X^{n-k}D(X)}{P(X)} = Q(X) + \frac{R(X)}{P(X)}$$

$$T(X) = X^{n-k}D(X) + R(X)$$

این معادلات را با معادله های ۱-۶ و ۲-۶ مقایسه کنید.

مثال ۵-۶ با استفاده از مثال قبلی، برای $D = 1010001101$ داریم:

$$D(x) = X^9 + X^7 + X^3 + X^2 + 1$$

و برای $P = 110101$ داریم $P(X) = X^5 + X^4 + X^2 + 1$ می توان با $R = 01110$ خاتمه داد، که معادل است یا $R(X) = X^3 + X^2 + X$. شکل (۴-۶) تقسیم چند جمله ای را نشان می دهد که معادل است با تقسیم باینری در مثال قبل.

- خطای $E(X)$ فقط زمانی غیر قابل آشکار شدن است که بر $P(X)$ قابل تقسیم باشد. می توان نشان داد که تمام خطاهای زیر بر $P(X)$ قابل تقسیم نیستند اگر $P(X)$ به درستی انتخاب شود، و بنابراین قابل آشکار شدن می باشند:
- تمام خطاهای تک بیتی، اگر $P(X)$ بیش از یک جمله غیر صفر داشته باشد.
- تمام خطاهای دوبیتی، تا زمانی که $P(X)$ دارای فاکتوری با سه جمله می باشد.
- هر تعداد فرد از خطا، تا زمانی که $P(X)$ حاوی یک فاکتور $(X + 1)$ است.
- هر خطای توده ای که برای آن، طول توده کمتر یا مساوی $n - k$ است؛ یعنی، کمتر یا مساوی طول FCS.
- بخشی از خطاهای توده ای با طول $n - k + 1$ ؛ این کسر معادل است $1 - 2^{-(n-k-1)}$.
- بخشی از خطاهای توده ای با طولی بزرگتر از $n - k + 1$ ؛ این کسر معادل است با $1 - 2^{-(n-k)}$.

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{r}
 X^9 + X^8 + X^6 + X^4 + X^2 + X \\
 \hline
 X^{14} \quad X^{12} \quad X^8 + X^7 + X^5
 \end{array}
 \quad \begin{array}{l}
 \leftarrow Q(X) \\
 \leftarrow X^5 D(X)
 \end{array} \\
 \begin{array}{r}
 X^{14} + X^{13} + \quad X^{11} + \quad X^9 \\
 \hline
 X^{13} + X^{12} + X^{11} + \quad X^9 + X^8 \\
 \hline
 X^{13} + X^{12} + \quad X^{10} + \quad X^8 \\
 \hline
 X^{11} + X^{10} + X^9 + \quad X^7 \\
 \hline
 X^{11} + X^{10} + \quad X^8 + \quad X^6 \\
 \hline
 X^9 + X^8 + X^7 + X^6 + X^5 \\
 \hline
 X^9 + X^8 + \quad X^6 + \quad X^4 \\
 \hline
 X^7 + \quad X^5 + X^4 \\
 \hline
 X^7 + X^6 + \quad X^4 + \quad X^2 \\
 \hline
 X^6 + X^5 + \quad X^2 \\
 \hline
 X^6 + X^5 + \quad X^3 + \quad X \\
 \hline
 X^3 + X^2 + X \leftarrow R(X)
 \end{array}
 \end{array}$$

شکل ۴-۶. مثالی از تقسیم چند جمله ای

علاوه بر آن، نشان داده می‌شود که اگر تمام الگوهای خطا با احتمال یکسان در نظر گرفته شوند، در این صورت برای خطای توده‌ای با طول $r + 1$ ، احتمال خطای آشکار نشده $E(X)$ بر $P(X)$ قابل تقسیم است) برابر $\frac{1}{2^{r+1}}$ است و برای توده طولانی، این احتمال، $\frac{1}{2^r}$ می‌باشد، که r ، طول FCS است. چهار روایت از $P(X)$ به طور گسترده استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned}\text{CRC-12} &= X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X + 1 \\ \text{CRC-16} &= X^{16} + X^{15} + X^2 + 1 \\ \text{CRC-CCITT} &= X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \\ \text{CRC-32} &= X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} \\ &\quad + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1\end{aligned}$$

سیستم CRC-12 برای انتقال دنباله‌ای از کاراکترهای ۱۶ بیتی استفاده می‌شود و FCS های ۱۲ بیتی تولید می‌کند. هر دوی CRC-16 و CRC-CCITT، برای کاراکترهای ۸ بیتی به ترتیب در ایالات متحده و اروپا استفاده می‌شوند، و هر دوی آنها، FCS های ۱۶ بیتی تولید می‌کنند. این حالت، برای اکثر کاربردها مناسب است، اگرچه CRC-32، در برخی استانداردهای ارسال سنکرون نقطه به نقطه استفاده می‌شود و در استانداردهای IEEE 802 LAN نیز بکار می‌رود.

منطق دیجیتال

فرآیند CRC می‌تواند به صورت مدار تقسیم کننده‌ای شامل گیت‌های XOR و شیفتر رجیسترها، نشان داده شود و پیاده‌سازی گردد. این شیفتر رجیستر، رشته‌ای از حافظه‌های یک بیتی است. هر دستگاه، یک خط خروجی است، که نشان دهنده مقدار جاری ذخیره شده می‌باشد، و یک خط ورودی نیز دارد. در زمانهای گسسته، به نام زمانهای ساعت، مقدار موجود در دستگاه حافظه، با مقدار نشان داده شده توسط خط خروجی آن، نشان داده می‌شود. به تمامی این رجیستر به طور همزمان پالس ساعت داده می‌شود، و باعث می‌گردد یک بیت شیفتر، در تمام رجیستر انجام شود.

مدار آن اینگونه پیاده‌سازی می‌شود:

- ۱- این رجیستر حاوی $n - k$ بیت است، معادل طول FCS.
- ۲- حداکثر $n - k$ گیت XOR وجود دارد.
- ۳- وجود یا عدم وجود یک گیت، معادل وجود یا عدم وجود یک جمله، در چند جمله‌ای مقسوم علیه $P(X)$ می‌باشد، بدون در نظر گرفتن جمله ۱ و X^{n-k} .

مثال ۶-۶. معماری مدار CRC، با در نظر گرفتن مثال ۵-۶ به خوبی توضیح داده می‌شود. در این مثال، داریم:

$$\begin{aligned}\text{Data } D &= 1010001101; & D(X) &= X^9 + X^7 + X^3 + X^2 + 1 \\ \text{Divisor } P &= 110101; & P(X) &= X^5 + X^4 + X^2 + 1\end{aligned}$$

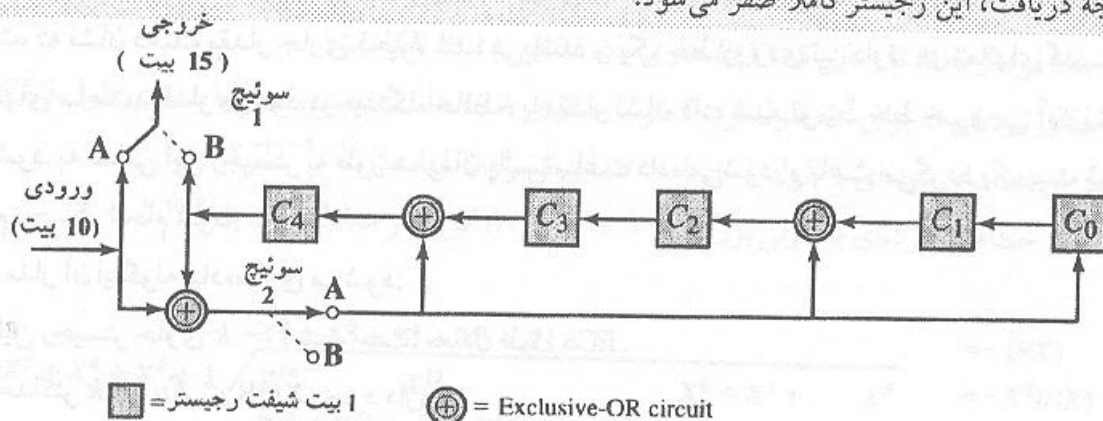
که قبلاً استفاده شده است.

شکل (۵-۶ - الف)، پیاده‌سازی شیفتر رجیستر را نشان می‌دهد. این فرآیند، با پاک کردن شیفتر

رجیستر (صفر نمودن) شروع می‌گردد. این پیغام، یا مقسوم، یک بیت در هر دفعه، با شروع از با ارزش‌ترین بیت وارد آن می‌شود. شکل (۵-۶-ب)، جدولی است که مرحله به مرحله، این عمل، با ورود یک بیت در هر دفعه، نشان می‌دهد. هر سطر جدول، مقادیری را نشان می‌دهد که در آن لحظه، در پنج عنصر شیفت رجیستر قرار دارند. علاوه بر آن، این سطر، مقادیری را نشان می‌دهد که در خروجی سه مدار XOR ظاهر می‌شوند. در نهایت، این سطر، مقدار بیت بعدی ورودی را نشان می‌دهد، که برای عملکرد مرحله بعدی لازم است.

توجه داشته باشید که عملکرد XOR، بر C_4 ، C_3 ، و C_0 در انتقال بعدی تأثیر می‌گذارد. این حالت، مشابه فرآیند تقسیم طولانی باینری است که قبلاً نشان داده شده است. این فرآیند برای بیت‌های پیغام ادامه می‌یابد. به منظور تولید خروجی مناسب، دو سوئیچ استفاده می‌شود. بیت‌های داده ورودی، توسط هر دو سوئیچ در موقعیت A تغذیه می‌شوند. در نتیجه، برای اولین ۱۰ مرحله، بیت‌های ورودی، به شیفت رجیستر وارد می‌شوند و همچنین به عنوان بیت‌های خروجی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. پس از پردازش آخرین بیت داده، این شیفت رجیستر، حاوی باقیمانده (FCS) (به صورت سایه‌دار نشان داده شده) می‌باشد. به محض این که آخرین بیت داده به شیفت رجیستر داده شد، هر دو سوئیچ در موقعیت B قرار می‌گیرند. این عمل، دو اثر را به دنبال دارد: (۱) تمام گیت‌های XOR، عبور ساده را انجام می‌دهند؛ هیچ بیتی تغییر نمی‌کند، و (۲) با ادامه فرآیند شیفت، ۵ بیت CRC، خروجی هستند.

در سمت گیرنده، همین منطق استفاده می‌شود. با ورود هر بیت M ، در شیفت رجیستر ذخیره می‌گردد. اگر خطایی وجود نداشته باشد، این شیفت رجیستر باید حاوی الگوی بیت R مربوط به M باشد. بیت‌های ارسال شده R نیز اینک وارد می‌شوند، و اثر آن، خروجی صفر در این رجیستر است، به طوری که، در نتیجه دریافت، این رجیستر کاملاً صفر می‌شود.



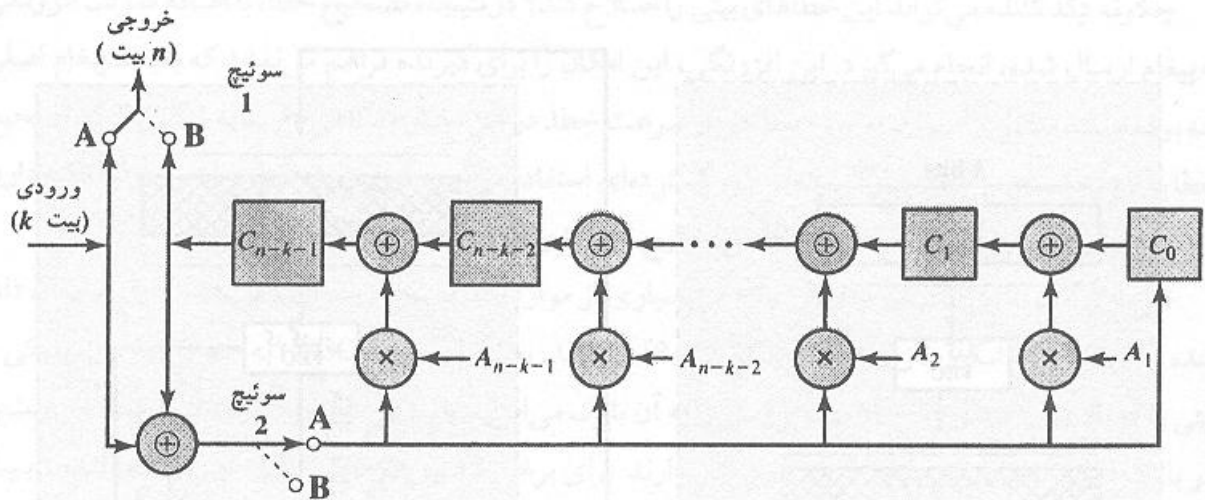
(الف) پیاده سازی شیفت رجیستر

	C_4	C_3	C_2	C_1	C_0	$C_4 \oplus C_3 \oplus I$	$C_4 \oplus C_1 \oplus I$	$C_4 \oplus I$	$I = \text{input}$
Initial	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Step 1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
Step 2	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Step 3	1	1	1	1	0	0	0	1	0
Step 4	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Step 5	1	0	0	1	0	1	0	1	0
Step 6	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Step 7	0	0	0	1	0	1	0	1	1
Step 8	1	0	0	0	1	1	1	1	0
Step 9	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Step 10	0	1	1	1	0				

پیغامی که باید ارسال شود

(ب) مثالی با ورودی 1010001101

شکل ۵-۶ مدار بیت‌های رجیسترها برای تقسیم هر چند جمله‌ای $X^5 + X^4 + X^2 + 1$



شکل ۵-۶ معماری کلی برای پیاده‌سازی مقسوم علیه

$$(1 + A_1X + A_2X^2 + \dots + A_{n-k-1}X^{n-k-1} + X^{n-k})$$

شکل (۶-۶)، معماری کلی پیاده‌سازی CRC با شیفت رجیستر را برای چند جمله‌ای $P(X) = \sum_{i=0}^{n-k} A_i X^i$ که $A_0 = A_{n-k} = 1$ و تمام A_i های دیگر صفر یا ۱ هستند، نشان می‌دهد.^۱

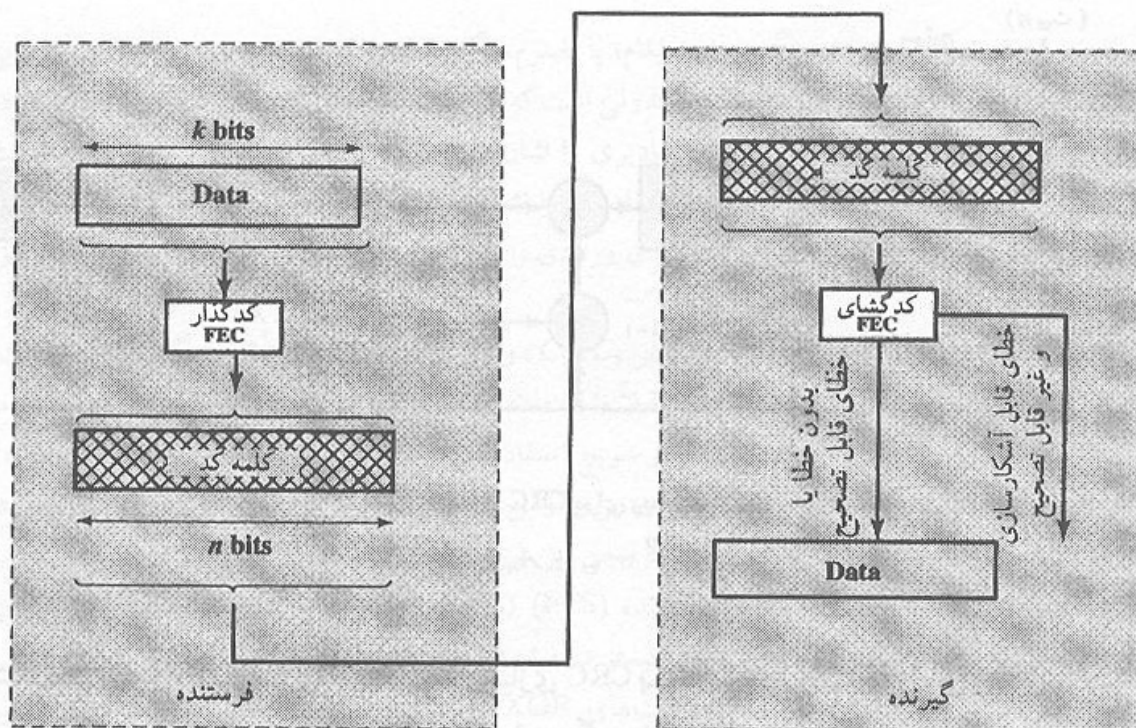
۶-۴ تصحیح خطا

آشکار سازی خطا

آشکار سازی خطا، تکنیک مفیدی است، که در پروتکل‌های کنترل اتصال داده، مانند HDLC، و در پروتکل‌های انتقال، مانند TCP، قرار دارد. به هر حال، تصحیح خطاها با استفاده از یک کد آشکار سازی خطا، نیازمند این است که بلوک داده‌ها دوباره ارسال شود، همانطور که در فصل ۷ توضیح داده شد. برای کاربردهای بی‌سیم، این روش به دو دلیل نامناسب است:

- ۱- سرعت خطای بی‌تی در یک اتصال بی‌سیم می‌تواند بسیار زیاد باشد، که باعث انجام ارسال‌های مجدد بسیاری می‌شود.
- ۲- در برخی موارد، مخصوصاً اتصال ماهواره، تأخیر انتشار، در مقایسه با زمان انتقال یک فریم سیگنال، بسیار طولانی است. نتیجه این که سیستم بسیار کارایی پایینی خواهد داشت. همانطور که در فصل ۷ بحث خواهد شد، روش متداولی برای انتقال مجدد، انتقال مجدد فریم دارای خطا به علاوه تمام فریم‌های بعدی است. در یک اتصال داده طولانی، خطا در یک فریم، باعث ارسال مجدد بسیاری از فریم‌ها می‌شود.

۱- برای رجیستر CRC، معمولاً شیفت به راست انجام می‌شود، که برعکس عمل تقسیم باینری است. چون در اعداد باینری معمولاً با ارزش‌ترین بیت در سمت چپ قرار دارد، یک شیفت رجیستر انتقال به چپ، مانند آنچه اینجا استفاده شده، مناسب می‌باشد.



شکل ۶-۷ فرآیند تصحیح خطا

در عوض، این نکته نیز مطلوب است که گیرنده بتواند خطاهای انتقال را بر مبنای بیت‌های همان انتقال اصلاح نماید. شکل (۶-۷)، به طور کلی، روش انجام این عمل را نشان می‌دهد. در سمت فرستنده، هر بلوک داده k بیتی، به یک بلوک n بیتی ($n > k$) به نام کلمه کد، تصویر می‌شود، با استفاده از کدکننده FEC (تصحیح خطای پیشرو). سپس این کلمه کد منتقل می‌گردد. در ضمن انتقال، این سیگنال در معرض موانعی قرار دارد که ممکن است خطاهای بیتی را در سیگنال ایجاد نمایند. در سمت گیرنده، سیگنال ورودی دمدوله شده تارشته‌ای از بیت‌ها را تولید کند که مشابه کلمه کد اصلی بوده، اما نتیجه آن ممکن است دارای خطا باشد. این بلوک، از یک دِکد کننده FEC عبور داده می‌شود، با یکی از چهار نتیجه ممکن:

- ۱- اگر خطای بیتی وجود نداشته باشد، خروجی دِکد کننده FEC، مشابه کلمه کد اصلی است، و این دِکد کننده، به عنوان خروجی، بلوک داده اصلی را تولید می‌کند.
- ۲- برای الگوهای خطای خاصی، امکان دارد که دِکد کننده بتواند آن خطاها را شناسایی و اصلاح نماید. بنابراین، حتی اگر بلوک داده ورودی، با کلمه کد ارسالی متفاوت باشد، دِکد کننده FEC می‌تواند این بلوک را به بلوک داده اصلی، تصویر نماید.
- ۳- برای الگوهای خطای خاصی، دِکد کننده می‌تواند خطاها را آشکار کند ولی قادر به تصحیح آنها نیست. در این حالت، دِکد کننده فقط خطای غیر قابل اصلاح شدن را گزارش می‌دهد.
- ۴- برای الگوهای خطای خاص و معمولاً کمیاب، دِکد بروز چنین خطاهایی را آشکار نمی‌کند و بلوک داده n بیتی را به بلوکی k بیتی تصویر می‌کند که با بلوک داده اصلی k بیتی متفاوت است.

چگونه دِکد کننده می تواند این خطاهای بیتی را اصلاح کند؟ در نتیجه، تصحیح خطا، با اضافه نمودن افزونگی به پیغام ارسال شده، انجام می گیرد. این افزونگی، این امکان را برای گیرنده فراهم می نماید که بفهمد پیغام اصلی چه بوده است، حتی در صورت وجود سطحی از سرعت خطا. در این بخش، نگاهی داریم به شکلی از کد تصحیح خطا به نام کد تصحیح خطای بلوکی، که به طور گسترده ای استفاده می شود. این بحث فقط بر اصول اولیه تکیه دارد؛ بحث در مورد کدهای تصحیح خطای خاص، خارج از محدوده این کتاب است.

قبل از ادامه، به این نکته توجه داریم که در بسیاری از موارد، کد تصحیح خطا، شامل همان اجزاء نشان داده شده برای کدهای آشکارسازی خطای شکل (۳-۶) می باشد. یعنی، الگوریتم FEC، به عنوان ورودی، بلوکی k بیتی را دریافت می کند و $(n-k)$ بیت بررسی را به آن بلوک می افزاید تا بلوکی n بیتی را تولید کند؛ تمام این بیت ها در بلوک k بیتی اصلی، در بلوک n بیتی نیز قرار دارند. برای برخی الگوریتم های FEC، این الگوریتم، k بیت ورودی را به کلمه کد n بیتی تصویر می نماید به طوری که k بیت اصلی در کلمه کد ظاهر نشود.

اصول کد بلوکی

برای شروع، عبارتی را تعریف می کنیم که در ادامه استفاده می شود. فاصله همینگ (v_1 و v_2) d بین دو دنباله n بیتی باینری v_1 و v_2 ، تعداد بیت هایی است که v_1 و v_2 با هم تفاوت دارند. برای مثال، اگر:

$$v_1 = 011011, \quad v_2 = 110001$$

در این صورت:

$$d(v_1, v_2) = 3$$

اینک تکنیک کد بلوکی را برای تصحیح خطا در نظر بگیرید. فرض کنید می خواهیم بلوکی از داده ها را با طول k بیت ارسال نمائیم. به جای ارسال هر بلوک به صورت k بیتی، هر دنباله k بیتی، به کلمه کدی n بیتی و منحصر به فرد تصویر می گردد.

مثال ۶-۷. برای $k = 2$ و $n = 5$ ، انتساب های زیر انجام می شود:

Data block	Codeword
00	00000
01	00111
10	11001
11	11110

اینک فرض کنید که یک بلوک کلمه کد با الگوی بیتی ۰۰۱۰۰ دریافت شده است. این کلمه کد، معتبر نیست و بنابراین گیرنده خطایی را آشکار نموده است. آیا این خطا قابل تصحیح است؟ نمی توان مطمئن بود چه بلوک داده ای ارسال شده زیرا ۱، ۲، ۳، ۴، یا حتی هر ۵ بیت ارسال شده ممکن است در اثر نویز خراب شده باشند. به هر حال، توجه داشته باشید که فقط تغییر در یک بیت لازم است تا کلمه معتبر ۰۰۰۰۰ را به ۰۰۱۰۰ تبدیل کند. تغییر در دو بیت برای تبدیل ۰۰۱۱۱ به ۰۰۱۰۰ و تغییر در سه بیت برای تبدیل ۱۱۱۱۰ به ۰۰۱۰۰ و تغییر در چهار بیت برای تبدیل ۱۱۰۰۱ به ۰۰۱۰۰، لازم است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که محتمل ترین کلمه کدی که ارسال شده، ۰۰۰۰۰ بوده و بنابراین، بلوک داده مورد نظر، ۰۰ است. این عمل، تصحیح خطا است. برحسب فاصله همینگ داریم:

$$d(00000, 00100) = 1; \quad d(00111, 00100) = 2;$$

$$d(11001, 00100) = 4; \quad d(11110, 00100) = 3$$

بنابراین، قانونی که باید بکار رود این است که اگر کلمه کد نامعتبری دریافت شود، کلمه کد معتبر انتخاب شده، نزدیکترین کلمه کد به آن (حداقل فاصله) می باشد. این روش زمانی کار می کند که یک کلمه کد منحصر به فرد معتبر در فاصله حداقل، از هر کلمه کد نامعتبر، وجود داشته باشد.

در این مثال، این مطلب درست نیست که برای هر کلمه کد نامعتبر، فقط و فقط یک کلمه کد معتبر در فاصله حداقل وجود دارد. $32 = 25$ کلمه کد ممکن وجود دارد که از آنها ۴ مورد معتبر می باشد، و ۲۸ کلمه کد دیگر نامعتبر هستند. برای کلمه های کد نامعتبر، موارد زیر را داریم:

Invalid codeword	Minimum distance	Valid codeword	Invalid codeword	Minimum distance	Valid codeword
00001	1	00000	10000	1	00000
00010	1	00000	10001	1	11001
00011	1	00111	10010	2	00000 or 11110
00100	1	00000	10011	2	00111 or 11001
00101	1	00111	10100	2	00000 or 11110
00110	1	00111	10101	2	00111 or 11001
01000	1	00000	10110	1	11110
01001	1	11001	10111	1	00111
01010	2	00000 or 11110	11000	1	11001
01011	2	00111 or 11001	11010	1	11110
01100	2	00000 or 11110	11011	1	11001
01101	2	00111 or 11001	11100	1	11110
01110	1	11110	11101	1	11001
01111	1	00111	11111	1	11110

هشت حالت وجود دارد که یک کلمه کد نامعتبر در فاصله ۲ از دو کلمه کد معتبر متفاوت قرار گیرد. بنابراین، اگر یک چنین کلمه کد نامعتبری دریافت شود، خطایی در ۲ بیت، می تواند باعث ایجاد آن شده باشد، و گیرنده نمی تواند بین این دو حالت انتخاب نماید. یک خطا آشکار شده است اما نمی تواند اصلاح شود. به هر حال، در هر حالتی که در آن، یک بیت خطا اتفاق بیفتد، کلمه کد بدست آمده، در فاصله ۱ از فقط یک کلمه کد معتبر قرار دارد و تصمیم می تواند گرفته شود. بنابراین، کد مورد نظر می تواند تمام خطاهای یک بیتی را اصلاح کند. اما نمی تواند خطاهای دو بیتی را تصحیح نماید. راه دیگر برای مشاهده این مطلب، نگاهی است به فواصل بین دو کلمه کد معتبر:

$$d(00000, 00111) = 3; \quad d(00000, 11001) = 3; \quad d(00000, 11110) = 4;$$

$$d(00111, 11001) = 4; \quad d(00111, 11110) = 3; \quad d(11001, 11110) = 3;$$

حداقل فاصله بین کلمه های کد معتبر، ۳ است. بنابراین، خطای یک بیتی، باعث تولید کلمه کد نامعتبر می شود که در فاصله ۱ از کلمه کد اصلی قرار دارد، اما فاصله ای حداقل ۲ از تمام کلمه های کد معتبر دیگر دارد. در نتیجه، این کد همیشه می تواند خطای یک بیتی را اصلاح نماید. توجه داشته باشید که این کد همواره خطای دو بیتی را آشکار می کند.

مثال قبل، خواص ضروری یک کد تصحیح خطای بلوکی را نشان می‌دهد. کد بلوکی $An(n, k)$ ، می‌تواند k بیت داده را به کلمه‌های کدی n بیتی، کد نماید. معمولاً، هر کلمه کد معتبر، می‌تواند k بیت داده اولیه را تولید کند و $(n - k)$ بیت بررسی را به آنها می‌افزاید تا کلمه کدی n بیتی را تشکیل دهند. بنابراین، طراحی یک کد بلوکی، معادل است با طراحی تابعی به شکل $v_c = f(v_d)$ که v_d برداری شامل k بیت داده، و v_c برداری شامل کلمه کدی n بیتی می‌باشد.

با کد بلوکی (n, k) می‌توان 2^k کلمه کد معتبر را از مجموع 2^n کلمه کد ممکن، بدست آورد. نسبت بیت‌های اضافی به بیت‌های داده، $\frac{(n - k)}{k}$ ، افزونگی کد نامیده می‌شود، و نسبت بیت‌های داده به کل بیت‌ها، $\frac{k}{n}$ ، را سرعت کد می‌نامند. سرعت کد، معیاری است از میزان پهنای باند اضافی لازم برای حمل داده‌ها، با همان سرعت انتقال داده در حالتی که این کد وجود ندارد. برای مثال، سرعت کدی برابر $\frac{1}{4}$ ، نیازمند دو برابر نمودن ظرفیت انتقال یک سیستم کد نشده است تا همان سرعت انتقال داده را بدست آورد. این مثال، سرعت کدی معادل $\frac{2}{5}$ دارد و بنابراین نیازمند 2.5 برابر نمودن ظرفیت سیستم کد نشده است. برای مثال، اگر سرعت انتقال داده ورودی به کدکننده، برابر Mbps ۱ باشد، در این صورت، خروجی کدکننده باید سرعت Mbps ۲.۵ داشته باشد تا آن را حفظ کند.

برای کدی شامل کلمه‌های کد $w_1, w_2, \dots, w_s, \dots, w_{2^k}$ ، که $s = 2^k$ ، حداقل فاصله $d_{\min}$ برای این کد برابر است با:

$$d_{\min} = \min_{i \neq j} [(w_i, w_j)]$$

نشان داده می‌شود که شرایط زیر برقرار است. برای یک عدد صحیح مثبت t ، اگر کدی، شرط $d_{\min} \geq 2t + 1$ را داشته باشد، تمام خطاهایی تا t بیت را اصلاح می‌کند. اگر $d_{\min} \geq 2t$ باشد، تمام خطاهای کمتر یا مساوی $t - 1$ بیت قابل اصلاح هستند و خطاهایی با t بیت آشکار می‌شوند ولی عموماً اصلاح نمی‌گردند. برعکس، هر کدی که برای آن تمام خطاهایی با اندازه کمتر مساوی t بیت تصحیح می‌شوند، باید شرط $d_{\min} \geq 2t + 1$ را داشته باشد، و هر کدی که برای آن همه خطاهایی با اندازه کمتر مساوی $t - 1$ بیت تصحیح می‌شوند و تمام خطاهایی با اندازه t بیت آشکار می‌شوند، باید شرط $d_{\min} \geq 2t$ را داشته باشد.

راه دیگر یافتن رابطه‌ای بین $d_{\min}$ و t این است که بگوییم، حداکثر تعداد خطاهای قابل اصلاح تضمین شده برای هر کلمه کد، این شرط را دارد:

$$t = \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor$$

که $\lfloor x \rfloor$ به معنی بزرگترین عدد صحیح است که از x بیشتر نباشد (برای مثال، $\lfloor 6.3 \rfloor = 6$). علاوه بر آن، اگر هدف فقط آشکارسازی خطا باشد و نه تصحیح آن، در این صورت، تعداد خطاها (t)، که قابل آشکار شدن می‌باشد برابر است با:

$$t = d_{\min} - 1$$

برای مشاهده این مطلب، در نظر بگیرید که اگر $d_{\min}$ خطا اتفاق بیفتد، این حالت می‌تواند یک کلمه کد معتبر را به دیگری تغییر دهد. هر تعداد خطایی کمتر از $d_{\min}$ ، نمی‌تواند کلمه کد معتبر دیگری را تولید کند.

طراحی یک کد بلوکی شامل در نظر گرفتن چندین نکته است:

۱- برای مقادیر n و k ، هدف، یافتن بیشترین مقدار ممکن برای $d_{\min}$ است.

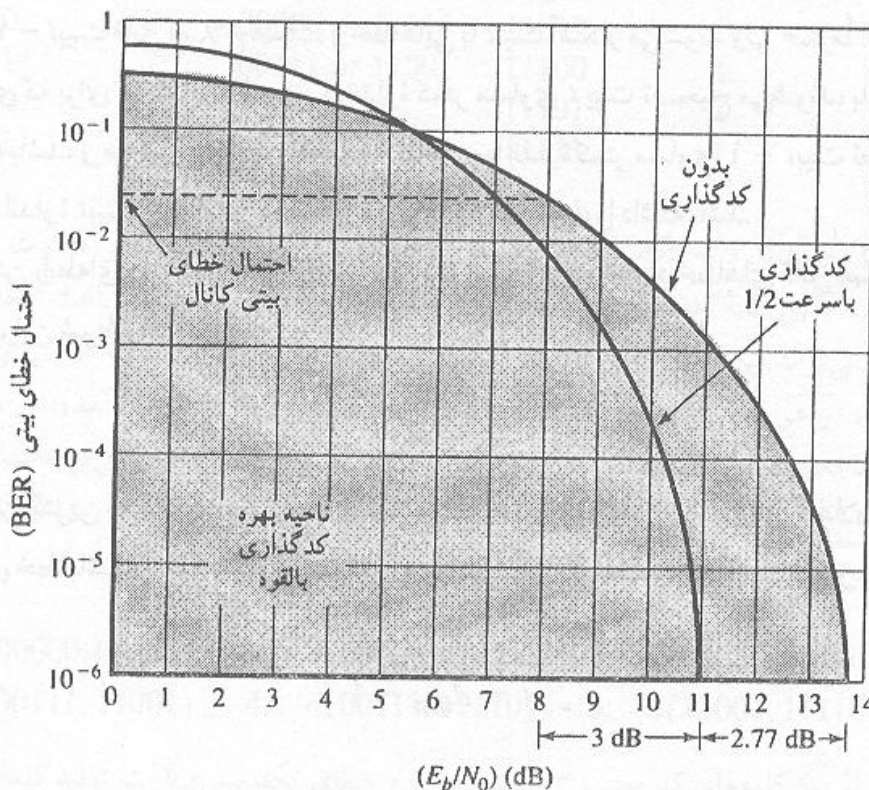
۲- این کد باید نسبتاً ساده باشد تا عمل کدگذاری و دکد نمودن، نیازمند حداقل حافظه و زمان پردازش باشد.

۳- تعداد بیت‌های اضافی، $(n - k)$ ، باید تا حد امکان کم باشد تا پهنای باند کاهش یابد.

۴- تعداد بیت‌های اضافی، $(n - k)$ ، باید تا حد امکان زیاد باشد تا سرعت خطا کاهش یابد.

واضح است که آخرین دو هدف ذکر شده، با یکدیگر متناقض هستند، و تدابیری باید اندیشیده شود.

توصیه می‌شود که شکل (۶-۸) بررسی شود، بر مبنای مرجع [LEBO98]. مفهوم کدهای تصحیح خطا معمولاً شامل گرافهایی از این نوع است تا مؤثر بودن طرح‌های مختلف کدگذاری را نشان دهند. در فصل ۵ بیان شد که از کدگذاری برای کاهش مقدار $\frac{E_b}{N_0}$ به منظور دستیابی به سرعت خطای مطلوب می‌تواند استفاده شود.^۱ روش‌های کدگذاری بحث شده در فصل ۵، باید برای نشان دادن بیت‌ها، از تعریف عناصر سیگنال استفاده نمایند. کدگذاری بحث شده در این فصل بر $\frac{E_b}{N_0}$ نیز تأثیر دارد. در شکل (۶-۸)، منحنی سمت راست، برای یک سیستم مدولاسیون کد نشده رسم شده است؛ ناحیه سایه‌دار، محدوده‌ای را نشان می‌دهد که در آن، ارتقاء قابل انجام است. در این ناحیه، برای یک مقدار مشخص $\frac{E_b}{N_0}$ ، مقدار BER (سرعت خطای بیتی) کمتری بدست می‌آید، و در نتیجه، برای یک BER مشخص، مقدار $\frac{E_b}{N_0}$ کمتری لازم است. منحنی دیگر، نتیجه‌ای معمولی برای سرعت نصف (تعداد مساوی بیت‌های داده و بیت‌های بررسی) می‌باشد. توجه داشته باشید که با سرعت خطای 10^{-5} ، استفاده از کدگذاری، باعث کاهش $\frac{E_b}{N_0}$ به اندازه ۲٫۷۷ dB می‌شود. این کاهش، بهره کدگذاری نامیده می‌شود، که اینگونه تعریف می‌گردد: کاهش مقدار لازم برای $\frac{E_b}{N_0}$ بر حسب دسیبل، برای دستیابی به BER مشخص در یک سیستم کدگذاری تصحیح خطا، در مقایسه با سیستم کد نشده، با استفاده از همان روش مدولاسیون.



شکل ۶-۸ چگونه کدگذاری کارایی سیستم را ارتقاء می‌دهد

۱- نسبت انرژی سیگنال برای هر بیت، به دانسیته قدرت نویز برای هر هرتز می‌باشد که در فصل ۳ بحث شده است.

فهم این نکته مهم است که مقدار BER برای منحنی دوم با $\frac{1}{4}$ سرعت، به سرعت خطاهای تصحیح نشده اشاره دارد، و این که، مقدار E_b به انرژی برای هر بیت اشاره می‌نماید. چون سرعت، $\frac{1}{4}$ است، دو بیت بر روی کانال برای هر بیت داده وجود دارد، و انرژی برای هر بیت کد شده، نصف انرژی برای هر بیت داده می‌باشد، که کاهش ۳ dB است. اگر به انرژی برای هر بیت کد شده برای این سیستم توجه کنید. مشاهده خواهید نمود که سرعت خطای بی‌تی کانال، در حدود $2,4 \times 10^{-2}$ تا $0,024$ می‌باشد.

در نهایت، توجه داشته باشید که اگر $\frac{E_b}{N_0}$ کمتر از یک سطح معین، این طرح کد گذاری باعث کاهش کارایی می‌گردد. در مثال شکل (۸-۶)، این سطح در حدود ۵,۴ dB قرار دارد. کمتر از این سطح، بیت‌های بررسی اضافی، سربار زیادی را به سیستم می‌افزایند که باعث کاهش انرژی هر بیت داده شده و خطاها را افزایش می‌دهد. بالاتر از آن سطح، قدرت تصحیح خطای این کد، بیشتر از تضعیف میزان کاهش یافته E_b است، و در نتیجه، بهره کد گذاری را به دنبال دارد.

۵-۶ پیکربندی‌های خط

دو خصوصیت است که پیکربندی‌های متعدد اتصال داده را متمایز می‌نماید، اول، توپولوژی و دوم این که آیا این اتصال full duplex است یا half duplex.

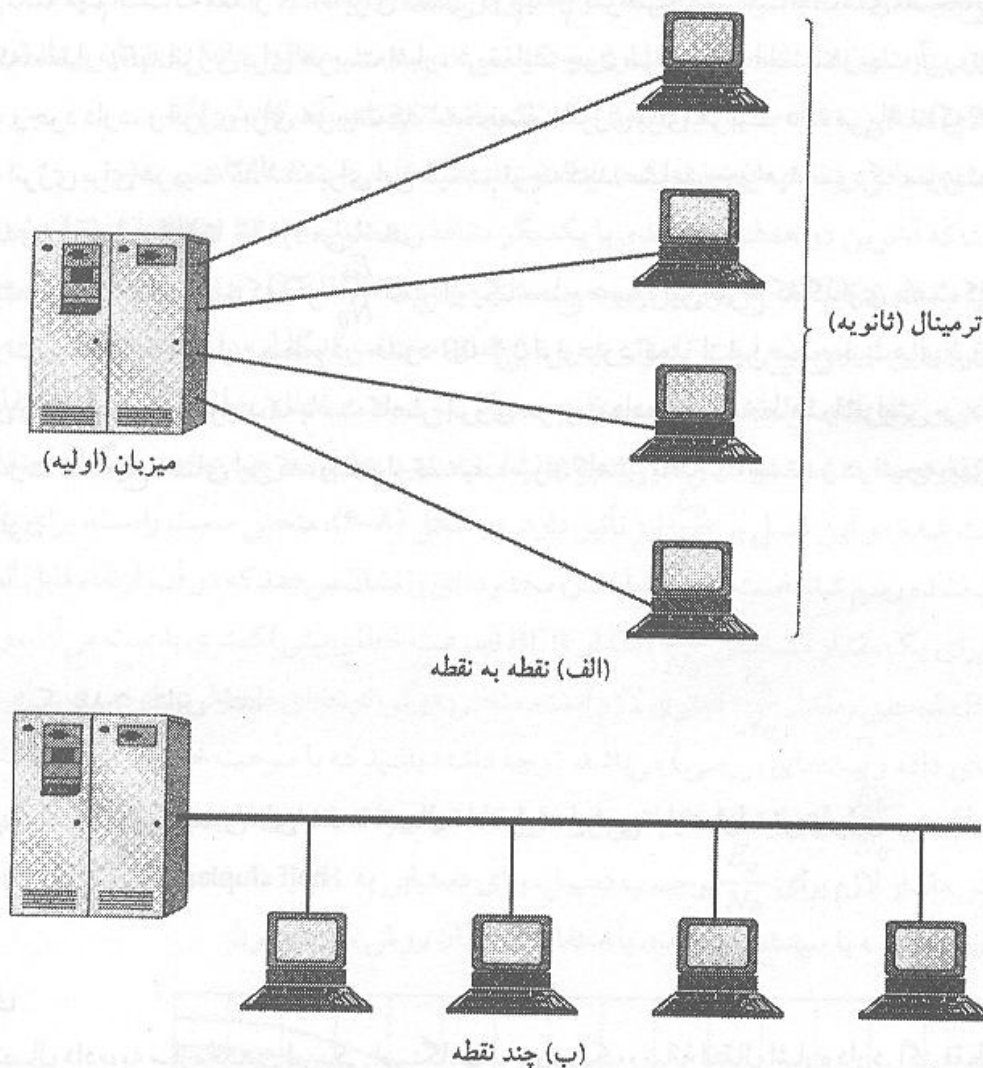
توپولوژی

توپولوژی اتصال داده، به سازماندهی فیزیکی ایستگاهها بر روی یک رسانه انتقال اشاره دارد. اگر فقط دو ایستگاه وجود داشته باشد، (برای مثال، یک ترمینال و یک کامپیوتر، یا دو کامپیوتر)، این اتصال، نقطه به نقطه است. اگر بیش از دو ایستگاه وجود داشته باشد، یک توپولوژی چند نقطه‌ای است. به طور معمول، یک اتصال چند نقطه‌ای، برای یک کامپیوتر (ایستگاه اولیه)، و مجموعه‌ای از ترمینالها (ایستگاههای ثانویه) استفاده می‌شود. در محیط‌های امروزی، توپولوژی چند نقطه‌ای، در شبکه‌های محلی یافت می‌شود.

توپولوژی‌های چند نقطه‌ای متداول، زمانی امکان‌پذیرند که ترمینالها فقط در بخشی از زمان عمل انتقال را انجام دهند. شکل (۹-۶) فواید پیکربندی چند نقطه‌ای را نشان می‌دهد. اگر هر ترمینال، اتصال نقطه به نقطه‌ای با کامپیوتر خود داشته باشد، آن کامپیوتر باید یک پورت I/O برای هر ترمینال فراهم نماید. همچنین، خط انتقال مجزایی از کامپیوتر به هر ترمینال لازم است. در پیکربندی چند نقطه‌ای، کامپیوتر فقط به یک پورت I/O و یک خط انتقال نیاز دارد که باعث کاهش هزینه می‌گردد.

Full Duplex و Half Duplex

تبادل داده بر روی خط انتقال، می‌تواند در قالب full duplex و half duplex دسته‌بندی شود. در انتقال half duplex، فقط یکی از دو ایستگاه، در یک اتصال نقطه به نقطه، می‌توانند در یک لحظه ارسال نمایند. این روش، دو طرفه متوالی نیز نامیده می‌شود، و این واقعیت را بیان می‌کند که دو ایستگاه باید به طور متوالی انتقال را انجام دهند.



شکل ۹-۶ پیکربندی‌های متداول کامپیوتر - ترمینال

این عمل، می‌تواند با پل دو طرفه با یک مسیر، مقایسه شود. این شکل انتقال، اغلب برای تعامل ترمینال با کامپیوتر استفاده می‌شود. در ضمن این که کاربر داده‌ای را برای ارسال وارد می‌کند، کامپیوتر نباید داده‌ای را به ترمینال ارسال نماید که قرار است بر روی صفحه ترمینال ظاهر شود، و باعث سردرگمی گردد.

در انتقال full duplex، دو ایستگاه می‌توانند به طور همزمان داده‌ها را به یکدیگر ارسال، یا از یکدیگر دریافت نمایند. بنابراین، روش مذکور، دو طرفه همزمان نیز نامیده می‌شود و می‌تواند با پل دو طرفه با دو مسیر مقایسه شود. برای تبادل داده کامپیوتر به کامپیوتر، این شکل از انتقال، کارآمدتر از انتقال half duplex می‌باشد.

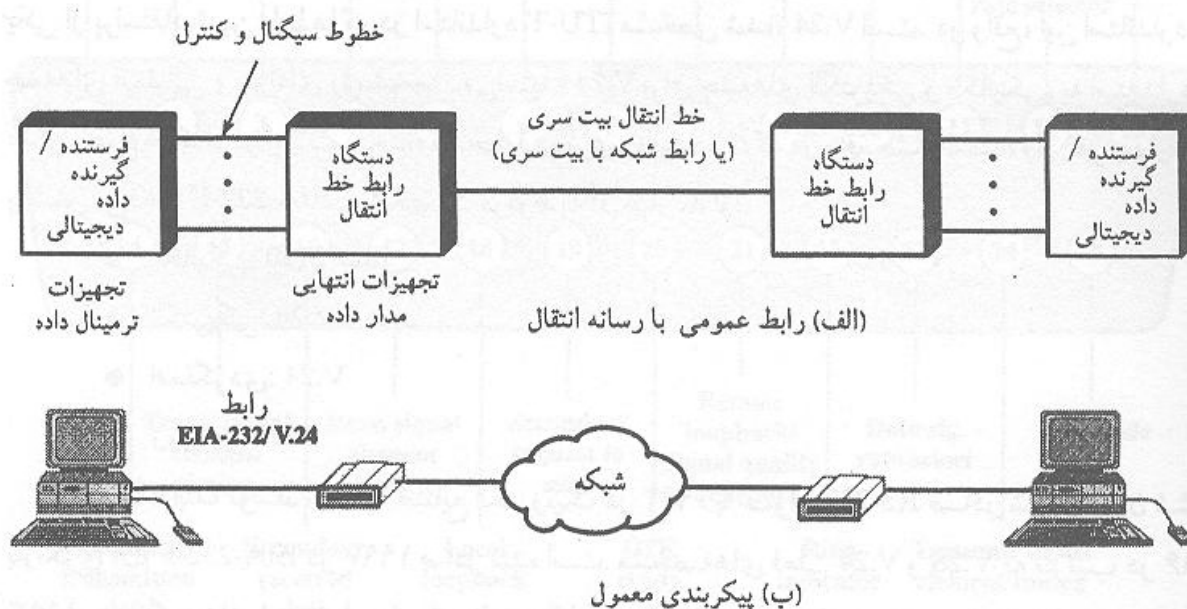
در سیگنالینگ دیجیتال، که نیازمند انتقال هدایت شده است، عملکرد full duplex معمولاً نیازمند دو مسیر انتقال مجزا است (برای مثال دو زوج تابیده)، در حالی که half duplex، نیازمند فقط یک خط می‌باشد. برای سیگنالینگ آنالوگ، این مورد به فرکانس بستگی دارد: اگر یک ایستگاه، عمل ارسال و دریافت را بر روی یک فرکانس انجام دهد، باید برای انتقال بی‌سیم، از روش half duplex استفاده کند، اگرچه می‌تواند از روش full duplex در انتقال هدایت شده، با استفاده از دو خط انتقال مجزا نیز استفاده نماید. اگر یک ایستگاه، ارسال را بر روی یک فرکانس، و دریافت را بر روی فرکانس دیگر انجام دهد، می‌تواند به صورت full duplex برای ارتباط

بی سیم استفاده نماید، و در انتقال هدایت شده با یک خط نیز می تواند از این روش بهره بگیرد. امکان ارسال سیگنالهای دیجیتال به طور همزمان، در هر دو جهت، بر روی یک خط انتقال، با استفاده از روش حذف انعکاس وجود دارد. بحث در مورد این تکنیک پردازش سیگنال، خارج از محدوده این کتاب است.

۶-۶ رابطها

اکثر دستگاههای پردازش داده های دیجیتال، ظرفیت انتقال داده محدودی دارند. به طور معمول، آنها سیگنال دیجیتال ساده ای تولید می کنند، مانند NRZ-L، و مسافتی که داده را انتقال می دهند نیز محدود است. در نتیجه، چنین دستگاهی (ترمینال یا کامپیوتر)، به ندرت به طور مستقیم به امکانات انتقال یا شبکه متصل می شود. حالت معمول تر آن در شکل (۶-۱۰) نشان داده شده است. دستگاههایی مانند ترمینالها و کامپیوترها، که در مورد آنها بحث می شود، عموماً تجهیزات ترمینال داده (DTE) نامیده می شوند. یک DTE، از سیستم انتقال، از طریق تجهیزات مدار انتهایی داده (DCE) استفاده می کند. مثالی از این مورد آخر، مودم می باشد.

در یک طرف، DCE مسئول ارسال و دریافت بیت ها، به صورت یک بیت در هر دفعه، بر روی رسانه انتقال یا شبکه می باشد. در طرف دیگر، DCE باید با DTE تعامل داشته باشد. در حالت کلی، این عمل، نیازمند تبادل اطلاعات داده ها و کنترل می باشد. این کار، از طریق مجموعه سیم هایی با عنوان مدارات مبادله انجام می گیرد. به منظور عملی شدن این طرح، درجه بالایی از همکاری لازم است. دو DCE که سیگنالها را بر روی خط انتقال یا شبکه مبادله می نمایند، باید همدیگر را بفهمند. یعنی، گیرنده هر یک، باید همان طرح کد گذاری (برای مثال، منچستر، PSK)، و سرعت انتقال داده فرستنده طرف دیگر را بکاربرد. علاوه بر آن، هر زوج DTE-DCE باید طوری طراحی شود که بتوانند با هم به طور منظم تعامل داشته باشند. به منظور سهولت بخشیدن به ارتباط بین سازندگان تجهیزات پردازش داده و کاربران، استانداردهایی توسعه داده شده اند که ماهیت دقیق رابط بین DTE و



شکل ۶-۱۰ مدارات رابط انتقال داده

DCE را مشخص می‌کنند. چنین رابطی چهار خصوصیت مهم دارد:

- مکانیکی
- الکتریکی
- عملیاتی
- رویه‌ای

خصوصیات مکانیکی، به اتصال فیزیکی واقعی DTE به DCE مربوط می‌شود. به طور معمول، مدارات تبادل سیگنال و کنترل، در کابلی قرار دارند همراه با کانکتوری در هر طرف، از نوع نری یا مادگی. DTE و DCE باید دارای کانکتورهایی از نوع مخالف با کانکتور متصل شده به کابل باشند، تا امکان اتصال فیزیکی وجود داشته باشد. این حالت، مشابه پریز و دو شاخ برق معمولی است. برق از طریق یک سوکت یا پریز دیواری فراهم می‌شود، و دستگاه مورد نظر باید کانکتوری مناسب با آن سوکت را داشته باشد (دو شاخ - دو شاخ پولاریزه، یا سه شاخه). خصوصیات الکتریکی، مربوط می‌شوند به سطوح ولتاژ و زمانبندی تغییرات ولتاژ. DTE و DCE باید کد مشابهی را استفاده نمایند (برای مثال، NRZ-L)، باید سطوح ولتاژ یکسانی را بکار ببرند، و مدت اجزاء سیگنال آنها نیز باید یکسان باشد. این خصوصیات، مشخص کننده سرعت‌های انتقال داده، و فواصل بین آنها می‌باشد. خصوصیات عملیاتی، اعمالی را مشخص می‌کنند که با انتساب دادن معانی به هر یک از مدارات میانی، انجام می‌شوند. توابع می‌توانند به گروه وسیعی از داده‌ها، کنترل‌ها، تایمینگ‌ها، وزینه‌های الکتریکی، تقسیم‌بندی شوند. خصوصیات رویه‌ای، ترتیب وقایع را برای انتقال داده‌ها، بر مبنای خصوصیات عملکردی رابط، مشخص می‌نمایند. مثالهای بعدی، این نکته را روشن می‌کنند. استانداردهای گوناگونی برای رابط‌ها وجود دارد. این بخش، دو مورد از مهمترین آنها را بررسی می‌نماید: رابط‌های فیزیکی V.24/EIA-232-F و ISDN.

V.24/EIA-232-F

یکی از پر استفاده ترین رابط‌ها که در استاندارد ITU-T مشخص شده، V.24 است. در واقع، این استاندارد، فقط جنبه‌های عملیاتی و رویه‌ای را مشخص می‌نماید؛ V.24 برای جنبه‌های الکتریکی و مکانیکی، به استانداردهای دیگر رجوع می‌کند. در ایالات متحده، مشخصه دیگری وجود دارد، که در واقع مشابه است، ولی هر چهار جنبه را پوشش می‌دهد: EIA-232-F. مشخصات مربوط به آن عبارتند از:

- مکانیکی: ISO 2110
- الکتریکی: V.28
- عملکردی: V.24
- رویه‌ای: V.24

EIA-232 ابتدا توسط اتحادیه صنایع الکترونیک در ۱۹۶۲ با عنوان RS-232 صادر شد. اکنون ششمین بازنگری آن، EIA-232-F در ۱۹۹۷ صادر شده است. مشخصه‌های فعلی V.24 و V.28 به ترتیب در ۱۹۹۶ و ۱۹۹۳ صادر گردیدند. این رابط، برای اتصال دستگاههای DTE به مودم‌های صوتی، برای استفاده در سیستم‌های عمومی مخابرات آنالوگ استفاده شدند. همچنین بطور گسترده در بسیاری از کاربردهای ارتباطی استفاده می‌شود.

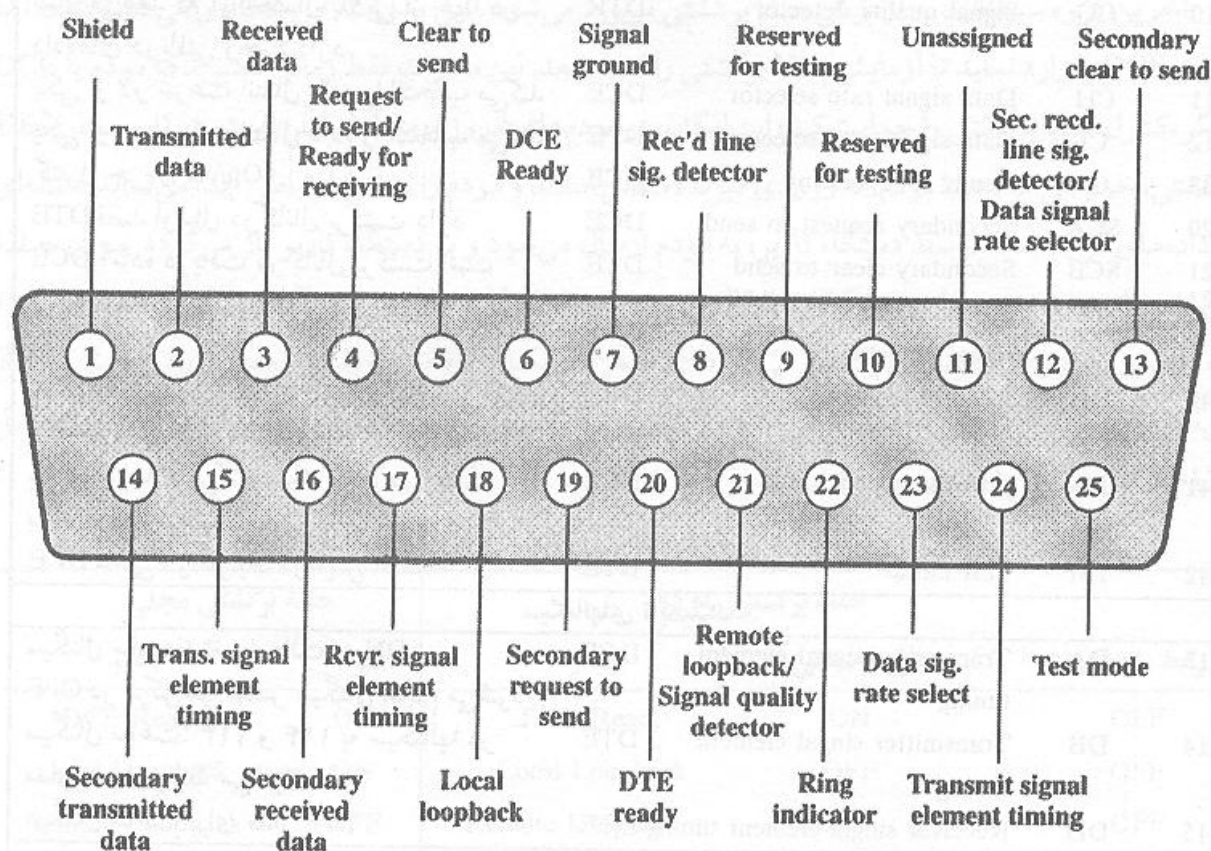
مشخصه مکانیکی

مشخصه مکانیکی برای EIA-232-F در شکل (۱۱-۶) نشان داده شده است. این شکل، کانکتوری ۲۵ پایه را نشان می‌دهد که در ISO-2110 تعریف شده است، همراه با ترتیب خاص پایه‌ها. این کانکتور، سوکت پایانی کابلی است که از DTE (ترمینال) یا DCE (مودم) خارج می‌شود. با کابلی شامل ۲۵ سیم، DTE به DCE متصل می‌شود، ولی بسیاری از کاربردها به کمتر از این تعداد سیم نیاز دارند.

مشخصه الکتریکی

مشخصه الکتریکی، سیگنالینگ بین DTE و DCE را مشخص می‌کند. سیگنالینگ دیجیتال بر روی تمام مدارات میانی استفاده می‌شود. برحسب عملکرد مدار میانی، مقادیر الکتریکی، به صورت داده‌های باینری یا سیگنالهای کنترلی، تفسیر می‌شوند. این قرارداد مشخص می‌کند که، نسبت به زمین مشترک، ولتاژی منفی‌تر از ۳- ولت، نشان دهنده ۱ باینری است و ولتاژی مثبت‌تر از ۳+ ولت، به عنوان صفر باینری تفسیر می‌شود. این همان کد NRZ-L است که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است. این رابط، سرعت سیگنالی کمتر از ۲۰ kbps و مسافتی کمتر از ۱۵ متر دارد. فواصل بیشتر و سرعت‌های انتقال داده بالاتر، با طراحی خوب بدست می‌آید، اما باید این محدودیت‌ها را در عمل، مانند تئوری در نظر بگیرد.

سطوح ولتاژ مشابهی بر سیگنالهای کنترلی بکار گرفته می‌شوند: ولتاژی منفی‌تر از ۳- ولت، به عنوان شرط OFF، و ولتاژی مثبت‌تر از ۳+ ولت، به عنوان شرط ON تفسیر می‌شود.



شکل ۱۱-۶ انتساب‌های بیت‌ها برای V.24/EIA-232 (نمای کانکتور DTE)

مشخصه عملکرد

جدول ۶-۱، مشخصه عملکرد مدارات میانی را خلاصه می‌نماید، و شکل (۱۱-۶)، قرارگیری این مدارات را در کانکتور نشان می‌دهد. این مدارات می‌توانند در گروه‌های داده، کنترل، تایمینگ و زمین دسته‌بندی شوند. یک

جدول ۶-۱. مدارات مبادله در V.24/EIA-232-F

عملکرد	در جهت:	نام	V.24	EIA-232
سیگنالهای داده				
ارسال شده توسط DTE	DCE	Transmitted data	103	BA
دریافت شده توسط DTE	DTE	Received data	104	BB
ارسال شده توسط DTE	DCE	Secondary transmitted data	118	SBA
دریافت شده توسط DTE	DTE	Secondary received data	119	SBB
سیگنالهای کنترلی				
DTE قصد ارسال دارد	DCE	Request to send	105	CA
DCE آماده دریافت است؛ پاسخ به Request to send	DTE	Clear to send	106	CB
DCE آماده عملکرد	DTE	DCE ready	107	CC
DTE آماده عملکرد	DCE	DCE ready	108.2	CD
DCE در حال دریافت سیگنال زنگ بر روی خط کانال است	DTE	Ring indicator	125	CE
DCE در حال دریافت سیگنالی در محدوده‌های مناسب در خط کانال است	DTE	Received line signal detector	109	CF
نشان می‌دهد که آیا احتمال بالایی از خطا در داده‌های دریافتی وجود دارد	DTE	Signal quality detector	110	CG
یکی از دو سرعت انتقال داده را انتخاب می‌کند	DCE	Data signal rate selector	111	CH
یکی از دو سرعت انتقال داده را انتخاب می‌کند	DTE	Data signal rate selector	112	CI
کنترل جریان On/off	DCE	Ready for receiving	133	CJ
DTE قصد ارسال در کانال برگشت دارد	DCE	Secondary request to send	120	SCA
DCE آماده دریافت در کانال برگشت است	DTE	Secondary clear to send	121	SCB
مشابه ۱۰۹ برای کانال برگشت	DTE	Secondary received line signal detector	122	SCF
به DCE راه دور اعلام می‌کند سیگنالها را در حلقه برگشتی قرار دهد	DCE	Remote loopback	140	RL
به DCE اعلام می‌کند سیگنالها را در حلقه برگشتی قرار دهد.	DCE	Local loopback	141	LL
DCE محلی در شرایط آزمایش است	DTE	Test mode	142	TM
سیگنالهای تایمینگ				
سیگنال ساعت؛ تغییر حالت به ON و OFF در مرکز هر عنصر سیگنال انجام می‌شود	DCE	Transmitter signal element timing	113	DA
سیگنال ساعت: ۱۱۳ و ۱۱۴ به سیگنالها در مدار ۱۰۳ مرتبط می‌شوند	DTE	Transmitter signal element timing	114	DB
سیگنال ساعت برای مدار ۱۰۴	DTE	Receiver signal element timing	115	DD
زمین				
زمین مشترک برای همه مدارها		Signal ground/common return	102	AB

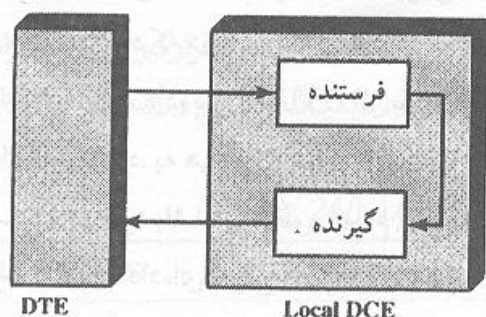
مدار داده در هر جهت وجود دارد، بنابراین، عملکرد full duplex امکان‌پذیر است. علاوه بر آن، دو مدار ثانویه داده وجود دارد که در صورت عملکرد دستگاه به صورت half duplex مفید هستند. در حالت عملکرد half duplex، تبادل داده بین دو DTE (از طریق DCE ها و اتصالات مخابراتی میانی) فقط در یک جهت در هر دفعه هدایت می‌شود. به هر حال، ممکن است نیازی برای ارسال پیغامهای کنترل halt و کنترل جریان، به دستگاه فرستنده موجود باشد. به منظور انجام این عمل، اتصال مخابراتی، به کانال معکوس مجهز می‌شود، که معمولاً سرعت انتقال داده‌ای خیلی کمتر از کانال اصلی دارد. در رابط DTE-DCE، کانال معکوس، بر روی زوج جداگانه‌ای از مدارات داده، حمل می‌شود.

۱۶ مدار کنترلی وجود دارد. اولین ۱۰ مورد آن، که در جدول ۱-۶ لیست شده‌اند، به انتقال داده بر روی کانال اصلی مربوط می‌باشند. برای انتقال آسنکرون، شش مورد از این مدارات استفاده می‌شوند (۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۲۵، ۱۲۶). استفاده از این مدارات در بخش مشخصه‌های رویه‌ای توضیح داده می‌شود. علاوه بر این شش مدار، سه مدار کنترلی دیگر، در انتقال سنکرون استفاده می‌شوند. مدار آشکارساز کیفیت سیگنال، توسط DCE، برابر ON قرار داده می‌شود تا نشان دهد کیفیت سیگنال ورودی بر روی خط تلفن، کمتر از سطح معینی شده است. اکثر مودم‌های سرعت بالا، بیش از یک سرعت انتقال را حمایت می‌کنند به طوری که بتوانند به سرعت کمتر برگردند اگر خط تلفنی، نویزدار شود. مدارات انتخاب‌کننده سرعت انتقال سیگنال، برای تغییر سرعت استفاده می‌شوند؛ DTE یا DCE می‌تواند این تغییر را آماده‌سازی کند. مدار ۱۳۳، گیرنده را وادار می‌کند جریان داده را بر روی مدار ۱۰۴، قطع و وصل نماید. سه مدار کنترلی دیگر (۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۰)، برای کنترل استفاده از کانال ثانویه استفاده می‌شوند، که ممکن است به عنوان کانال معکوس یا به منظور کمک دیگری باشد.

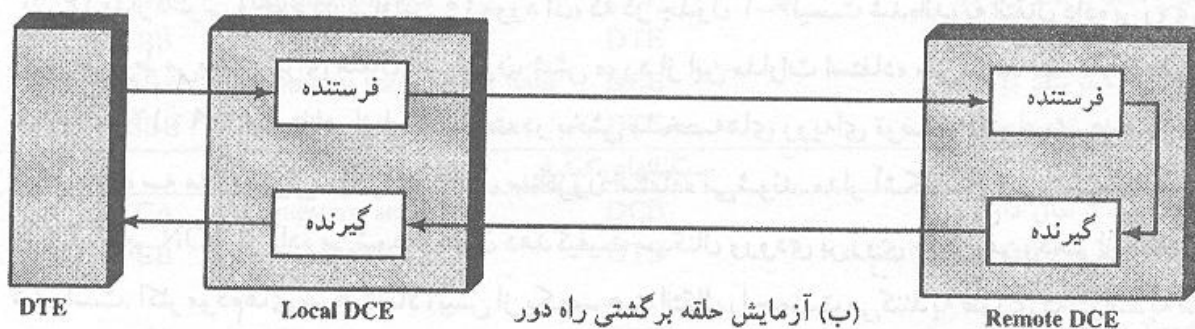
آخرین گروه سیگنالها، به آزمایش حلقه برگشتی مربوط می‌شود. این مدارات، این امکان را می‌دهند که DTE بتواند DCE را وارد نماید تا آزمایش حلقه برگشتی را انجام دهد. این مدارات فقط زمانی معتبرند که مودم یا DCE دیگر، کنترل حلقه برگشتی را حمایت کند؛ این امکان، در مودم‌های امروزی متداول شده است. در تابع محلی حلقه برگشتی، خروجی فرستنده مودم، به ورودی گیرنده متصل است، و مودم را از خط ارتباطی جدا می‌نماید. دنباله‌ای از داده‌های تولید شده توسط دستگاه کاربر، به مودم ارسال می‌شود و به دستگاه کاربر باز می‌گردد. برای حلقه برگشتی راه دور، مودم محلی، به امکانات انتقال و به صورت معمولی متصل می‌شود، و خروجی گیرنده این مودم راه دور، به ورودی فرستنده مودم متصل می‌گردد. در ضمن هر یک از آزمایشها، DCE، مدار مورد آزمایش را ON می‌نماید. جدول ۲-۶ این تنظیم را برای تمام مدارات مرتبط با آزمایش حلقه برگشتی نشان می‌دهد، و شکل (۱۲-۶) استفاده آن را مشخص می‌کند.

جدول ۲-۶ مقدارهای مدار حلقه برگشتی برای V.24/EIA-232

حلقه برگشتی محلی		حلقه برگشتی راه دور		
مدار	شرط	مدار	رابط محلی	رابط راه دور
DCE Ready	ON	DCE Ready	ON	OFF
Local Loopback	ON	Local Loopback	OFF	OFF
Remote Loopback	OFF	Remote Loopback	ON	OFF
Test Mode	ON	Test Mode	ON	ON



(الف) آزمایش حلقه برگشتی محلی



شکل ۱۲-۶. حلقه برگشتی راه دور و محلی.

کنترل حلقه برگشتی، یک ابزار ایزوله سازی خطای مفید است. برای مثال، فرض کنید یک کاربر کامپیوتر شخصی، که با یک سرویس دهنده، از طریق یک مودم ارتباط برقرار می کند، ناگهان ارتباطش قطع شود. این مشکل می تواند مربوط به مودم محلی، امکانات مخابراتی، مودم راه دور، یا سرویس دهنده راه دور باشد. مدیر شبکه می تواند آزمایش های حلقه برگشتی را برای ایزوله نمودن خطا انجام دهد. حلقه برگشتی محلی، عملکرد رابط محلی و DCE محلی را آزمایش می کند. حلقه برگشتی راه دور، عملکرد کانال انتقال و DCE راه دور را بررسی می نماید.

سیگنالهای تایمینگ، پالس های ساعت را برای انتقال سنکرون ایجاد می کنند. هنگامی که DCE داده های سنکرون را بر روی مدار داده دریافت شده (۱۰۴) می فرستد، تغییر حالت های ۱-۰ و ۰-۱ را نیز بر روی تایمینگ سیگنال عنصر گیرنده (۱۱۵) ارسال می نماید، همراه با تغییر حالت هایی که با وسط هر عنصر سیگنال داده دریافت شده تنظیم شده است. هنگامی که DTE داده های سنکرون را می فرستد، DTE یا DCE می توانند پالس های تایمینگ را بر حسب موارد، فراهم نمایند.

در نهایت، signal ground/common Return (۱۰۲)، مدار برگشت برای تمام داده ها می باشد. با این وجود، انتقال با وجود یک سیم فعال نامتعادل است، با فقط یک سیم فعال. انتقال متعادل و نامتعادل، در بخش رابط ISDN بحث می شوند.

مشخصه رویه ای

مشخصه رویه ای، دنباله ای را تعریف می کند که مدارات متعدد برای کاربردی خاص استفاده می شوند. چند مثال را ارائه می دهیم.

اولین مثال، برای اتصال دو دستگاه در مسافت کوتاه داخل ساختمان بسیار متداول می‌باشد. این روش، مودم خط اختصاصی آسنکرون، یا مودم مسافت کوتاه نامیده می‌شود. همانطور که از نام آن مشخص است، مودم مسافت کوتاه، سیگنالهای دیجیتال را از DTE، مانند ترمینال یا کامپیوتر دریافت می‌کند، و آنها را به سیگنالهای آنالوگ تبدیل نموده و سپس در مسافت کوتاه بر روی یک رسانه، مانند زوج تاییده، ارسال می‌نماید. در طرف دیگر خط، یک مودم مسافت کوتاه دیگر قرار دارد، که سیگنالهای آنالوگ دریافتی را قبول نموده، آنها را به دیجیتال تبدیل می‌کند و سپس به ترمینال یا کامپیوتر دیگر می‌فرستد. البته، تبادل داده‌ها دو طرفه است. برای این کاربرد ساده، فقط مدارات تبادل اطلاعات زیر لازم هستند:

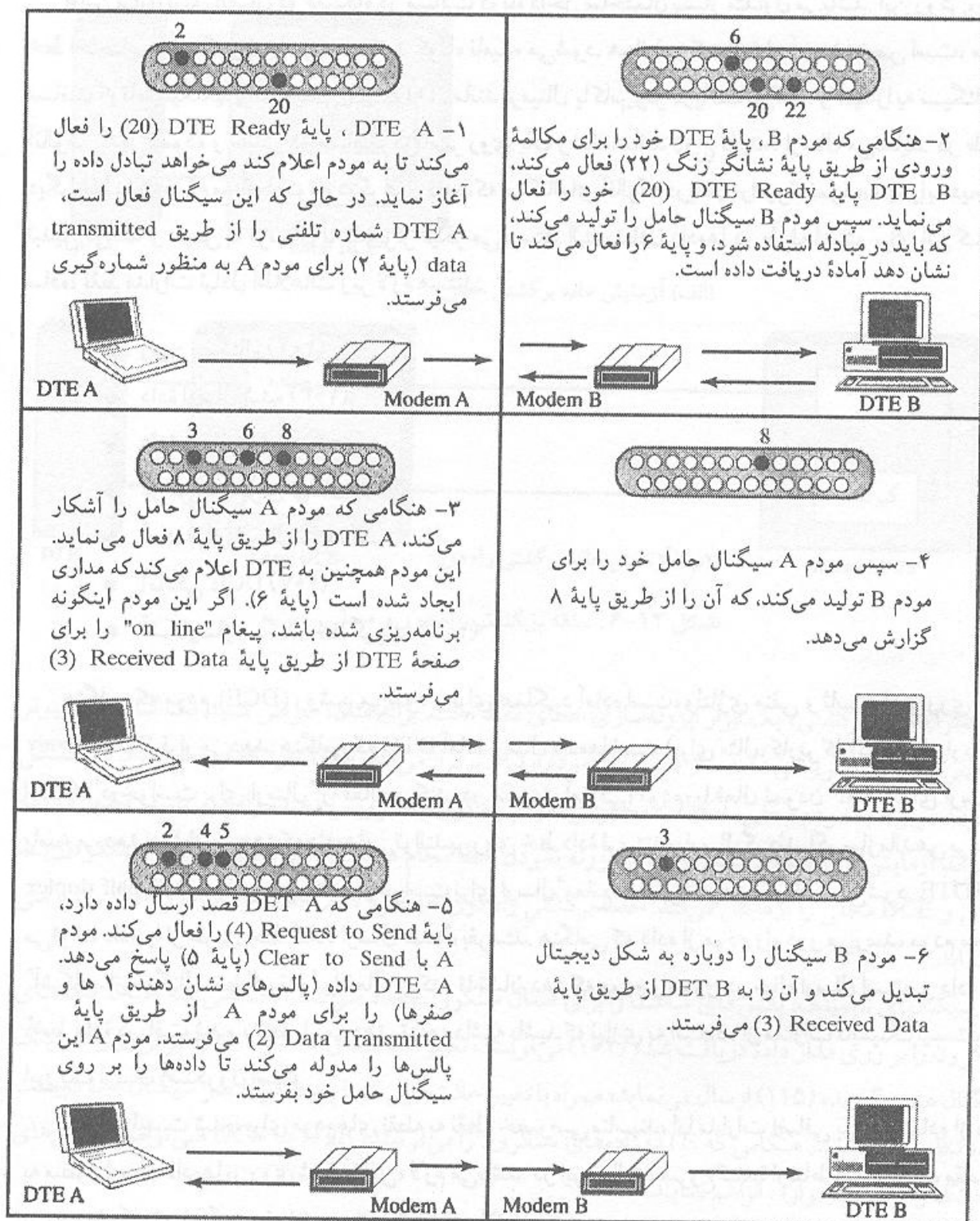
- زمین سیگنال (۱۰۲)
- داده ارسال شده (۱۰۳)
- داده دریافت شده (۱۰۴)
- درخواست برای ارسال (۱۰۵)
- آماده برای ارسال (۱۰۶)
- آمادگی DCE (۱۰۷)
- آشکارساز سیگنال خط گیرنده (۱۰۹)

هنگامی که مودم (DCE) روشن می‌شود و برای عملکرد آماده است، ولتاژی منفی و ثابت را بر روی خط DCE Ready قرار می‌دهد. هنگامی که DTE آماده ارسال داده‌ها است (برای مثال، کاربر کاراکتری را وارد کرده است)، "درخواست برای ارسال" را فعال می‌کند. در صورت آمادگی، مودم، با فعال نمودن "آماده برای ارسال"، پاسخ می‌دهد و نشان می‌دهد که داده‌ها می‌توانند بر روی خط داده فرستاده، ارسال گردند. اگر سازماندهی بر مبنای half duplex باشد، در این صورت، "درخواست برای ارسال"، مانع عملکرد در مود دریافت می‌شود. DTE اینک می‌تواند داده را از طریق خط "داده ارسال شده"، بفرستد. هنگامی که داده از مودم راه دور می‌رسد، مودم محلی، "آشکارساز سیگنال خط گیرنده" را فعال می‌کند تا نشان دهد که مودم راه دور در حال ارسال است، و داده را به "خط داده دریافت شده"، تحویل می‌دهد. توجه داشته باشید که نیازی به استفاده از مدارات تایمینگ نیست، زیرا این یک ارسال آسنکرون است.

مدارات لیست شده، برای مودم‌های نقطه به نقطه خصوصی مناسبند، اما مدارات اضافی برای استفاده از مودم به منظور ارسال داده‌ها بر روی شبکه تلفن، لازم می‌باشد. در این حالت، شروع کننده ارتباط باید دستگاه مقصد را بر روی شبکه شماره گیری نماید. دو اتصال اضافی لازم است:

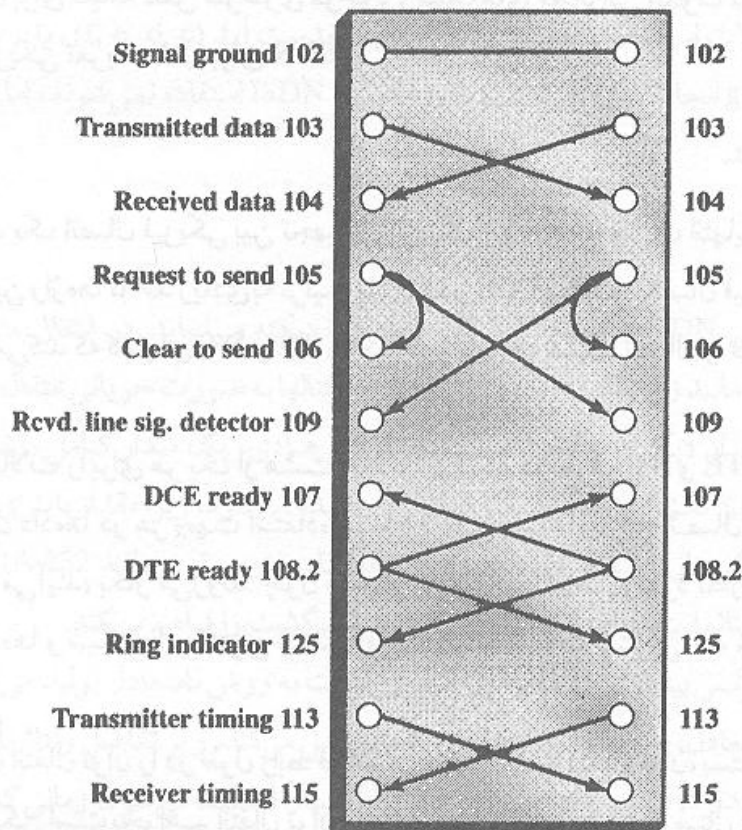
- آماده بودن DTE
- نشانگر زنگ

با افزودن این دو خط، سیستم مودم DTE می‌تواند به طور مؤثری از شبکه تلفن، به روشی مشابه استفاده از تلفن، بهره‌گیری نماید. شکل (۱۳-۶) مراحل لازم برای شماره گیری و عملکرد half duplex را نشان می‌دهد. هنگامی که یک شماره گرفته می‌شود، به صورت دستی یا اتوماتیک، سیستم تلفن، یک سیگنال زنگ را می‌فرستد.



شکل ۱۳-۶ عملکرد شماره‌گیری V.24/EIA-232

یک دستگاه تلفن، با زنگ زدن، یک مودم، با نشان دادن نمایشگر زنگ، یک فرد با برداشتن گوشی و یک DTE، با فعال نمودن "آمادگی DET"، پاسخ می‌دهد. فردی که به زنگ پاسخ می‌دهد، برای شنیدن صدای فرد دیگر، به خط گوش می‌دهد، و اگر صدایی شنیده نشود، گوشی را می‌گذارد. یک DTE، منتظر "آشکار ساز سیگنال خط گیرنده" می‌ماند، که توسط مودم، در صورت وجود سیگنال، فعال می‌شود؛ اگر این مدار فعال نباشد، DTE، "آمادگی



شکل ۱۴-۶ مثالی از یک مودم تنها

DTE را غیر فعال می‌کند. ممکن است در مورد نحوه انجام این مورد آخر متعجب شوید. یک حالت معمول این است که فردی تصادفاً شماره یک مودم را بگیرد. این عمل، مودم DTE را فعال می‌کند، اما هنگامی که تون حامل دریافت نشود، مشکل حل شده است.

توصیه می‌شود حالت‌هایی را در نظر بگیرید که فاصله بین دستگاه‌ها آنقدر نزدیک باشد که امکان دهد دو DTE به یکدیگر مستقیم سیگنال دهند. در این حالت، مدارات میانی V.24/EIA-232 هنوز می‌توانند استفاده شوند، اما تجهیزات DCE لازم نیستند. برای عملی شدن این طرح، یک مودم اضافی دیگر لازم است، که اتصالات را مرتبط نماید، به طوری که هر دو DTE فکر کنند به مودم‌هایی متصل هستند. شکل (۱۴-۶) مثالی از یک پیکربندی با مودم اضافی است؛ دلیل این اتصال خاص، باید برای خواننده‌ای که بحث قبلی را متوجه شده، واضح باشد.

رابط فیزیکی ISDN

توابع گسترده‌ای با V.24/EIA-232 از طریق استفاده از مدارات میانی متعدد، فراهم شده است. این روش نسبتاً راه پرهزینه‌ای برای دستیابی به نتیجه است. راه دیگر، فراهم نمودن مدارات کمتر، اما افزودن منطق بیشتری به رابط‌های DTE و DCE خواهد بود. با هزینه رو به کاهش مدارات منطقی، راه حل مورد توجهی است. این شیوه، در استاندارد X.21 برای ایجاد رابطی با شبکه‌های عمومی سوئیچینگ مداری، با کانکتور ۱۵ پین، ایجاد شده است. اخیراً این تمایل، با کانکتور فیزیکی ۸ پین به شبکه دیجیتالی با سرویس مجتمع (ISDN)، فراتر رفته است. ISDN

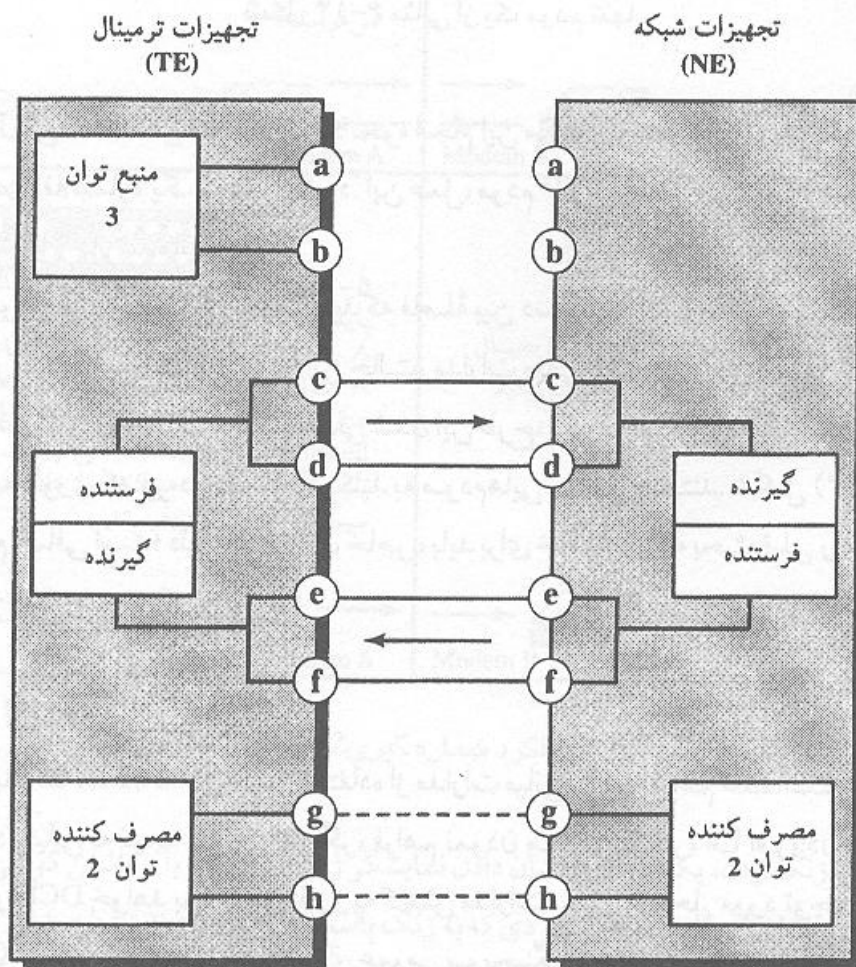
جایگزینی تمام دیجیتال برای شبکه تلفن سراسری موجود و شبکه‌های مخابراتی آنالوگ می‌باشد. در این بخش، نگاهی داریم به رابط فیزیکی تعریف شده برای ISDN.

اتصال فیزیکی

در فرهنگ ISDN، یک اتصال فیزیکی بین تجهیزات ترمینال (TE) و تجهیزات انتهایی شبکه (NT) برقرار می‌شود. در این بحث، این واژه‌ها تا حد زیادی به ترتیب با DTE و DCE معادلند. اتصال فیزیکی تعریف شده در ISO 8877، مشخص می‌کند که کابل‌های NT و TE، با کانکتورهایی که هشت اتصال را فراهم می‌کنند، متصل می‌شوند.

شکل (۶-۱۵)، اتصالات را برای هر یک از هشت خط بر روی هر دو طرف NT و TE نشان می‌دهد. دو پین برای فراهم نمودن انتقال داده‌ها در هر جهت استفاده می‌شود. این پین‌ها، برای اتصال زوج تاییده‌ای که از دستگاه‌های NT و TE می‌آیند، بکار می‌روند. چون مداراتی با عملکرد خاص وجود ندارند، مدارات ارسال/دریافت، برای حمل داده‌ها و سیگنال‌های کنترلی استفاده می‌شوند. اطلاعات کنترلی، به شکل پیغام‌ها ارسال می‌گردند.

این مشخصه، امکان انتقال توان را در طول رابط فراهم می‌نماید. جهت انتقال توان، بستگی به کاربرد دارد. در یک کاربرد معمولی، ممکن است بخواهیم انتقال توان را از سمت شبکه به سمت ترمینال فراهم نمائیم، تا برای



شکل ۶-۱۵ رابط ISDN

مثال، یک سرویس تلفن اصلی را در حالت بروز واقعه خرابی توان محلی، حفظ نمائیم. این انتقال توان می تواند با استفاده از همین اتصالات استفاده شده برای انتقال دیجیتال بدست آید (f, e, d, c)، یا بر روی سیم های اضافی با استفاده از اتصالات g-h انجام شود. دو اتصال باقیمانده، در ISDN استفاده نمی شوند، اما در پیکربندی های دیگر ممکن است مفید باشند.

مشخصه الکتریکی

مشخصه الکتریکی ISDN، استفاده از انتقال متعادل را دیکته می نماید. در انتقال متعادل، سیگنالها بر روی خطی شامل دو هادی، مانند زوج تابیده، حمل می شوند. سیگنالها به صورت جریانی انتقال می یابند که در طول یک هادی حرکت می کند و از دیگری برگشت می نماید. این دو هادی، یک مدار کامل را تشکیل می دهند. برای سیگنالهای دیجیتال، این تکنیک، سیگنالینگ تفاضلی^۱ نامیده می شود، زیرا مقدار باینری، به جهت تفاضل ولتاژ بین این دو هادی بستگی دارد. انتقال نامتعادل، که در رابط های قدیمی تری مانند EIA-232 انجام می شود، از یک هادی برای حمل سیگنال استفاده می کند، و زمین نیز مسیر برگشت را فراهم می کند.

روش متعادل، تلرانس بیشتری دارد، و نویز کمتری نسبت به روش نامتعادل تولید می نماید. در حالت ایده آل، تداخل بر روی خط متعادل، بر روی هر دو هادی یکسان عمل می کند، و بر تفاضل ولتاژ تأثیری ندارد. چون انتقال نامتعادل این فواید را ندارد، عموماً فقط بر روی کابل کوکسیال استفاده می شود. زمانی که در مدارات میانی مانند EIA-232 استفاده می گردد، به مسافت های خیلی کوتاه محدود می شود.

قالب کدگذاری داده استفاده شده در رابط ISDN، به سرعت انتقال داده بستگی دارد. برای سرعت پایه kbps ۱۹۲، این استاندارد، استفاده از کدگذاری سه تایی را مشخص می نماید شکل (۲-۵). ۱ باینری، با عدم وجود ولتاژ، و صفر باینری، با پالس مثبت یا منفی $10\% \pm 750 \text{ mV}$ نشان داده می شود. برای این سرعت پایه، دو امکان وجود دارد: ۱/۵۴۴ Mbps با استفاده از تغییر علامت متوالی (AMI) با B8ZS شکل (۶-۵) و ۲/۰۴۸ Mbps با استفاده از AMI با HDB3. دلیل این طرح های متفاوت، با دو سرعت اولیه متفاوت، سابقه تاریخی دارد؛ هیچ یک بر دیگری برتری ندارند.

۶-۷ توصیه هایی برای مطالعه بیشتر

رفتار کلاسیک کدهای آشکارسازی خطا و CRC، در [PETE61] یافت می شود. [RAMA88] مرجع خوبی برای CRC است.

[STAL02] اکثر کدهای تصحیح خطای متداول را مورد بحث قرار می دهد. [ADAM91] بحث کاملی در مورد کدهای تصحیح خطا دارد. [SKLA01] حاوی بخش واضح و کاملی در مورد این موضوع است. دو موضوع خیلی مهم عبارتند از [BERL87] و [BHAR83]. یک مرجع در مورد بحث تئوری و ریاضی کدهای تصحیح

۱- با کدگذاری تفاضلی بخش ۱-۵ اشتباه شود.

خطا، [ASH90] می باشد.

[BLAC96] بسیاری از استانداردهای رابطهای لایه فیزیکی را فراهم می نماید. [BLAC95] بر سری های مخابراتی ITU-TV تمرکز دارد. این عناوین در [FREE98] نیز با جزئیات یافت می شوند.

- ADAM91 Adamek, J. *Foundations of Coding*. New York: Wiley, 1991.
- ASH90 Ash, R. *Information Theory*. New York: Dover, 1990.
- BERL87 Berlekamp, E.; Peile, R.; and Pope, S. "The Application of Error Control to Communications." *IEEE Communications Magazine*, April 1987.
- BHAR83 Bhargava, V. "Forward Error Correction Schemes for Digital Communications." *IEEE Communications Magazine*, January 1983.
- BLAC95 Black, U. *The V Series Recommendations: Standards for Data Communications Over the Telephone Network*. New York: McGraw-Hill, 1996.
- BLAC96 Black, U. *Physical Level Interfaces and Protocols*. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1996.
- FREE98 Freeman, R. *Telecommunication Transmission Handbook*. New York: Wiley, 1998.
- PETE61 Peterson, W., and Brown, D. "Cyclic Codes for Error Detection." *Proceedings of the IEEE*, January 1961.
- RAMA88 Ramabadran, T., and Gaitonde, S. "A Tutorial on CRC Computations." *IEEE Micro*, August 1988.
- SKLA01 Sklar, B. *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- STAL02 Stallings, W. *Wireless Communications and Networks*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

۸-۶ واژه های کلیدی، سؤالات و مسائل

واژه های کلیدی

انتقال آسکرون	کد تصحیح خطا (ECC)	قابل جایگزین
کلمه کد	آشکار سازی خطا	شبکه دیجیتالی با سرویس های مجتمع
کد دوره ای	کد آشکار سازی خطا (EDC)	مودم
بررسی افزونگی دوره ای	تصحیح خطای پیشرو (FEC)	بیت توازن
(CRC)	فریم	بررسی توازن
تجهیزات انتهایی مدار داده (DCE)	دنباله بررسی فریم (FCS)	نقطه - به - نقطه
تجهیزات تر مینال داده (DTE)	full duplex	انتقال سنکرون
	half duplex	
EIA-232	کد همینگ	
تصحیح خطا	فاصله همینگ	

سوالات

- ۶-۱ چگونه انتقال یک کاراکتر، از انتقال کاراکتر بعدی، در انتقال آسنکرون متمایز می‌شود؟
- ۶-۲ فایده عمده انتقال آسنکرون چیست؟
- ۶-۳ چگونه همزمانی در انتقال سنکرون انجام می‌شود؟
- ۶-۴ بیت توازن چیست؟
- ۶-۵ CRC چیست؟
- ۶-۶ چرا انتظار داریم CRC خطاهایی بیش از بیت توازن را آشکار کند؟
- ۶-۷ سه راه متفاوت را نام ببرید که در آنها الگوریتم CRC قابل توصیف باشد.
- ۶-۸ آیا امکان طراحی یک ECC وجود دارد که خطاهای دوبیتی را اصلاح کند اما نه تمام خطاهای دوبیتی را؟ چرا بلی یا چرا خیر؟
- ۶-۹ در یک بلوک $ECC(n, k)$ ، n و k چیست؟
- ۶-۱۰ DEC چیست و عملکرد آن چگونه است؟

مسائل

- ۶-۱ فرض کنید فایلی شامل ۱۰,۰۰۰ بایت قرار است بر روی یک خط 2400 bps فرستاده شود.
 - الف - میزان سربار لازم در تعداد بیت‌ها و زمان را برای استفاده در ارتباط آسنکرون محاسبه کنید. یک عنصر شروع و یک عنصر خاتمه با طول یک بیت، و بایت‌های ۸ بیتی برای هر کاراکتر را در نظر بگیرید. این کاراکتر ۸ بیتی حاوی بیت‌های داده است، بدون بیت توازن.
 - ب - میزان سربار لازم در تعداد بیت‌ها و زمان را برای ارتباط سنکرون محاسبه نمایید. فرض کنید داده‌ها به صورت فریم ارسال می‌شوند. هر فریم حاوی ۱۰۰۰ کاراکتر معادل ۸۰۰۰ بیت است و سربار ۴۸ بیت کنترلی برای هر فریم وجود دارد.
 - ج - برای فایلی با ۱۰۰,۰۰۰ کاراکتر، پاسخ بخش‌های الف و ب چه خواهد بود؟
 - د - پاسخهای بخش‌های الف و ب چیست اگر فایل اصلی شامل ۱۰,۰۰۰ کاراکتر باشد، بجز در سرعت 9600 bps ؟
- ۶-۲ یک منبع داده، کاراکترهای ۷ بیتی IRA تولید می‌کند. عبارتی برای محاسبه حداکثر سرعت انتقال داده مؤثر (سرعت بیت‌های داده IRA) بر روی خطی با $x\text{-bps}$ برای این حالت‌ها بدست آورید:
 - الف - انتقال آسنکرون، با عنصر توقفی به طول ۱/۵ و همراه با بیت توازن.
 - ب - انتقال سنکرون، با فریمی شامل ۴۸ بیت کنترلی و ۱۲۸ بیت اطلاعاتی. فیلد اطلاعات، حاوی کاراکترهای IRA با ۸ بیت (همراه با بیت توازن) می‌باشد.
 - ج - مشابه بخش ب، به جز این که فیلد اطلاعات، ۱۰۲۴ بیت است.
- ۶-۳ با یک مثال، نشان دهید گیرنده‌ای که خطای فریمینگ را در انتقال آسنکرون دریافت می‌کند، گاهی از تنظیم خارج می‌شود (چند الگوی بیت دلخواه بنویسید؛ یک بیت شروع و یک بیت خاتمه با طول یک بیت در نظر بگیرید).

- ۶-۴ فرض کنید فرستنده و گیرنده از انتقال آسنکرون استفاده می‌کنند و توافق نموده‌اند که از عناصر توقف استفاده نکنند. آیا این کار عملی است؟ اگر هست، شرایط لازم آن را توضیح دهید؟
- ۶-۵ یک طرح انتقال آسنکرون، از ۸ بیت داده، همراه با توازن زوج، و یک عنصر توقف با طول ۲ بیت استفاده می‌کند. چه درصدی از عدم دقت ساعت، می‌تواند در گیرنده، نسبت به خطای فریم، وجود داشته باشد؟ فرض کنید که نمونه‌های بیت، در وسط پریود ساعت گرفته شده‌اند. همچنین فرض کنید که در ابتدای بیت شروع، ساعت و بیت‌های دریافتی، در جای خود قرار دارند.
- ۶-۶ فرض کنید که یک انتقال داده سری سنکرون، توسط دو ساعت زمانبندی می‌شود (یکی در فرستنده و دیگری در گیرنده)، و هر یک، انحراف ۱ دقیقه‌ای در یک سال دارند. چه مدت، یک دنباله از بیت‌ها می‌تواند ارسال شود، قبل از این که انحراف ساعت، باعث ایجاد مشکل گردد؟ فرض کنید که شکل موج یک بیت زمانی مناسب است که در فاصله ۴۰٪ از مرکز نمونه‌برداری شود، و این که فرستنده و گیرنده در ابتدای هر فریم، دوباره همزمان شوند. توجه داشته باشید که سرعت انتقال یک عامل نیست، چون هر دوی پریود بیت و خطای مطلق تایمینگ، به نسبت، در سرعت‌های انتقال بالاتر کاهش می‌یابند.
- ۶-۷ آیا انتظار دارید که قرار دادن بیت توازن در هر کاراکتر، احتمال دریافت پیغام صحیح را افزایش دهد؟
- ۶-۸ هدف استفاده از محاسبات مدول ۲ به جای محاسبات باینری، در محاسبه FCS چیست؟
- ۶-۹ فریمی را شامل دو کاراکتر چهاربیتی در نظر بگیرید. فرض کنید که احتمال خطای بیتی 10^{-3} است و برای هر بیت مستقل می‌باشد.
- الف - احتمال این که فریم گیرنده حاوی حداقل یک خطا باشد چیست؟
- ب - اینک، یک بیت توازن را به هر کاراکتر بیفزائید. احتمال در این حالت چیست؟
- ۶-۱۰ با استفاده از چند جمله‌ای CRC-CCITT، یک کد ۱۶ بیتی CRC برای پیغامی شامل یک عدد ۱ و دنباله آن ۱۵ عدد صفر، تولید نمائید.
- الف - از تقسیم طولانی استفاده کنید.
- ب - از مکانیزم شیفت رجیستر نشان داده شده در شکل (۶-۶) استفاده نمائید.
- ۶-۱۱ توضیح دهید چرا پیاده‌سازی شیفت رجیستر برای CRC باعث می‌شود در صورت عدم وجود خطا، تمام بیت‌ها درگیرنده صفر شوند. با مثال نشان دهید.
- ۶-۱۲ برای $P = 110011$ و $M = 11100011$ CRC را بدست آورید.
- ۶-۱۳ یک CRC، برای تولید یک FCS چهاربیتی برای پیغامی ۱۱ بیتی، ساخته شده است. چند جمله‌ای تولید کننده، $1 + X^3 + X^4$ می‌باشد.
- الف - یک مدار شیفت رجیستر رسم کنید که این کار را انجام دهد شکل (۶-۶).
- ب - دنباله بیت‌های داده ۱۰۰۱۱۰۱۱۱۰۰ را با استفاده از این چند جمله‌ای تولید کننده، کد گذاری نمائید و کلمه کد آن را بدست آورید. (سمت چپ‌ترین بیت، کم ارزش‌ترین است).
- ج - اینک فرض کنید که بیت ۷ (با شمارش از LSB یا کم ارزش‌ترین بیت) در کلمه کد، خطا است، و نشان دهید که الگوریتم آشکار سازی، این خطا را آشکار می‌نماید.
- ۶-۱۴ الف - در طرح آشکار سازی خطای CRC، $P(x) = x^4 + x + 1$ می‌باشد. بیت‌های ۱۰۰۱۰۰۱۱۰۱۱ را

کد گذاری نمائید.

ب- فرض کنید یک کانال، الگوی خطای ۱۰۰۰۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ را ایجاد می کند (یعنی، تبدیل ۱ به صفر یا از صفر به ۱ در موقعیت های ۱ و ۵). چه چیزی دریافت می شود؟ آیا این خطا قابل آشکار سازی است؟
ج- بخش ب را با الگوی خطای ۱۰۰۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ تکرار کنید.

۶-۱۵ یک رویه اصلاح شده CRC، در استانداردهای ارتباطی استفاده می شود. تعریف آن اینگونه است:

$$\frac{X^{16}M(X) + X^kL(X)}{P(X)} = Q + \frac{R(X)}{P(X)}$$

$$FCS = L(X) + R(X)$$

که:

$$L(X) = X^{15} + X^{14} + X^{13} + \dots + X + 1$$

و k ، تعداد بیت هایی است که بررسی می شوند (فیلدهای آدرس، کنترل، و اطلاعات).

الف- تأثیر این رویه را توضیح دهید.

ب- فواید بالقوه آن را توضیح دهید.

ج- پیاده سازی شیفتر رجیستر را برای $P(X) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$ نشان دهید.

۶-۱۶ فاصله زوج همینگ را برای این کلمه های کد محاسبه نمائید.

الف- ۰۱۰۱، ۱۰۱۰۱، ۰۰۰۰۰

ب- ۱۱۰۱۱۰، ۱۰۱۰۱۰، ۰۱۰۱۰۱، ۰۰۰۰۰۰

۶-۱۷ بخش ۴-۶ در مورد کدهای تصحیح بلوک صحبت می کند که تصمیم را بر مبنای حداقل فاصله می گیرند.

یعنی، با دادن کدی شامل «کلمه کد مساوی با طول n ، برای هر دنباله دریافت شده v ، گیرنده، کلمه کد w را که برای آن، فاصله $d(w, v)$ حداقل می باشد، انتخاب می نماید. می خواهیم ثابت کنیم که این طرح در حالتی ایده آل است که گیرنده همیشه کلمه کدی را انتخاب کند که احتمال w به شرط v ، $p(w|v)$ ، حداکثر باشد. چون فرض شده که همه کلمه های کد احتمال مساوی دارند، کلمه کدی که $p(w|v)$ را حداکثر می نماید، مشابه کلمه کدی است که $p(v|w)$ را به حداکثر می رساند.

الف- به منظور این که w به صورت v دریافت شود، دقیقاً باید $d(w, v)$ خطا در ارسال وجود داشته باشد، و این خطاها باید در بیت هایی قرار داشته باشند که w و v یکسان نیستند. فرض کنید β احتمال ارسال نادرست یک بیت و n ، طول کلمه کد باشد. یک عبارت برای $p(v|w)$ به صورت تابعی از β ، $d(w, v)$ ، و n بنویسید. نکته: تعداد بیت ها در هر خطا، $d(w, v)$ و تعداد بیت هایی که خطا نیستند، $n - d(w, v)$ می باشد.

ب- اینک، $p(v|w_1)$ و $p(v|w_2)$ را برای هر دو کلمه کد متفاوت w_1 و w_2 ، با $p(v|w_1)/p(v|w_2)$ مقایسه نمائید.

ج- فرض کنید $0.5 < \beta < 0$ و نشان دهید که $p(v|w_1) > p(v|w_2)$ اگر و فقط اگر $d(v|w_1) > d(v|w_2)$. این حالت، اثبات می کند کلمه کد w که بیشترین مقدار را برای $p(v|w)$ می دهد، کلمه ای است که فاصله آن از v ، حداقل می باشد.

۶-۱۸ بخش ۴-۶ بیان می کند که برای عدد صحیح مثبت t ، اگر یک کد، شرط $d_{\min} \geq 2t + 1$ را داشته باشد، در

این صورت، آن کد می تواند تمام خطاهای بی تی را تا خطایی شامل بیت، اصلاح نماید. این مطلب را اثبات کنید. نکته: با این مشاهده شروع کنید که برای این که کلمه کد w به کلمه کد دیگر w' ، دگد شود، دنباله دریافتی باید حداقل به همان اندازه w ، به w' نزدیک باشد.

۱۹-۶ نمودار تایمینگ رسم کنید و حالت تمام پین های EIA-232 را که بین زوج DTE و DCE در ضمن درخواست داده در یک شبکه تلفن سوئیچینگ قرار دارند، نشان دهید.

۲۰-۶ عملکرد هر اتصال مودم اضافی را در شکل (۱۴-۶) توضیح دهید.

۲۱-۶ برای عملکرد صحیح مدار برگشتی راه دور V.24/EIA-232، چه مداراتی باید از نظر منطقی متصل شوند؟

پروتکل‌های کنترل اتصال داده

۷-۱ کنترل جریان

کنترل جریان توقف - و - انتظار

کنترل جریان پنجره لغزان

۷-۲ کنترل خطا

ARQ توقف - و - انتظار

N ARQ - برگشت - به عقب

ARQ حذف - انتخابی

۷-۳ کنترل اتصال داده سطح بالا (HDLC)

خصوصیات اصلی

ساختار فریم

عملکرد

۷-۴ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر

۷-۵ واژه‌های کلیدی، سؤالات و مسائل

واژه‌های کلیدی

سؤالات

مسائل

ضمیمه ۷ - الف نکات مربوط به کارایی

کنترل جریان توقف - و - انتظار

کنترل جریان پنجره لغزان بدون خطا

ARQ

نکات کلیدی

- به دلیل احتمال خطاهای انتقال، و به دلیل این که گیرنده داده‌ها ممکن است نیاز به تنظیم سرعت دریافت داده‌ها داشته باشد، تکنیک‌های همزمانی و رابط‌ها، به تنهایی کافی نیستند. نیاز به قرار دادن لایه کنترل در هر دستگاه ارتباطی است که توابعی مانند کنترل جریان، آشکارسازی خطا، و کنترل خطا را انجام دهد. این لایه کنترل، پروتکل کنترل اتصال داده، نامیده می‌شود.
- کنترل جریان باعث می‌شود گیرنده، جریان داده‌های فرستنده را تنظیم نماید به طوری که بافر گیرنده، سرریز نشود.
- در پروتکل کنترل اتصال داده، کنترل خطا، با ارسال مجدد فریم‌های صدمه دیده‌ای که تأیید نشده‌اند یا برای آنها، طرف دیگر، درخواست ارسال مجدد نموده است انجام می‌گیرد.

بحث ارائه شده تا این مرحله به ارسال سیگنال‌ها بر روی یک اتصال انتقال مربوط می‌شود. برای برقراری ارتباط داده مؤثر، برای کنترل و مدیریت تبادل، چیزی بیش از این لازم است. در این فصل، تأکید را بر ارسال داده‌ها بر روی یک اتصال ارتباط داده قرار می‌دهیم. به منظور دستیابی به کنترل لازم، لایه‌ای از منطق، به بالای رابط فیزیکی (فصل ۶) اضافه می‌شود. این منطق، کنترل اتصال داده، یا پروتکل کنترل اتصال داده نامیده می‌شود. هنگامی که پروتکل کنترل اتصال داده استفاده گردد، رسانه انتقال بین سیستم‌ها، اتصال داده نامیده می‌شود.

به منظور مشاهده نیاز به کنترل اتصال داده، برخی از نیازها و اهداف ارتباط داده بین دو ایستگاه فرستنده و گیرنده را که به طور مستقیم به یکدیگر متصل شده‌اند، لیست می‌نمائیم:

- همزمانی فریم: داده‌ها در بلوک‌هایی به نام فریم ارسال می‌شوند. شروع و خاتمه هر فریم باید قابل تشخیص باشد. این بحث به طور مختصر، همراه با بحث در مورد فریم‌های سنکرون، ارائه شده است شکل (۲-۶).
- کنترل جریان: ایستگاه فرستنده نباید فریم‌ها را با سرعتی بیشتر از مقداری ارسال کند که دستگاه گیرنده می‌تواند دریافت کند.
- کنترل خطا: خطاهای بیتی معرفی شده توسط سیستم انتقال، باید اصلاح شوند.
- آدرس دهی: در یک خط چند نقطه‌ای، مانند شبکه محلی (LAN)، مشخصه دو ایستگاهی که در یک ارتباط سهم هستند، باید مشخص شود.
- کنترل و داده‌ها از طریق یک اتصال: معمولاً وجود مسیرهای ارتباطی مجزای فیزیکی برای اطلاعات کنترلی مطلوب نیست. بر این اساس، گیرنده باید بتواند اطلاعات کنترلی را از داده‌هایی که ارسال می‌شوند، جدا نماید.
- مدیریت اتصال: آماده‌سازی، پشتیبانی، و خاتمه مبادله داده‌ها، نیازمند اندکی هماهنگی و همکاری بین ایستگاه‌ها است. رویه‌هایی برای مدیریت این مبادله مورد نیاز می‌باشند.

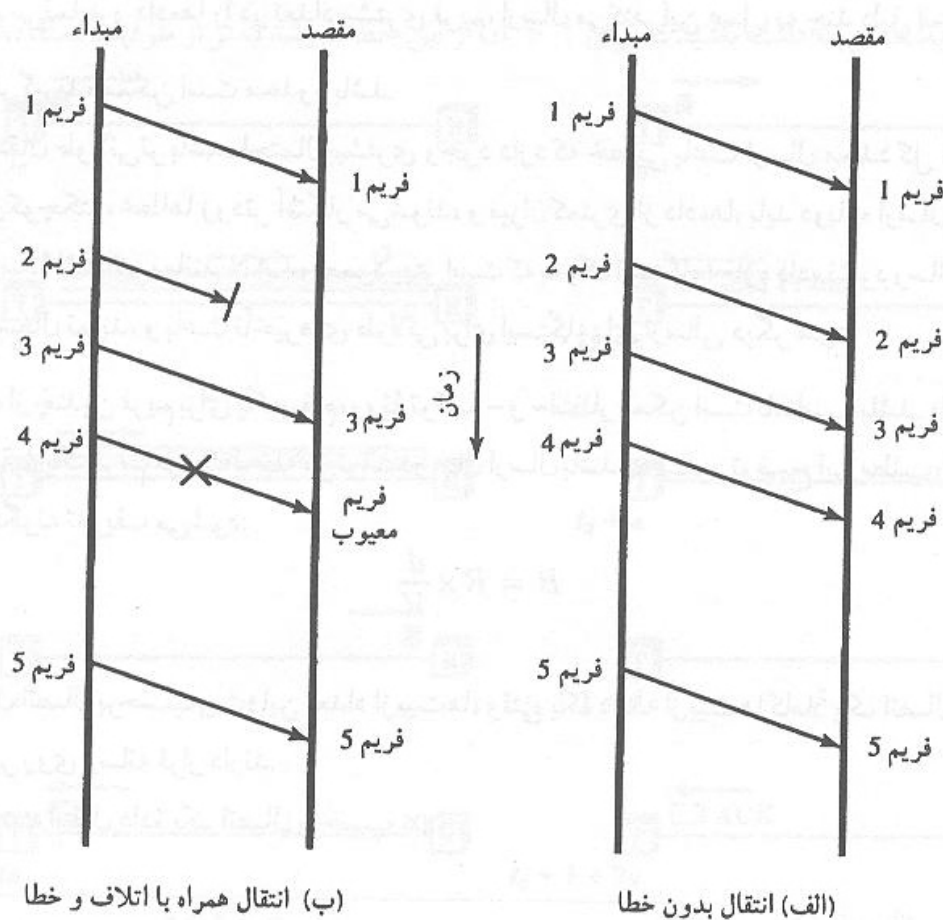
هیچ یک از این نیازها، با استفاده از تکنیک‌های رابط فیزیکی توصیف شده در فصل ۶، برآورده نمی‌شود. در این فصل خواهید دید پروتکل اتصال داده‌ای که این نیازها را برآورده نماید، تا حدی پیچیده است. با نگاهی به دو مکانیزم کلیدی که بخشی از کنترل اتصال داده می‌باشند شروع می‌کنیم: کنترل جریان و کنترل خطا. پس از این پیش

زمینه، نگاهی داریم به مهمترین مثال پروتکل کنترل اتصال داده: HDLC (کنترل اتصال داده سطح بالا). این پروتکل به دو دلیل مهم است: ابتدا، پروتکل کنترل اتصال داده استاندارد است که به طور گسترده استفاده می شود. دوم، HDLC مبنایی است که از آن، تقریباً تمام پروتکل های کنترل اتصال داده مهم، بدست می آیند. در نهایت، ضمیمه این فصل، برخی موارد کارایی مربوط به کنترل اتصال داده را مورد توجه قرار می دهد.

۷-۱ کنترل جریان

کنترل جریان، تکنیکی است برای اطمینان از این که یک موجودیت فرستنده، موجودیت گیرنده را از داده اشباع نمی کند. موجودیت گیرنده، معمولاً بافری با حداکثر طول مشخصی را برای یک انتقال، اختصاص می دهد. هنگام دریافت داده ها، گیرنده باید میزان مشخصی پردازش را قبل از عبور داده ها به نرم افزار سطح بالاتر، انجام دهد. در صورت عدم وجود کنترل جریان، بافرگیرنده ممکن است در ضمن پردازش داده های قبلی، پر شده و سرریز شود.

برای شروع، مکانیزم هایی را برای کنترل جریان، در صورت عدم وجود خطا، بررسی می نماییم. مدل استفاده شده، در شکل (۷-۱) الف نشان داده شده است، که نمودار ترتیب زمانی عمودی است. فایده آن، نشان دادن



شکل ۷-۱ مدل انتقال فریم

وابستگی‌های زمانی و نشان دادن رابطه صحیح ارسال - دریافت می‌باشد. هر پیکان، نشان دهنده انتقال یک فریم از طریق اتصال داده بین دو ایستگاه است. این داده‌ها به ترتیب فریم‌ها فرستاده می‌شوند، و هر فریم، حاوی بخشی از داده‌ها و اطلاعات کنترلی است. مدت زمان لازم برای یک ایستگاه، به منظور انتشار تمام بیت‌های یک فریم روی رسانه زمان انتقال نامیده می‌شود؛ این زمان، با طول فریم متناسب است. زمان انتشار، زمانی است که بیت، اتصال بین مبدأ و مقصد را می‌پیماید. در این بخش، فرض می‌شود که تمام فریم‌های ارسالی، با موفقیت دریافت می‌شوند؛ هیچ فریمی از بین نمی‌رود و هیچ یک با خطا دریافت نمی‌گردد. علاوه بر آن، فریم‌ها به همان ترتیبی دریافت می‌شوند که ارسال می‌گردند. به هر حال، هر فریم ارسالی، قبل از دریافت، به میزان دلخواه و متغیری، تأخیر خواهد داشت.^۱

کنترل جریان توقف - و - انتظار

ساده‌ترین شکل کنترل جریان، توقف - و - انتظار می‌باشد، که به صورت زیر عمل می‌کند. موجودیت مبدأ، یک فریم را ارسال می‌نماید. پس از آن که موجودیت مقصد، این فریم را دریافت نمود، تمایل برای پذیرش فریم دیگر را با ارسال تأییدیه این فریم دریافت شده، نشان می‌دهد. مبدأ باید منتظر بماند تا تأییدیه را، قبل از ارسال فریم دیگر، دریافت نماید. بنابراین، مقصد می‌تواند جریان داده را فقط با عدم ارسال تأییدیه، متوقف کند. این رویه خوب کار می‌کند و علاوه بر آن، وقتی یک پیغام، در تعداد اندکی فریم بزرگ ارسال می‌شود، به ندرت بهبود می‌یابد. به هر حال، این اغلب همان حالتی است که یک مبدأ، بلوک بزرگی از داده‌ها را به بلوک‌های کوچکتری از داده‌ها تقسیم می‌نماید و داده‌ها را در تعداد بیشتری فریم، ارسال می‌کند. این عمل، به چند دلیل انجام می‌شود:

- اندازه بافر گیرنده ممکن است محدود باشد.
- هر چه انتقال طولانی‌تر باشد، احتمال بیشتری وجود دارد که خطایی باعث ارسال مجدد کل فریم شود. با فریم‌های کوچکتر، خطاها زودتر آشکار می‌شوند، و میزان کمتری از داده‌ها، باید دوباره ارسال شوند.
- در یک رسانه اشتراکی، مانند LAN، معمولاً بهتر است که به یک ایستگاه اجازه داده نشود رسانه را برای دوره طولانی اشغال نماید، و باعث تأخیرهای طولانی برای ایستگاههای ارسالی دیگر شود.

با استفاده از چندین فریم برای یک پیغام، رویه توقف - و - انتظار ممکن است نامناسب باشد. دلیل این مشکل این است که فقط یک فریم در یک لحظه می‌تواند در حال ارسال باشد. به منظور توضیح این مطلب، ابتدا طول بیت یک اتصال اینگونه تعریف می‌شود:

$$B = R \times \frac{d}{V} \quad (V-1)$$

که

B = طول اتصال بر حسب بیت؛ این تعداد از بیت‌ها، وقتی یک دنباله از بیت‌ها کاملاً یک اتصال را اشغال می‌کنند، بر روی رسانه قرار دارند.

R = سرعت انتقال داده یک اتصال بر حسب bps

۱- در یک اتصال مستقیم نقطه به نقطه، میزان تأخیر، ثابت است. به هر حال، پروتکل کنترل اتصال داده، می‌تواند در یک اتصال شبکه‌ای مانند شبکه سوئیچینگ مداری و ATM استفاده شود، که در آنها، تأخیر متغیر است.

d = طول یا فاصله یک اتصال برحسب متر

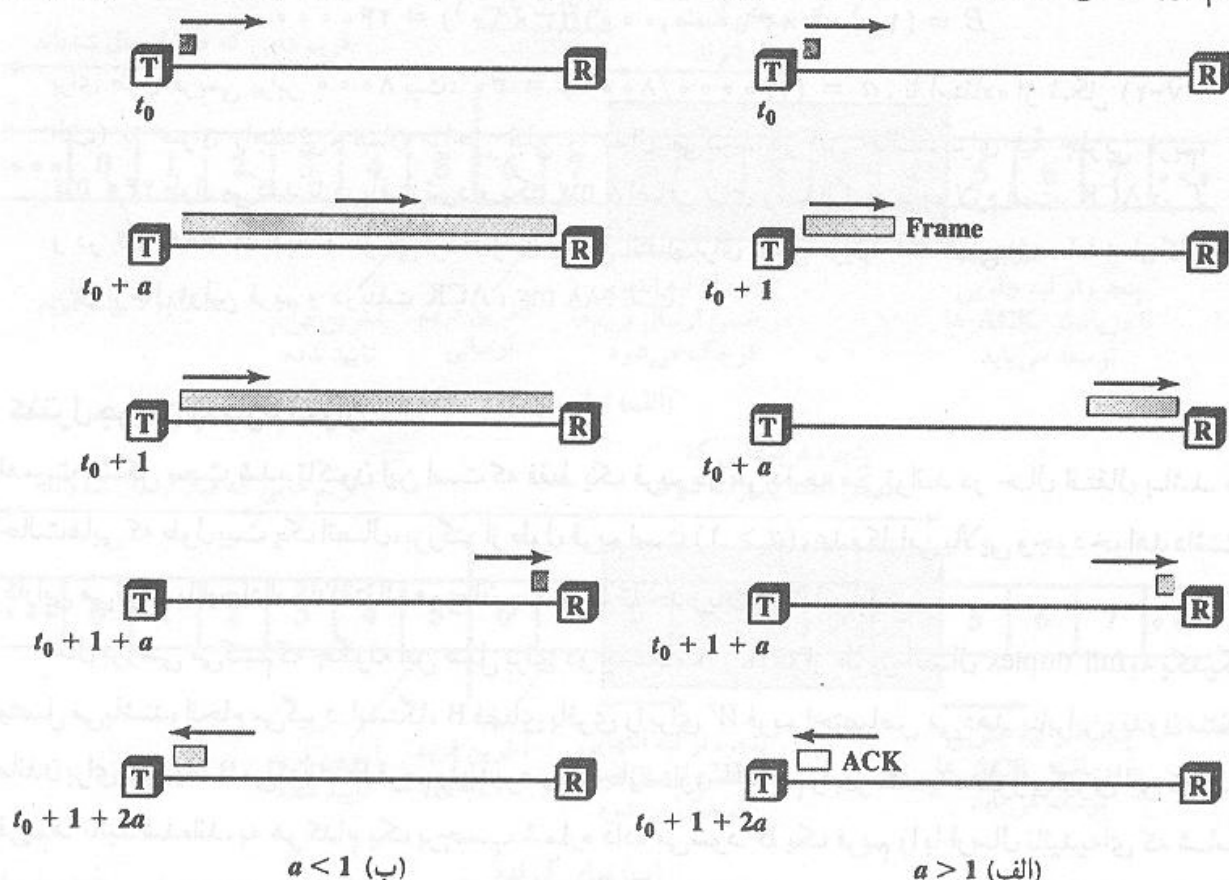
V = سرعت انتشار برحسب m/s

در حالت‌هایی که طول بیت در یک اتصال، بزرگتر از طول یک فریم است، عدم کارایی زیادی وجود خواهد داشت. این حالت، در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. در این شکل، زمان انتقال (مدت زمانی که طول می‌کشد یک ایستگاه، یک فریم را ارسال نماید)، نسبت به ۱ نرمال شده است، و تأخیر انتشار (زمانی که طول می‌کشد تا یک بیت، از فرستنده به گیرنده برسد)، برحسب متغیر a بیان می‌شود. بنابراین، a اینگونه بدست می‌آید:

$$A = \frac{B}{L} \quad (7-2)$$

که L تعداد بیت‌ها در یک فریم است (طول فریم برحسب بیت).

اگر a کمتر از ۱ باشد، زمان انتشار، کمتر از زمان انتقال است. در این حالت، فریم به اندازه‌ای طولانی است که اولین بیت‌های فریم، قبل از این که مبدأ، انتقال فریم را به پایان رسانده باشد، به مقصد می‌رسند. اگر a بزرگتر از ۱ باشد، زمان انتشار، بزرگتر از زمان انتقال است. در این حالت، فرستنده، قبل از این که بیت‌های اولیه آن فریم، به گیرنده برسند ارسال کل فریم را به پایان می‌رساند. به عبارت دیگر، مقادیر بزرگتر a ، با سرعت انتقال داده بیشتر، و مسافت‌های طولانی‌تر بین ایستگاه‌ها، مطابقت دارد. ضمیمه ۷ - الف در مورد a و کارایی اتصال صحبت می‌کند. هر دو بخش شکل (۷-۲ - الف و ب) شامل دنباله‌نمایی از فرآیند انتقال در طول زمان است. در هر دو حالت، اولین چهار نما، فرآیند انتقال یک فریم حاوی داده‌ها را نشان می‌دهند، و آخرین نما، بازگشت تائیدیه یک فریم کوچک می‌باشد. توجه داشته باشید که برای $a > 1$ ، از این خط همیشه کمتر از ظرفیت استفاده می‌شود، و



شکل ۷-۲ استفاده از خط به صورت توقف و-انتظار (زمان انتقال = 1؛ زمان انتشار = a)

حتی برای $a < 1$ ، این خط، به طور ناکارآمدی استفاده می‌گردد. در نتیجه، برای سرعت‌های انتقال داده خیلی زیاد، برای مسافت خیلی طولانی بین فرستنده و گیرنده، کنترل جریان توقف - و - انتظار، استفاده ناکارآمدی از خط را فراهم می‌نماید.

مثال ۷-۱ یک اتصال ۲۰۰ متری فیبر نوری را در نظر بگیرید که با سرعت ۱ Gbps عمل می‌کند. سرعت انتشار فیبر نوری معمولاً 2×10^8 m/s است. با معادله ۷-۱، $B = (10^9 \times 200) / (2 \times 10^8) = 1000$ ، فرض کنید فریمی شامل ۱۰۰۰ octet یا ۸۰۰۰ بیت ارسال می‌شود. با معادله ۷-۲، $a = (1000 / 8000) = 0.125$ ، زمان $t = 0$ شروع شود. پس از $1 \mu s$ (زمان نرمال شده 0.125 مدت فریم)، لبه جلویی (اولین بیت) فریم به R رسیده است، و اولین ۱۰۰۰ بیت این فریم، در طول این اتصال پراکنده شده‌اند. در زمان $t = 8 \mu s$ ، لبه عقبی (آخرین بیت) فریم، توسط T منتشر شده است، و آخرین ۱۰۰۰ بیت این فریم در طول اتصال پراکنده شده‌اند. در $t = 9 \mu s$ ، آخرین بیت این فریم، به R می‌رسد. اینک، R یک فریم ACK می‌فرستد. اگر زمان انتقال فریم قابل صرف نظر کردن باشد (فریم ACK خیلی کوچک)، و ACK بلافاصله فرستاده شود، این ACK در زمان $T = 10 \mu s$ می‌رسد. در این نقطه، T می‌تواند ارسال فریم جدید را آغاز نماید. زمان انتقال واقعی برای این فریم، $8 \mu s$ می‌باشد، اما زمان کلی انتقال اولین فریم و دریافت ACK، $10 \mu s$ است.

اینک اتصال ۱ Mbps را بین دو ایستگاه زمینی در نظر بگیرید که از طریق رله ماهواره‌ای ارتباط دارند. یک ماهواره ژئوسنکرون، ارتفاعی برابر 36000 km دارد. بنابراین:

$$B = (10^6 \times 2 \times 36,000,000) / (3 \times 10^8) = 240,000$$

برای طول فریمی برابر ۸۰۰۰ بیت، $a = (240,000 / 8000) = 30$. با استفاده از شکل ۷-۲ - الف) به عنوان راهنمایی، همان مراحل قبلی را دنبال می‌کنیم. در این حالت، برای لبه جلویی فریم، 240 ms طول می‌کشد تا دریافت شود و یک 8 ms اضافی برای رسیدن تمام فریم لازم است. ACK در T و در $t = 488$ ms به T باز می‌گردد. زمان واقعی انتقال برای اولین فریم، 8 ms می‌باشد، اما زمان کلی برای ارسال اولین فریم و دریافت ACK، 488 ms است.

کنترل جریان پنجره لغزان

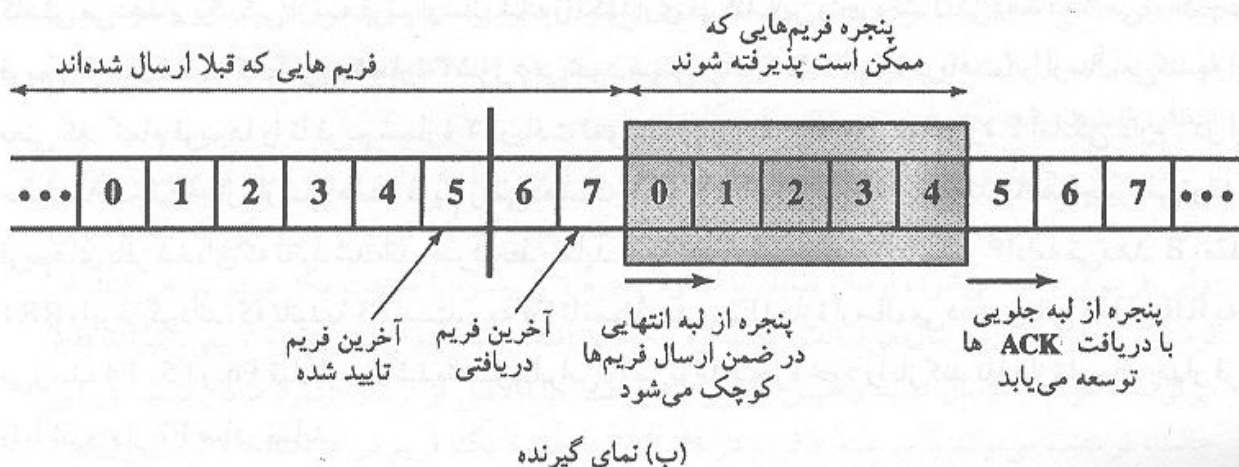
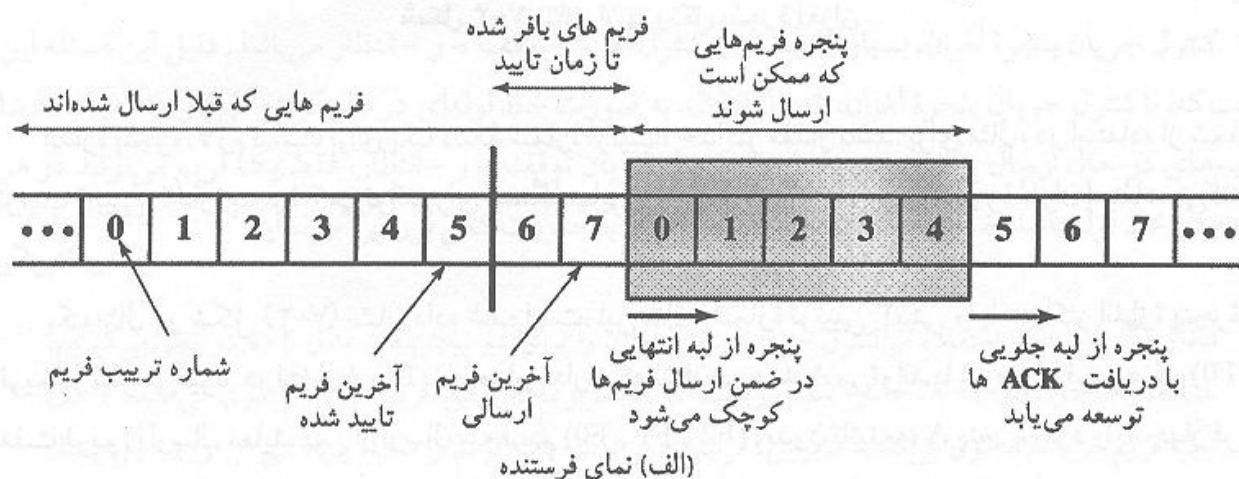
اهمیت مشکل بحث شده تاکنون این است که فقط یک فریم در هر دفعه می‌تواند در حال انتقال باشد. در حالت‌هایی که طول بیت یک اتصال، بزرگتر از طول فریم است ($a > 1$)، عدم کارایی بالایی وجود خواهد داشت. کارایی می‌تواند با ایجاد امکان انتقال همزمان چند فریم تا حد زیادی ارتقاء یابد.

حال بررسی می‌کنیم که چگونه این عمل برای دو ایستگاه A و B که از طریق اتصال full duplex به یکدیگر متصل می‌باشند، انجام می‌گیرد. ایستگاه B فضای بافری را برای W فریم اختصاص می‌دهد. بنابراین، بدون منتظر ماندن برای تأییدیه، B می‌تواند W فریم را بپذیرد و A اجازه دارد W فریم را بفرستد. به منظور پیگیری این که کدام فریم‌ها تأیید شده‌اند، به هر کدام یک برچسب شماره داده می‌شود. B یک فریم را با ارسال تأییدیه‌ای که شامل شماره ترتیب فریم بعدی مورد انتظار می‌باشد، تأیید می‌نماید. این تأییدیه همچنین به طور ضمنی اعلام می‌کند که B، با شروع از شماره مشخص شده، آماده دریافت W فریم بعدی است. این طرح می‌تواند برای تأیید نمودن چند

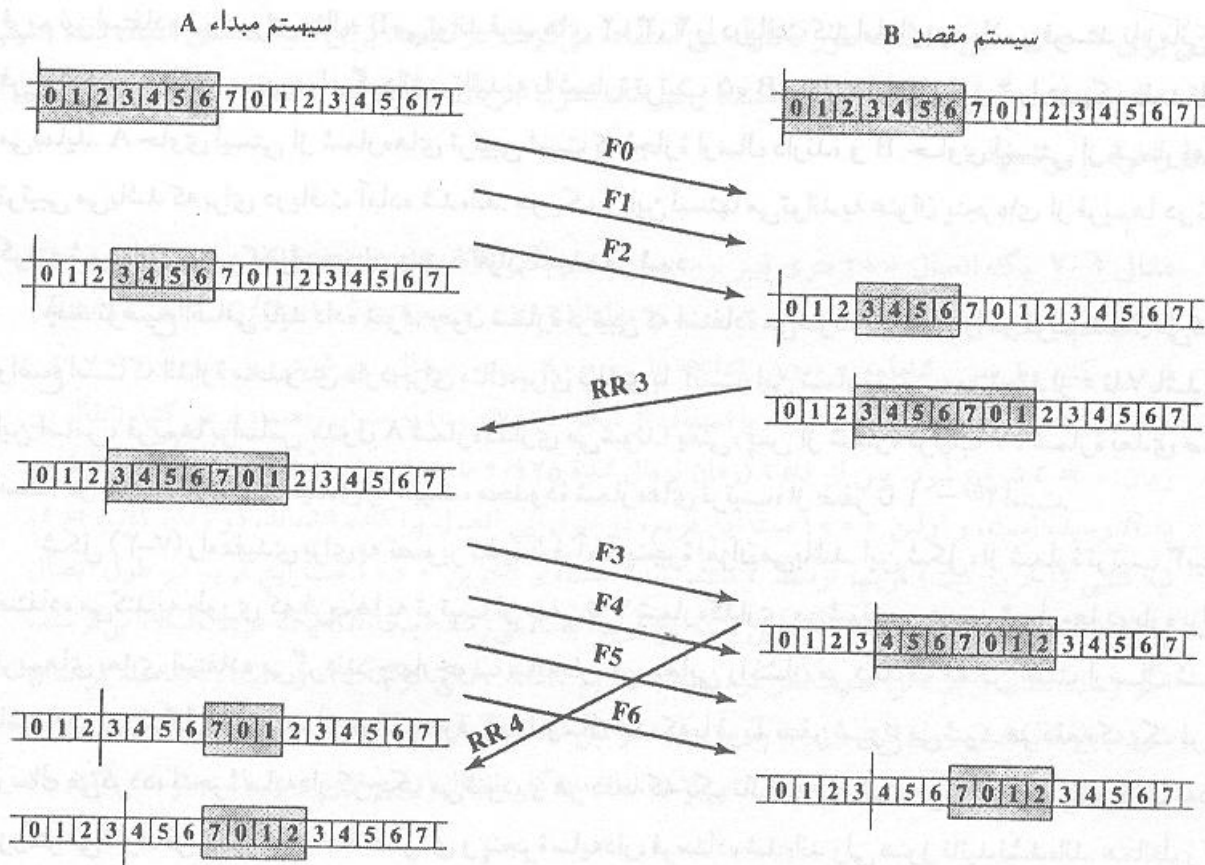
فریم نیز استفاده شود. برای مثال، B می‌تواند فریم‌های ۲، ۳، ۴ را دریافت کند اما تائیدیه را نمی‌فرستد تا زمانی که فریم ۴ رسیده باشد. سپس، با برگرداندن تائیدیه با شماره ترتیب ۵، B، فریم‌های ۲، ۳ و ۴ را در یک دفعه تائید می‌نماید. A حاوی لیستی از شماره‌های ترتیبی است که اجازه ارسال دارند، و B حاوی لیستی از شماره‌های ترتیبی می‌باشد که برای دریافت آماده شده‌اند. هر یک از این لیست‌ها می‌تواند به عنوان پنجره‌ای از فریم‌ها در نظر گرفته شود. این عمل، کنترل جریان پنجره لغزان نامیده می‌شود.

چند توضیح اضافی باید داده شود. چون شماره ترتیبی که استفاده می‌شود، یک فیلد را در فریم اشغال می‌کند، واضح است که اندازه محدودی دارد. برای مثال، برای فیلدی با ۳ بیت، این شماره ترتیب می‌تواند از ۰ تا ۷ باشد. بر این اساس، فریم‌ها براساس مدول ۸ شماره‌گذاری می‌شوند؛ یعنی، پس از شماره ترتیب ۷، شماره بعدی صفر است. در حالت کلی، برای فیلدی با k بیت، محدوده شماره‌های ترتیب، از صفر تا $2^k - 1$ است.

شکل (۷-۳) راه مفیدی برای به تصویر کشیدن فرآیند پنجره لغزان می‌باشد. این شکل، از شماره ترتیب ۳ بیتی استفاده می‌کند به طوری که فریم‌ها به ترتیب از صفر تا ۷ شماره‌گذاری می‌شوند، و همین شماره‌ها دوباره برای فریم‌های بعدی استفاده می‌گردند. چهارچوب سایه‌دار، فریم‌هایی را نشان می‌دهد که ممکن است ارسال شده باشند؛ در این شکل، فرستنده می‌تواند پنج فریم را ارسال کند، که با فریم صفر شروع می‌شود. هر دفعه که یک فریم ارسال می‌گردد، پنجره سایه‌دار کوچک می‌شود، و هر دفعه که یک تائیدیه دریافت می‌گردد، این پنجره سایه‌دار بزرگتر می‌شود. فریم‌های بین خط عمودی و پنجره سایه‌دار، فرستاده شده‌اند ولی هنوز تائید نشده‌اند. همانطور که خواهید دید، فرستنده فریم‌هایی را که باید ارسال شوند، بافر می‌نماید.



شکل ۷-۳ طرح پنجره لغزان



شکل ۴-۷ مثالی از پروتکل پنجره لغزان

اندازه پنجره، لازم نیست برای یک دنباله شماره ترتیب، حداکثر مقدار باشد. برای مثال، در استفاده از شماره ترتیب ۳ بیتی، اندازه پنجره ۴ می تواند برای ایستگاههایی که از پروتکل کنترل جریان پنجره لغزان استفاده می کنند، پیکربندی شود.

یک مثال در شکل (۷-۴) نشان داده شده است. این مثال، شماره ترتیبی ۳ بیتی را با حداکثر اندازه پنجره ۷ فریم در نظر می گیرد. در ابتدا، A و B پنجره هایی دارند که نشان می دهد A می تواند با شروع از فریم صفر (F0)، هفت فریم را ارسال نماید. پس از ارسال سه فریم (F0, F1, F2)، بدون تأییدیه، A پنجره خود را به چهار فریم کاهش می دهد و یک کپی از سه فریم ارسال شده را نگهداری می کند. این پنجره نشان می دهد که A می تواند چهار فریم را ارسال نماید، که با فریم شماره ۳ شروع می شود. سپس، یک RR ۳ (آماده دریافت) را ارسال می کند به این معنی که: "تمام فریم ها را تا فریم شماره ۲ دریافت نموده ام و برای دریافت فریم شماره ۳ آمادگی دارم". در این حالت، A مجدد اجازه ارسال هفت فریم را می دهد، که هنوز با شماره ۳ شروع می شوند؛ A همچنین می تواند از فریم های بافر شده ای که تأیید شده اند، صرف نظر نماید. A به ارسال فریم های ۳، ۴، ۵ و ۶ ادامه می دهد. B، مقدار RR4 را برمی گرداند، که تأییدیه F3 است، و به F4 تا نمونه بعدی F2 اجازه ارسال می دهد. زمانی که این RR به A می رسد، F4، F5 و F6 قبلاً ارسال شده اند، و بنابراین A می تواند پنجره خود را باز کند تا اجازه ارسال چهار فریم را با شروع از F7 صادر نماید.

مکانیزمی که تا این مرحله توصیف شده است، شکلی از کنترل جریان را فراهم می نماید: گیرنده فقط باید

بتواند هفت فریم جلوتر از فریمی را که آخرین بار تأیید شده، سازماندهی نماید. اکثر پروتکل‌ها به یک ایستگاه امکان می‌دهند تا جریان فریم‌ها را از طرف دیگر، با فرستادن پیغام "آماده نبودن برای دریافت" (RNR) قطع کند، که فریم‌های قبلی را تأیید نموده اما مانع انتقال فریم‌های بعدی می‌شود. بنابراین، RNR5 به این معنی است: "تمام فریم‌ها را تا شماره ۴ دریافت نموده‌ام، اما نمی‌توانم فریم دیگری را بپذیریم". در نقطه‌ای، این ایستگاه باید یک تأییدیه معمولی برای بازگشایی مجدد این پنجره بفرستد.

تاکنون، انتقال فقط در یک جهت مورد بحث قرار گرفت. اگر دو ایستگاه تبادل داده داشته باشند، هر یک نیازمند نگهداری دو پنجره است، یکی برای ارسال و یکی برای دریافت، و هر طرف نیازمند ارسال داده‌ها و تأییدیه‌ها به دیگری است. به منظور فراهم نمودن حمایت کارآمدی برای این نیاز، جنبه‌ای به نام سوار شدن معمولاً فراهم می‌شود. هر فریم داده شامل فیلدی است که شماره ترتیب آن فریم را همراه با فیلدی نگهداری می‌کند که حاوی شماره ترتیب تأییدیه است. بنابراین اگر یک ایستگاه داده‌ای همراه با تأییدیه‌ای برای ارسال داشته باشد، هر دوی آنها را با هم در یک فریم می‌فرستد، و در ظرفیت ارتباط صرفه‌جویی می‌نماید. البته، اگر یک ایستگاه یک تأییدیه داشته باشد اما داده‌ای برای ارسال نداشته باشد، فریم تأییدیه جداگانه‌ای مانند RR یا RNT می‌فرستد. اگر یک ایستگاه داده‌ای برای ارسال داشته باشد بدون تأییدیه جدید، باید شماره ترتیب آخرین تأییدیه‌ای را که فرستاده، تکرار نماید. این عمل به این دلیل انجام می‌گیرد که فریم داده شامل فیلدی برای شماره تأییدیه می‌باشد، و مقداری برای آن باید قرار داده شود. هنگامی که ایستگاه، تأییدیه تکراری دریافت می‌کند، از آن صرف‌نظر می‌نماید.

کنترل جریان پنجره لغزان، بسیار کارآمدتر از کنترل جریان توقف - و - انتظار می‌باشد. دلیل این مسئله این است که، با کنترل جریان پنجره لغزان، اتصال انتقال، به صورت خط لوله‌ای در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند با فریم‌های در حال ارسال پر شود. در مقابل، در کنترل جریان توقف - و - انتظار، فقط یک فریم می‌تواند در هر دفعه در خط لوله باشد. ضمیمه ۷ - الف، ارتقاء کارایی را به صورت کمی بررسی می‌نماید.

مثال ۷-۲ اینک استفاده از کنترل جریان پنجره لغزان را برای دو پیکربندی مثال ۱-۷ در نظر می‌گیریم. همانطور که در مثال ۱-۷ محاسبه شد، دریافت ACK مربوط به اولین فریم، $10 \mu s$ طول می‌کشد. ارسال یک فریم نیز $8 \mu s$ طول می‌کشد، بنابراین، فرستنده می‌تواند یک فریم را همراه با بخشی از فریم دوم ارسال کند، در مدتی که ACK برای فریم اول دریافت می‌شود. بنابراین، اندازه پنجره ۲، برای وادار نمودن فرستنده برای ارسال مداوم فریم‌ها، یا سرعت یک فریم در هر $8 \mu s$ ، مناسب می‌باشد. در توقف - و - انتظار، فقط سرعت یک فریم در $10 \mu s$ امکان‌پذیر است.

در یک پیکربندی ماهواره، 488 ms برای دریافت ACK مربوط به اولین فریم، زمان لازم است. 8 ms برای ارسال یک فریم زمان نیاز می‌باشد، بنابراین فرستنده می‌تواند ۶۱ فریم را در زمانی که ACK برای اولین فریم دریافت می‌شود، ارسال نماید. با اندازه پنجره ۶ یا بیشتر، یا سرعت یک فریم در هر 8 ms ، فرستنده به طور مداوم ارسال می‌نماید. اگر اندازه پنجره ۷ باشد، با استفاده از فیلد پنجره ۳ بیتی، گیرنده فقط می‌تواند ۷ فریم را ارسال نماید و سپس باید برای دریافت ACK قبل از ارسال بیشتر، منتظر بماند. در این حالت، فرستنده می‌تواند با سرعت ۷ فریم در 488 ms یا حدود یک فریم در هر 70 ms ارسال را انجام دهد. با توقف - و - انتظار، فقط سرعت یک فریم در هر 488 ms بدست می‌آید.

کنترل خطا به مکانیزم‌هایی برای آشکارسازی و تصحیح خطاهایی که در انتقال فریم‌ها به وجود می‌آیند اشاره می‌نماید. مدل استفاده شده، که حالت معمول آن را پوشش می‌دهد، در شکل (۷-۱-ب) نشان داده شده است. مانند قبل، داده‌ها به صورت دنباله‌ای از فریم‌ها ارسال می‌شوند؛ فریم‌ها به همان ترتیبی می‌رسند که ارسال شده‌اند؛ و هر فریم ارسال شده، قبل از دریافت، میزان تأخیر متغیری خواهد داشت. علاوه بر آن، امکان دو نوع خطا را مورد توجه قرار می‌دهیم:

- فریم‌های گم شده: یک فریم نمی‌تواند به طرف دیگر برسد. برای مثال، یک نویز توده‌ای می‌تواند به یک فریم به طوری صدمه بزند که گیرنده از ارسال آن فریم مطلع نشود.
- فریم‌های صدمه دیده: یک فریم قابل شناسایی دریافت می‌شود، اما بخشی از بیت‌های آن، خطا هستند. (در اثر انتقال، تغییر نموده‌اند).

متداول‌ترین تکنیک برای کنترل خطا، بر مبنای برخی یا تمامی موارد زیر می‌باشد:

- آشکارسازی خطا: در فصل ۶ بحث شده است.
- تائیدیه مثبت: مقصد، یک تائیدیه مثبت برای دریافت موفقیت‌آمیز و بدون خطای فریم می‌فرستد.
- ارسال مجدد بعد از پایان مهلت: مبدأ، فریمی را که پس از زمان از پیش تعیین شده تائید نشود، مجدداً ارسال می‌نماید.
- تائیدیه منفی و ارسال مجدد: مقصد، تائیدیه منفی را برای فریم دارای خطا، باز می‌گرداند. مبدأ، چنین فریمی را مجدداً ارسال می‌کند.

در مجموع، این مکانیزم‌ها همه به یک درخواست تکرار اتوماتیک (ARQ) اشاره دارند؛ تأثیر ARQ، تبدیل اتصال داده غیرقابل اطمینان، به یک اتصال قابل اطمینان می‌باشد. سه روایت از ARQ، استاندارد شده است:

ARQ توقف - و - انتظار

N ARQ - برگشت - به عقب

ARQ حذف - انتخابی

همه این شکل‌ها، بر مبنای استفاده از تکنیک‌های کنترل جریان بحث شده در بخش ۷-۱ عمل می‌کنند. هر یک به ترتیب بررسی می‌شوند.

ARQ توقف - و - انتظار

ARQ توقف - و - انتظار، بر مبنای تکنیک کنترل جریان توقف - و - انتظاری عمل می‌کند که بررسی شده است. ایستگاه مبدأ، یک فریم را ارسال می‌کند و سپس باید منتظر تائیدیه (ACK) بماند. هیچ فریم داده دیگری تا زمانی که پاسخ ایستگاه مقصد، به ایستگاه مبدأ برسد، قابل ارسال نیست.

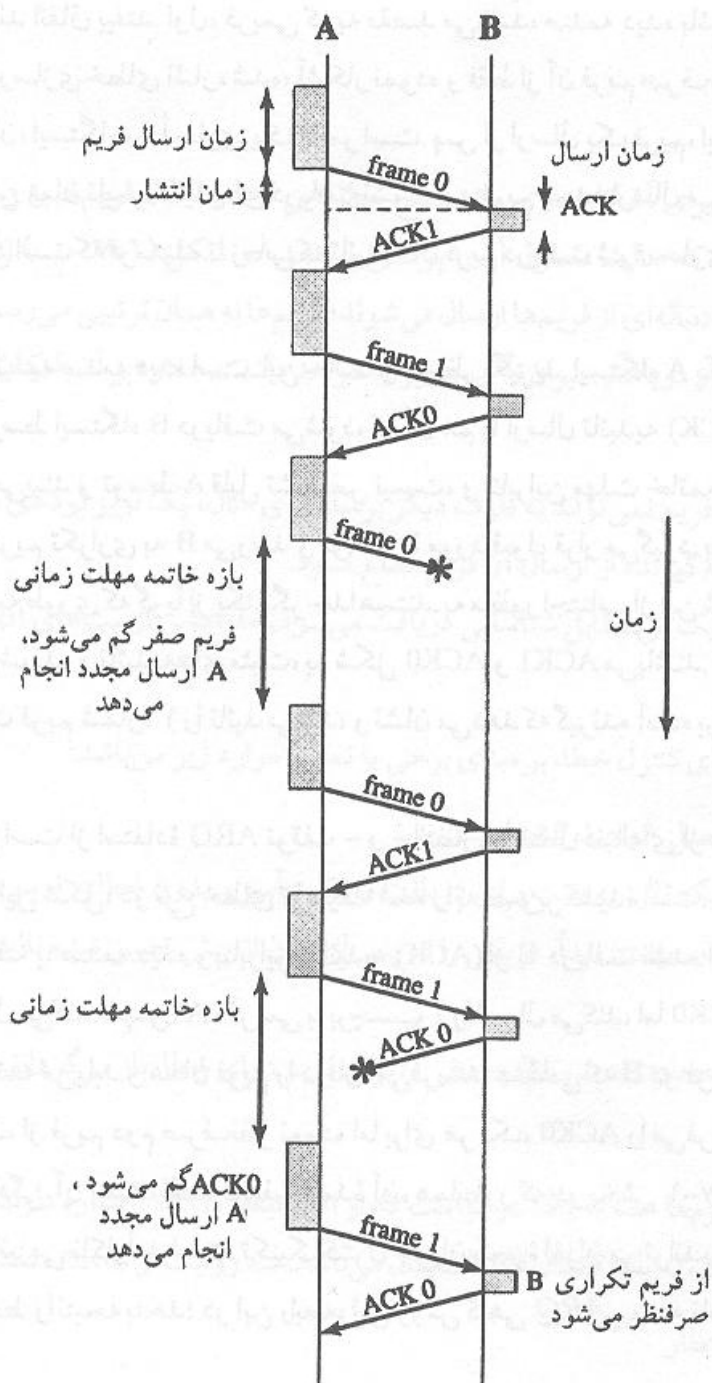
دو نوع خطا می‌تواند اتفاق بیفتد. اول، فریمی که به مقصد می‌رسد، صدمه دیده باشد. گیرنده، این مود را با استفاده از تکنیک آشکار سازی خطای اشاره شده، آشکار نموده و فقط از آن فریم صرف نظر می‌نماید. به منظور به حساب آوردن این امکان، ایستگاه مبدأ حاوی یک تایمر است. پس از ارسال یک فریم، ایستگاه مبدأ منتظر تائیدیه می‌ماند. اگر با پایان یافتن زمان تایمر، تائیدیه‌ای دریافت نشود، این فریم مجدداً ارسال می‌گردد. توجه داشته باشید که این روش نیازمند این است که فرستنده تا زمانی که تائیدیه آن فریم دریافت شود، حاوی یک کپی از فریم ارسال شده باشد.

دومین نوع خطا، تائیدیه صدمه دیده است. این حالت را در نظر بگیرید. ایستگاه A یک فریم را می‌فرستد. این فریم به طور صحیح توسط ایستگاه B دریافت می‌شود، که آن هم با ارسال تائیدیه (ACK) پاسخ می‌دهد. این ACK در مسیر صدمه می‌بیند و توسط A قابل تشخیص نیست، و بنابراین مهلت خاتمه می‌یابد و همان فریم را دوباره می‌فرستد. این فریم تکراری به B می‌رسد و توسط B مورد قبول قرار می‌گیرد. بنابراین B دو کپی از یک فریم را دریافت نموده، به طوری که گویا از یکدیگر جدا هستند. به منظور اجتناب از این شکل، فریم‌ها به ترتیب با ۰ و ۱ برچسب زده می‌شوند، و تائیدیه‌های مثبت، به شکل ACK0 و ACK1 می‌باشند. با روش پنجره لغزان، تائیدیه ACK0، دریافت فریم شماره ۱ را تائید می‌کند، و نشان می‌دهد که گیرنده آماده برای دریافت فریم شماره صفر است.

شکل (۷-۵) مثالی است از استفاده ARQ توقف - و - انتظار، و انتقال دنباله‌ای از فریم‌ها را از مبدأ A به مقصد B نشان می‌دهد. این شکل، دو نوع خطای توصیف شده را به تصویر کشیده است. سومین فریمی که توسط A ارسال شده، از بین رفته یا صدمه دیده و بنابراین، تائیدیه (ACK) از B دریافت نشده است. با خاتمه مهلت، A این فریم را دوباره ارسال می‌کند. سپس، A، فریمی با برچسب ۱ را ارسال می‌کند، اما ACK0 برای آن فریم، از بین رفته است. مهلت A خاتمه می‌یابد و همان فریم را دوباره می‌فرستد. هنگامی که B دو فریم را در یک سطر با یک برچسب دریافت می‌کند، از فریم دوم صرف نظر نموده اما برای هر یک، ACK0 را می‌فرستد. فایده اصلی ARQ توقف - و - انتظار، سادگی آن است. نقطه ضعف عمده آن، همانطور که در بخش ۷-۱ بحث شد، این است که توقف - و - انتظار، مکانیزمی ناکارآمد است. تکنیک کنترل جریان پنجره لغزان می‌تواند به شکلی سازگار شود که استفاده کارآمدتری از خط را نتیجه بدهد؛ در این رابطه، این روش گاهی ARQ پیوسته نامیده می‌شود.

N ARQ - برگشت - به عقب

یک شکل از کنترل خطا بر مبنای کنترل جریان پنجره لغزان، که بسیار استفاده می‌شود، N ARQ - برگشت - به عقب می‌باشد. در این روش، یک ایستگاه می‌تواند یک سری فریم را که براساس یک مدول حداکثر شماره گذاری شده‌اند، به ترتیب ارسال نماید. تعداد فریم‌های تائید شده براساس اندازه پنجره، با استفاده از تکنیک کنترل جریان پنجره لغزان مشخص می‌شود. در صورت عدم بروز خطا، مقصد، فریم‌های دریافتی را به طور معمول تائید می‌نماید (RR = آماده دریافت، یا تائیدیه سوار شده بر روی فریم). اگر ایستگاه مقصد، خطایی را در فریم آشکار نماید، می‌تواند یک تائیدیه منفی (مردود = REJ) برای آن فریم ارسال نماید، همانطور که در قوانین زیر توضیح داده شده است. ایستگاه مقصد، از آن فریم و تمام فریم‌های ورودی بعدی تا زمانی که فریم دارای خطا به درستی دریافت شود، صرف نظر می‌کند. بنابراین، ایستگاه مبدأ، در صورت دریافت REJ، باید فریم دارای خطا را



شکل ۵-۷ ARQ توقف و-انتظار

همراه با تمام فریم‌های بعدی ارسال شده در این فاصله، مجدد ارسال کند. فرض کنید که ایستگاه A در حال فرستادن فریم‌هایی به ایستگاه B است. بعد از هر انتقال، تایمر، تأییدیه را برای فریم ارسال شده، تنظیم می‌نماید. فرض کنید که B قبلاً $(i - 1)$ عدد فریم را با موفقیت دریافت نموده و A اینک فریم شماره i را ارسال نموده است. تکنیک N - برگشت - به عقب، این حالت‌ها را در نظر می‌گیرد:

۱- فریم صدمه دیده: اگر فریم دریافت شده نامعتبر باشد (یعنی، B خطایی را آشکار نموده، یا فریم آنچنان صدمه دید، که B نتوانسته تشخیص دهد یک فریم را دریافت نموده است)، B از این فریم صرف‌نظر می‌کند و عمل دیگری را برای آن فریم انجام نمی‌دهد. دو حالت وجود دارد:

الف - در یک زمان قابل قبول، A ، فریم $(i + 1)$ را می‌فرستد. B ، فریم $(i + 1)$ را خارج از ترتیب خود دریافت می‌کند و $REJ\ i$ را ارسال می‌کند. A باید فریم i را همراه با تمام فریم‌های بعدی، دوباره بفرستد.

ب - A بلافاصله فریم‌های اضافی را نمی‌فرستد. B چیزی دریافت نمی‌کند و RR یا REJ را ارسال نمی‌نماید. هنگامی که مهلت تایمر A به پایان برسد، یک فریم RR ارسال می‌کند که حاوی بیتی به نام P -bit می‌باشد، که برابر ۱ قرار داده می‌شود. B فریم RR را همراه با مقدار ۱ برای P ، تفسیر می‌نماید. این مقدار، دستوری است که باید با ارسال RR ، تأیید گردد و فریم بعدی مورد انتظار را، که i می‌باشد، نشان دهد. هنگامی که A ، این RR را دریافت می‌کند، فریم i را دوباره می‌فرستد. در حالت دیگر، A فقط می‌تواند فریم i را زمانی که مهلت تایمر آن به پایان رسیده باشد، ارسال کند.

۲-RR صدمه دیده: دو حالت وجود دارد:

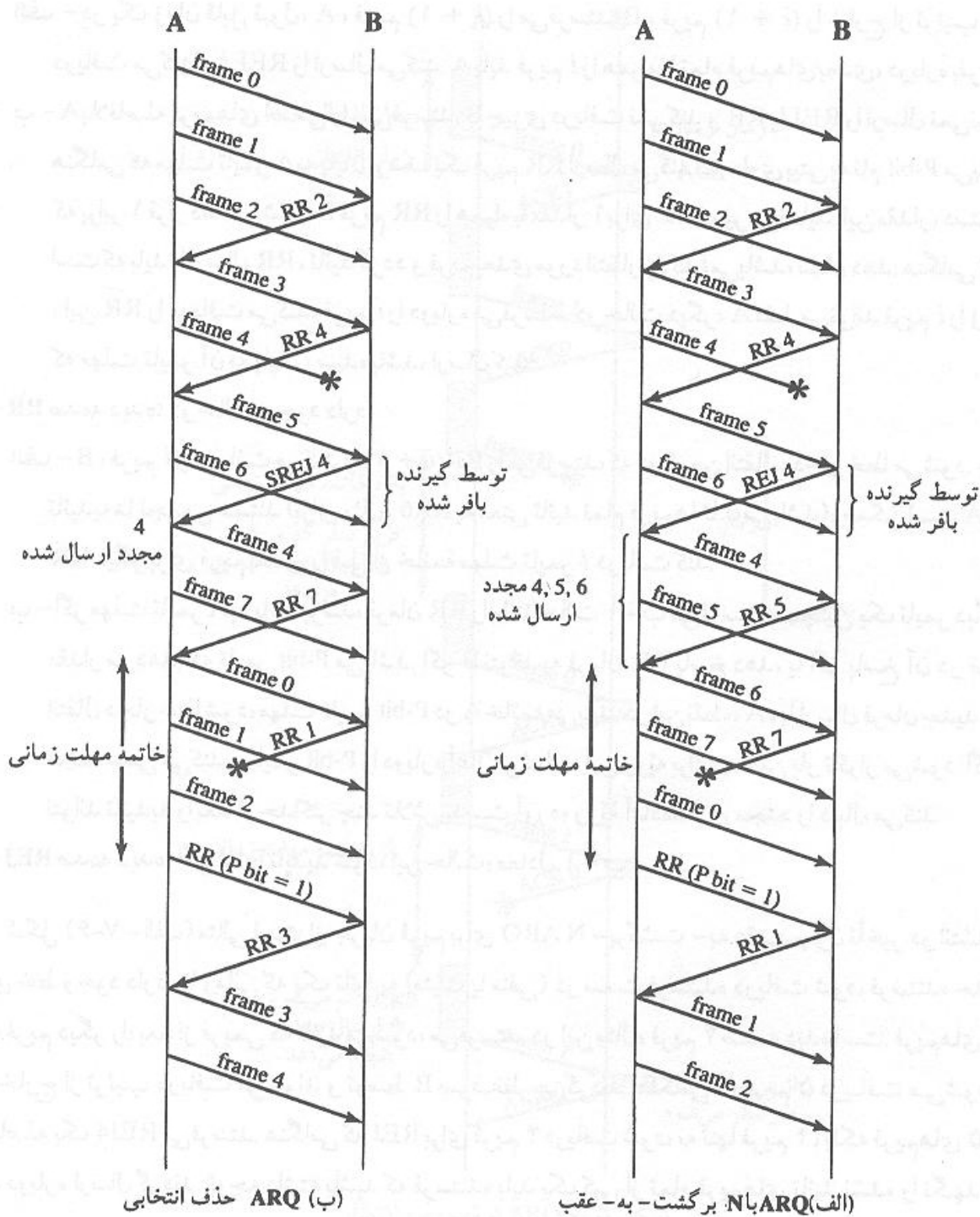
الف - B ، فریم i را دریافت می‌کند و $RR(i + 1)$ را می‌فرستد، که در ضمن انتقال، دچار خطا می‌شود. چون تأییدیه‌ها تجمعی هستند (برای مثال، $RR6$ به معنی تأیید تمام فریم‌ها تا ۵ می‌باشد)، ممکن است A یک RR دیگر برای فریم بعدی را قبل از خاتمه مهلت تایمر i دریافت کند.

ب - اگر مهلت تایمر A به پایان برسد، فرمان RR را مانند حالت ۱ - ب می‌فرستد. همچنین یک تایمر دیگر را مقدار می‌دهد، که تایمر P -bit می‌باشد. اگر B نتواند به فرمان RR پاسخ دهد، یا اگر پاسخ آن در ضمن انتقال دچار خطا شود، مهلت تایمر P -bit در A خاتمه می‌یابد. در این نقطه، A ، با ارسال فرمان جدید RR مجدد سعی می‌کند و تایمر P -bit را دوباره آغاز می‌نماید. این رویه برای چندین بار تکرار می‌شود. اگر A نتواند تأییدیه را بعد از حداکثر چند تلاش بدست آورد، رویه آماده‌سازی مجدد را دنبال می‌کند.

۳-REJ صدمه دیده: اگر REJ ناپدید شود، این حالت، معادل ۱ - ب است.

شکل (۶-۷ - الف) مثالی است از جریان فریم برای $N\ ARQ$ - برگشت - به عقب. چون تأخیر در انتشار بر روی خط وجود دارد، تا زمانی که یک تأییدیه (مثبت یا منفی) در سمت فرستنده دریافت شود، فرستنده حداقل یک فریم دیگر را، بعد از فریمی که تأیید می‌شود، می‌فرستد. در این مثال، فریم ۴ صدمه دیده است. فریم‌های ۵ و ۶، خارج از ترتیب دریافت می‌شوند و توسط B صرف‌نظر می‌گردند. هنگامی که فریم ۵ دریافت می‌شود، B بلافاصله یک $REJ4$ می‌فرستد. هنگامی که REJ برای فریم ۴ دریافت شود، نه تنها فریم ۴، بلکه فریم‌های ۵ و ۶ باید دوباره ارسال گردند. توجه داشته باشید که فرستنده باید یک کپی از تمام فریم‌های تأیید نشده را نگهداری نماید.

در بخش ۱-۷، اشاره شد که برای فیلد شماره ترتیب k بیتی، که محدوده شماره ترتیب 2^k را فراهم می‌نماید، حداکثر اندازه پنجره، به $2^k - 1$ محدود می‌شود. این مسئله مربوط می‌شود به تعامل بین کنترل خطا و تأییدیه. در نظر بگیرید که اگر داده‌ها در هر دو جهت مبادله شوند، ایستگاه B باید تأییدیه‌های فریم‌های ایستگاه A را بر روی فریم‌های داده ارسالی B سوار نماید، حتی اگر این تأییدیه‌ها قبلاً فرستاده شده باشند. همانطور که قبلاً اشاره شد، این عمل به این دلیل انجام می‌شود که B باید عددی را در فیلد تأییدیه فریم داده خود قرار دهد. به عنوان مثال، شماره ترتیبی ۳ بیتی را در نظر بگیرید (محدوده شماره ترتیب = ۸). فرض کنید یک ایستگاه فریم صفر را می‌فرستد و $RR1$ را دریافت می‌کند، و سپس فریم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ را می‌فرستد و $RR1$ دیگری را



شکل ۶-۷ پروتکل‌های ARQ پنجره لغزان

دریافت می‌کند. این حالت به این معنی است که هر هشت فریم با هم دریافت شده‌اند RR1 و تأییدیه تجمعی است. می‌تواند به این معنی هم باشد که هر هشت فریم صدمه دیده یا ناپدید شده‌اند، و ایستگاه گیرنده، RR1 قبلی را تکرار نموده است. از این مشکل اجتناب می‌شود اگر حداکثر اندازه پنجره، به $2^3 - 1$ محدود شود.

ARQ حذف - انتخابی

در ARQ حذف - انتخابی، تنها فریم‌هایی که دوباره ارسال می‌شوند، آنهایی هستند که تائیدیه منفی دریافت می‌کنند، که در این حالت، SREJ یا آنهایی که مهلت‌شان به پایان رسیده، نامیده می‌شوند. شکل (۶-۷ - ب) این طرح را نشان می‌دهد. هنگامی که فریم ۵ خارج از ترتیب خود دریافت شود، B یک SREJ4 را می‌فرستد، و نشان می‌دهد که فریم ۴ دریافت نشده است. به هر حال، B به پذیرش فریم‌های دریافتی ادامه می‌دهد و آنها را در بافر قرار داده تا فریم ۴ معتبری دریافت شود. در آن نقطه، B می‌تواند این فریم‌ها را برای تحویل به نرم‌افزار لایه بالاتر، به ترتیب قرار دهد.

حذف - انتخابی به نظر کارآمدتر از N - برگشت - به عقب می‌باشد، زیرا میزان انتقال مجدد را به حداقل می‌رساند. از طرف دیگر، گیرنده باید بافر بزرگی داشته باشد که برای ذخیره فریم‌های بعدی SREJ کافی باشد تا زمانی که فریم دارای خطا دوباره ارسال شود. همچنین و باید حاوی منطقی به منظور جایگزینی مجدد آن فریم در محل مناسب باشد. فرستنده نیز نیازمند منطق پیچیده‌تری است تا بتواند فریمی را خارج از ترتیب بفرستد. به دلیل این پیچیدگی، ARQ حذف - انتخابی کمتر از N ARQ - برگشت - به عقب استفاده می‌شود. حذف - انتخابی، انتخاب مفیدی برای اتصال ماهواره است زیرا تأخیر انتشار زیادی وجود دارد.

محدودیت اندازه پنجره، برای حذف - انتخابی، بسیار محدود کننده‌تر از N - برگشت - به عقب می‌باشد. حالتی را در نظر بگیرید که شماره ترتیب ۳ بیتی برای مردود - انتخابی استفاده شود. اندازه پنجره هفت، و موارد زیر را در نظر بگیرید:

- ۱- ایستگاه A فریم‌های صفر تا ۶ را به ایستگاه B می‌فرستد.
- ۲- ایستگاه B هر هفت فریم را دریافت می‌کند و با RR7، به صورت تجمعی آنها را تائید می‌کند.
- ۳- به دلیل نویز توده‌ای، RR7 از بین می‌رود.
- ۴- مهلت زمانی A پایان می‌یابد و فریم صفر را دوباره می‌فرستد.
- ۵- B قبلاً پنجره خود را جلو برده تا فریم‌های ۷، ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ را دریافت کند. بنابراین فرض می‌کند فریم ۷ گم شده است و این یک فریم صفر جدید است، و آن را می‌پذیرد.

مشکل این سناریو این است که همپوشانی بین پنجره‌های فرستنده و گیرنده وجود ندارد. به منظور غلبه بر این مشکل، حداکثر اندازه پنجره نباید بیشتر از نصف محدوده شماره‌های ترتیب باشد. در سناریوی قبلی، اگر فقط چهار فریم تائید نشده بتواند وجود داشته باشد، هیچ سردرگمی به وجود نمی‌آید. در حالت کلی، برای یک فیلد شماره ترتیب k بیتی، که محدوده شماره ترتیب 2^k را ایجاد می‌کند، حداکثر اندازه پنجره، به 2^{k-1} محدود می‌شود.

۷-۳ کنترل اتصال داده سطح بالا (HDLC)

مهمترین پروتکل کنترل اتصال داده، HDLC (ISO 3009, ISO 4335) می‌باشد. HDLC نه تنها به طور گسترده استفاده می‌شود، بلکه مبنایی برای بسیاری از پروتکل‌های کنترل اتصال داده مهم دیگر نیز می‌باشد، که همین قالب‌ها یا قالب‌هایی مشابه HDLC را با همین مکانیزم‌ها بکار می‌برند.

خصوصیات اصلی

به منظور برآوردن نیازهای بسیاری از کاربردها، HDLC، سه نوع ایستگاه، دو پیکربندی اتصال، و سه مود عملکرد انتقال داده را تعریف می‌کند. سه نوع ایستگاه آن عبارتند از:

- ایستگاه اولیه: مسئول کنترل نمودن عملکرد اتصال می‌باشد. فریم‌هایی که توسط آن ارسال می‌شوند، دستورات نام دارند.
- ایستگاه ثانویه: تحت کنترل ایستگاه اولیه کار می‌کند. فریم‌های صادر شده توسط این ایستگاه، پاسخها نامیده می‌شوند. ایستگاه اولیه، یک اتصال منطقی مجزایی با هر ایستگاه ثانویه موجود بر روی خط، دارد.
- ایستگاه ترکیبی: جنبه‌های ایستگاههای اولیه و ثانویه را ترکیب می‌نماید. یک ایستگاه ترکیبی، می‌تواند دستورات و پاسخها را صادر کند.

دو پیکربندی اتصال آن عبارتند از:

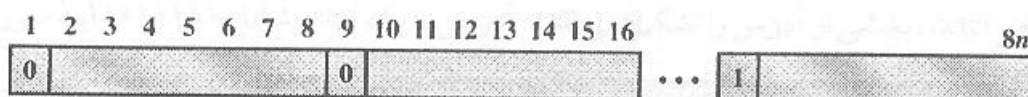
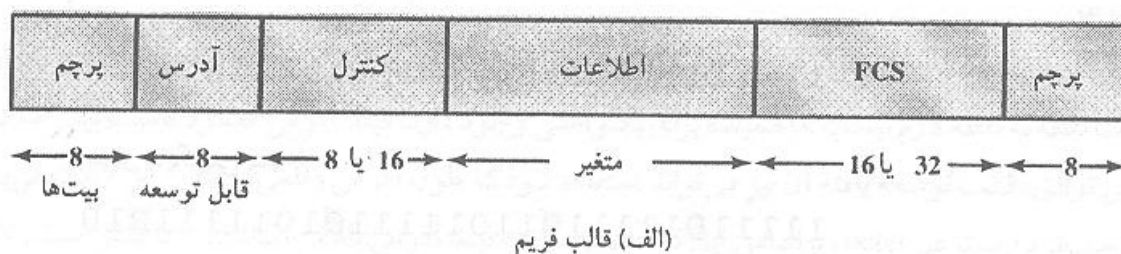
- پیکربندی نامتعادل: شامل یک ایستگاه اولیه و یک یا چند ایستگاه ثانویه است و انتقال half-duplex و full duplex را حمایت می‌کند.
 - پیکربندی متعادل: شامل دو ایستگاه ترکیبی است و انتقال half-duplex و full-duplex را حمایت می‌کند.
- سه مود انتقال داده آن عبارتند از:

- مود پاسخ نرمال (NRM): با یک پیکربندی نامتعادل استفاده می‌شود. ایستگاه اولیه می‌تواند انتقال داده به ایستگاه ثانویه را آماده‌سازی نماید، اما ایستگاه ثانویه می‌تواند فقط داده‌ها را در پاسخ به دستوری از ایستگاه اولیه ارسال کند.
- مود متعادل آسنکرون (ABM): با پیکربندی متعادل استفاده می‌شود. هر ایستگاه ترکیبی می‌تواند انتقال را بدون دریافت اجازه از ایستگاه ترکیبی دیگر، آماده‌سازی نماید.
- مود پاسخ آسنکرون (ARM): با پیکربندی نامتعادل استفاده می‌شود. ایستگاه ثانویه می‌تواند انتقال را بدون مجوز صریح از ایستگاه اولیه آماده‌سازی نماید. ایستگاه اولیه هنوز وظیفه اداره خط را، شامل آماده‌سازی، ترمیم خط، و قطع ارتباط منطقی بر عهده دارد.

NRM در خطوطی با چند انشعاب استفاده می‌شود که در آنها، چندین ترمینال به یک کامپیوتر میزبان متصل شده‌اند. NRM همچنین گاهی در اتصالات نقطه به نقطه استفاده می‌شود، مخصوصاً اگر این اتصال، یک ترمینال یا دستگاه جانبی دیگری را به کامپیوتر متصل نماید. ABM پرستفاده‌ترین روش می‌باشد؛ این روش، از اتصال نقطه به نقطه full-duplex به صورت کارآمدتری استفاده می‌نماید، زیرا سرپار polling را ندارد. ARM به ندرت استفاده می‌شود؛ در موارد خاصی کاربرد دارد که در آنها، ایستگاه ثانویه، نیاز به آماده‌سازی انتقال دارد.

ساختار فریم

HDLC از انتقال سنکرون استفاده می‌کند. همه انتقالها به شکل فریم‌ها هستند، و یک قالب فریم، برای همه انواع تبادل‌های داده و کنترل مناسب می‌باشد.



(ب) فیلد آدرس توسعه یافته

	1	2	3	4	5	6	7	8
I: اطلاعات	0	N(S)			P/F	N(R)		
S: سرپرستی	1	0	S	P/F		N(R)		
U: بدون شماره	1	1	M	P/F		M		

N(S) = شماره ترتیب ارسال
 N(R) = شماره ترتیب دریافت
 S = بیت‌های عملکرد سرپرستی
 M = بیت‌های عملکرد بدون شماره
 P/F = بیت سرکشی / نهایی

(پ) قالب فیلد کنترل 8 بیتی

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
اطلاعات	0	N(S)							P/F	N(R)						
سرپرستی	1	0	S	0	0	0	0	P/F	N(R)							

(ت) قالب فیلد کنترل 16 بیتی

شکل ۷-۷ ساختار فریم HDLC

شکل (۷-۷)، ساختار فریم HDLC را نشان می‌دهد. پرچم، آدرس، و فیلدهای کنترل که قبل از فیلد اطلاعات قرار دارند، سرآمد نامیده می‌شوند. فیلدهای FCS و پرچم، به دنبال فیلد داده قرار می‌گیرند و دنباله را تشکیل می‌دهند.

فیلدهای پرچم

فیلدهای پرچم، از دو طرف، فریم را احاطه نموده‌اند، با الگوی منحصر بفرد ۰۱۱۱۱۱۱۰. یک پرچم می‌تواند به منظور خاتمه دهنده یک فریم و شروع کننده فریم بعدی باشد. در هر دو طرف رابط کاربر - شبکه، گیرنده‌ها به طور مداوم دنبال این دنباله پرچم می‌گردند تا با شروع یک فریم همزمان شوند. در ضمن دریافت یک فریم، یک ایستگاه باز هم دنبال آن دنباله می‌گردد تا انتهای فریم را مشخص کند. چون این پروتکل امکان حضور الگوهای بیت دلخواه را می‌دهد (یعنی، محدودیتی در مورد محتویات فیلدهای مختلف از طرف پروتکل اتصال وجود ندارد)، نمی‌توان اطمینان داد که الگوی ۰۱۱۱۱۱۱۰ جای دیگری در داخل فریم اتفاق نخواهد افتاد، بنابراین، می‌تواند باعث از بین رفتن همزمانی شود. به منظور اجتناب از این مشکل، رویه‌ای به نام جایگزینی بیت‌ها استفاده می‌شود.

الگوی اولیه :

111111111111011111101111110

بعد از جایگزینی بیت ها :

1111101111101101111101011111010

(الف) مثال



(ب) بیت معکوس شده، فریم را به دو بخش تقسیم می کند.



(پ) بیت معکوس شده، دو فریم را ادغام می کند

شکل ۷-۸ جایگزینی بیت ها

می شود. بین انتقال پرچم های شروع و پایان، فرستنده همیشه یک بیت صفر اضافی بعد از هر پنج عدد یک ارسال شده در فریم، قرار می دهد. پس از آشکارسازی پرچم شروع، گیرنده، بر دنباله بیت ها نظارت می کند. هنگامی که الگویی شامل پنج عدد ۱ ظاهر شود، ششمین بیت بررسی می شود. اگر این بیت صفر باشد، حذف می شود. اگر این ششمین بیت ۱ باشد و هفتمین بیت صفر باشد، این ترکیب به عنوان پرچم پذیرفته می شود. اگر ششمین بیت و هفتمین بیت هر دو ۱ باشند، فرستنده، شرط صرف نظر را نشان می دهد.

با استفاده از جایگزینی بیت ها، الگوهای بیت دلخواه، می توانند در فیلد داده فریم قرار داده شوند. این خاصیت، شفافیت داده نامیده می شود.

شکل (۷-۸) مثالی از جایگزینی بیت ها می باشد. توجه داشته باشید که در دو حالت اول، یک صفر اضافی برای اجتناب از الگوی پرچم ضروری نیست، اما برای عملکرد الگوریتم لازم است. خطرات ناشی از جایگزینی بیت نیز در این شکل نشان داده شده است. هنگامی که یک پرچم به عنوان پرچم شروع و انتها استفاده می شود، خطای یک بیتی، می تواند دو فریم را به صورت یک فریم در یکدیگر ادغام نماید. و برعکس، خطای یک بیتی در یک فریم، می تواند آن را به دو فریم تجزیه کند.

فیلد آدرس

فیلد آدرس، ایستگاه دومی را مشخص می‌کند که ارسال نموده یا می‌خواهد فریم را دریافت کند. این فیلد برای اتصالات نقطه به نقطه لازم نیست اما همیشه برای یکنواختی وجود دارد. فیلد آدرس معمولاً هشت بیتی است، اما براساس توافق، قالب توسعه یافته آن نیز می‌تواند استفاده شود که طول آدرس واقعی، مضربی از ۷ بیت می‌باشد. سمت چپ‌ترین بیت هر octet، براساس این که آخرین octet فیلد آدرس باشد یا نباشد، ۱ یا صفر است. ۷ بیت باقیمانده هر octet، بخشی از آدرس را تشکیل می‌دهند. آدرسی با یک octet شامل ۱۱۱۱۱۱۱ به صورت آدرس تمام ایستگاهها در قالب‌های اصلی و توسعه یافته، تفسیر می‌شود. این مورد، به این منظور استفاده می‌شود که به ایستگاه اولیه امکان دهد یک فریم را برای دریافت توسط تمام ایستگاههای ثانویه، پخش نماید.

فیلد کنترل

HDLC سه نوع فریم را هر یک با قالب متفاوتی برای فیلد کنترل تعریف می‌کند. فریم‌های اطلاعاتی (I-frames) داده‌هایی را حمل می‌کنند که باید برای کاربر ارسال شوند (منطق بالایی HDLC که از آن استفاده می‌کند). علاوه بر آن، داده‌های کنترل جریان و خطا، که از مکانیزم ARQ استفاده می‌کنند، بر پشت فریم اطلاعاتی سوار می‌شوند. فریم‌های سرپرستی (S-frames) نوعی مکانیزم ARQ را زمانی فراهم می‌کنند که سوار شدن بر روی فریم دیگر استفاده نشود. فریم‌های بدون شماره (U-frames) فراهم‌کننده توابع کنترل اتصال تکنیکی هستند. اولین یا دومین بیت فیلد کنترل، مشخص‌کننده نوع فریم می‌باشد. موقعیت‌های بیت‌های باقیمانده، به صورت زیر فیلدهایی سازماندهی گردیده‌اند که در شکل (۷-۷ ج) نشان داده شده‌اند. مورد استفاده آنها در بحث مربوط به عملکرد HDLC توضیح داده می‌شود.

تمام قالب‌های فیلد کنترلی حاوی بیت poll/find (P/F) می‌باشند. استفاده از آن بستگی به زمینه خاص دارد. معمولاً در فریم‌های دستوری، بیت P نامیده شده و برابر با ۱ قرار داده می‌شود تا یک فریم پاسخ را از هر موجودیت دیگر HDLC تشخیص دهد. در فریم‌های پاسخ، به آن F گفته می‌شود و برابر با ۰ است تا نشان دهد فریم پاسخ، در نتیجه فرمان تقاضا ارسال شده است.

توجه داشته باشید که فیلد کنترل اصلی برای فریم‌های S و I، از شماره ترتیب سه بیتی استفاده می‌کند. با فرمان تنظیم مود مناسب، فیلد کنترل توسعه یافته، می‌تواند فریم‌های S و I را استفاده کند که شماره‌های ترتیب ۷ بیتی را بکار می‌گیرند. فریم‌های U همیشه حاوی فیلد کنترلی ۸ بیتی می‌باشند.

فیلد اطلاعات

فیلد اطلاعاتی فقط در فریم‌های I و U وجود دارد. این فیلد حاوی هر دنباله‌ای از بیت‌ها است، اما باید شامل تعداد صحیحی از octet باشد. طول فیلد اطلاعاتی حداکثر تا مقدار تعریف شده‌ای، متغیر است.

فیلد بررسی ترتیب فریم

فیلد بررسی ترتیب فریم (FCS)، کد آشکارسازی خطایی است که براساس بیت‌های باقیمانده فریم، بدون پرچم‌ها محاسبه می‌شود. کد معمولی آن CRC-CCITT ۱۶ بیتی است که در بخش ۲-۷ تعریف شده است. یک

FCS اختیاری ۳۲ بیتی، از CRC-32 استفاده می‌کند، و اگر طول فریم یا قابلیت اطمینان خط، آن را دیکته نماید، می‌تواند استفاده شود.

عملکرد

عملکرد HDLC شامل تبادل فریم‌های I و فریم‌های S و فریم‌های U بین دو ایستگاه می‌باشد. دستورات متعدد و پاسخهای تعریف شده برای این نوع فریم‌ها، در جدول ۷-۱ لیست شده‌اند. در توصیف عملکرد HDLC، این سه نوع فریم تعریف می‌شود.

جدول ۷-۱ دستورات و پاسخهای HDLC

نام	دستور / پاسخ	توضیح
Information (I)	C/R	تأییدیه مثبت
Supervisory (S)		
Receive ready (RR)	C/R	آماده دریافت فریم - I تأییدیه مثبت
Receive not ready (RNR)	C/R	عدم آمادگی دریافت - تأییدیه مثبت
Reject (REJ)	C/R	N - برگشت - به عقب - تأییدیه منفی
Selective reject (SREJ)	C/R	حذف - انتخابی - تأییدیه مثبت
Unnumbered (U)		
Set normal response/extended mode (SNRM/SNRME)	C	شماره ترتیب ۷ بیتی = توسعه یافته؛ تنظیم مود
Set asynchronous response/extended mode (SARM/SARME)	C	شماره ترتیب ۷ بیتی = توسعه یافته؛ تنظیم مود
Set asynchronous balanced/extended mode (SABM, SABME)	C	شماره ترتیب ۷ بیتی = توسعه یافته؛ تنظیم مود
Set initialization mode (SIM)	C	آماده‌سازی توابع کنترلی اتصال در ایستگاه آدرس داده شده
Disconnect (DISC)	C	خاتمه ارتباط اتصال منطقی
Unnumbered acknowledgment (UA)	R	قبول تأییدیه یکی از دستورات تنظیم مود
Disconnected mode (DM)	R	پاسخ دهنده در مود قطع ارتباطات
Request disconnect (RD)	R	درخواست دستور DISC
Request initialization mode (RIM)	R	آماده‌سازی مورد نیاز است؛ درخواست دستور SIM
Unnumbered information (UI)	C/R	برای مبادله اطلاعات کنترلی استفاده می‌شود
Unnumbered poll (UP)	C	برای دریافت اطلاعات کنترلی استفاده می‌شود
Reset (RSET)	C	برای ترمیم استفاده می‌شود. N(R) را ریست می‌کند
Exchange identification (XID)	C/R	برای وضعیت درخواست/گزارش استفاده می‌شود
Test (TEST)	C/R	مبادله فیلدهای اطلاعاتی مشابه برای آزمایش
Frame reject (FRMR)	R	گزارش دریافت فریم غیر قابل قبول

عملکرد HDLC شامل سه فاز است. ابتدا، یک طرف، اتصال داده را آماده‌سازی می‌نماید به طوری که فریم‌ها بتوانند به شکل معمولی مبادله شوند. در ضمن این فاز، بر امکانهایی که استفاده می‌شود، توافق شده است. پس از آماده‌سازی، دو طرف، داده‌های کاربر و اطلاعات کنترلی را مبادله می‌کنند تا جریان و خطا را کنترل کنند. در نهایت، یکی از دو طرف، خاتمه عمل اعلام می‌نماید.

آماده‌سازی

آماده‌سازی ممکن است توسط هر طرف با ارسال یکی از شش دستور تنظیم، درخواست شود. این دستور، سه هدف را به دنبال دارد:

- ۱- به طرف دیگر اعلام می‌نماید که آماده‌سازی درخواست شده است.
 - ۲- مشخص می‌کند که کدام یک از سه روش (ARM, ABM, NRM) درخواست شده است.
 - ۳- مشخص می‌کند که آیا شماره‌های ترتیب ۳ بیتی یا ۷ بیتی استفاده شده است.
- اگر طرف دیگر، این درخواست را بپذیرد، در این صورت مازول HDLC در آن طرف، یک فریم تأییدیه بدون شماره‌ای (UA) را به طرف آماده‌سازی کننده ارسال می‌کند. اگر این درخواست رد شود، فریم "مود قطع ارتباط" (DM) فرستاده می‌شود.

انتقال داده

هنگامی که آماده‌سازی درخواست شده و پذیرفته می‌شود، یک اتصال منطقی ایجاد می‌گردد. هر دو طرف می‌توانند با شروع از شماره ترتیب صفر شروع به ارسال داده‌های کاربر در فریم‌های I نمایند. فیلدهای $N(S)$ و $N(R)$ از فریم I، شماره‌های ترتیبی هستند که کنترل جریان و کنترل خطا را حمایت می‌کنند. یک مازول HDLC، که دنباله‌ای از فریم‌های I را می‌فرستد، آنها را به ترتیب بر مبنای مدول ۸ یا ۱۲۸ برحسب این که آیا شماره‌های ترتیب ۳ یا ۷ بیتی استفاده شده‌اند شماره‌گذاری می‌کند، و این شماره ترتیب را در $N(S)$ قرار می‌دهد. $N(R)$ تأییدیه فریم‌های I - دریافت شده است؛ همچنین باعث می‌شود مازول HDLC نشان دهد که چه شماره‌ای از فریم I را می‌خواهد در مرحله بعد دریافت کند.

فریم‌های S نیز برای کنترل جریان و کنترل خطا استفاده می‌شوند. فریم "آماده دریافت" (RR)، آخرین فریم - دریافت شده را با نشان دادن فریم I - بعدی مورد انتظار، تأیید می‌کند. این RR زمانی استفاده می‌شود که ترافیک معکوس داده‌های کاربر (فریم‌های I -) برای حمل تأییدیه وجود ندارد. "آماده نبودن دریافت" (RNR)، نه تنها یک فریم I - را تأیید می‌کند، مانند RR، بلکه از موجودیت نظیر دیگر، درخواست به تعویق انداختن ارسال فریم‌های I را می‌نماید. هنگامی که موجودیت ارسال کننده RNR مجدد آماده می‌شود، یک RR ارسال می‌کند. REJ یک N ARQ - برگشت - به عقب را آماده‌سازی می‌کند. همچنین نشان می‌دهد که آخرین فریم I دریافت شده، رد شده است و این که انتقال تمام فریم‌های I که با شماره $N(R)$ شروع می‌شوند، مورد نیاز می‌باشد. حذف - انتخابی (SREJ) برای درخواست ارسال مجدد فقط یک فریم استفاده می‌شود.

ماژول HDLC می‌تواند یک قطع ارتباط را، براساس شرایط خودش آماده‌سازی نماید، اگر نوعی خطا وجود داشته باشد، یا با درخواست کاربر لایه سطح بالاتر این کار انجام می‌شود. HDLC، "قطع ارتباط" را با فرستادن فریم قطع ارتباط (DISC) انجام می‌دهد. موجودیت راه دور، باید این قطع ارتباط را با دادن پاسخ از طریق UA، و مطلع ساختن کاربر لایه ۳ از این که ارتباط خاتمه یافته است، بپذیرد. فریم‌های I قابل توجهی بدون تأییدیه ممکن است از بین رفته باشند، که ترمیم آنها وظیفه لایه‌های بالاتر است.

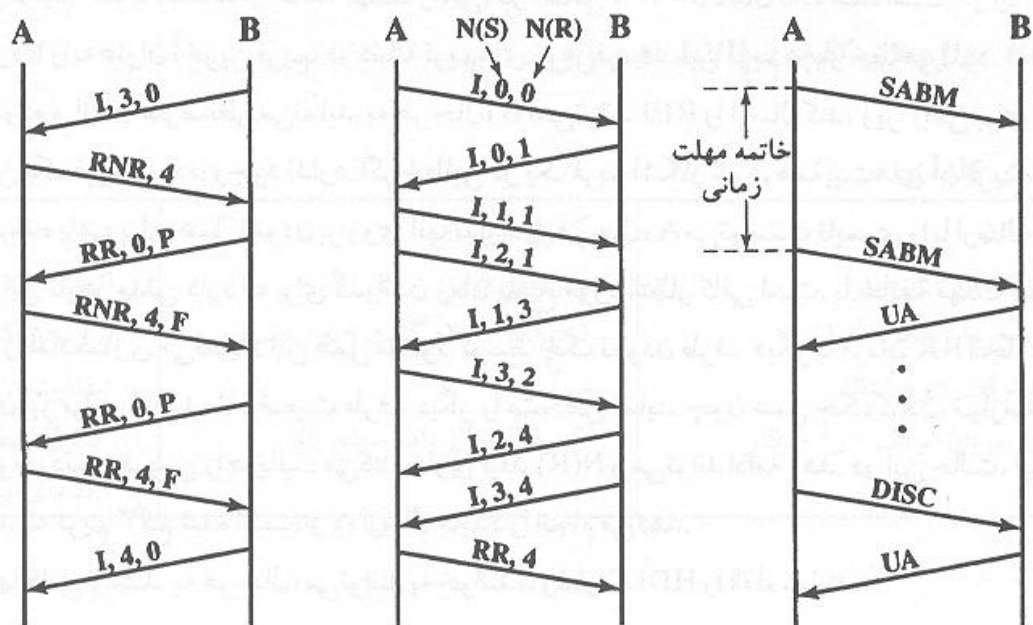
مثالهایی از عملکرد

به منظور فهم بهتر عملکرد HDLC، چندین مثال در شکل (۷-۹) ارائه شده است. در دیاگرامهای این مثال، هر سطر شامل علائمی است مشخص کننده نام فریم، مقدار بیت P/F، و در صورت نیاز، مقدار N(R) و N(S). مقدار بیت P یا F برابر ۱ است اگر این طرح وجود داشته باشد، و در صورت عدم وجود آن صفر است.

شکل (۷-۹ - الف) فریم‌های مربوط به آماده‌سازی اتصال و قطع آن را نشان می‌دهد. موجودیت پروتکل HDLC در یک طرف، فرمان SABM را برای طرف دیگر صادر می‌کند و تایمر را شروع می‌نماید. طرف دیگر، با دریافت SABM، پاسخ A را برمی‌گرداند و متغیرهای محلی و شمارنده‌ها را به مقادیر اولیه‌شان مقدار می‌دهد. موجودیت آماده کننده، پاسخ UA را دریافت می‌کند، و متغیرها و شمارنده‌ها را مقدار داده و تایمر را متوقف می‌نماید. این اتصال منطقی اینک فعال است، و هر دو طرف می‌توانند ارسال فریم‌ها را آغاز نمایند. اگر تایمر، بدون پاسخ به SABM به انتها برسد، مبدأ، SABM را همانطور که نشان داده شده، تکرار می‌کند. این عمل تا زمانی تکرار می‌شود که UA یا DM، دریافت شود یا تا زمانی که پس از چندین سعی، موجودیتی که سعی در آماده‌سای داشته، عمل خود را رها کند و شکست را به موجودیت مدیریت اعلام نماید. در چنین حالتی، دخالت لایه بالاتر لازم است. همین شکل (شکل (۷-۹ - الف))، رویه قطع ارتباط را نشان می‌دهد. یک طرف، یک دستور DISC صادر می‌کند، و دیگری، با UA پاسخ می‌دهد.

شکل (۷-۹ - ب) یک تبادل full-duplex فریم‌های I - را نشان می‌دهد. هنگامی که یک موجودیت، چند فریم I را در سطری بدون داده ورودی می‌فرستد، فقط شماره ترتیب گیرنده تکرار می‌شود (برای مثال، در جهت A به B، I، ۱، I، ۲، I، ۱). هنگامی که یک موجودیت، چند فریم I را در سطری بدون فریم خروجی دریافت می‌کند، شماره ترتیب دریافتی، در فریم خروجی بعدی، باید منعکس کننده فعالیت تجمعی باشد (برای مثال، در جهت B به A، I، ۱، I، ۳). توجه داشته باشید که، علاوه بر فریم‌های I، تبادل داده‌ها می‌تواند شامل فریم‌های سرپرستی باشد.

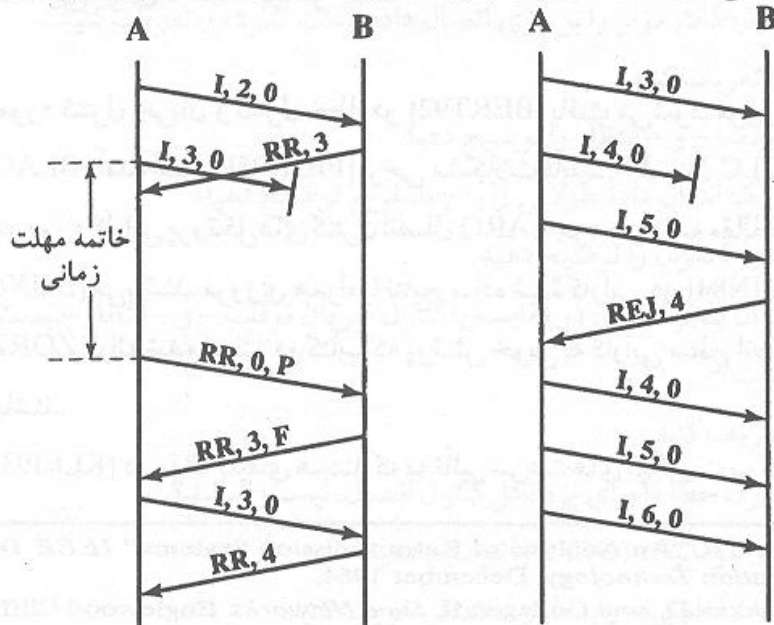
شکل (۷-۹ - پ) عملی را شامل شرط اشغال بودن، نشان می‌دهد. چنین شرطی به این دلیل ممکن است ظاهر شود که موجودیت HDLC نتواند فریم‌های I را به همان سرعتی پردازش کند که دریافت می‌شوند، یا کاربر موردنظر نمی‌تواند داده‌ها را به همان سرعتی که در فریم‌های I می‌رسند، قبول نماید. در هر حالت، بافر موجودیت گیرنده پر می‌شود و در نتیجه باید جریان فریم‌های I ورودی را با استفاده از فرمان RNR متوقف کند. در این مثال، A یک RNR صادر می‌کند، که نیازمند توقف انتقال فریم‌های I توسط B است. ایستگاهی که این RNR را صادر می‌کند، معمولاً ایستگاه مشغول را در بازه‌های دوره‌ای، با ارسال یک RR همراه با یک قرار دادن بیت P، چک



(پ) شرط اشغال

(ب) تبادل داده دوطرفه

(الف) آماده سازی و قطع ارتباط



(ث) ترمیم خاتمه مهلت زمانی

(ت) ترمیم حذف شدگی

شکل ۹-۷ مثالهایی از عملکرد HDLC

می‌کند. این عمل نیازمند این است که طرف دیگر، با یک RR یا RNR پاسخ دهد. هنگامی که شرط مشغول بودن پاک شود، A یک RR برمی‌گرداند، و انتقال فریم I، از B از سر گرفته شود.

شکل (۹-۷-ت) مثالی از ترمیم خطا را با استفاده از فرمان REJ نشان می‌دهد. در این مثال، A، فریم‌های I با شماره‌های ۳، ۴ و ۵ را ارسال می‌کند. شماره ۴ دچار خطا می‌شود و از بین می‌رود. هنگامی که B یک فریم I با شماره ۵ را دریافت می‌کند، از این فریم صرف‌نظر می‌نماید زیرا خارج از ترتیب است، و REJ را همراه با N(R) برابر ۴، می‌فرستد. این عمل باعث می‌شود A، ارسال مجدد فریم‌های I را که قبلاً ارسال نموده، آماده‌سازی نماید، و از فریم ۴ شروع کند. A ممکن است به ارسال فریم‌های اضافی، بعد از ارسال مجدد فریم‌ها، ادامه دهد.

مثالی از ترمیم خطا با استفاده از خاتمه مهلت زمانی، در (شکل ۹-۷-ث) نشان داده شده است. در این مثال، A فریم I شماره ۳ را به عنوان آخرین فریم، در دنباله فریم‌های I، می‌فرستد. این فریم دچار خطا می‌شود. B این خطا را آشکار نموده و از آن صرف‌نظر می‌نماید. به هر حال، B نمی‌تواند REJ را ارسال کند، زیرا راهی برای فهمیدن این که آیا این یک فریم I بوده، وجود ندارد. اگر خطایی در یک فریم آشکار شود، همه بیت‌های آن فریم مشکوک هستند، و گیرنده راهی برای عمل نمودن بر روی آنها ندارد. به هر حال، A می‌توانست تایمری را با ارسال آن فریم آغاز نماید. این تایمر مدتی دارد که برای گذراندن زمان پاسخ مورد انتظار کافی است. با خاتمه مهلت تایمر، A عمل ترمیم را آماده‌سازی می‌نماید. این عمل معمولاً توسط چک نمودن طرف دیگر با فرمان RR انجام می‌شود که بیت P آن نیز برابر ۱ باشد، تا وضعیت طرف دیگر را مشخص نماید. چون عمل چک کردن، نیازمند پاسخ است، این موجودیت، فریمی را دریافت می‌کند حاوی فیلد $N(R)$ و می‌تواند ادامه دهد. در این حالت، این پاسخ نشان می‌دهد که فریم ۳ گم شده است، و A ارسال مجدد را انجام می‌دهد.

این مثالها کامل نیستند. به هر حال، می‌توانند به خواننده، رفتار HDLC را القاء نمایند.

۷-۴ توصیه‌هایی برای مطالعه بیشتر

جزئیات خوبی در مورد کنترل جریان و کنترل خطا، در [BERT92] یافت می‌شود. مروری بر روی پروتکل‌های اتصال داده در [BLAC93] آمده است. [FIOR95] برخی مشکلات قابلیت اطمینان HDLC را بیان می‌کند. مفاهیم زیادی در مورد کارایی پروتکل‌های کنترل اتصال ARQ وجود دارد. سه مقاله کلاسیک، [BENE64]، [KONH80] و [BUX80] می‌باشند. مروری همراه با نتایج ساده شده کارایی در [LIN84] یافت می‌شود. تحلیل جدیدتری در [ZORZ96] ارائه شده است. دو کتاب که پوشش خوبی به کارایی سطح اتصال داده‌اند، [SPRA91] و [WALR98] می‌باشند.

[KLEI92] و [KLEI93] دو مقاله کلیدی هستند که به تأثیر سرعت‌های گیگابیت بر کارایی توجه دارند.

- | | |
|--------|---|
| BENE64 | Benice, R. "An Analysis of Retransmission Systems." <i>IEEE Transactions on Communication Technology</i> , December 1964. |
| BERT92 | Bertsekas, D., and Gallager, R. <i>Data Networks</i> . Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992. |
| BLAC93 | Black, U. <i>Data Link Protocols</i> . Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993. |
| BUX80 | Bux, W.; Kummerle, K.; and Truong, H. "Balanced HDLC Procedures: A Performance Analysis." <i>IEEE Transactions on Communications</i> , November 1980. |
| FIOR95 | Fiorini, D.; Chiani, M.; Tralli, V.; and Salati, C. "Can We Trust HDLC?" <i>Computer Communications Review</i> , October 1995. |
| KLEI92 | Kleinrock, L. "The Latency/Bandwidth Tradeoff in Gigabit Networks." <i>IEEE Communications Magazine</i> , April 1992. |
| KLEI93 | Kleinrock, L. "On the Modeling and Analysis of Computer Networks." <i>Proceedings of the IEEE</i> , August 1993. |
| KONH80 | Konheim, A. "A Queuing Analysis of Two ARQ Protocols." <i>IEEE Transactions on Communications</i> , July 1980. |
| LIN84 | Lin, S.; Costello, D.; and Miller, M. "Automatic-Repeat-Request Error-Control Schemes." <i>IEEE Communications Magazine</i> , December 1984. |
| SPRA91 | Spragins, J.; Hammond, J.; and Pawlikowski, K. <i>Telecommunications: Protocols and Design</i> . Reading, MA: Addison-Wesley, 1991. |
| WALR98 | Walrand, J. <i>Communication Networks: A First Course</i> . New York: McGraw-Hill, 1998. |
| ZORZ96 | Zorzi, M., and Rao, R. "On the Use of Renewal Theory in the Analysis of ARQ Protocols." <i>IEEE Transactions on Communications</i> , May 1996. |

واژه‌های کلیدی

فریم داده	کنترل جریان	سوار شدن
اتصال داده	همزمانی فریم	ARQ حذف - انتخابی
پروتکل کنترل	ARQ با N - برگشت - به - عقب	کنترل جریان پنجره لغزان
شفافیت داده	سرآمد	ARQ توقف - و - انتظار
کنترل خطا	کنترل اتصال داده سطح بالا	کنترل جریان توقف - و - انتظار
فیلدهای پرچم		دنباله

سؤالات

- ۷-۱ برخی نیازهای ارتباطات مؤثر را بر روی اتصال داده لیست نموده و تعریف کنید.
- ۷-۲ کنترل جریان را تعریف کنید.
- ۷-۳ کنترل جریان توقف - و - انتظار را توضیح دهید.
- ۷-۴ دلایل شکستن یک انتقال داده طولانی را به چند فریم توضیح دهید.
- ۷-۵ کنترل جریان پنجره لغزان را توضیح دهید.
- ۷-۶ فایده کنترل جریان پنجره لغزان در مقایسه با کنترل جریان توقف - و - انتظار چیست؟
- ۷-۷ سوار شدن چیست؟
- ۷-۸ کنترل خطا را تعریف کنید.
- ۷-۹ اجزاء متداول کنترل خطا را برای پروتکل کنترل اتصال، لیست نمایید؟
- ۷-۱۰ درخواست تکرار اتوماتیک (ARQ) را توضیح دهید.
- ۷-۱۱ سه روایت ARQ را نام برده و به طور مختصر تعریف کنید.
- ۷-۱۲ انواع ایستگاههای حمایت شده توسط HDLC چیست؟ هر یک را توضیح دهید.
- ۷-۱۳ مودهای انتقال حمایت شده توسط HDLC چیست؟ هر یک را توضیح دهید.
- ۷-۱۴ هدف از فیلد پرچم چیست؟
- ۷-۱۵ شفافیت داده‌ها را تعریف کنید؟
- ۷-۱۶ سه نوع فریم حمایت شده توسط HDLC چیست؟ هر یک را توضیح دهید.

مسائل

- ۷-۱ یک اتصال نقطه به نقطه half-duplex را با استفاده از طرح توقف - و - انتظار در نظر بگیرید که در آن، یک سری پیغام ارسال می‌شوند، و هر پیغام، به چند فریم تقسیم می‌گردد. از خطاها و سربارهای فریم

صرف نظر می شود.

الف- اثر افزایش اندازه پیغام بر استفاده از خط چیست به طوری که پیغامهای کمتری لازم باشد؟ فاکتورهای دیگر ثابت می مانند.

ب- اثر افزایش تعداد فریم ها برای اندازه پیغام ثابت، بر استفاده از خط چیست؟

ج- اثر افزایش اندازه فریم بر استفاده از خط چیست؟

۷-۲ یک کانال، سرعت انتقال داده ۴ kbps و تأخیر انتشار ۲۰ ms دارد. برای چه محدوده ای از اندازه های

فریم ها، توقف - و - انتظار، حداقل کارایی ۵۰٪ را می دهد؟

۷-۳ استفاده از فریم های ۱۰۰۰ بیتی را در کانال ماهواره ای ۱ Mbps با تأخیر ۲۷۰ ms در نظر بگیرید. حداکثر

بهره وری از ارتباط در این حالت ها چیست؟

الف- برای کنترل جریان توقف - و - انتظار؟

ب- برای کنترل جریان پیوسته با اندازه پنجره ۴۷؟

ج- برای کنترل جریان پیوسته با اندازه پنجره ۱۲۷؟

د- برای کنترل جریان پیوسته با اندازه پنجره ۲۵۵؟

۷-۴ در شکل (۷-۱۰)، فریم ها در گره A تولید می شوند و به گره C از طریق گره B ارسال می گردند. حداقل

سرعت انتقال داده لازم بین گره های B و C را مشخص کنید به طوری که بافرهای گره B پر نشوند با این

فرضیات:

سرعت انتقال داده بین A و B برابر ۱۰۰ kbps است.

تأخیر انتشار، برای هر دو خط، $5 \mu s/km$ است.

خطی به صورت full-duplex بین گره ها برقرار است.

تمام فریم های داده، ۱۰۰۰ بیت طول دارند؛ فریم های ACK، فریم های جدایی با طول قابل صرف نظر

کردن می باشند.

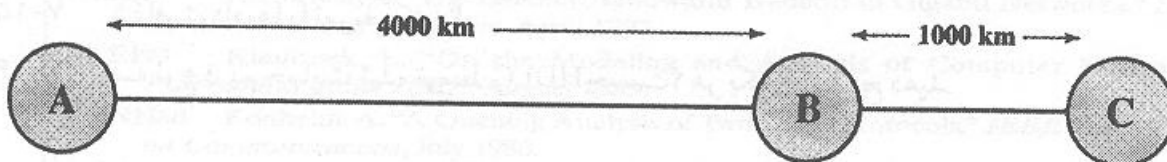
بین A و B، پروتکل پنجره لغزان، با اندازه پنجره ۳ استفاده می شود.

بین B و C، توقف - و - انتظار استفاده می شود.

خطایی وجود ندارد.

نکته: به منظور پر نشدن بافرهای B، متوسط تعداد فریم هایی که به B وارد می شوند، و از آن خارج

می گردند، باید در بازه طولانی، یکسان باشد.



شکل ۷-۱۰ پیکربندی مسئله ۷-۴

۷-۵ یک کانال، سرعت انتقال داده ای برابر R bps دارد و تأخیر انتشار آن t s/km می باشد. فاصله بین گره های

فرستنده و گیرنده، L کیلومتر است. گره‌ها، فریم‌هایی با طول ثابت شامل B بیت را مبادله می‌نمایند. فرمولی بیابید که حداقل اندازه فیلد دنباله فریم را به صورت تابعی از R ، t ، B و L بدهد (حداکثر استفاده را در نظر بگیرید). فرض کنید فریم‌های ACK از نظر اندازه قابل صرف نظر کردن هستند، و پردازش داخل هر گره، لحظه‌ای است.

۷-۶ در بحث مربوط به ARQ توقف - و - انتظار، توجهی به فریم‌های مردود (REJ) نشده است. برای ARQ

توقف - و - انتظار، چرانیازی به داشتن REJ0 و REJ1 نیست؟

۷-۷ فرض کنید یک ARQ حذف - انتخابی استفاده می‌شود که $W = 4$ می‌باشد. با مثال، نشان دهید که شماره

ترتیب ۳ بیتی لازم است.

۷-۸ با استفاده از فرضیاتی مشابه شکل (۷-۱۳) ضمیمه ۷ - الف، میزان استفاده از خط را به صورت تابعی از P

رسم کنید؟ احتمال این است که یک فریم واحد، برای تکنیک‌های کنترل خطای زیر، خطا می‌باشد:

الف - توقف - و - انتظار

ب - برگشت به عقب با $W = 7$

ج - برگشت به عقب با $W = 127$

د - حذف - انتخابی با $W = 7$

ه - حذف - انتخابی با $W = 127$

همه این موارد را برای این مقادیر a انجام دهید: 10% ، 10% ، 1% ، 0.1% . نتیجه‌گیری کنید که کدام تکنیک برای محدوده‌های مختلف a مناسب است.

۷-۹ دو گره همسایه (A و B)، از پروتکل پنجره لغزان با شماره ترتیب ۳ بیتی استفاده می‌کنند. مانند مکانیزم

ARQ، مکانیزم N - برگشت - به عقب، برای اندازه پنجره ۴ استفاده می‌شود. فرض کنید A در حال

ارسال است و B عمل دریافت را انجام می‌دهد، موقعیت‌های پنجره را برای موفقیت وقایع زیر نشان دهید:

الف - قبل از این که A فریمی را ارسال کند.

ب - بعد از این که A فریم‌های ۰، ۱ و ۲ را ارسال نماید و تأییدیه‌ای را از B برای ۰ و ۱ دریافت کند.

ج - بعد از این که A فریم‌های ۳، ۴ و ۵ را ارسال نماید و B ، ۴ را تأیید کند و ACK توسط A دریافت گردد.

۷-۱۰ تأییدیه خارج از ترتیب نمی‌تواند برای ARQ حذف - انتخابی استفاده شود. یعنی، اگر فریم i توسط

ایستگاه X مردود شود، تمام فریم‌های I بعدی و فریم‌های RR فرستاده شده توسط X باید $N(R) = i$

داشته باشند تا زمانی که فریم i با موفقیت دریافت شود، حتی اگر فریم‌های دیگر با $N(S) > i$ با موفقیت

در این میان دریافت گردند. یک تغییر ممکن اینگونه است: $N(R) = j$ در یک فریم I یا فریم RR ، به این

صورت تفسیر شود که فریم $1 - j$ و تمام فریم‌های قبلی پذیرفته شده‌اند به جز آنهایی که به صراحت با

استفاده از فریم SREJ مردود شده‌اند. نقاط ضعف این طرح را توضیح دهید.

۷-۱۱ استاندارد ISO برای رویه‌های HDLC (ISO 4335) شامل تعاریف زیر است: (۱) شرط REJ با دریافت

یک فریم I که $N(S)$ آن برابر با $N(R)$ فریم REJ خارج شده باشد، پاک شده در نظر گرفته می‌شود؛ و (۲)

یک شرط SREJ، با دریافت فریم I با N(S) برابر با N(R) مربوط به فریم SREJ، پاک شده در نظر گرفته می‌شود. این استاندارد شامل قوانینی است مربوط به رابطه بین فریم‌های REJ و SREJ. این قوانین نشان می‌دهند که چه چیزی مجاز است (برحسب ارسال فریم‌های REJ و SREJ) اگر شرط REJ هنوز پاک نشده باشد و چه چیز مجاز می‌باشد اگر شرط SREJ هنوز پاک نشده باشد. این قوانین رانتيجه بگیريد و در مورد پاسخ خود قضاوت نمائيد.

۷-۱۲ دو ایستگاه از طریق اتصال ماهواره‌ای ۱ Mbps با تأخیر انتشار ۲۷۰ ms با یکدیگر ارتباط دارند. این ماهواره فقط امکان ارسال مجدد داده‌های دریافت شده از یک ایستگاه به دیگری را همراه با تأخیر سوئیچینگ قابل صرف نظر نمودن فراهم می‌کند. با استفاده از فریم‌های HDLC با ۱۰۲۴ بیت و شماره‌های ترتیب ۳ بیتی، حداکثر سرعت خروجی ممکن برای داده‌ها چیست؟ یعنی، خروجی بیت‌های داده حمل شده در فریم‌های HDLC چه مقدار است؟

۷-۱۳ واضح است که رمزگذاری بیت‌ها برای فیلدهای آدرس، داده‌ها، و FCS در فریم HDLC لازم است. آیا برای فیلد کنترل نیز لازم است؟

۷-۱۴ اصلاحاتی را برای الگوریتم رمزگذاری بیت‌ها پیشنهاد کنید تا بر مشکل خطاهای تک بیتی غلبه نماید.
۷-۱۵ با استفاده از مثال رشته بیت شکل (۷-۸)، الگوی سیگنال را بر روی خط استفاده کننده از کدگذاری NRZ-L نشان دهید. آیا این روش، یک فایده جانبی رمزگذاری بیت‌ها است.

۷-۱۶ فرض کنید که ایستگاه اولیه HDLC در NRM، شش فریم I را به ایستگاه ثانویه فرستاده است. شماره N(S) مربوط به ایستگاه اولیه (۱۱ باینری)، قبل از ارسال این شش فریم، برابر سه است. اگر بیت بررسی در ششمین فریم قرار داشته باشد، چه شماره‌ای برای N(R) از ایستگاه ثانویه بعد از آخرین فریم برگشت داده می‌شود؟ عملیات را بدون خطا در نظر بگیرید.

۷-۱۷ در نظر بگیرید که چندین اتصال فیزیکی، دو ایستگاه را به یکدیگر مرتبط می‌کنند. می‌خواهیم یک HDLC با چند اتصال "بکار ببریم که از این اتصالات به صورت بهینه استفاده می‌نمایند. این عمل با ارسال فریم‌هایی بر مبنای FIFO به اتصال در دسترس بعدی انجام می‌شود. چه موارد تکمیلی برای HDLC نیاز است؟

۷-۱۸ یک سرویس دهنده WWW معمولاً آماده‌سازی می‌شود تا پیغامهای نسبتاً کوچکی را از مشتری‌ها دریافت کند، اما پیغامهای نسبتاً بزرگی را به آنها می‌فرستد. توضیح دهید، چه نوع پروتکل ARQ (حذف - انتخابی، N - بازگشت - به عقب) مشکل کمتری برای یک سرویس دهنده WWW معروف ایجاد می‌کند.

ضمیمه ۷ - الف نکاتی در مورد کارایی

در این ضمیمه، برخی نکات مرتبط با کارایی مربوط به استفاده از کنترل جریان پنجره لغزان بررسی می‌گردند.

کنترل جریان توقف - و - انتظار

اینک، حداکثر کارایی بالقوه خط نقطه به نقطه half-duplex را با استفاده از طرح توقف - و - انتظار توصیف شده در بخش ۷-۱ مشخص می‌نمائیم. فرض کنید که یک پیغام طولانی قرار است به صورت دنباله فریم‌های $F_1, F_2, \dots, F_n$ به این صورت فرستاده شود:

- ایستگاه S_1, F_1 را می‌فرستد.
- ایستگاه S_2 ، تائیدیه را می‌فرستد.
- ایستگاه S_1, F_2 را می‌فرستد.
- ایستگاه S_2 ، تائیدیه را می‌فرستد.
-
-
-
- ایستگاه S_1, F_n را می‌فرستد.
- ایستگاه S_2 ، تائیدیه را می‌فرستد.

زمان کل لازم برای ارسال این داده‌ها T ، به صورت $T = nT_F$ بیان می‌شود، که T_F زمان لازم برای ارسال یک فریم و دریافت تائیدیه می‌باشد. می‌توان T_F را اینگونه بیان نمود:

$$T_F = t_{prop} + t_{frame} + t_{proc} + t_{prop} + t_{ack} + t_{proc}$$

که

t_{prop} = زمان انتشار از S_1 به S_2

t_{frame} = زمان انتقال یک فریم، (زمان) لازم برای فرستنده تا تمام بیت‌های فریم را بفرستد

t_{proc} = زمان پردازش در هر ایستگاه برای نشان دادن عکس‌العمل به واقعه ورودی

t_{ack} = زمان ارسال تائیدیه

فرض کنید که زمان پردازش، نسبتاً قابل صرف‌نظر کردن است، و این که فریم تائیدیه در مقابل فریم داده خیلی کوچک است، که هر دوی اینها فرض‌های قابل قبولی هستند. می‌توان زمان کل ارسال داده را اینگونه بیان نمود:

$$T = n(2t_{prop} + t_{frame})$$

از این زمان، فقط $n \times t_{frame}$ در عمل برای ارسال داده‌ها صرف می‌شود و باقیمانده آن، سربار است. بهره‌وری، یا کارایی خط برابر است با:

$$(۷-۳) \quad U = \frac{n \times t_{\text{frame}}}{n(2t_{\text{prop}} + t_{\text{frame}})} = \frac{t_{\text{frame}}}{2t_{\text{prop}} + t_{\text{frame}}}$$

تعریف پارامتر $a = t_{\text{prop}}/t_{\text{frame}}$ شکل (۷-۲) نیز مفید است. در این صورت:

$$(۷-۴) \quad U = \frac{1}{1 + 2a}$$

این مقدار، حداکثر بهره‌وری اتصال است. چون این فریم حاوی بیت‌های سربار است، بهره‌وری واقعی کمتر است. پارامتر a ثابت است اگر t_{frame} و t_{prop} هر دو ثابت باشند، که معمولاً چنین است: فریم‌هایی با طول ثابت اغلب برای همه فریم‌ها به جز فریم آخر یک دنباله استفاده می‌شوند، و تأخیر انتشار، برای اتصالات نقطه به نقطه ثابت است.

به منظور دستیابی به دیدگاهی در مورد معادله (۷-۴)، عبارت متفاوتی را برای a بدست می‌آوریم. داریم:

$$(۷-۵) \quad a = \frac{\text{Propagation Time}}{\text{Transmission Time}}$$

زمان انتشار معادل است با مسافت d در اتصال، تقسیم بر سرعت انتشار V . در انتقال هدایت نشده از طریق هوا یا فضا، V سرعت نور است، تقریباً 3×10^8 ms. در انتقال هدایت شده، V تقریباً $6/67$ برابر سرعت نور برای فیبرنوری و رسانه مسی است. زمان انتقال، معادل است با طول فریم برحسب بیت (L)، تقسیم بر سرعت انتقال داده (R). بنابراین:

$$a = \frac{d/V}{L/V} = \frac{Rd}{VL}$$

به این ترتیب، برای فریم‌هایی با طول ثابت، a با سرعت انتقال داده ضربدر طول رسانه متناسب است. راه مفیدی برای مشاهده a این است که این مقدار، طول رسانه را برحسب بیت $\left[R \times \left(\frac{d}{V}\right)\right]$ در مقایسه با طول فریم (L) نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن این تفسیر، شکل (۷-۲)، معادله (۷-۴) را نشان می‌دهد. در این شکل، زمان انتقال به ۱ نرمال شده است و زمان انتشار، با معادله (۷-۵)، برابر a است. برای حالت $a < 1$ ، طول بیت‌های اتصال، کمتر از طول بیت‌های فریم خواهد بود. ایستگاه T انتقال را در زمان $t_0 + a$ آغاز می‌کند. لبه جلویی فریم، به ایستگاه گیرنده R می‌رسد، در حالی که T هنوز در فرآیند ارسال فریم قرار دارد. در $t_0 + 1$ ، انتقال T کامل می‌شود. در $t_0 + 1 + a$ ، تمام فریم را دریافت نموده و بلافاصله فریم تأییدیه کوچکی را ارسال می‌کند. این تأییدیه در $t_0 + 1 + 2a$ به T می‌رسد. کل زمان سپری شده: $1 + 2a$ است. کل زمان انتقال: ۱ می‌باشد. میزان استفاده، $\frac{1}{(1 + 2a)}$ خواهد بود. همین نتیجه با $a > 1$ نیز بدست می‌آید، همانطور که در شکل (۷-۲) دیده است.

مثال ۳-۷ ابتدا، یک شبکه گسترده (WAN) را با استفاده از ATM (مود انتقال آسنکرون بخش سوم کتاب) همراه با دو ایستگاه که هزار کیلومتر فاصله دارند، در نظر بگیرید. اندازه فریم استاندارد ATM (به نام سلول)، ۴۲۴ بیت است و یکی از سرعت‌های استاندارد شده انتقال داده، ۱۵۵/۵۲ Mbps می‌باشد. بنابراین، زمان انتقال برابر است با $2/7 \times 10^{-6} = 424 / (155.52 \times 10^6)$ ثانیه. اگر فرض کنیم یک اتصال فیبرنوری در اختیار داریم، در اینصورت، زمان انتشار، $2 \times 10^8 \text{ m/s} \times 0.5 \times 10^{-2} = 10^6$ (متر) ثانیه. بنابراین، $1850 \approx (2/7 \times 10^{-6}) / (0.5 \times 10^{-2})$ و کارایی فقط برابر است با $0.00027 = \frac{1}{3701}$.

در حالت دیگر، برحسب مسافت، یک شبکه محلی است (LAN). محدوده فاصله از ۱ km تا ۱۰ km، با سرعت انتقال داده ۱۰ Mbps تا ۱ Gbps، سرعت‌های انتقال داده بالاتر، مربوط به فاصله‌های کوتاه‌تر می‌باشد. با استفاده از مقدار $V = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$ ، اندازه فریم ۱۰۰۰ بیت، و سرعت انتقال داده ۱۰ Mbps، مقدار a در محدوده ۰/۵ تا ۰/۵ قرار خواهد گرفت. این باعث می‌شود بهره‌وری، در محدوده ۰/۵ تا ۰/۹۹ قرار گیرد. در شبکه LAN با ۱۰۰ Mbps، و مسافت کوتاه‌تر، بهره‌وری قابل مقایسه‌ای بدست می‌آید.

معمولاً مشاهده می‌شود که LAN ها کاملاً کارآمد هستند، در حالی که WAN های سرعت بالا اینگونه نیستند. به عنوان مثال نهایی، انتقال داده دیجیتال را از طریق مودم بر روی خط صوتی در نظر بگیرید. یک سرعت انتقال داده معمول ۵۶ kbps می‌باشد. مجدداً، اندازه فریم را ۱۰۰۰ بیت در نظر بگیرید. این فاصله اتصال می‌تواند هر جایی از چند ده متر تا هزاران کیلومتر باشد. اگر به عنوان یک مسافت کوتاه، $d = 1000 \text{ m}$ باشد، در این صورت،

$$a = (56,000 \times 1000 \text{ m}) / (2 \times 10^8 \times 1000 \text{ bits}) = 2/8 \times 10^{-4}$$

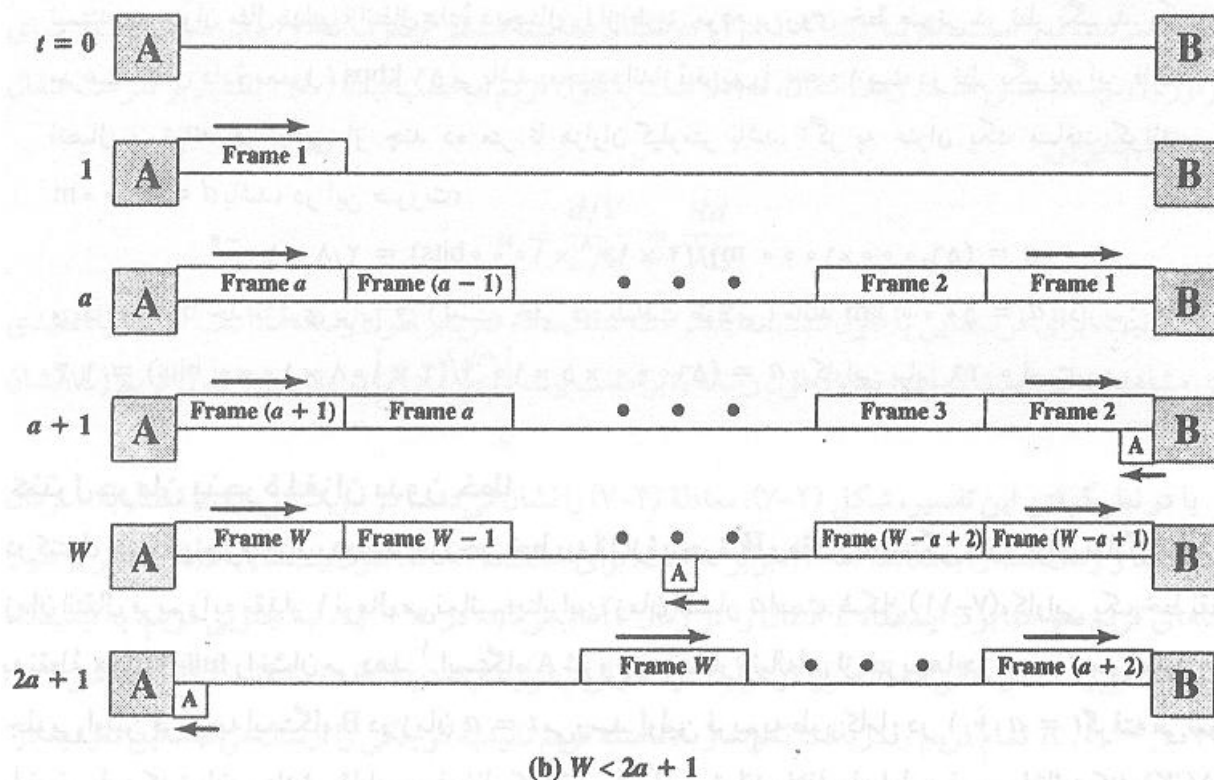
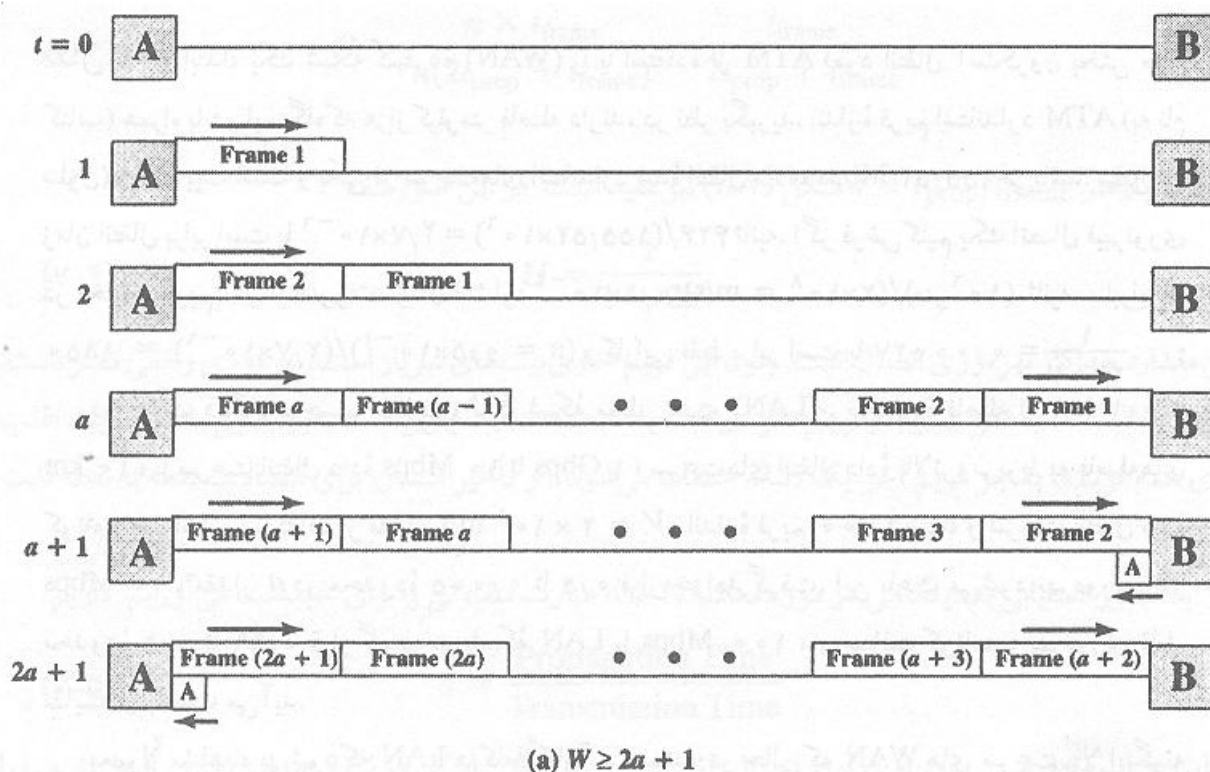
و بهره‌وری تا حد مؤثری برابر ۱/۵ است. حتی در مسافت طولانی، مانند $d = 5000 \text{ km}$ ، داریم:

$$a = (56000 \times 5 \times 10^6) / (2 \times 10^8 \times 1000 \text{ bits}) = 1/4$$

کنترل جریان پنجره لغزان بدون خطا

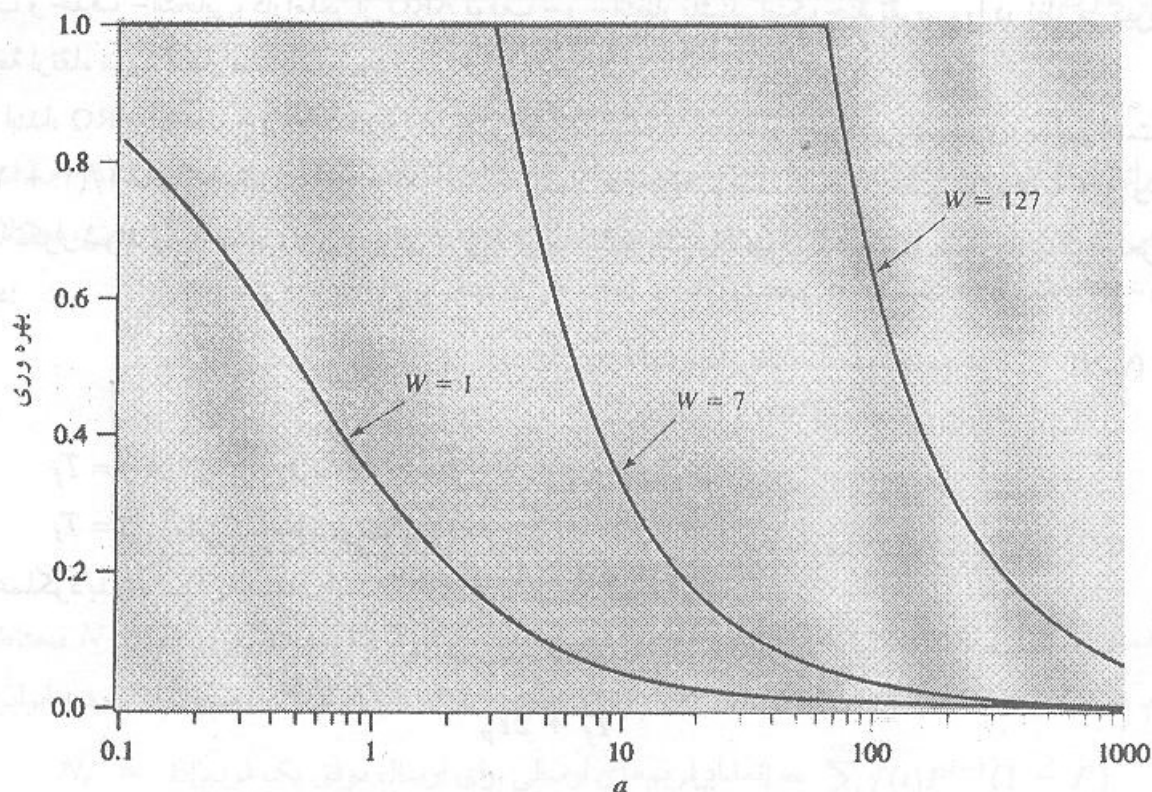
در کنترل جریان پنجره لغزان، درصد خروجی خط، به اندازه پنجره W و مقدار a بستگی دارد. برای سادگی، مجدداً زمان انتقال فریم را به مقدار ۱ نرمال می‌نمائیم؛ بنابراین، زمان انتشار a است. شکل (۷-۱۱)، کارایی یک خط نقطه به نقطه full-duplex را نشان می‌دهد.^۱ ایستگاه A شروع به انتشار دنباله‌ای از فریم‌ها در $t = 0$ می‌نماید. لبه جلویی اولین فریم، به ایستگاه B در زمان $t = a$ می‌رسد. اولین فریم به طور کامل در $t = a + 1$ گرفته می‌شود. با فرض این که زمان پردازش قابل صرف نظر کردن است، B می‌تواند بلافاصله اولین فریم را تأیید کند (ACK). همچنین فرض کنید که فریم تأییدیه آنقدر کوچک است که زمان انتقال آن را می‌توان صرف نظر نمود. در این صورت، ACK در $t = 2a + 1$ به A می‌رسد. به منظور ارزیابی کارایی، دو حالت باید در نظر گرفته شود:

۱ - برای سادگی، فرض می‌کنیم که a عددی صحیح است، به طوری که تعداد صحیحی فریم دقیقاً خط را پر کنند. این حالت، برای مقادیر غیر صحیح a تغییر نمی‌کند.



شکل ۱۱-۷ زمانبندی پروتکل پنجره لغزان

- حالت ۱: $W \geq 2a + 1$. تأییدیه برای فریم ۱ قبل از این که A پنجره خود را خالی کرده باشد، به A می‌رسد. بنابراین، A می‌تواند به طور پیوسته انتقال را بدون وقفه ادامه دهد و درصد بازدهی خروجی نرمال شده، ۱۰۰٪ خواهد بود.



شکل ۷-۱۲ بهره‌وری پنجره لغزان به صورت تابعی از a

- حالت ۲: $W < 2a + 1$. پنجره را در $t = W$ خالی کرده است و نمی‌تواند فریم‌های دیگر را تا $t = 2a + 1$ بفرستد. بنابراین، درصد بازدهی خروجی نرمال شده، W واحد زمانی خارج از دوره $(2a + 1)$ واحد زمانی است.

بنابراین، بهره‌وری اینگونه بیان می‌شود:

$$(7-6) \quad U = \begin{cases} 1 & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases}$$

به طور معمول، شماره ترتیب، با فیلدی n بیتی فراهم می‌شود و حداکثر اندازه پنجره برابر $W = 2^n - 1$ می‌باشد (2^n نیست؛ در بخش ۷-۲ توضیح داده شده است). شکل (۷-۱۲) حداکثر بهره‌وری قابل دستیابی برای اندازه پنجره ۱، ۷ و ۱۲۷ را به صورت تابعی از a نشان می‌دهد. اندازه پنجره ۱ معادل توقف - و - انتظار است. اندازه پنجره ۷ (۳ بیت) برای بسیاری از کاربردها مناسب است. اندازه پنجره ۱۲۷ (۷ بیت) برای مقادیر بزرگ a مانند شبکه‌های سرعت بالای WAN مناسب می‌باشد.

ARQ

قبلاً مشاهده نمودید که کنترل جریان پنجره لغزان، کارآمدتر از کنترل جریان توقف - و - انتظار است. انتظار داریم هنگامی که توابع کنترل خطا اضافه می‌شوند نیز این مسئله هنوز صحیح باشد: یعنی، ARQ های N - برگشت - به

عقب و حذف - انتخابی، کارآمدتر از ARQ توقف - و - انتظار باشند. اینک چند تقریب را در نظر می‌گیریم تا درجه ارتقاء مورد انتظار مشخص شود.

ابتدا، ARQ توقف - و - انتظار را در نظر بگیرید. بدون خطاها، حداکثر بهره‌وری، برابر است با $1/(1 + 2a)$ همانگونه که در معادله ۷-۴ دیده می‌شود. می‌خواهیم امکان این که بعضی فریم‌ها به دلیل وجود خطا تکرار شوند را به حساب آوریم. برای شروع، توجه داشته باشید که میزان استفاده U می‌تواند اینگونه تعریف شود:

$$U = \frac{T_f}{T_t} \quad (7-7)$$

که

T_f = زمان لازم برای فرستنده به منظور انتشار یک فریم.
 T_t = کل زمانی که خط، در انتقال یک فریم، به خدمت گرفته می‌شود.
 در عملکرد بدون خطا، با استفاده از ARQ توقف - و - انتظار:

$$U = \frac{T_f}{T_f + 2T_p}$$

که T_p زمان انتشار است. با تقسیم بر T_f و به خاطر آوردن این که $a = \frac{T_p}{T_f}$ ، به معادله (۷-۴) می‌رسیم. اگر خطا اتفاق بیفتد، باید معادله (۷-۷) را اصلاح نماییم تا:

$$U = \frac{T_f}{N_r T_t}$$

که N_r ، تعداد مورد انتظار انتقال فریم‌ها است. بنابراین، برای ARQ توقف - و - انتظار، داریم:

$$U = \frac{1}{N_r(1 + 2a)}$$

عبارت ساده‌ای برای N_r می‌تواند با در نظر گرفتن احتمال P که یک فریم دارای خطا باشد، بدست آید. اگر فرض کنیم که ACK ها و NAK ها هرگز دارای خطا نیستند، احتمال این که دقیقاً k تلاش برای انتقال یک فریم به طور موفق انجام شود، $(1 - P)^k$ خواهد بود. یعنی، $(k - 1)$ تلاش ناموفق و به دنبال آن یک تلاش موفق؛ احتمال این رخداد، فقط برابر است با حاصلضرب احتمال رخ دادن هر یک از این وقایع. در این صورت:

$$\begin{aligned} N_r &= E[\text{transmissions}] = \sum_{i=1}^{\infty} (i \times \Pr[i \text{ transmissions}]) \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} (i P^{i-1} (1 - P)) = \frac{1}{1 - P} \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} (i X^{i-1}) = \frac{1}{(1 - X)^2} \quad \text{برای } (-1 < X < 1) \text{ می‌کند:}$$

بنابراین داریم:

$$U = \frac{1 - P}{1 + 2a} \quad \text{توقف - و - انتظار}$$

برای پروتکل پنجره لغزان، معادله (۷-۶) برای عملکرد بدون خطا بکار گرفته می‌شود. در ARQ حذف - انتخابی، می‌توان از همین استنتاج بکار گرفته شده برای ARQ توقف - و - انتظار استفاده نمود. یعنی، معادلات بدون خطا، باید بر N_r تقسیم شوند. مجدد، $N_r = 1/(1 - P)$. بنابراین:

$$U = \begin{cases} \frac{1 - P}{1 + 2a} & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P)}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases} \quad \text{حذف - انتخابی}$$

همین استنتاج برای N ARQ - برگشت - به - عقب استفاده می‌شود، اما باید در تقریب زدن N_r محتاط‌تر باشیم. هر خطا باعث نیاز برای ارسال مجدد k فریم می‌شود، به جای این که فقط یک فریم تکرار شود. بنابراین:

$$N_r = E[\text{تعداد فریم‌های ارسالی برای ارسال موفق یک فریم}] = \sum_{i=1}^{\infty} f(i) P^{i-1} (1 - P)$$

که $f(i)$ ، کل تعداد فریم‌های ارسالی است اگر فریم اصلی باید i دفعه ارسال شود. این مورد، اینگونه بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} f(i) &= 1 + (i - 1)K \\ &= (1 - K) + Ki \end{aligned}$$

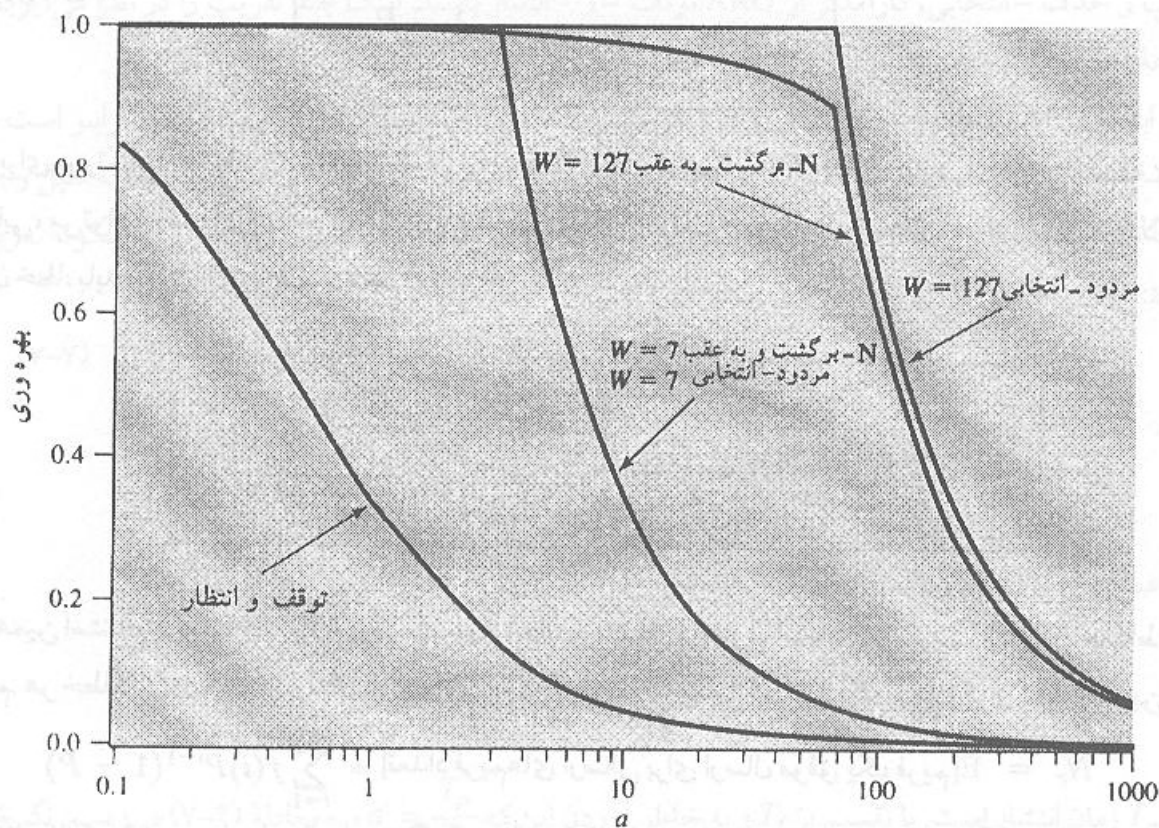
با جایگزینی بدست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} N_r &= (1 - K) \sum_{i=1}^{\infty} P^{i-1} (1 - P) + K \sum_{i=1}^{\infty} i P^{i-1} (1 - P) \\ &= 1 - K + \frac{K}{1 - P} \\ &= \frac{1 - P + KP}{1 - P} \end{aligned}$$

با مطالعه شکل (۷-۱۱)، خواننده باید نتیجه بگیرید که k تقریباً برابر است با $(2a + 1)$ برای $W \geq (2a + 1)$ ، و $k = W$ برای $W < (2a + 1)$. بنابراین:

$$N : U = \begin{cases} \frac{1 - P}{1 + 2aP} & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P)}{(2a + 1)(1 - P + WP)} & W < 2a + 1 \end{cases} \quad \text{N : برگشت - به - عقب}$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} (X^{i-1}) = \frac{1}{(1 - X)} \quad \text{برای } (-1 < X < 1)$$



شکل ۷-۱۳ بهره‌وری ARQ به صورت تابعی از a ($P = 10^{-3}$)

توجه داشته باشید که برای $W = 1$ ، حذف - انتخابی و N - برگشت - به عقب، توقف و انتظار را کاهش می‌دهند. شکل (۷-۱۳)^۱، این سه تکنیک کنترل خطا را برای مقدار $P = 10^{-3}$ مقایسه می‌نماید. این شکل و معادلات، تقریبی هستند. برای مثال، از خطاهای فریم‌های تأییدیه صرف‌نظر کرده‌ایم و، در حالت N - برگشت - به عقب، خطاهای فریم‌های ارسالی مجدد، به غیر از فریم اصلی دارای خطا، نادیده گرفته شده‌اند. به هر حال، این نتایج، نمودی از کارایی نسبی این سه تکنیک را نشان می‌دهند.

۱- برای $W = 7$ ، منحنی‌های N - برگشت به عقب و حذف - انتخابی آنقدر نزدیک به هم هستند که در شکل یکسان به نظر می‌رسند.