بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی کامپیوتر

تحقیق درس مدارهای واسط

مستند پروتکل Ethernet

سید علی طیب

(۴۰۰۱۰۱۵۲۶)

امین فصحتی

پاییز ۱۴۰۳

۱- کاربرد و چرایی توسعه پروتکل Ethernet:

پروتکل Ethernet یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین فناوری‌های شبکه در جهان است که برای اتصال دستگاه‌ها در یک شبکه محلی (LAN) توسعه یافت. این پروتکل در دهه ۱۹۷۰ توسط شرکت زیراکس (Xerox) و با همکاری باب متکالف (Bob Metcalfe) توسعه یافت و به‌تدریج به استانداردی جهانی تبدیل شد.

دلیل اصلی ایجاد و توسعه‌ی Ethernet، نیاز به یک روش ساده، پایدار و مقیاس‌پذیر برای ارتباط بین کامپیوترها در یک محیط مشترک بود. در دهه ۱۹۷۰، ارتباط بین کامپیوترها عمدتاً از طریق روش‌های سریال یا شبکه‌های سوئیچ‌شده انجام می‌شد که هزینه‌بر، پیچیده و کند بودند. Ethernet یک روش بسته‌محور و غیرمتمرکز ارائه داد که به دستگاه‌ها اجازه می‌داد بدون نیاز به کنترل مرکزی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. برخلاف روش‌های پیچیده‌تر مانند Token Ring که نیاز به کنترل خاصی برای مدیریت انتقال داده داشتند، Ethernet از یک معماری اشتراکی (Broadcast) بهره برد که ساده‌تر و ارزان‌تر بود. این ویژگی باعث شد که استفاده از آن در محیط‌های دانشگاهی و تجاری به سرعت گسترش یابد.

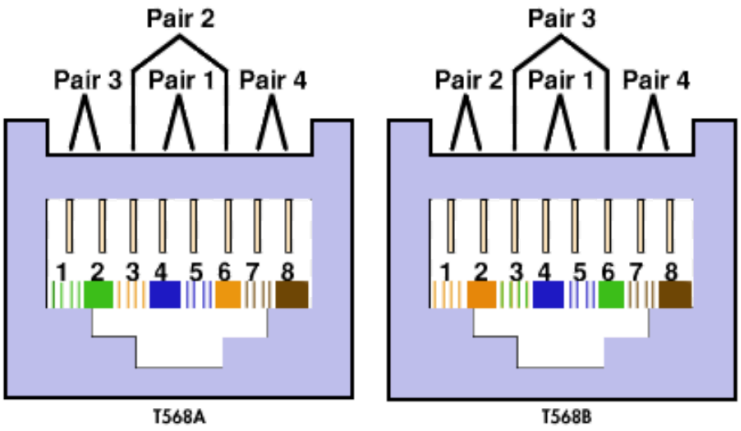
در ابتدا، Ethernet با سرعت ۲.۹۴ مگابیت بر ثانیه کار می‌کرد، اما در دهه‌های بعد، استانداردهای مختلفی مانند Fast Ethernet و Gigabit Ethernet توسعه یافتند که سرعت‌های بالاتر را فراهم می‌کردند. این قابلیت مقیاس‌پذیری باعث شد که Ethernet هم در شبکه‌های کوچک (LAN) و هم در شبکه‌های گسترده‌تر (WAN) استفاده شود. اتحادیه IEEE در سال ۱۹۸۳ استاندارد IEEE 802.3 را برای Ethernet تعریف کرد که باعث سازگاری و یکپارچگی این فناوری در سطح جهانی شد. با استاندارد شدن Ethernet، تولیدکنندگان سخت‌افزار شروع به ساخت کارت‌های شبکه، سوئیچ‌ها و هاب‌هایی کردند که با این پروتکل سازگار بودند.

۲- اتصالات فیزیکی پروتکل Ethernet:

شبکه‌های اترنت اولیه مبتنی بر کابل‌های کواکسیال بودند. امروزه از فیبر نوری یا کابل‌های برهم‌تابیده یا همان twisted-pairs در لایه فیزیکی اترنت استفاده می‌شود. بستر انتقال اترنت معمولا با استفاده از کانکتور 8P8C و با استاندارد RJ45 از چهار جفت سیم برهم‌تابیده تشکیل می‌شود.

تصویر ۱ - کانکتور 8P8C

برای RJ45 دو استاندارد مختلف T568A و T568B وجود دارد:



تصویر ۲ - استانداردهای مختلف RJ45

در RJ45 از سیگنالینگ تفاضلی استفاده می‌شود و به همین دلیل است که از هر رنگ یک جفت داریم. این جفت بودن و برهم‌تابیده‌بودن همراه با اعمال سیگنالینگ تفاضلی در هر جفت سیم باعث می‌شود تاثیر نویز و EMI یا همان Electromagnetic Interference حذف شود.

در تصویر فوق مشاهده می‌کنید که چهار جفت سیم چگونه در کانکتور 8P8C قرار گرفته‌اند. این چهار جفت سیم به شرح زیر هستند:

۱- جفت اول به رنگ آبی و آبی-سفید

۲- جفت دوم به رنگ نارنجی و نارنجی-سفید

۳- جفت سوم به رنگ سبز و سبز-سفید

۴- جفت چهارم به رنگ قهوه‌ای و قهوه‌ای-سفید

برای اینکه بدانیم کاربرد هر جفت سیم چیست و کدام برای دریافت اطلاعات است و کدام برای ارسال، ابتدا باید انواع پیاده‌سازی‌های لایه فیزیکی را بدانیم.

یک پیاده‌سازی 10/100BASE-T است. در این پیاده‌سازی که برای سرعت‌های ۱۰ و ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه طراحی شده است. از چهار جفت فوق، تنها دو جفت نارنجی و سبز (جفت‌های شماره ۲ و ۳) استفاده می‌شود و جفت‌های آبی و قهوه‌ای (جفت‌های شماره ۱ و ۴) بلا استفاده‌اند. خط نارنجی و سبز یکی برای ارسال Tx و یکی برای دریافت Rx استفاده می‌شود. معمولا pin های ۱ و ۲ برای ارسال هستند و بسته به استفاده از T568A یا T568B یکی از خط‌های سبز یا نارنجی (فرقی نمی‌کند) وظیفه ارسال و رنگ دیگر روی پین‌های ۳ و ۶ کانکتور وظیفه دریافت دیتا را دارد.

یک پیاده سازی دیگری هم وجود دارد به نام Gigabit Ethernet. در این پیاده‌سازی که به سرعت یک گیگابیت بر ثانیه و فراتر از آن هم می‌رسد، از هر ۴ جفت سیم برای انتقال داده استفاده می‌شود. نکته حائز اهمیت در این انتقال این است که هر کدام از چهار خط انتقال داده، Bi-directional است و به صورت دوطرفه دیتا دریافت و ارسال می‌کند.

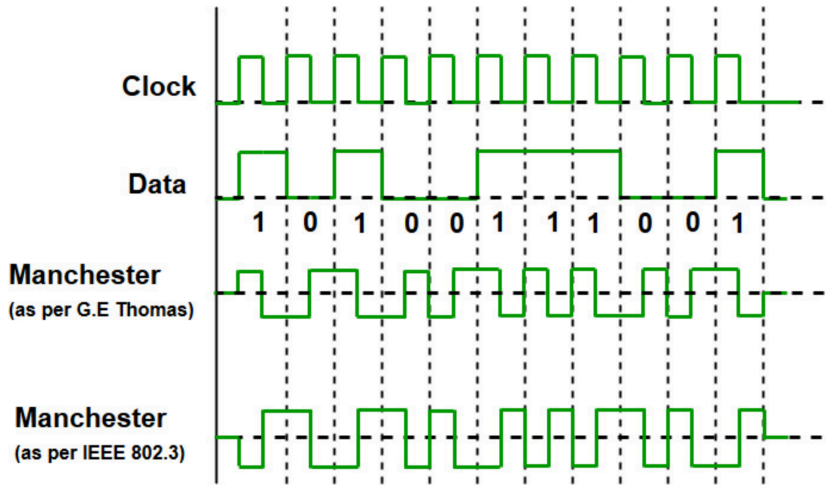
۳- نحوه ارتباط پروتکل Ethernet:

اترنت به صورت سریال داده‌ها را منتقل می‌کند. نوع انکودینگ آن طبق جدول زیر است:

standard	speed	encoding
10BASE-TX (Legacy Ethernet)	10 Mbps	Manchester
100BASE-TX (Fast Ethernet)	100 Mbps	4B/5B + MLT-3
100BASE-FX (Fast Ethernet)	100 Mbps	4B/5B + NRZ-I
1000BASE-T (Gigabit Ethernet)	1 Gbps	8B1Q4 + PAM5
1000BASE-X (Gigabit Ethernet)	1 Gbps	8B10B + NRZ

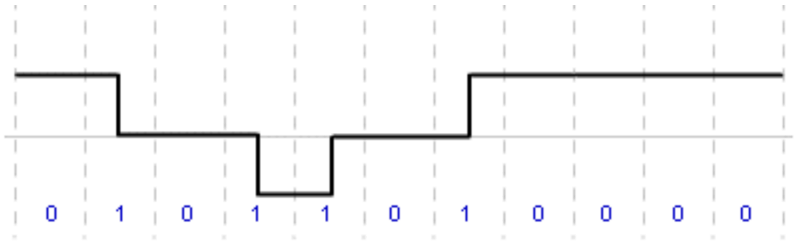
جدول ۱ - انکودینگ‌های مختلف اترنت

اترنت با سرعت ۱۰ مگابیت بر ثانیه از انکودینگ منچستر استفاده می‌کند. این انکودینگ با توجه به صفر یا یک بودن دیتا یک لبه بالا یا پایین رونده را ایجاد می‌کند. به شکل زیر توجه کنید.



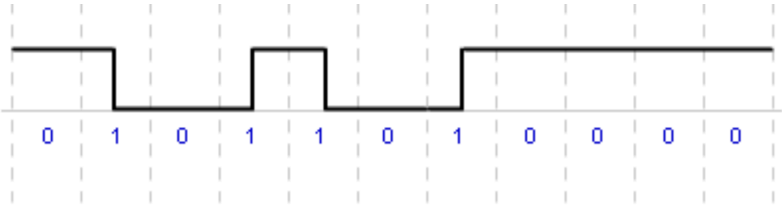
تصویر ۳ - انکودینگ منچستر

نسخه Fast اترنت برای کابل‌های مسی از انکودینگ 4B/5B به همراه MLT-3 استفاده می‌کند. همچنین برای فیبر نوری از انکودینگ 4B/5B به همراه NRZ-I استفاده می‌کند. یعنی ابتدا هر ۴ بیت داده به ۵ بیت تبدیل می‌شود و سپس انکود می‌شود. MLT-3 برای انتقال ۱ به سطح ولتاژ بعدی تغییر می‌کند و برای انتقال صفر در همان سطح ولتاژ باقی می‌ماند. به تصویر زیر توجه کنید.



تصویر ۴ - انکودینگ MLT-3

در انکودینگ NRZ-I هم زمانی که بیت یک داشته باشیم سطح سیگنال تغییر می‌کند و در صفر تغییری نمی‌کند.



تصویر ۵ - انکودینگ NRZ-I

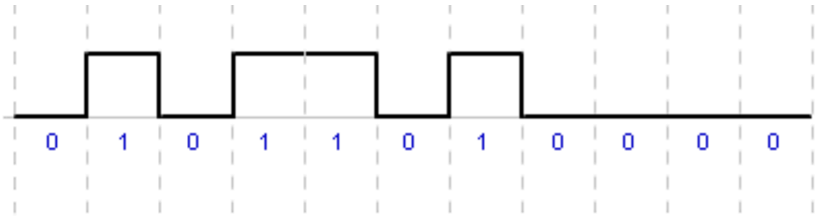
همچنین برای حفظ کلاک و sync ماندن فرستنده و گیرنده در طول ارسال پیام مجبور به استفاده از 4B/5B هستیم که در شکل زیر آن را مشاهده می‌کنید. این انکودینگ باعث می‌شود که بیش از دو صفر متوالی نداشته باشیم که در غیر این صورت ممکن است همزمانی به مشکل بخورد.

	0	1	2	3	4	5	6	7
4-bit Nibble	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
5-bit Code	11110	01001	10100	10101	01010	01011	01110	01111

	8	9	10	11	12	13	14	15
4-bit Nibble	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
5-bit Code	10010	10011	10110	10111	11010	11011	11100	11101

تصویر ۶ - انکودینگ 4B/5B

در Gigabit Ethernet علاوه بر انکودینگ‌های 8B/10B و 8B1Q4 که وظیفه‌ای مشابه 4B/5B دارند، از انکودینگ‌های PAM5 در سیم‌های مسی و NRZ در فیبرهای نوری استفاده می‌شود. PAM5 یک نوع Pulse-amplitude modulation است که دارای ۵ سطح ولتاژ برای انتقال داده می‌باشد.



تصویر ۷ - انکودینگ NRZ

همچنین لازم به ذکر است که اترنت ناهمزمان است. چراکه هر دستگاه خودش زمان خود را تنظیم می‌کند و کلاک مشترکی بین فرستنده و گیرنده وجود ندارد. روش هماهنگی میان گیرنده و فرستنده به این صورت است که پیش از ارسال هر فریم اترنت (بسته‌های در لایه دو frame نام دارند.) یک پیشوند یا preamble ارسال می‌شود. preamble از ۵۶ بیت ۰ و ۱ به صورت یک در میان تشکیل شده است و همین باعث sync شدن کلاک فرستنده و گیرنده در ابتدای کار می‌شود. تکنیک‌های انکودینگ گفته‌شده در قبل نیز برای حفظ این sync بودن در طول انتقال پیام به کار می‌روند.

۴- قابلیت اتصال چندین دستگاه و حل congestion احتمالی:

اترنت قابلیت اتصال چندین دستگاه را دارد و به طور کلی برای این هدف و منظور طراحی شده است تا یک شبکه محلی یا همان LAN را تشکیل دهد. برای اتصال دستگاه‌های مختلف به همدیگر می‌توان از Hub یا Switch استفاده کرد. Hub هر فریم ورودی را به همه دستگاه‌های متصل ارسال می‌کند. اما سوییچ طبق یک جدول اقدام به ارسال فریم به دستگاه خاصی می‌کند. برخورد یا collision بیشتر در Hubها و Legacy Ethernet رخ می‌دهد. برای حل برخورد از تکنیک‌های CSMA/CD استفاده می‌شود. بدین صورت که فرستنده قبل از ارسال ابتدا خط را بررسی می‌کند و اگر دید خط مشغول است اندکی صبر می‌کند و سپس مجدد خط را بررسی می‌کند و اگر خط آزاد بود اقدام به ارسال می‌کند. همچنین اگر حین ارسال، برخورد تشخیص داده شود، دو دستگاه ارسال را متوقف کرده و بعد از یک زمان تصادفی (jitter) دوباره اقدام به ارسال خواهند کرد. همچنین برای کاهش برخورد استفاده از سوییچ به جای هاب اکیدا توصیه می‌شود. چرا که سوییچ با forward هدفمند فریم به سمت مقصد، ترافیک روی سایر دستگاه‌ها را کم می‌کند. همین کاهش ترافیک باعث کاهش میزان برخورد (Collision) در شبکه خواهد شد.

۵- آدرس دهی و مسیریابی در Ethernet:

پروتکل Ethernet از آدرس‌های فیزیکی (MAC Address) برای شناسایی دستگاه‌ها در یک شبکه محلی (LAN) استفاده می‌کند و مسیریابی را به لایه بالاتر (IP) واگذار می‌کند. در Ethernet، هر دستگاه یک آدرس MAC یا همان Media Access Control دارد که به‌طور منحصربه‌فرد به آن اختصاص داده شده است. آدرس MAC یک مقدار ۴۸ بیتی (۶ بایتی) است. ۳ بایت اول آن نشان‌دهنده vendor سازنده کارت شبکه و ۳ بایت دوم آن شماره سریال مخصوص به کارت شبکه است. سه نوع آدرس داریم. Unicast و Multicast و Broadcast. اولی مختص یک کارت شبکه است. دومی یک رنج است که برای مشخص کردن گروه خاصی از دستگاه‌ها به کار می‌رود. و آخری هم برای ارسال یک فریم به همه دستگاه‌های موجود در شبکه محلی به کار می‌رود.
همان‌طور که قبلا هم اشاره کردیم، پروتکل Ethernet یک پروتکل لایه ۲ (Data Link Layer) است و به‌صورت پیش‌فرض مسیریابی (Routing) انجام نمی‌دهد. اما داده‌ها را بر اساس آدرس MAC در شبکه محلی (LAN) انتقال می‌دهد. دلیل این مسئله، هدف طراحی این پروتکل است که صرفا می‌خواست یک شبکه محلی بسازد. و به همین علت است که در این لایه نیازه به مسیریابی نداریم.

۶- مدیریت جریان داده (Flow control) در Ethernet:

در شبکه‌های Full-Duplex Ethernet، دستگاه گیرنده می‌تواند با ارسال فریم PAUSE به فرستنده، از آن بخواهد که موقتاً ارسال داده را متوقف کند. این مکانیسم در لایه پیوند داده (Layer 2) پیاده‌سازی شده و به MAC Address بستگی دارد. نحوه عملکرد اینگونه است که گیرنده متوجه می‌شود که بافرهایش در حال پر شدن هستند. لذا یک PAUSE Frame به فرستنده ارسال می‌کند. فرستنده ارسال داده را برای مدت زمان مشخصی متوقف می‌کند. بعد از تخلیه بافر، گیرنده اجازه ارسال مجدد را به فرستنده می‌دهد.
همچنین یک روش دیگری هست که قدیمی‌تر است و در شبکه‌های Half-Duplex قدیمی کاربرد دارد. به این صورت است که گیرنده با ایجاد برخورد (Collision) تصنعی به فرستنده اطلاع می‌دهد که ارسال داده را متوقف کند. فرستنده پس از مشاهده تصادف، داده را با تأخیر دوباره ارسال می‌کند. این فرآیند باعث افزایش زمان تأخیر و کاهش بازدهی شبکه می‌شود. امروزه در شبکه‌های مدرن استفاده نمی‌شود.

۷- تشخیص خطا در Ethernet:

در لایه فیزیکی با تکنیک‌های زیر امکان تشخیص خطا را داریم:
لایه فیزیکی مجهز به قابلیت کشف سطح سیگنال غیرمجاز است. این به معنای بررسی اینکه که آیا سیگنال دریافتی در محدوده ولتاژ یا فرکانس مجاز است، می‌باشد. در صورت کشف سیگنال غیرمجاز، فریم دور انداخته می‌شود و فرستنده مجبور به ارسال مجدد آن می‌شود. همچنین قابلیت کشف از دست رفتن سیگنال (Link Loss Detection) نیز موجود است که بررسی می کند که آیا ارتباط بین دو دستگاه هنوز برقرار است یا اینکه قطع شده است.

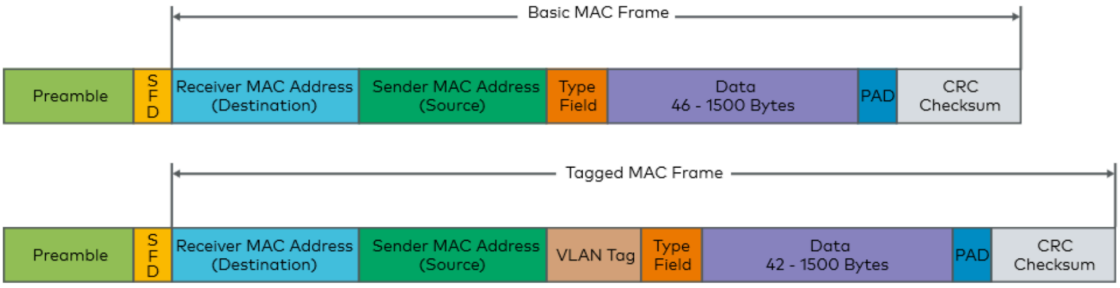
همچنین در لایه دیتا CRC به کمک ما می‌آید. Frame Check Sequence یا همان FCS یک مقدار CRC-32 است که در انتهای هر فریم Ethernet قرار می‌گیرد. فرستنده مقدار CRC را محاسبه کرده و به انتهای فریم اضافه می‌کند. گیرنده نیز CRC را محاسبه می‌کند و اگر مقدار دریافت‌شده با مقدار محاسبه‌شده مطابقت نداشته باشد، فریم را دور می‌اندازد و فرستنده مجبور است فریم را مجدد ارسال کند.

8- تصحیح خطا در Ethernet:

اترنت تنها مکانیزم تشخیص خطا دارد و تنها کاری که می‌کند این است که فریم‌های غلط و خراب را دور می‌اندازد و مکانیزمی برای تصحیح خطا ندارد. در این حالت فرستنده مجبور است فریم‌های خراب را دوباره ارسال کند.

۹- انواع پیام در Ethernet:

فریم اترنت یک فرمت استاندارد کلی دارد و آن به صورت زیر است:



تصویر ۸- فرمت فریم اترنت

قسمت سبز کم‌رنگ، Preamble است که رشته‌ای از صفر و یک‌های پی‌درپی است که برای همگام‌سازی اولیه کاربرد دارند. پس از آن SFD می‌آید که Start of frame delimiter و اندازه‌اش یک بایت است و همیشه مقدار 10101011 به خود می‌گیرد. این بایت نشان‌دهنده آغاز ارسال فریم است.

ابتدای فریم دو آدرس ۴۸ بیتی داریم. اولی آدرس مقصد و دومی آدرس مبدا. پس از آدرس‌ها یک بخش اختیاری داریم به نام VLAN Tag داریم. این بخش اختیاری زمانی که از شبکه‌های محلی مجازی یا همان VLAN استفاده می‌کنیم، می‌آید. در مورد VLAN در قسمت بعدی توضیح خواهیم داد. پس از این قسمت اختیاری، یک سری field های اطلاعاتی می‌آید که در شکل همه آن‌ها رسم نشده‌اند. بسته به نسخه استاندارد استفاده شده در این قسمت، بخش‌های Type و length و control و... داریم. اندازه این بخش از چند بایت تجاوز نمی‌کند. پس از آن Payload اصلی می‌آید که یک بسته کامل IP است. اندازه آن می‌تواند بستگی به شرایط مختلف، از ۴۲ تا ۱۵۰۰ بایت (مقدار MTU) باشد. دیتای اصلی ما در این قسمت قرار می‌گیرد. در انتهای این دیتا یک مقدار padding و پس از آن مقدار Checksum قرار می‌گیرد. همان‌طور که اشاره شد، Checksum از نوع CRC است.

نتیجه

در این مستند به بررسی اجمالی پروتکل Ethernet پرداختیم. سیم‌کشی و انکودینگ‌های مورد استفاده در لایه فیزیکی آن را بررسی کردیم و مکانیزم‌های تشخیص خطا و کنترل جریان داده در لایه دیتای آن را یاد گرفتیم. همچنین ساختار کلی فریم‌های Ethernet را بیان کردیم. امروزه پروتکل Ethernet به عنوان اصلی‌ترین پروتکل مورد استفاده در لایه ۲ شبکه اینترنت، نقش مهمی در ارتباطات مجازی مردم دنیا بازی می‌کند. این پروتکل طی سال‌های متمادی به این نقطه از سرعت و بهینگی رسید. امید است این مستند کوتاه، شما را به خوبی با این پروتکل آشنا کرده باشد.

پیوست: VLAN چیست؟

VLAN یا شبکه محلی مجازی یک تقسیم‌بندی در شبکه است که دستگاه‌ها را بدون در نظر گرفتن موقعیت فیزیکی آن‌ها در یک گروه قرار می‌دهد تا مدیریت، امنیت و کارایی شبکه را بهبود بخشد. VLAN در لایه ۲ مدل OSI (لایه Data-Link) کار می‌کند. با اختصاص شناسه‌های VLAN متفاوت به دستگاه‌ها، می‌توان ترافیک شبکه را ایزوله و جدا کرد و امنیت را افزایش داد، زیرا از دسترسی غیرمجاز بین بخش‌های مختلف جلوگیری می‌شود. همچنین VLANها مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری شبکه را افزایش می‌دهند، زیرا امکان پیکربندی و تغییر بخش‌های شبکه بدون نیاز به تغییرات فیزیکی در کابل‌کشی را فراهم می‌کنند.