

Access Networks

- اولین **access network** مورد بحث **cable-based access** هست که توسط شرکت های تلویزیون کابلی ارائه می شن. در بعضی از کشور ها برای دریافت سیگنال های تلویزیونی ، آنتن های مرکزی رو برج هایی (**head end**) نصب می کنن و بقیه خونه ها برای دسترسی به کانال های تلویزیونی از این سیگنال تولید شده توسط آنتن استفاده می کنن. و معمولاً اینطوری که این سیگنال در هر محله توسط یه **splitter** چند شاخه میشه و هر شاخه (که یه حالت مویرگی هم داره) یه سری از خونه ها رو سرویس میده ، و هر کدوم از خونه ها هم یه شاخه از این شاخه رو برای دریافت کانال های تلویزیونی استفاده می کنن. چون آنتن مرکزی از خونه های مشترکین دوره ، سر راه این کابل ها یه سری تقویت کننده (**amplifier**) قرار میدن تا با توان خوبی به مصرف برسه. جنس این کابل های تلویزیونی هم از کواکس هست. (**coaxial cable**)
ما میتونیم از فرکانس های مختلف کانال های مختلف تلویزیون رو دریافت کنیم ولی همه ی این فرکانس ها در داخل یک کابل هستن . به این روش **FDM(frequency division multiplexing)** گفته میشه. در واقع داریم از یه سیم (با فرکانس های مختلف) استفاده می

کنیم تا به چندین سورس پاسخ بدیم و سیگنال های مختلف رو ارسال کنیم.

حالا این شرکت های کابلی برای اینکه بتونن به مشترکینشون اینترنت هم ارائه بدن ، باید یه تغییراتی در زیرساخت خودشون ایجاد می کردن. تغییر بدیهی اول این بود که باید به شبکه ی اینترنت متصل می شدن و برای این کار از یه **ISP** استفاده کردن. اما تغییر عمده ای که باید ایجاد میشد این بود که باید کابل های کواکس رو با کابل های فیبر نوری جایگزین می کردن چون کابل های کواکس توان زیادی تلف می کردن. وقتی که از کابل های کواکس برای ارسال سیگنال های تلویزیونی استفاده می کردن ، این ارتباط یک طرفه بوده و میتونستن تجهیزات توان بالایی توی **head end** ها به کار ببرن تا یه سیگنال قوی بفرستن ولی برای برقراری اینترنت لازم بود که خونه ها هم سیگنال های قوی ای به **head end** ها بفرستن که بازم مستلزم تجهیزات پیشرفته ست و به صرفه نیست. پس اومدن و قسمت عمده ای از مسیرو با فیبر نوری جایگزین کردن (از **head end** تا **switch** و از **switch** تا **fiber** **node**) و بعد از اون برای ارسال سیگنال ها به خونه های مختلف که مسافت زیادی هم نبود از همون کابل های کواکس استفاده کردن. به این تکنولوژی **HFC(Hiber Fiber Coax)** گفته میشه چون هم از فیبر نوری و هم از کواکس استفاده شده.

توی این سناریو ما قسمتی از کانال ها رو به رد و بدل کردن پیام ها و packet ها و بسته های اینترنتی اختصاص میدادیم. بنابراین از یک کابل فیبر نوری یا کواکس به طور همزمان هم سیگنال های ویدیو و هم دیتا رو داریم که به طور مشترک هم استفاده میشن.

توی قسمت distribution hub که سمت head end هست یه سری سیگنال هم از آنتن و هم از ISP ها دریافت میشه. (down link)

(برای قسمت دیتا ، ما از یک مودم (CMTS : Cable modem termination system) استفاده می کنیم که دیتا رو از شبکه ی اینترنت می گیره و این دیتا رو تبدیل می کنه به یک سیگنال نوری با فرکانس مناسب و بعد به همراه سیگنال های ویدیویی که از head end میاد به combiner داده میشه تا در نهایت یه شکل موج نوری ساخته بشه و به داخل فیبر نوری ارسال بشه. در مسیر برگشت هم خونه ها بسته های دیتای خودشون رو که در کانال هایی که مربوط به up link هستن قرار میدن و این مودم دوباره این بسته ها رو دریافت می کنه و به شبکه ی اینترنت می فرسته.

توی خونه ها هم تقریبا همین روند اجرا میشه . یعنی اون سیگنال دریافت شده توسط کابل کواکس به یک filter داده میشه و سیگنال های ویدیویی برای تلویزیون ها و سیگنال های مربوط به داده به یک مودم فرستاده میشن تا در دستگاه های دیجیتال متصل به اینترنت استفاده بشن.

اما چون این کانال هایی که مربوط به دیتا هستن (چه **up link** و چه **down link**) به مراتب از تعداد مشترکین کمتره ، این کانال ها به صورت مشترک (**shared**) در اختیار مشترکین قرار می گیره و اینجوری نیست که برای هر مشترک یه کانال مخصوص وجود داشته باشه.

کانال های **down link** ، **multicasting** انجام میدن. یعنی هر مودم توی هر خونه ای یه آدرس و شناسه ای داره و بسته های دیتا ها هم هرکدوم شامل این یکی ازین آدرس هاست و وقتی این دیتا ها ارسال میشن به سمت خونه ها ، مودم هر خونه بررسی می کنه که آیا این بسته آدرس مربوط به خودش رو داره یا نه ، اگه داشت دریافتش می کنه و عمل دی-مدلاسیون انجام میشه و داده استخراج میشه. اگه نداشت دورش میریزه. **Multicasting** درواقع ینی هر نودی چندین بسته رو دریافت می کنه ولی هر مودم با توجه به ادرسش بسته ی مخصوص به خودش رو دریافت می کنه.

در کانال های **up link** هم از **multiple-access** استفاده می کنن که در فصل ۵ باهاش آشنا میشیم. ولی به طور خلاصه ینی هر کانال **up link** مخصوص یه مشترک نیست و تعداد زیادی مشترک ازش استفاده می کنن و برای ارسال سیگنال با هم رقابت می کنن. سرعت **down link** از **up link** در تکنولوژی **HFC** بیشتر هست ، در **down link** سرعت **40 Mbps** تا **1.2 Gbps** و در **up link** سرعت

بین ۳۰ تا ۱۰۰ Mbps هست. استاندارد جهانی سرعت این کانال ها بر حسب DOCSIS هست که کران پایین این سرعت ها از نسخه ی ۲.۰ و کران بالای این سرعت ها از نسخه ی ۳.۰ این DOCSIS هست.

البته این سرعت ها برای هر کاربری صدق نمی کنه! در واقع چون کانال، مشترک هست و تعداد زیادی مشترک دارن ازین کانال استفاده می کنن سرعت اینترنت پایین تر میاد . عواملی که دراین قضیه تاثیر گذار هستن ۱- موقعی از روز که از اینترنت استفاده می کنیم و ۲- نحوه ی استفاده ی کاربرانی هست که با ما از یک کانال استفاده می کنن.

این تفاوت سرعت بین کران پایین و کران بالا به دلیل پهنای باند (bandwidths) و modulations هست.

- Bandwidths واحدش هرتزه . وقتی از یک کانال بخوایم یه موج سینوسی رو عبور بدیم ، اگر فرکانس موج از پهنای باند کانال کمتر باشه بدون اینکه دچار تلفات یا تضعیف زیادی بشه میتونه از اون عبور کنه. اما اگر فرکانس موج زیاده تر بشه، سیگنال خروجی دچار تضعیف میشه و با افزایش فرکانس تشدید هم میشه.

- برای انتقال داده های دیجیتال معمولا از پالس استفاده می کنیم. پالس ها به صورت مجموعه ای از موج های سینوسی میتونن نمایش داده بشن. مثلاً یه موج مربعی رو میتونیم به صورت مجموعه ی بی نهایتی از موج های سینوسی نمایشش بدیم.(با استفاده از تبدیل فوریه)

موج سینوسی با کمترین فرکانس ، پریودش دقیقا با پریود موج مربعی یکیه ، و بهش میگن هارمونی اول و از سایر هارمونی ها قوی تر هست. و به همین ترتیب هارمونی دوم و سوم و ... داریم و مجموع همه ی این موج ها همون موج مربعی(پالس) رو به ما میده.

پهنای باند ، نرخ پالس (**pulse rate** : تعداد پالس در واحد زمان) رو محدود می کنه، چون اگر نرخ پالس از یه حدی بیشتر بشه ، پریود کمتر میشه و اگر پریود کمتر بشه فرکانس بیشتر میشه و اگر فرکانس هم بیشتر از پهنای باند بشه دیگه اون موج از کانال رد نمیشه و بقیه زیر موج ها هم چون فرکانسشون چند برابر موج اصلیه اونا هم رد نمیشن، در نتیجه کلا پالس از اون کانال رد نمیشه و خروجی ای نخواهیم داشت. البته بالا بودن نرخ پالس برای ما مهمه چون میتونیم بیت های بیشتری رو انتقال بدیم.

- (**aka = also known as**)

- **Pulse rate** رو به عنوان **symbol rate** و **baud rate** هم میشناسن.

- اگه بخوایم تک بیت ارسال کنیم ، 0 رو با پالس مثبت و 1 رو با پالس منفی ارسال می کنیم. اگر بخوایم دو بیت ارسال کنیم 01 , 00 با پالس مثبت ان که 01 دامنه اش بیشتره و 10 و 11 با پالس منفی ان که 11 دامنه اش بیشتره.

- **Modulation** یعنی تعداد **level** ها.

- تعداد بیت های ارسال شده در هر ثانیه برابره با لگاریتم در مبنای دوی تعداد **level** ها . مثلا برای تک بیت ۲ **level** داریم و برای دوبیت ۴ **level** و ... که برابر با **M** قرار میدیم.
- $\text{Bit rate} = M * \text{Baud rate}$ که **M** یعنی تعداد بیت هایی که به پالس داره و **baud rate** یعنی چندتا پالس در هر ثانیه عبور می کنه. البته در خیلی از کتاب های مربوط به شبکه **bandwidths** و **bit rate** رو به صورت معادل با هم به کار می برن و وقتی میگن **bandwidths** منظور همون **bit rate** هست.
- یکی دیگه از **Access Network** ها **DSL (digital subscriber line)** نام داره که توسط شرکت های مخابراتی و زیرساختی که این شرکت ها دارن فراهم میشه.
- همونطور که قبلا گفتیم شرکت های تلفن از **central office** یک زوج سیم (**local loop**) به هر منطقه می کشن که همزمان اینترنت و خط تلفن رو فراهم کنن. این زوج سیم ها به شبکه تلفن متصل بودن و این شرکت ها چون میخواستن اینترنت هم ارائه بدن در نقش **ISP** هم ظاهر شدن.
- این زوج سیم ها برای هر خونه به صورت مجزا هست . برای **up link** داده های صوتی و داده های مربوط به شبکه ی اینترنت از طریق **FDM**، توی کانال های مختلف، روی این زوج سیم ها قرار می گیره و از خونه های مختلف به مرکز سوییچینگ ارسال میشه. توی مرکز

سوییچینگ به دستگاهی هست به اسم **DSLAM** که کانال های مربوط به داده های صوتی رو برای شبکه ی تلفن و داده های اینترنتی رو برای شبکه ی اینترنت ارسال می کنه.

همین روند به طور برعکس برای **down link** اتفاق میفته. یعنی سیگنالی که روی زوج سیم ها برای هر خونه ارسال میشه از طریق **splitter** جدا میشه و داده های صوتی برای تلفن و داده های اینترنتی برای مودم **DSL** ارسال میشه و این دیتا ها استخراج میشن و به دستگاه های دیجیتال فرستاده میشن.

- سرعت **upstream** ۳.۵ تا ۱۶ **Mbps** و سرعت **downstream** ۲۴ تا ۵۲ **Mbps** هست. این زوج سیم ها از هر خونه تا **central office** کشیده شدن و برای هر خونه اختصاصی ان. بنابراین این سرعت بین چندتا مشترک استفاده نمیشه و فقط منحصر به یه مشترک (**dedicated**). در **up link** چون پهنای باند کمتر و تعداد کانال کمتری داریم سرعت نسبت به **down link** کمتره. (چون توی اینترنت تعداد کانال و پهنای باند از سمت سرور به کلاینت بیشتر در نظر گرفته میشه). به دلیل نامتقارن بودن سرعت **up link** و **down link** به این تکنولوژی **ADSL** هم میگن (**A** مخفف **asymmetric** و به معنی نامتقارن هست.)

- هرچند تکنولوژی **ADSL** برای هر خونه مجزا هست ولی مستقل نیست!! یعنی کیفیت این تکنولوژی برای هر مشترک ، به اینکه مثلا همسایه ی اون مشترک هم از **ADSL** استفاده بکنه یا نه ، بستگی داره! در واقع سرعت اینترنت ما متغیر با زمان و فاصله ی ما از **central office** هست. بنابراین مودم ها باید از مدلاسیون ها و کدینگ های مختلف استفاده کنن تا خودشون رو با شرایط مختلف کانال وفق بدن که این موضوع روی **bit rate** هم تاثیر داره. (یعنی به صورت **adaptive** کار کنن).

• Home networks :

- اگر ما از شرکت های تلفن یا تلویزیون کابلی سرویس گرفته باشیم ، نیاز به یه مودم داریم که داده رو از صوت یا ویدیو جدا کنه و اون رو برای یک **router** ارسال کنه. این **router** نقش ارسال و دریافت این داده به سایر وسایلی که تو خونه هستن رو به عهده داره. کارهای دیگه مثل فایروالینگ ، فیلترینگ ، **NAT** رو هم میتونه انجام بده. همچنین این **router** میتونه از طریق **Ethernet** به سایر **device** ها متصل باشه، میتونه هم به یک **access point** متصل باشه و بسته های دیتا رو به وسایلی که **wireless** هستن و به این **access point** متصلن ، منتقل کنه.

- نکته ی مهمی که هست اینه که DSL modem ، router و WIFI wireless access point از هم جدا نیستن و درون یه باکس قرار داده میشن.

• Wireless access networks :

- End system ها رو به router از طریق access point (base station) متصل می کنن.
- یکی از انواع این شبکه ی دسترسی ، شبکه های بی سیم محلی هستن که از لحاظ مسافت تا چند ۱۰ متر رو پوشش میدن. استاندارد تعریف شده برای این شبکه 802.11 (WiFi) نام داره که انواع b و g و n با سرعت 11 و 54 و 450 Mbps رو داره.
- این شبکه ها بیشتر در خونه ها و محیط های کاری استفاده میشن.
- یکی دیگه از انواع این شبکه ی دسترسی ، شبکه های سلولار (cellular) هستن که برخلاف شبکه های محلی رنجشون زیاد هست و تا چند ۱۰ کیلومتر رو پوشش میدن. سرعت انتقال داده ۱۰ یا چند ۱۰ Mbps در این شبکه ها قابل دسترسیه و 2G و 3G و 4G و 5G و... از جمله تکنولوژی ها و استانداردهای مختلفی هستن که در این شبکه های سلولار استفاده میشن.

• Enterprise Network :

- از این شبکه ها معمولا در شرکت ها و دانشگاه ها استفاده میشه. ترکیبی از لینک های سیمی و بدون سیم درون اون ها وجود داره و همچنین ترکیبی از سویچ ها و روتر ها.
- لینک های سیمی معمولا از تکنولوژی Ethernet برای ارسال داده استفاده می کنن و بی سیم ها از WiFi استفاده می کنن.
- Ethernet دارای سرعت های 100Mbps، 1Gbps و 10 Gbps هست.
- هدف شبکه های کامپیوتری ، رد و بدل اطلاعات بین دستگاه های مختلفه.
- کوچکترین واحد اطلاعات bit هست که برای ارسال بیت ها از امواج الکترومغناطیسی در محیط های مختلف استفاده می کنیم. به این محیط ها link گفته میشه.
- بعضی از این لینک ها به صورت سیمی هستن که بهشون guided media هم گفته میشه.(هدایت شده) به این دلیل بهشون میگی guided چون موقعی که امواج الکترومغناطیس داخل این لینک ها منتشر میشن، پراکنده نمیشن و در راستای اون سیم منتشر میشن. حالا این سیم ها میتونن از جنس مسی ، فیبر نوری ، کواکس و ... باشن.
- ولی بعضی از این لینک ها هم بی سیم و در فضای آزاد هستن و بهشون unguided media گفته میشه. به این دلیل بهشون میگی

unguided چون امواج الکترو مغناطیس آزادانه در هر جهتی در این

فضای آزاد حرکت می کنند. (مثل لینک های رادیویی)

- **Twisted pair** یا زوج سیم، متشکل از دوتا سیم مسی به هم تابیده شده هست. کاربرد های خیلی وسیعی دارن و ارزون قسمت هستن و در تکنولوژی **DSL** و **Ethernet** هم ازش استفاده میشه.

جنس ها و قطر های متفاوتی میتونن داشته باشن ، که تحت عنوان **category** های مختلف ازشون یاد میشه . توی تکنولوژی های که سرعت بالایی دارن مثل **Ethernet** ، طبیعتا از کیفیت بالای این زوج سیم ها که قطر بزرگی هم دارن استفاده میشه . مثلا **category 6** که **Ethernet** با بیت ریت **10Gbps** رو می خواد ساپورت کنه ، نسبت به زوج سیمی که برای **DSL** استفاده میشه ، کیفیت بهتر و طول قطر بیشتری داره.

- **Coax cable** : از نوع لینک های **guided** یا هدایت شده هست. این

کابل ها معمولا از دو رسانای مسی که به شکل استوانه های هم مرکز هستن ساخته میشن. معمولا برای انعطاف بیشتر ، به جای اینکه استوانه ی خارجی یکپارچه باشه ، به صورت یه شبکه توری از سیم های فلزی هست. این کابل ها پهنای باند وسیعی دارن. از لحاظ کاربرد در ابتدا در **Ethernet** استفاده می شدن، ولی به تدریج جای خودشون رو به مدیاهای دیگه مثل فیبر نوری و زوج سیم ها دادن. در حال حاضر هم در تکنولوژی **HFC** استفاده می شن.

- **فیبرهای نوری** : به شکل رشته هایی از جنس شیشه یا پلاستیک هستن و طیفی از امواج الکترومغناطیس مثل **infrared** برای انتشار در این مدیا ها مناسب هست. نحوه ی استفاده ازین فیبرهای نوری برای انتقال بیت ها ،اینطوریه که در سمت فرستنده یه لیزر وجود داره که به ازای یه بیت ،یه پالس ارسال می کنه و گیرنده مجهز به یه **photo diode** هست که به نور حساسن و انرژی نوری دریافتی رو به انرژی الکتریکی تبدیل می کنن.

ویژگی های خوبی دارن از جمله اینکه تضعیف سیگنال بسیار کمه ، پهنای باند و سرعت بالایی دارن و احتمال خطای پایینی دارن . دلیلش هم اینه که نویز در این مدیاها کم وجود داره و امواج الکترومغناطیس تداخلی برای سیگنال های نوری داخل رشته ها به وجود نمیاره. بنابراین این ویژگی ها باعث شده از فیبر های نوری در خیلی جاها استفاده بشه . مثلا در دیتا سنتر ها برای ارتباط بین سرور ها ، در لینک های بین قاره ای ، در **core** شبکه که پهنای باند وسیعی داریم و **data rate** بالاست .

ولی مشکلی که دارن قیمت بالای این مدیا هست. و همچنین نصب ساده ای هم ندارن . بنابراین مثلا در **Ethernet** در کنار فیبر های نوری، از زوج سیم هم که تکنولوژی غالب هم هست استفاده میشه.

- لینک های رادیویی (بی سیم یا unguided) :

برای انتقال امواج الکترومغناطیسی که برای انتشار به محیط فیزیکی نیازی ندارند استفاده میشن . میتونیم از فرکانس های مختلف این امواج ، برای ایجاد کانال ها و لینک های مختلف استفاده بکنیم و هر فرکانس یا باند رو به کاربرد خاصی اختصاص بدیم.

مثلا اینکه **radio AM** و شبکه های سلولار و **WiFi** و ... سیگنال

هاشون برای هم ایجاد مزاحمت نمی کنن ، به این دلیل که دارن سیگنال هاشون رو در باند ها و فرکانس های مختلف ارسال و دریافت می کنن.

لینک های رادیویی ارزان و در دسترس هستن و احتیاج به نصب ندارند. اما چالش هایی هم دارن :

۱- **reflection** که یعنی ما بین فرستنده و گیرنده یه مسیر نداریم و اشیایی که بین فرستنده و گیرنده قرار دارن میتونن به عنوان یه بازتاب کننده عمل کنن ، امواج الکترومغناطیس به اون ها بخوره و پس از منعکس شدن به گیرنده بخورن . برای همین ما یه سیگنال می فرستیم سمت فرستنده ولی گیرنده ممکنه چندین کپی از اون سیگنال رو دریافت کنه و این باعث پیچیدگی عمل **detection** میشه که ما بفهمیم فرستنده چی ارسال کرده و مبتنی بر اون بیت ها رو استخراج کنیم.

۲- یه مانع دیگه وجود موانع بین فرستنده و گیرنده هست ، و این فرستنده و گیرنده ممکنه کاملا در دیدرس همدیگه نباشن و یه مانعی بین اون ها قرار بگیره و حداقل کاری که میتونن بکنن اینه که باعث تضعیف سیگنال بشن.

۳- چون هیچگونه سیم کشی ای وجود نداره و همه دارن از فضای آزاد استفاده می کنن ، اگه سیگنال هایی که دارن ارسال می کنن به صورت عمدی یا غیر عمد تو همون باند های فرکانسی ای که یه ارتباط برقرار هست، یه ارتباط دیگه ای هم بخواد از همون باند استفاده کنه باعث ایجاد نویز و تداخل توی اون ارتباط میشه .

همچنین بحث امنیت خیلی مهم میشه ، چون دسترسی فیزیکی به یه لینک رادیویی خیلی ساده هست و یه جوړایی باید این فرضو بکنیم که هر سیگنالی که فرستنده ارسال می کنه توسط افراد یا وسایلی که مقصود ما نبودن هم دریافت میشه . بنابراین چالش امنیت در مخابرات **wireless** بیشتر از مخابرات سیمی و **wired** هست.

۴- در یه باند فرکانسی ، این لینک ها یک طرفه هستن و در آن واحد فقط یک فرستنده میتونه از باند فرکانسی برای ارسال داده هاش استفاده کنه ، مگه اینکه از هم دور باشن و سیگنال هاشون همدیگه رو تضعیف نکنن. به اصطلاح میگن لینک های رادیویی توی یه باند فرکانسی ، **half-duplex** ان . اگه بخوایم **full-duplex** بشه که چندتا فرستنده

در آن واحد بتونن داده ارسال کنن ، باید از چندتا باند فرکانسی استفاده کنیم.

- همه ی این عوامل باعث شده در شرایط مختلف بسته به کاربرد و نیاز برای رسیدن به بهترین عملکرد از لینک های رادیویی استفاده بشه .
مثلا در محیط های خانگی و اداری از **WiFi** استفاده می کنیم که سرعت های چند صد **Mbps** به ما میده.

در محیط های خارج از خانه ، تا مسافت های چند ۱۰ کیلومتر ، از شبکه های سلولار استفاده می کنیم(مثل **4G**) و سرعت های چند ده **Mbps** رو در اختیار ما قرار میدن.

- برای رنج های خیلی کوچک (محیط اطراف یک فرد) از تکنولوژی هایی مثل **بلوتوث** استفاده می کنیم که به صورت اولیه قراره جایگزین کابل هایی باشن که ما به وسایل شخصیمون وصل می کنیم.
از لحاظ مسافت کوتاه برد هستن و ریت شون هم در حد چند **Mbps** بیشتر نیست.

در جاهایی که امکان سیم کشی و استفاده از فیبر های نوری و نیست(به دلیل شرایط محیطی، مثلاً یه روتری بخواد اطلاعاتی رو به یه روتر دیگه ارسال کنه) میتونیم از تکنولوژی **point-to-point** **microwave** استفاده کنیم که تا سرعت **45 Mbps** رو به ما میده.

- برای **مخابرات ماهواره ای** هم باید از تکنولوژی خودش استفاده بکنیم.
این ارتباطات ماهواره ای ، **delay** زیادی در حد **270 msec** دارن و
سرعت هایی در حد **45 Mbps** دارن.