



فصل اول: مفاهیم داده پیسی

در این فصل مروری مختصر بر مفاهیم اولیه مفابرات داده و بلوکهای تشکیل‌دهنده یک سامانه مفابراتی خواهیم داشت.

درس انتقال داده

ابوالفضل دیانت

آخرین ویرایش: ۱۱ مهر ۱۴۰۰ در ساعت ۹ و ۲۶ دقیقه

فهرست مطالب

۷	امواج رادیویی
۲۲	در مورد این درس ...
۲۹	معرفی مخابرات داده
۳۶	انواع سامانه‌های مخابراتی
۶۲	مراجع
۶۳	منظومه‌های ماهواره‌ای
۷۵	اینترنت در ایران

فهرست اختصارات

۸۰	فهرست اختصارات
۸۵	واژه نامه انگلیسی به فارسی
۹۱	واژه نامه فارسی به انگلیسی

تلگراف

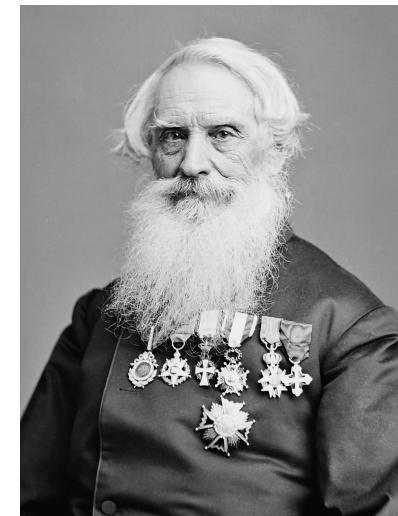
Morse در سال ۱۸۴۳ میلادی، نحوه ارتباط انسان‌ها را دگرگون کرد.

تلگراف تا صد سال مهم‌ترین روش ارتباط بشری بوده است.

پیام‌ها به صورت سیگنال‌های مورس به موج الکتریکی تبدیل شده و از طریق کابل به عنوان کانال به سوی مقصد ارسال می‌شدند.



(ب) نمونه یک دستگاه تلگراف



(آ) Samuel Morse (1791 – 1872)

سالیان درازی بود که بشر در پی یافتن راهی برای ارتباط از راه دور بود. تلاش‌های فراوانی در این مسیر صورت پذیرفت. اما ثمره این تلاش‌ها را می‌بایست در اختراع تلگراف توسط ساموئل مورس در سال ۱۸۴۳ میلادی دانست. تلگراف را می‌توان یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین اختراعات بشر دانست.

نخستین کابل دائمی تلگراف گذرنده از زیر اقیانوس اطلس در سال ۱۸۶۶ ارتباط میان قاره‌های آمریکا و اروپا را برقرار کرد. در آن زمان تلاش‌های بسیاری برای بهبود فناوری تلگراف صورت پذیرفت. گرچه امروزه بعد از ارسال آخرین تلگراف در سال ۲۰۱۳ دیگری خبری از این فناوری وجود ندارد.

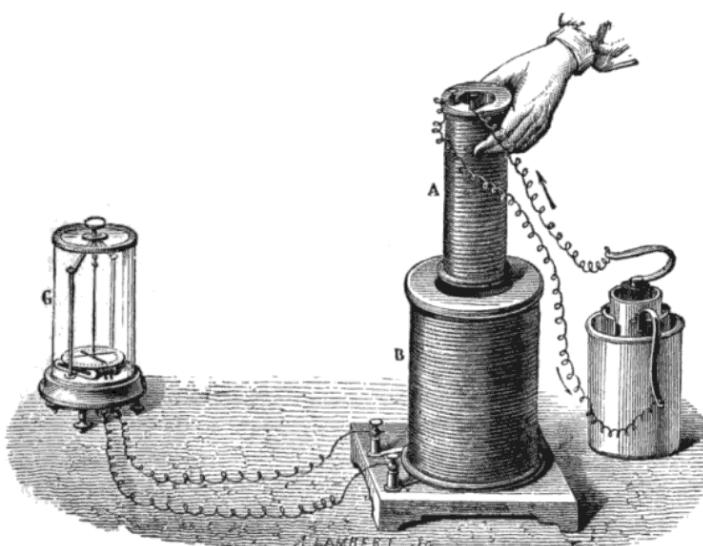
نخستین ارتباط تلگرافی در ایران در سال ۱۲۳۴ ش (۱۴ سال پس از مخبره اولین پیام تلگرافی ساموئل مورس)، میان مدرسه دارالفنون و کاخ گلستان برقرار شد که مخبره‌ای آزمایشی بود، نخستین جمله‌ای که مخبره شده بود، این بود: «منت خدای را عزّ و جلّ که طاعت‌ش موجب قربت است و به شکراندرش مزید نعمت ...» آخرین تلگراف نیز در هند مخبره شد (شرکت BSNL).

الکتریسیته و مغناطیس

قانون آمپر: در ۱۸۲۰، اورستد، دید که جریان الکتریکی، بر روی **عقربه قطب‌نما** اثر می‌گذارد.

قانون القای فارادی: در ۱۸۳۱، مایکل فارادی، با تغییر میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی تولید کرد.

آیا نیروی الکتریسیته و نیروی مغناطیسی دو جنبه مختلف از یک چیز هستند؟!



(ب) آزمایش فارادی



(آ) آزمایش اورستد

تا مدت‌ها فکر می‌کردیم که الکتریسیته و مغناطیس دو پدیده مستقل از یکدیگرند. تا این‌که در ۱۸۲۰ یک فیزیکدان دانمارکی به نام اورستد زمانی که داشت برای یک سخنرانی علمی آماده می‌شد، مشاهده کرد که جریان الکتریکی رد شده از یک سیم بر روی عقربه‌های قطب‌نما اثر می‌گذارد و آن را منحرف می‌سازد. یک مشاهده تعجب‌برانگیز؟! او در توجیه این اتفاق گفت که به نظر می‌رسد وقتی جریان الکتریکی (بارهای متحرک) از سیم عبور می‌کند، یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم ایجاد می‌شود که بر روی عقربه قطب‌نما اثر می‌گذارد. او تلاشی نکرد تا این موضوع را به صورت ریاضیاتی بیان و توجیه کند. گرچه بعدها آمپر توانست میزان میدان مغناطیسی حاصل از گذار جریان از سیم را به صورت ریاضیاتی بیان کند ([قانون آمپر](#)).

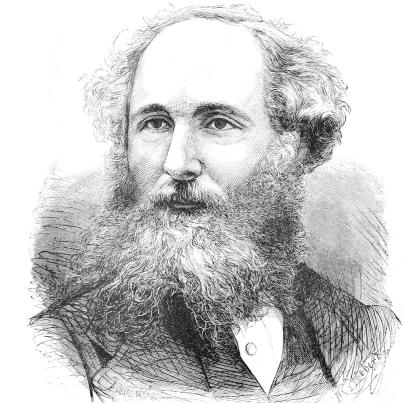
مایکل فارادی یک فیزیکدان و شیمی‌دان انگلیسی بود که در کارنامه خود کارهای بسیاری نظیر ساخت پیل الکتریکی و موتور الکتریکی را ثبت نموده است. او در ۱۸۳۱ مفهوم القای الکترومغناطیسی را کشف کرد. وی نشان داد که حرکت یک آهنربا از درون یک سیم‌پیچ می‌تواند موجب ایجاد جریان الکتریکی گردد. فارادی دریافت که تغییر در میدان مغناطیسی می‌تواند باعث ایجاد میدان الکتریکی شود ([قانون القای فارادی](#))

الکترومغناطیس (Electromagnetic)

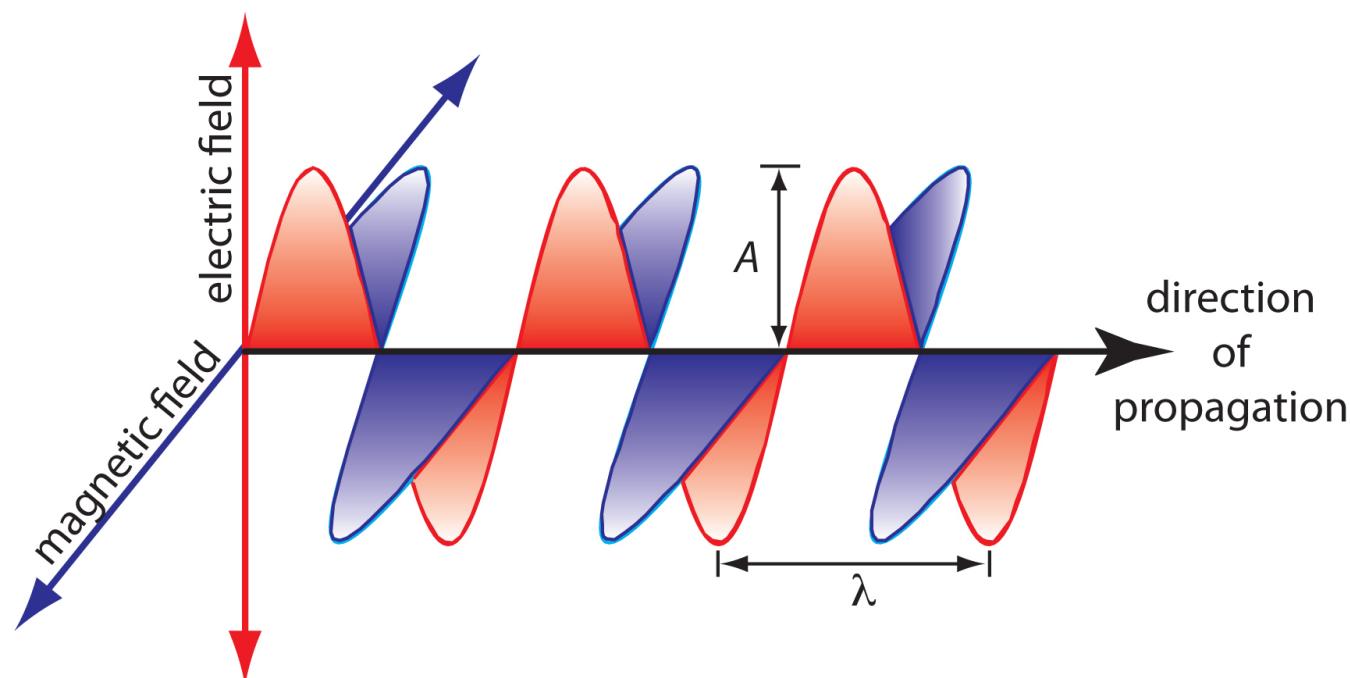
در ۱۸۶۵، James Clerk Maxwell در مقاله‌ای توضیح داد که چگونه الکتریسیته

و مغناطیس به یکدیگر وابستگی دارند، به طوری که تغییر در یکی موجب ایجاد و یا

تغییر در دیگری می‌گردد: **الکترومغناطیس و معادلات ماکسول**



مهم‌ترین بخش مقاله، پیش‌بینی وجود موج الکترومغناطیسی (Electromagnetic Wave) بود.



در سال ۱۸۶۵ یک دانشمند اسکاتلندی به نام ماکسول، توانست وابستگی بین الکتریسیته و مغناطیس را به صورت ریاضیاتی توصیف و توجیه کند. معادلات ماکسول به ما می‌گفت که چگونه تغییر میدان الکتریکی موجب ایجاد میدان مغناطیسی می‌گردد و از سوی دیگر چگونه تغییر در میدان مغناطیسی موجب ایجاد یک میدان الکتریکی خواهد شد. اما کار بزرگ ماکسول در مقاله یاد شده، تنها معرفی مفهوم و فرمول‌بندی الکترومغناطیس نبود. بلکه او توانست امواج الکترومغناطیس را پیش از کشف، پیش‌بینی نماید. ماکسول در نهایت در سال ۱۸۷۹ در سن ۴۸ سالگی درگذشت.

ماکسول پیش‌بینی کرد که امواج الکترومغناطیسی، امواجی عرضی (جهت نوسان بر جهت انتشار عمود است) هستند که برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند. این امواج همگی سرعت یکسان و برابر با سرعت نور دارند. او ادعا کرد که نور نیز یک موج الکترومغناطیسی است. تنها جنبه تمایز بین امواج الکترومغناطیسی، فرکانس یا طول موج است. به عنوان مثال تنها تفاوت بین نور آبی و قرمز را باید در تمایز فرکانس این دو دانست. در واقع نور آبی با فرکانس ۶۷۰ – ۶۱۰ تراهرتز، فرکانس بیشتری نسبت به نور قرمز دارد.

انتقال داده توسط امواج رادیویی

- تلاش‌های فراوان برای استفاده از امواج هرتز یا همان امواج رادیویی (Radio Wave) برای انتقال.
- چه کسی مخترع اصلی رادیو (تلگراف بی‌سیم بود)? یک دعوا در حوالی ۱۹۰۰.



Guglielmo Marconi (ب)



Nikola Tesla (ا)

در قرن ۱۹، مهم ترین راه ارتباطی تلگراف بود. در این میان یک مشکل اساسی وجود داشت. ارتباط خطوط تلگراف به صورت سیمی بود. تلاش‌های بسیاری شد تا مخابرات بی‌سیم با استفاده از نور شکل گیرد، اما نیکولا تسلا معتقد بود که استفاده از نور ما را به انتشار LOS (Line of Sight) محدود می‌سازد. در حقیقت هرتز بدون آن که بداند امواج رادیویی (Radio Wave) را کشف کرده بود. کار هرتز بیشتر به عنوان یک پدیده علمی مطرح نبود و نه به عنوان پتانسیل نهفته برای مخابرہ داده. بعد از کار بزرگ هرتز، در طی ۲۰ سال، دانشمندان و مخترعان بسیاری تلاش کردند تا یک سامانه مخابراتی با استفاده از انتقال امواج الکترومغناطیس را ابداع کنند. مارکونی در اوایل دهه ۱۸۹۰ کار روی ایده تلگراف بی‌سیم را آغاز کرد. یعنی انتقال پیام‌های تلگرافی بدون اتصال سیم و آن‌طور که در تلگراف‌های برقی انجام می‌شد. او در ژوئیه ۱۸۹۶ طرز کار اولین دستگاهش را به دولت بریتانیا نشان داد و بعد از آن سری بعدی برای بریتانیایی‌ها از راه رسید؛ در ماه مارس ۱۸۹۷ مارکونی سیگنال‌های رادیویی را تا فاصله ۶ کیلومتری فرستاد و در ماه مه اولین ارتباط بی‌سیم دنیا را به دریا فرستاد. با شروع قرن بیستم، مارکونی شروع به بررسی روش‌هایی کرد که بتواند سیگنال‌ها را به طور کامل از این سو به آن

سوی اقیانوس اطلس بفرستد و به این ترتیب با تلگراف‌های کابلی به رقابت بپردازد. در سال ۱۹۰۱ مارکونی یک ایستگاه انتقال بی‌سیم در وکسفورد راه اندازی کرد تا پولدوی کورنوال را در انگلستان به کلیفدن ایرلند مرتبط کند. سیگنال به کمک آتن ۱۵۰ متری که با کایت پشتیبانی می‌شد دریافت شد.

طراح تایتانیک Thomas Andrews گفته بوده: حتی خدا هم نمیتواند این کشتی را غرق کند! غرق تایتانیک با ۱۵۱۴ کشته: در شب چهاردهم آوریل، اپراتور بی‌سیم شدیداً سرگرم مخابره پیام‌های کوتاه مسافرین به خویشاوندان و دوستانشان بود. او ششمین اخطار دیده شدن کوه یخ را نیز دریافت کرد، اما هیچ توجهی به اینکه تایتانیک چقدر نزدیک مکان ارسال اخطارهای نکرد و پیام را زیر یک وزنه کاغذ در کنار آرنج خود گذاشت. این پیام هرگز به کاپیتان اسمیت یا ناخدا یکم کشتی نرسید. جک فیلیپس از تایتانیک پیغامی رو با رادیو به متن کمک-تایتانیک رو در ساعت ۱۵:۱۲ شب فرستاد نزدیکترین کشتی به تایتانیک کشتی کالیفرنیا بود که چون اپراتور در آن لحظه خواب بود پیغام کمک تایتانیک رو نشنید. بعد از پیغام را دریافت کرد و پاسخ داد و به تایتانیک گفت که ما به سوی شما حرکت می‌کنیم اما آنان تا تایتانیک ۹۲ کیلومتر فاصله داشتند.

اختراع تلفن



در سال ۱۸۷۵ میلادی بل با همکاری واتسن موفق به اختراع تلفن شدند.



۱۰ مارس ۱۸۷۶ بل با تلفن به واتسن گفت: «Watson, come here! I want to see you!»



(ب) آزمایشگاه بل



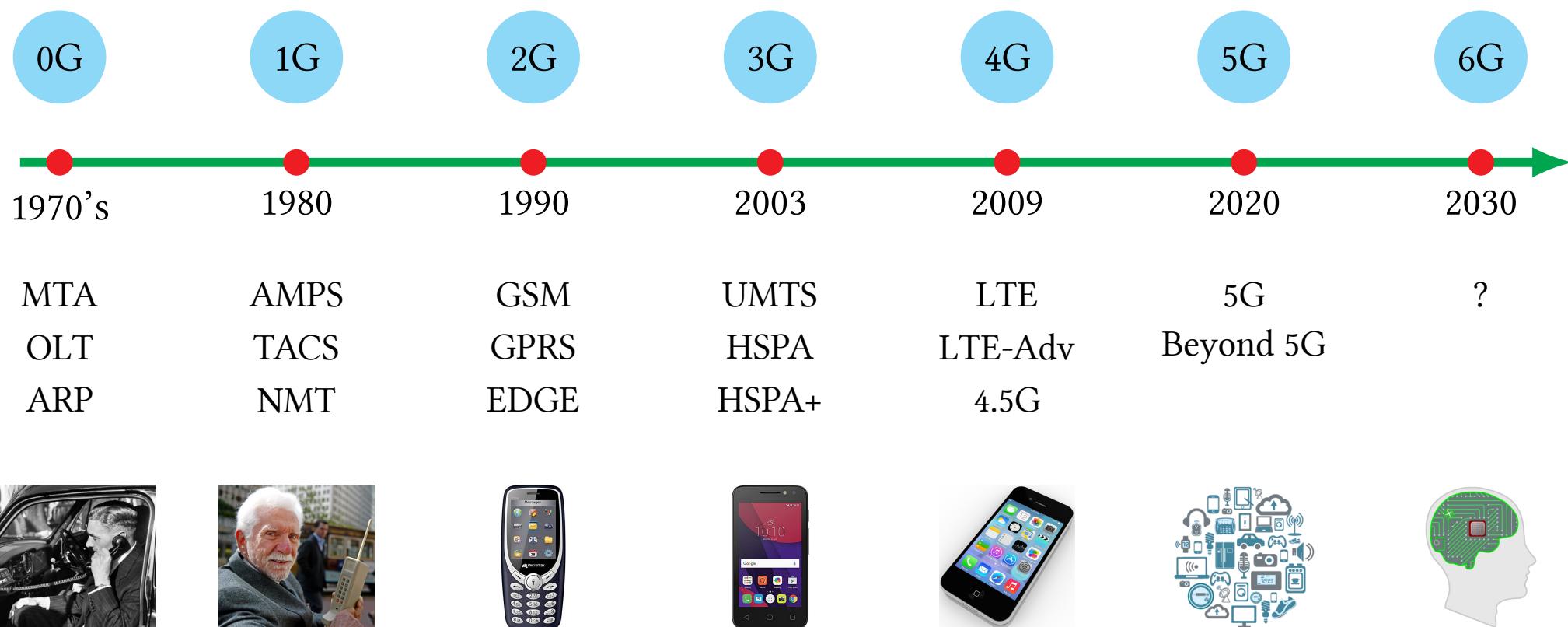
Alexander Graham Bell (ا)

آزمایشگاه بل (Bell Labs)، در موری هیل نیوجرسی یک آزمایشگاه و شرکت توسعه‌ی علمی و تحقیقاتی است که در سال ۲۰۱۵ توسط شرکت نوکیا خریداری شد. این آزمایشگاه در آغاز به عنوان آزمایشگاه ولتا توسط الکساندر گراهام بل شکل گرفت.

اختراعات و اکتشافات مهم و زیادی در این آزمایشگاه صورت پذیرفته است. شامل نجوم رادیویی، ترانزیستور، لیزر، تئوری اطلاعات، سیستم عامل Unix زبان‌های برنامه نویسی C و C++. نه جایزه‌ی نوبل برای کارهایی که در آزمایشگاه بل تکمیل شده است، به این آزمایشگاه اهدا شده است.

توسعه

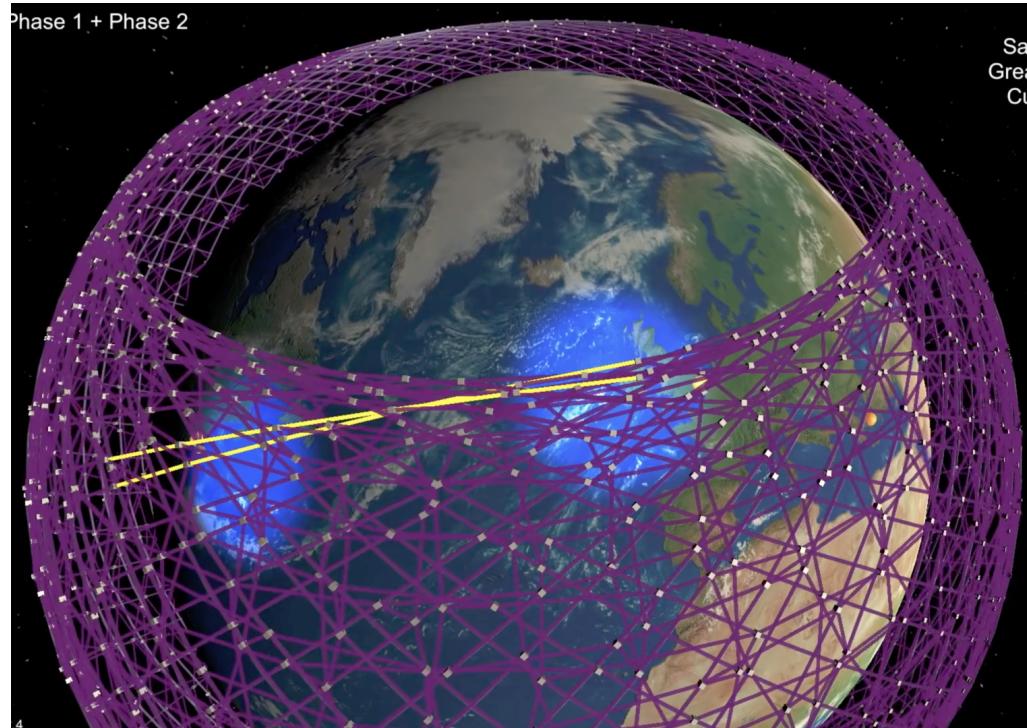
☞ نسل‌های مختلف از نسل صفر تا نسل پنج و شروع تحقیقات بر روی نسل شش.



مثالی از یک منظومه ماهواره‌ای Starlink



یک منظومه ماهواره‌ای است که توسط **SPACEX** با هدف ایجاد یک ISP با بستر ماهواره‌ای ایجاد شده است.



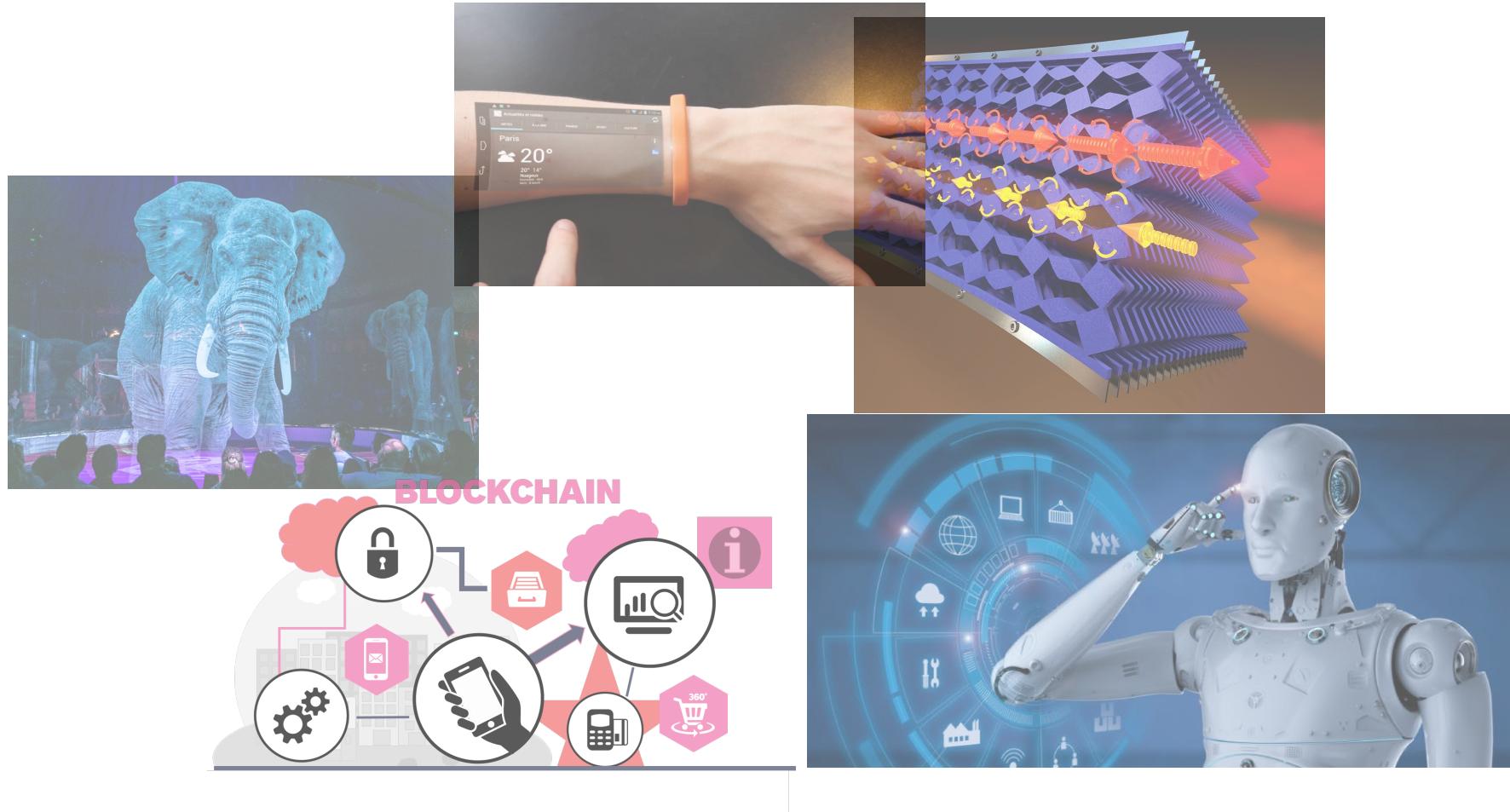
☞ قرارگیری 42 هزار ماهواره سبک وزن در مدار LEO (تاکنون 1740 ماهواره).

☞ تاخیر 43ms بین لندن و نیویورک با به کارگیری

Ping<20ms و دستیابی به

☞ دستیابی به گذردهی 610Mbps در عمل.

☞ خدمات بتا در ۱۶ کشور از سپتامبر ۲۰۲۱



XR Application, BCI, CRAS, Block Chain, Metamaterial

هنوز چیز زیادی در مورد نسل شش شبکه‌های تلفن‌همراه نمی‌دانیم. گرچه در این میان با پرسش‌های بسیاری در این زمینه مواجه می‌شویم که چه کاربردهایی قرار است در نسل شش باشد که نسل پنج نمی‌تواند آن‌ها ارایه کند؟ در کل شبکه‌های تلفن‌همراه به کدام سو توسعه خواهد یافت؟ با در نظر گرفتن کلیت ویژگی‌هایی که در اسلاید قبل بیان شدو بررسی مقالات موجود [۱] در حوزه نسل شش می‌توان بیان کرد که در این حوزه، این موارد به عنوان توسعه‌ای برای نسل شش در نظر گرفته شده است:

- کاربردها XR: در گزارش مقدماتی Network 2030 که از سوی اتحادیه جهانی مخابرات International Telecommunication Union (Telecommunication Union) منتشر شده است، از ارتباط هلوگرافیک (Holographic Communication) و ارتباط چندحسی به عنوان بخشی از فرایند توسعه شبکه‌های نسل جدید، یاد شده است. ارتباط هلوگرافیک، ارتباطی است که در آن تجسم سه‌بعدی یک فرد یا جسم در مقابل چشمان غیرمسلح ما پدیدار می‌گردد (نیازمند حجم بالای اطلاعات). در ارتباط چندحسی نیز اطلاعات مربوط به همه حواس از بینایی و شنوایی گرفته تا حس لامسه، چشایی و بویایی. چالش اصلی در این حوزه نیز طراحی فرستنده و گیرنده لازم برای

این انتقال است.

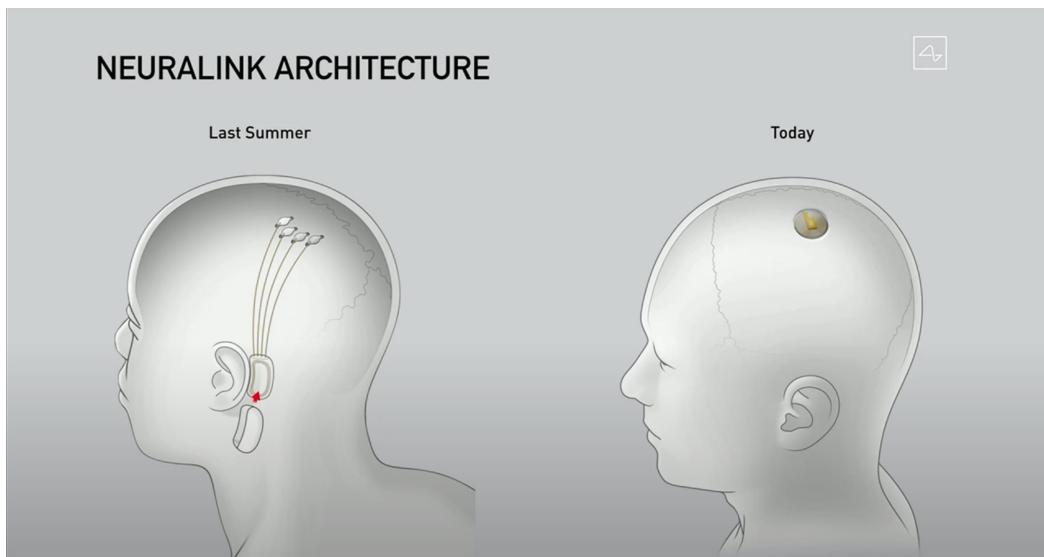
- با پیشرفت فناوری و گسترش روزافزون شبکه‌ها، نیاز به یک ارتباط قابل اطمینان، با تاخیر بسیار کم، امن و Best Effort با گذردهی بالا بیش از پیش احساس می‌گردد، و این به معنای تغییر ساختار اینترنت از حالت خواهد بود.
- BCI (Wireless Brain-Computer Interactions) می‌شود که ارتباط مستقیم بین مغز و کامپیوتر به صورت بی‌سیم می‌شود که ارتباط سامانه‌های کامپیوتری را به صورت بی‌سیم ممکن می‌سازد. تایپ بدون صفحه کلید.
- سامانه‌های CRAS (Connected Robotics and Autonomous Systems) یا روبات‌های متصل و سامانه‌های خودکار است که شامل ارسال کالا با پهیاد، خودروهای خودران و گروه پهیادهای خودکار خواهد بود.
- تاثیرگذاری نقش BlockChain
- نرخ داده در حد تراپیت بر ثانیه (یک تا ده تراپیت بر ثانیه) برای آن در نظر گرفته شده است.

- استفاده از فراماده که انقلابی است عظیم در عرصه فناوری. فراماده موادی هستند که نحوه تعامل آنها با امواج الکترومغناطیسی متفاوت از مواد عادی است. مثلا ضریب شکست نور آنها منفی است. از این مواد می‌توان در کنترل رفتار امواج رادیویی استفاده کرد.
- تغییر نگرش از انبوه داده به داده‌های کوچک به صورت غیرمت مرکز.
- تغییر از شبکه‌های خودسامانده به شبکه‌های خود پایدار برای مقابله و تطابق با شرایط محیطی به شدت متغیر.
- پایان عصر گوشی‌های هوشمند، رونق وسائل پوشیدنی

نگاهی به فعالیت‌های شرکت Neuralink

- ارائه راه حل‌های بدون اثر منفی و با قابلیت برگشت

برای ناتوانی‌های عصبی



- ارتقای مدل اولیه و کاهش ابعاد ایمپلنت
- قرارگیری ایمپلنت داخل جمجمه
- ارتباط از طریق بلوتوث تا فاصله ۵ تا ۱۰ متری
- هر لینک دارای ۱۰۲۴ الکترود در ۱۰ میلی‌متری
- تست حیوانی موفق و به دنبال دریافت تاییدیه‌های لازم برای تست انسانی

طبق گزارش [تسلاراتی](#)، ایلان ماسک، در  درمورد این که از نظر پیشرفت فناوری در پشت صحنه چه می‌گذرد، در یک رویداد پخش زنده صحبت کرد. وی تأکید کرد که هر فردی در برهه‌ای از زندگی خود با مشکل مغزی یا ستون فقرات روبرو می‌شود. از این رو، اهداف  این است که این مشکلات را برای هرکسی که می‌خواهد آنها را حل کند، به طور ساده و برگشت‌پذیری حل کند. همچنین باید گفت این راه حل‌ها هیچ اثر منفی ندارند. مانند بیشتر نمونه‌های BCI، تراشه‌های نورالینک، در ابتدا به عنوان راهی کمک به ناتوان‌های عصبی طراحی شده بود، اما ایلان ماسک به فراتر نگاه کرده و مدعی شد نورالینک می‌تواند به انسان اجازه دهد تا ارتباط مستقیمی با هوش مصنوعی داشته باشد.

در مدل اولیه ارائه شده از ایمپلنت‌های نورولینک یک وسیله باید در پشت گوش قرار می‌گرفت تا بتواند با ایمپلنت کاشته شده درون جمجمه ارتباط برقرار کند اما نورولینک با توسعه‌ی ایمپلنت خود که آن را لینک می‌نامد توانسته این سیستم را دگرگون کند و ابعاد ایمپلنت را به اندازه‌ی یک سکه کوچک کند. در ضمن برخلاف مدل اولیه هیچ بخشی از این سیستم در بیرون از بدن قرار ندارد و ایمپلنت تنها درون جمجمه قرار می‌گیرد. ارتباط

لینک با دنیای خارج مغز از طریق بلوتوث و تا فاصله‌ی بین ۵ تا ۱۰ متری امکان پذیر بوده و لینک می‌تواند به رایانه یا گوشی تلفن همراه متصل شود و تمامی فعالیت‌های مغزی را به نمایش بگذارد.

تست حیوانی این محصول با چندین خوک مورد آزمایش به نمایش گذاشته شده و خوکی که ایمپلنت نورولینک در مغز وی کار گذاشته شده بود کاملاً سالم بوده و فعالیت طبیعی داشت. همچنین در خوک دیگری دو الکترود کار گذاشته شده تا نشان دهد که می‌توان چندین ایمپلنت را در بخش‌های مختلف مغز کار گذاشت. همچنین در مغز خوکی به نام دوروتی ایمپلنت کاشته و خارج شده تا نشان داده شود که این ایمپلنت قابلیت برگشت‌پذیری بدون آسیب مغزی دارد.

این دستگاه موفق به دریافت تاییدیه FDA برای طراحی شده و آماده می‌شود تا اولین کاشت انسانی را به زودی پس از تاییدیه‌های لازم و تست ایمنی انجام دهد. این شرکت یک گام دیگر به سوی آزمایش انسانی نورولینک برداشته است اما این که چه زمانی آمادگی پیدا کند تا اولین تست انسانی را انجام دهند مشخص نیست.

ایلان ماسک در ارائه‌ی خود ایمپلنت نورولینک را به یک ساعت هوشمند fitbit شبیه می‌کند که درون جمجمه‌ی

فرد قرار می‌گیرد. هر لینک دارای ۱۰۲۴ الکترود ۲۳ میلی‌متر بوده و دارای حسگرهای مختلف مانند سنسور دما، فشار، ژیروسکوپ و دیگر سنسورها می‌باشد. این ایمپلنت از تکنولوژی شارژر بی‌سیم بهره می‌برد که در طول شب می‌تواند توسط شارژر مخصوص خود شارژ شود.

۶۰۰ مورگ اپرس

اهمیت نرم افزار در حوزه مخابرات



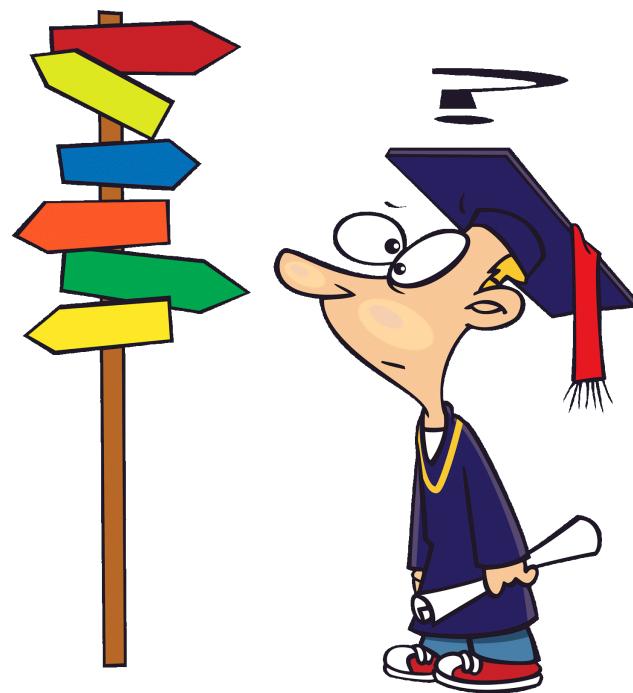
چرا ما کامپیوتری‌ها باید مخابرات یاد بگیریم؟



اهمیت کارکرد در لایه‌های لایه پیوند داده و لایه فیزیکی به SDN (Software-defined) و SDR (Software Defined Radio) دلیل (Reason) است.

Networking)

SON (Self Optimized Network) قدرت برتر در اختیار (Available) است.



- ♠ فصل اول: مفاهیم مقدماتی و گذری بر مطالب ارایه شده
- ♠ فصل دوم: گذری بر مفاهیم سیگنال، تبدیل فوریه، قضیه نمونه‌برداری (Information Theory)
- ♠ فصل سوم: گذری بر علم نظریه اطلاعات (Modulation)
- ♠ فصل چهارم: مدولاسیون (Multiple Access)
- ♠ فصل پنجم: مفاهیم دسترسی چندگانه (Channel Coding)، کد تصحیح خطأ و کد تشخیص خطأ

نحوه نمره‌دهی



- امتحان‌های کوتاه کلاسی (۱۰ نمره)
- تمرین و پروژه (پنج + یک نمره)
- یادداشت‌های کلاسی (دو نمره)
- امتحان پایان ترم (چهار نمره) - حذفی نیست
- فعالیت کلاسی (۰.۲۵ نمره)

تاریخ امتحان‌های کوتاه

عنوان امتحان کوتاه	تاریخ امتحان
امتحان کوتاه اول	۱۴۰۰ مهر ۶
امتحان کوتاه دوم	۱۴۰۰ مهر ۱۸
امتحان کوتاه سوم	۱۴۰۰ مهر ۲۷
امتحان کوتاه چهارم	۱۴۰۰ آبان ۹
امتحان کوتاه پنجم	۱۴۰۰ آبان ۱۸
امتحان کوتاه ششم	۱۴۰۰ آبان ۳۰
امتحان کوتاه هفتم	۱۴۰۰ آذر ۹
امتحان کوتاه هشتم	۱۴۰۰ آذر ۲۱
امتحان کوتاه نهم	۱۴۰۰ دی ۵

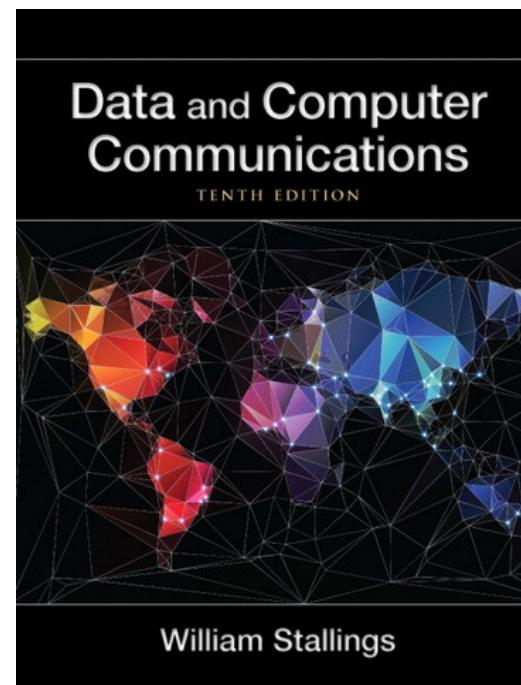
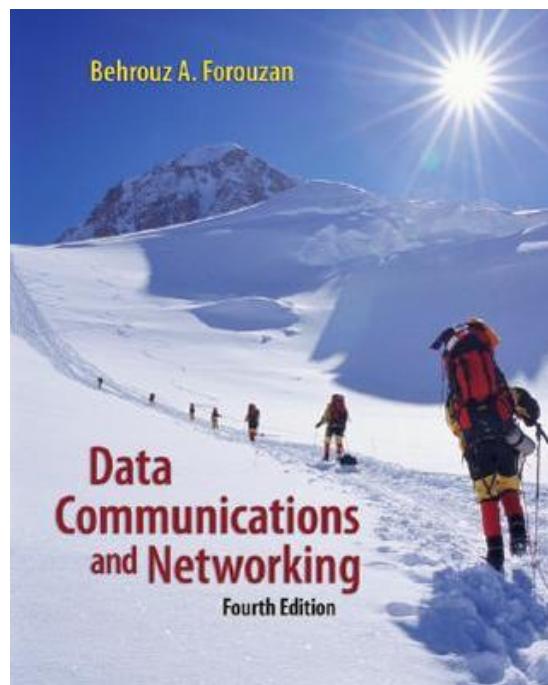
توجه

در صورت عدم برگزاری آزمون‌های کوتاه در تاریخ‌های تعیین شده به علت مشکلات پیش‌بینی نشده، امتحان آن تاریخ به جلسه‌ی بعد منتقل می‌شود.



مراجع درسی

- [1] W. Stallings, *Data and computer communications*, 10th ed. Prentice Hall, 2014.
- [2] B. A. Forouzan and S. C. Fegan, *Data Communications and Networking*. McGraw-Hill Higher Education, 2007.



برخی نکات

تمرین‌ها، کوییزها و اطلاع‌رسانی‌ها به صورت متمرکز در lms.iust.ac.ir صورت می‌پذیرد.



تعیین نماینده برای کلاس



برگزاری کلاس‌های حل تمرین به صورت مجازی و تعامل با TA‌ها



عضویت در کanal تلگرامی درس (لینک در [LMS](#) درس)



تمرین‌ها به صورت تایپ شده باید باشد. نمرات تمرین‌هایی که با [LATEX](#) تحویل داده شوند، از 120 حساب خواهد شد ($100 + 20$).



برای پیاده‌سازی پروژه‌های این درس باید از نرم‌افزار MATLAB استفاده کنید.

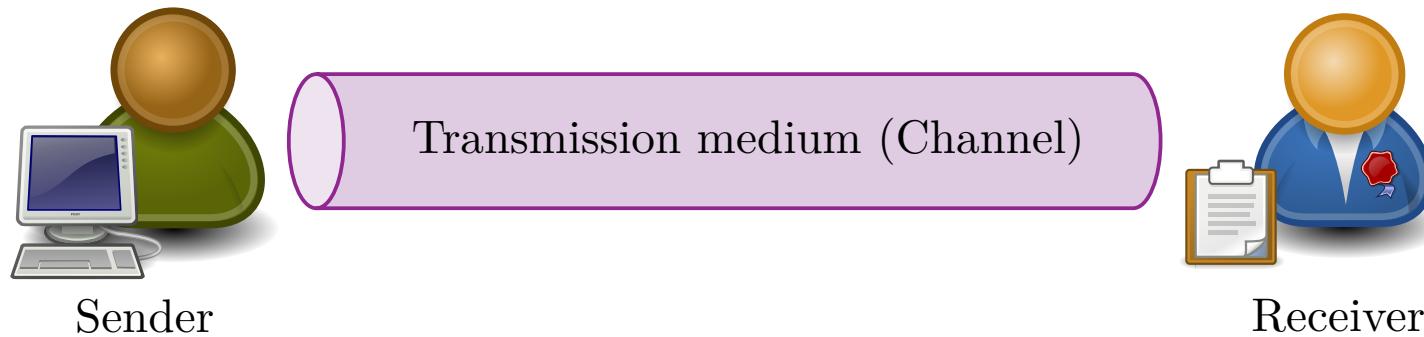


لطفا کپی نکنید !!

معرفی مفہومات داروں



هدف مخابرات، انتقال پیام (داده) از یک فرستنده به سوی گیرنده.



نخستین گام در یک سامانه مخابراتی، توصیف پیام یا داده در قالب یک سیگнал است.



ممکن است یه بلاهای سر سیگнал آورده شود.



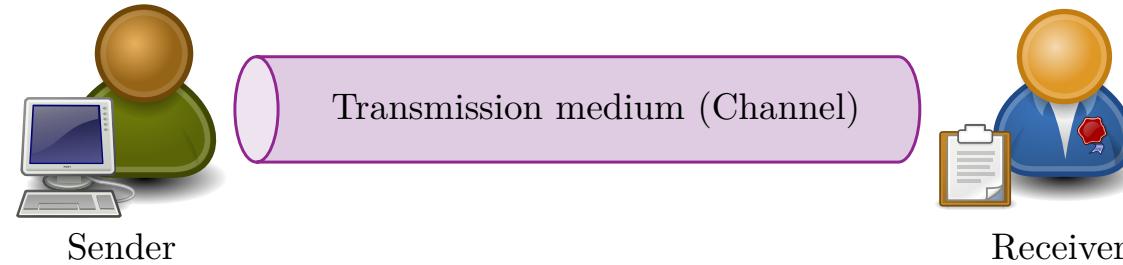
ارسال سیگнал به صورت یک موج الکتریکی (در کابل شبکه) و یا یک موج نوری (فیبرنوری) و ...

هدف غایی یک سامانه مخابرات داده (Data Communication)، انتقال یک پیام بین منبع و مقصد است. پیام، منبع، مقصد و Transmission medium چهار جزء اصلی یک سامانه مخابراتی تشکیل می‌دهد. نخستین گام در یک سامانه مخابراتی توصیف پیام در قالب یک سیگنال است. سیگنال در حقیقت یک تابع ریاضیاتی است.

رسالت‌های مخابرات داده



☞ محافظت از سیگنال در برابر مخاطرات موجود کانال ()



☞ تعدادی کاربران قصد استفاده از یک رسانه مشترک را دارند (جلوگیری تداخل).



۴ منابع موجود در کanal محدود است و باید در برابر تقاضا مدیریت شود.



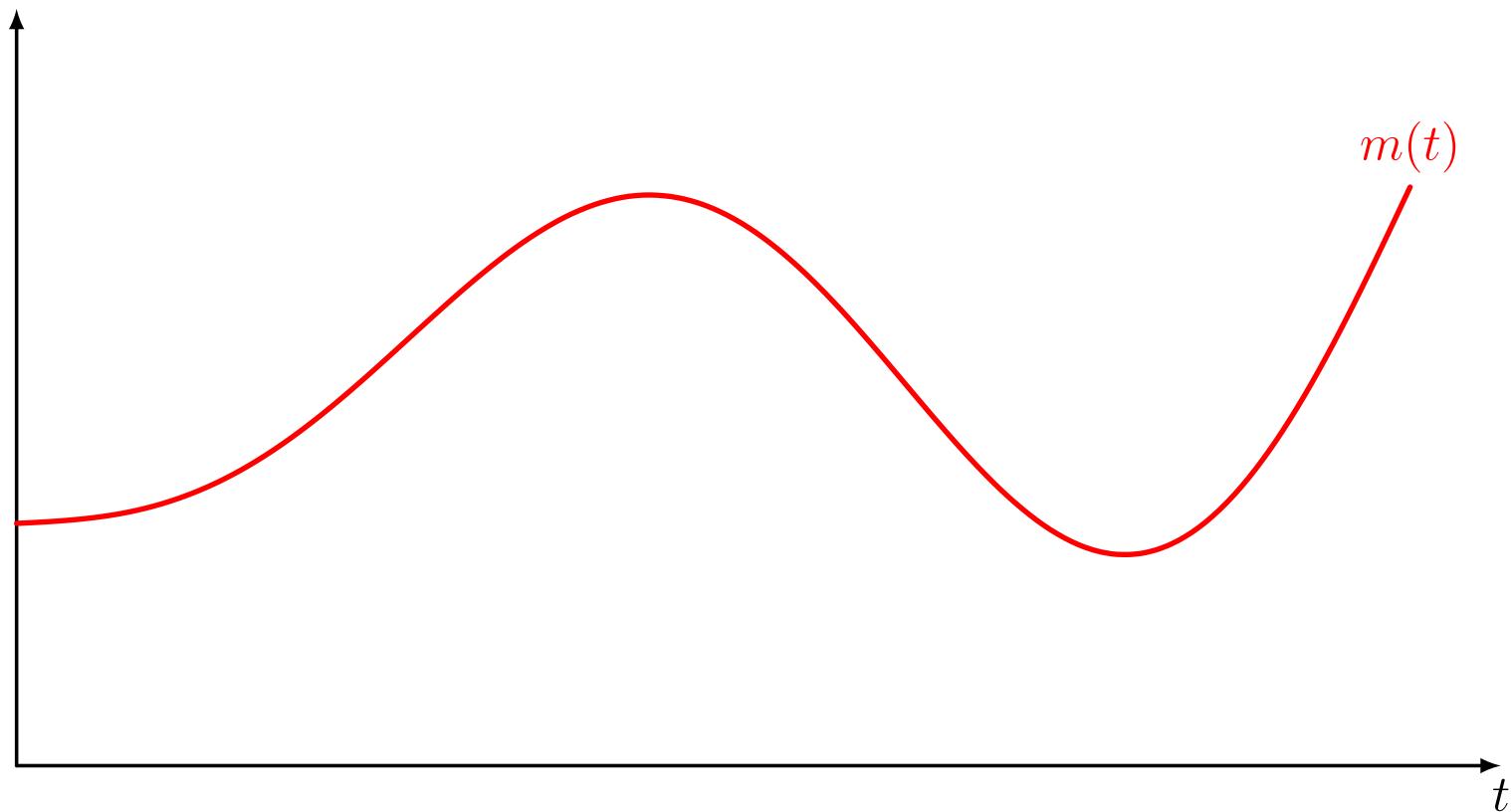
علم مخابرات چند رسالت اصلی دارد. منابع در کanal محدود است. به عنوان مثال با یک کابل شبکه ده گیگ تنها می‌توانید ده گیگابایت اطلاعات در ثانیه منتقل کنید. علم مخابرات باید بتواند از این منبع محدود، کمال استفاده را بکند. با توجه به مطالبی که در مورد محدودیت طیف رادیویی (Radio Spectrum) بیان شد، دریافتیم که با چالش بیشتری در این موضوع، در مخابرات بی‌سیم (Wireless Communication) مواجه هستیم.

اوپرатор در کanal به خوبی که فکر می‌کنیم نیست. در واقع سیگنال ارسالی با دشمنان بسیاری در کanal برخورد می‌کند. بدین‌سان لازم است تا در علم مخابرات به راه‌کارهایی فکر کنیم که توسط آن بتوان سیگنال را در برابر این دشمنان ایمن نمود. در غیر این صورت نباید انتظاری داشت که سیگنال به سلامت بدهست گیرنده برسد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنید، تعدادی کاربر، قصد تبادل اطلاعات به صورت همزمان، بر روی یک رسانه مشترک را دارند. اما این امر باعث رخداد یک رویداد ناگوار خواهد شد، که ما آن را تصادم (Collision) می‌نامیم. تصادم بین سیگنال‌های کابران، موجب از بین رفتن تمامی داده‌های آنان خواهد شد. پر واضح است که یکی از دغدغه‌های اصلی طراحان شبکه، کاستن از میزان تصادم در استفاده از رسانه‌های مشترک، خواهد

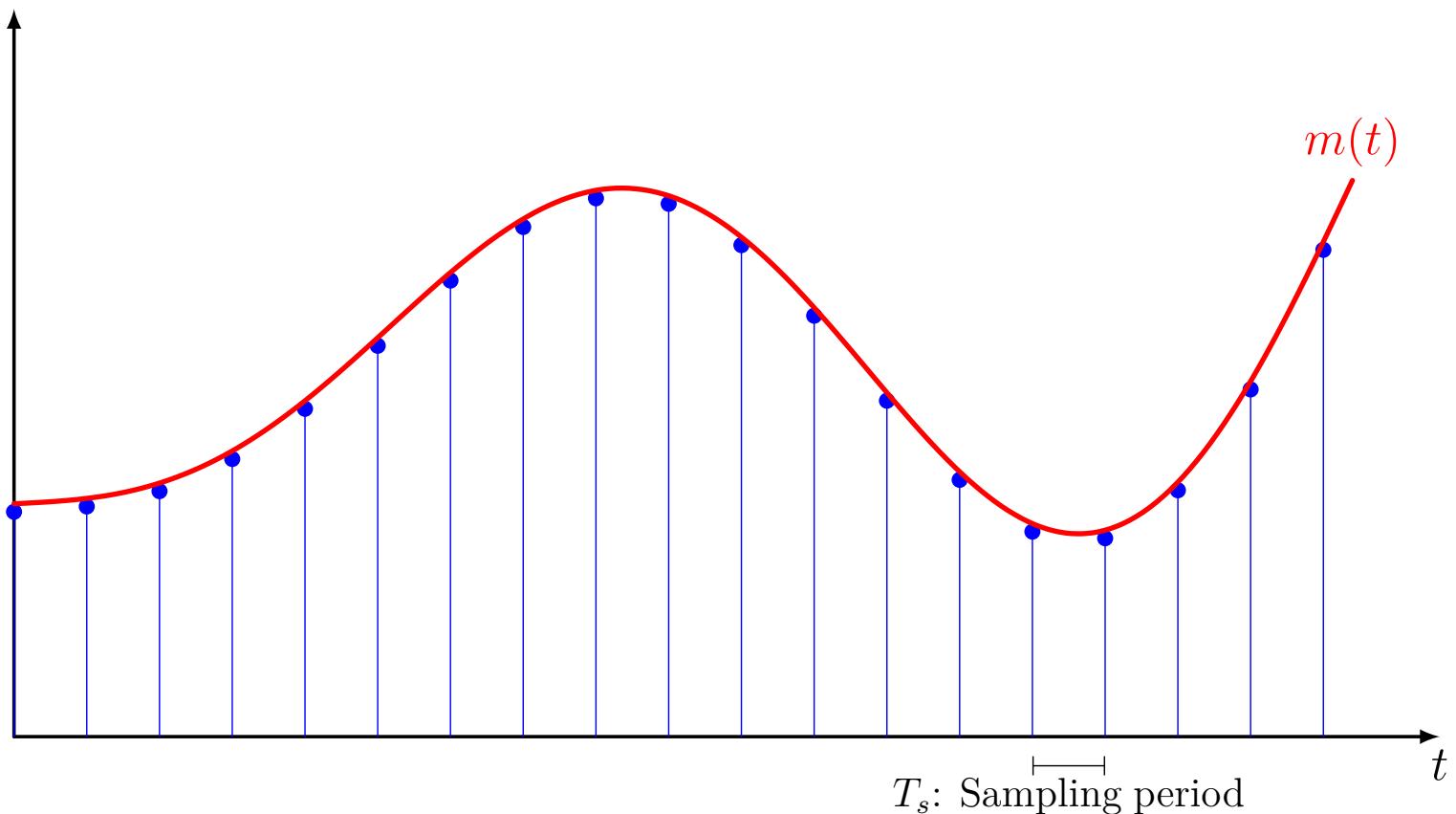
بود. به همین منظور در هر سامانه ارتباطی می‌بایست سازوکاری برای مدیریت به اشتراک‌گذاری رسانه‌های مشترک وجود داشته باشد. اصطلاحاً به این سازوکارها کنترل دسترسی چندگانه و یا دسترسی به رسانه گفته می‌شود. رعایت عدالت، تضمین کیفیت خدمات و بالابردن کارایی، مهم‌ترین اصول طراح در طراحی یک سازوکار کنترل دسترسی چندگانه است.

انواع سامانه‌های مخابراتی

☞ **سیگنال پیوسته:** این سیگنال‌ها، در مقدار و زمان پیوسته هستند. سیگنال‌هایی که در طبیعت وجود دارند، همگی از نوع پیوسته هستند: به طور مثال سرعت ماشین، صدای انسان و لرزش‌های زمین.

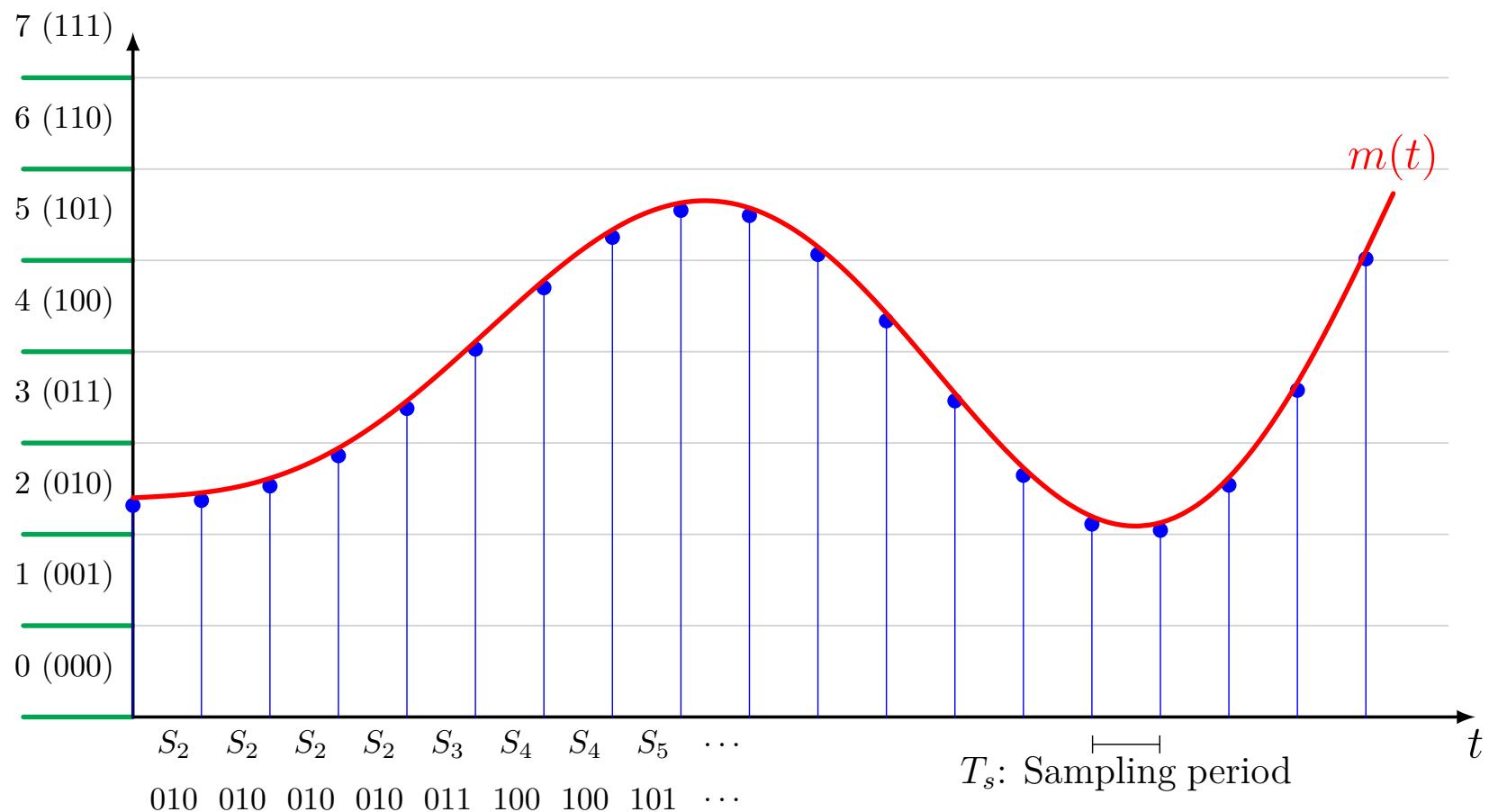


سیگنال گستته: سیگنال‌های گستته از نظر مقدار پیوسته هستند، ولی از جهت زمانی گستته، یعنی فقط در زمان‌های خاصی، مقدار سیگنال تعریف شده است (فرکانس نمونه‌برداری $f_s = \frac{1}{T_s}$).



انواع سیگنال (ادامه)

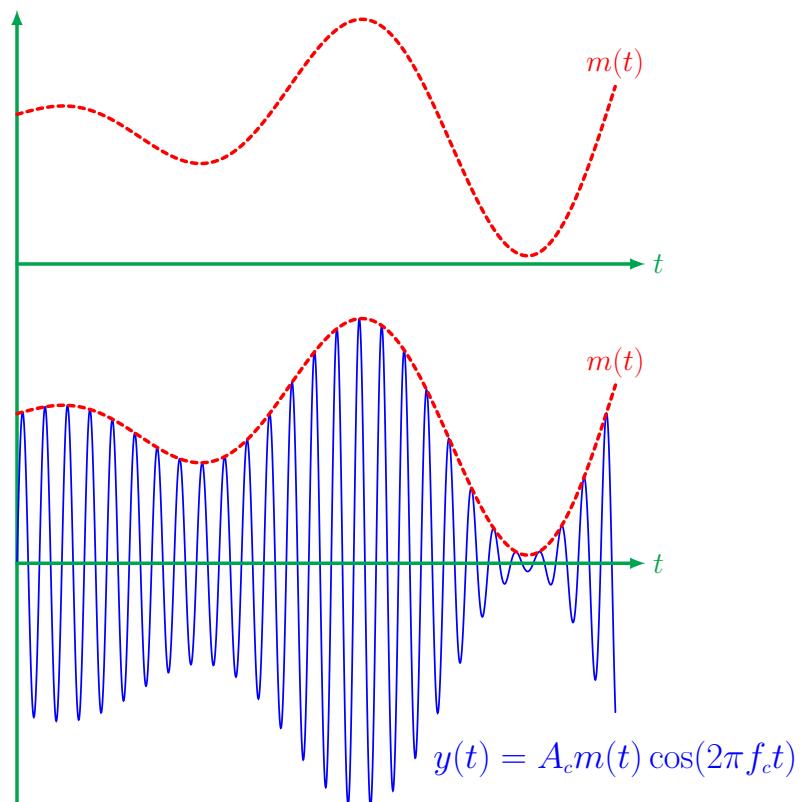
☞ **سیگنال رقمنی:** سیگنال‌های رقمنی از نظر مقدار و زمان، گستته هستند. بسیاری از سیگنال‌هایی که در پردازش‌های رایانه‌ای با آن مواجه هستیم، از این دست سیگنال‌ها هستند.



مخابرات آنالوگ (Analog Communication)



در مدولاسیون (Modulation)، در حقیقت سیگنال پیام را بر روی یک سیگنال دیگر سوار می‌کنیم.



در مدولاسیون (Modulation)، در حقیقت سیگنال پیام را بر روی یک سیگنال دیگر سوار می‌کنیم. مثلاً در مدولاسیون (AM، Amplitude Modulation)، پیام سوار بر دامنه سیگنال حامل (Carrier)، به سوی مقصد ارسال می‌شود. اگر $m(t)$ بیانگر سیگنال پیام و $A_c \cos(2\pi f_{ct})$ نشانگر سیگنال حامل باشد، آن‌گاه رابطه مدولاسیون AM به صورت زیر خواهد شد.

$$y(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_{ct}) \quad (1)$$

با این‌کار آن‌چه که در حوزه فرکانس رخ می‌دهد، در حقیقت انتقال سیگنال به یک فرکانس بالاتر (f_c) است. به اصطلاحاً فرکانس حامل (Carrier Frequency) گفته می‌شود. فرکانس منفی چیست؟ پهنازی باند ارسال، دو برابر می‌شود.

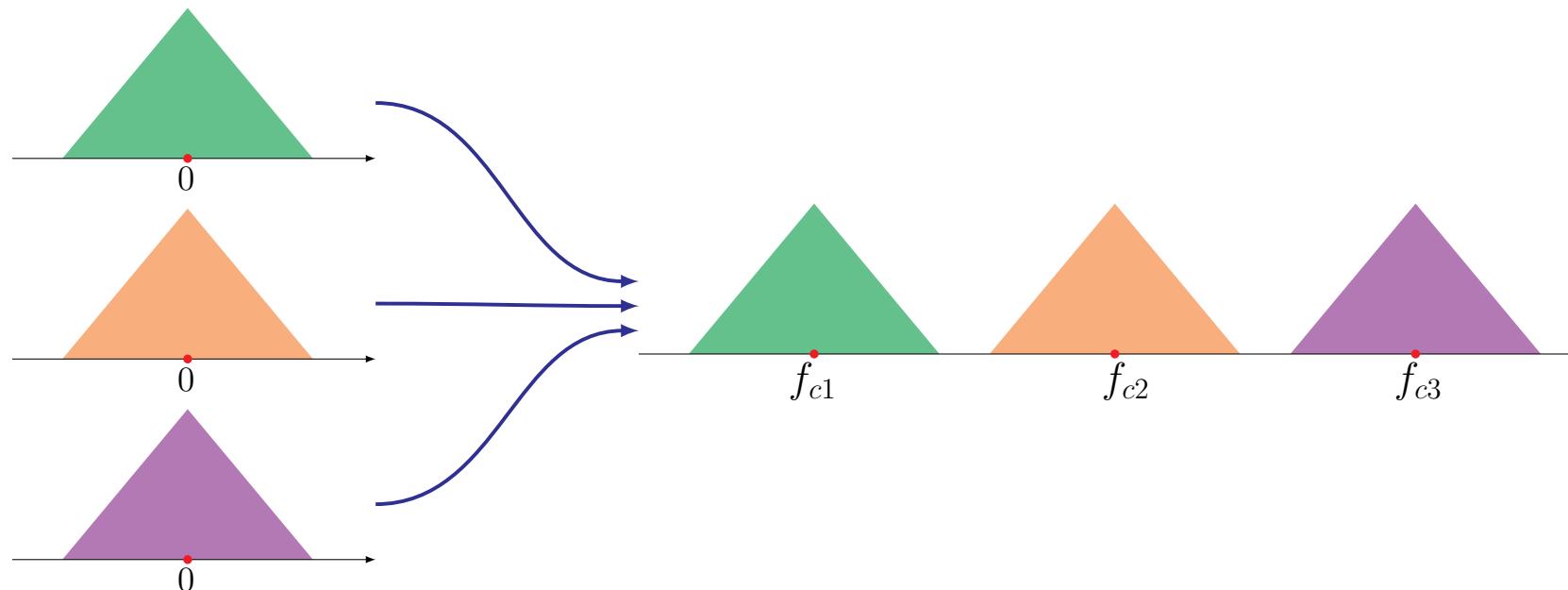


چرا باید از مدولاسیون استفاده کنیم؟

- طول آنتن حداقل $\frac{\lambda}{4}$ باید باشد. به عنوان مثال برای ارسال سیگنال گفتار (4 kHz) باید:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^{10}}{4 \times 10^3} = 0.75 \times 10^5 \text{ m} \implies L > \frac{\lambda}{4} \approx 19 \text{ km} \quad \text{@, But if } f = 1 \text{ GHz??}$$

- جلوگیری از تداخل و ارسال چندین کانال (رادیو FM).



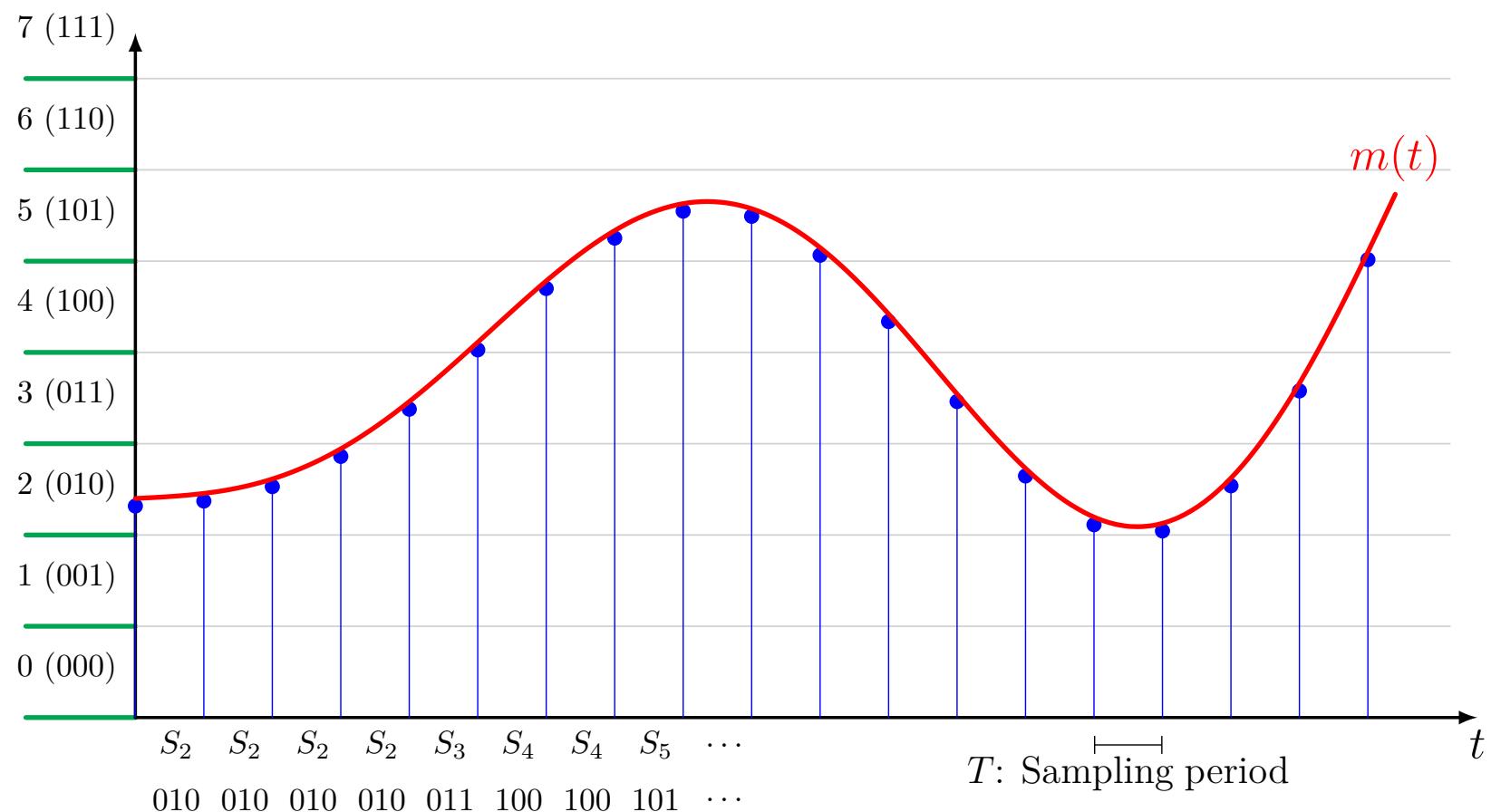
اگر $f = 1 \text{ GHz}$ باشد، آن‌گاه در مورد طول آنتن خواهیم داشت:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^{+8}}{1 \times 10^{+9}} = 30 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad L > \frac{\lambda}{4} \approx 7.5 \text{ cm}$$

مخابرات رقمی (Digital Communication)



کدگذار منبع: نمونهبرداری برای تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال و فشردهسازی (Compression)



اگر ما یک منبع اطلاعات آنالوگ داشته باشیم برای این که بتوانیم آن را به صورت دیجیتال مخابره کنیم، می‌بایست ابتدا آن را به صورت رقمی در بیاوریم. مزایای متعدد مخابرات رقمی سبب شده است تا ما تلاش کنیم سیگنال‌های آنالوگ خود را به رقمی تبدیل نماییم، تا بتوانیم آن‌ها را توسط سامانه‌های رقمی مخابره کنیم. برای تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به رقمی می‌بایست دو مرحله را پشت سر بگذاریم:

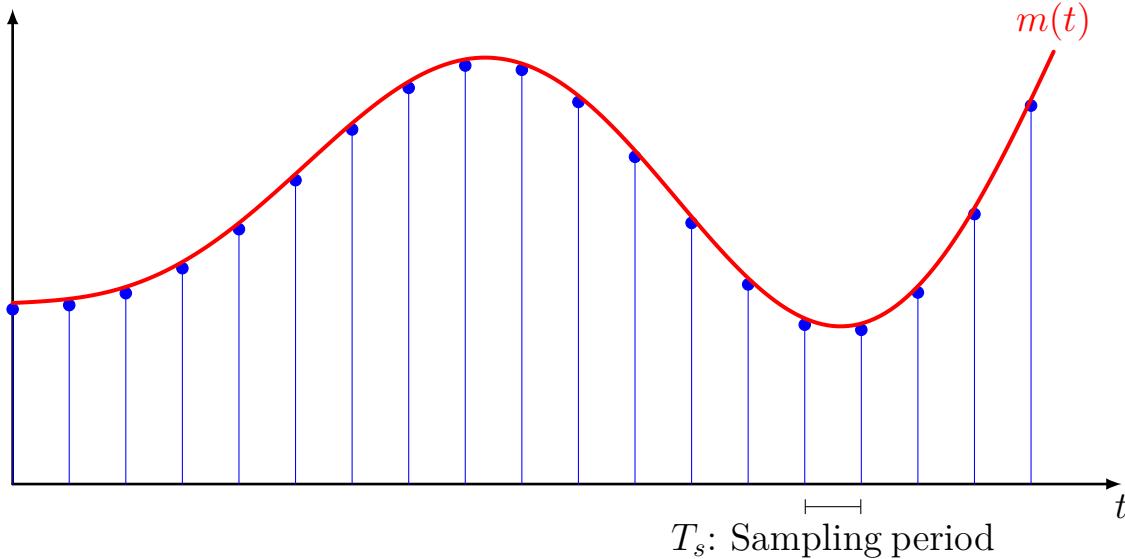
❶ نمونه‌برداری: نمونه‌برداری یعنی در زمان‌های معین، نمونه‌هایی از سیگنال را انتخاب کنیم.

❷ چندی‌سازی: همان طور که بیان شد، سیگنال رقمی هم در متغیر وابسته و هم در متغیر مستقل، گستته است. در نمونه‌برداری ما سیگنال پیوسته را در متغیر مستقل، گستته نمودیم. برای گستته نمودن سیگنال، در مقدار متغیر وابسته، از چندی‌سازی استفاده می‌کنیم. بدین صورت بی‌نهایت سطح اندازه‌ای که سیگنال می‌تواند به خود بگیرد را به تعدادی معینی سطح نگاشت می‌کنیم.

مخابرات رقمنی (ادامه)



نرخ نمونهبرداری باید چقدر باشد؟ اگر از یک سیگنال باند محدود، با دو برابر نرخ نایکوییست نمونهبرداری کنیم، می‌توانیم به طور کامل از روی نمونه‌ها سیگنال پیوسته را بازیابی کنیم.



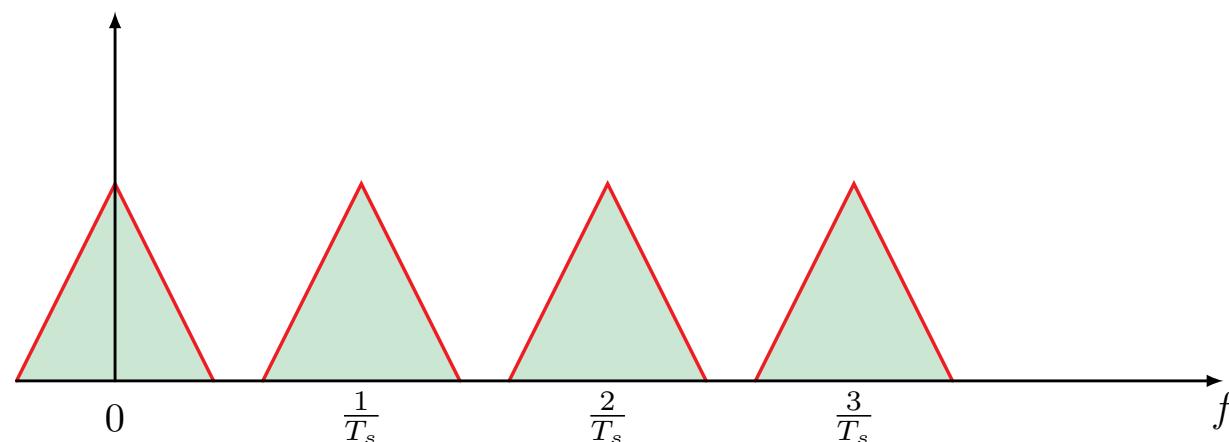
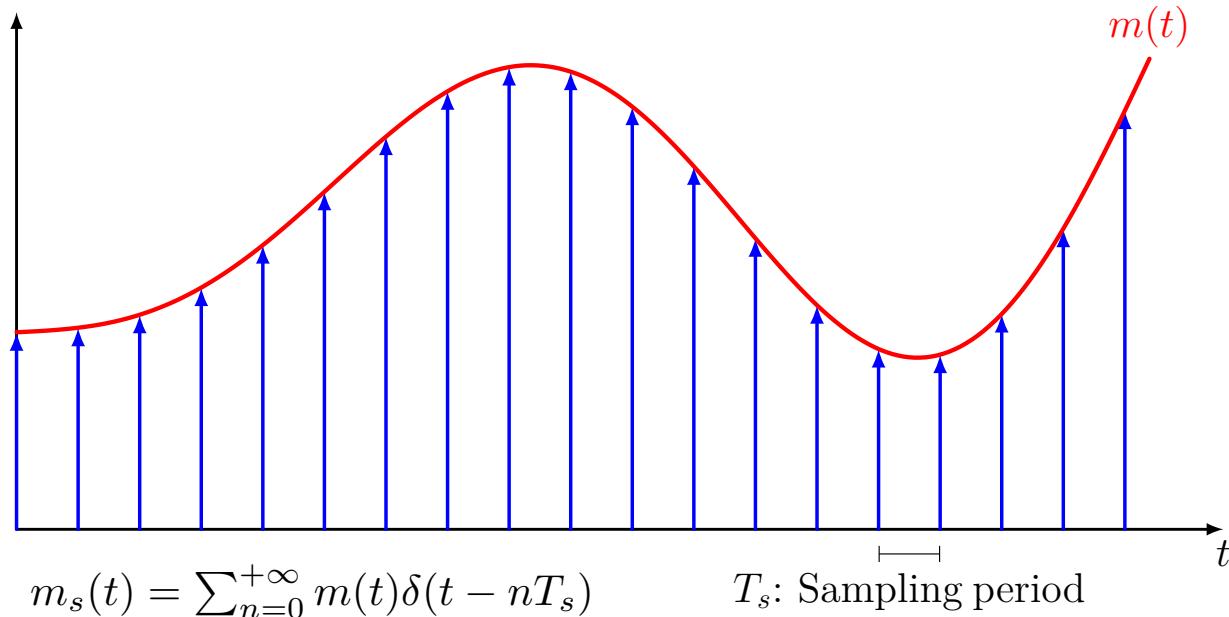
Harry Nyquist

$$f_s > 2 \times f_{\max}$$

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

نمونه‌برداری

در نمونه‌برداری (Sampling) ابتدا سیگنال پیوسته در یک قطار ضربه ضرب خواهد شد.



فرض کنید که می‌خواهیم در شبکه تلفن همراه GSM سیگنال گفتار را منتقل کنیم.

- فرکانس صدای انسان را می‌توان از Hz 20 تا 4 kHz در نظر گرفت ($f_{\max} = 4 \text{ kHz}$).
 - قضیه نایکویست: دو برابر $f_{\max} = 8 \text{ kHz}$ باید نمونه‌برداری کرد ($f_s > 2f_{\max}$).
 - چندی‌سازی: هر مقدار دامنه به 256 (هشت بیت) سطح نگاشته می‌شود.
 - باید داده تماس صوتی با نرخ 64 kbps منتقل شود. یعنی در هر ثانیه ۶۴ هزار بیت منتقل شود.
 - برای انتقال این 64 kbps چقدر پهنانی باند نیاز است؟ پاسخ: مفهوم Bandwidth efficiency=1.35 مفهوم چرا؟!
-  باید خوشحال (:) باشیم یا ناراحت (:)?

مخابرات رقمی - مرز نمونه برداری (ادامه)



باید خوشحال ☺ باشیم یا ناراحت ؟؟؟ باید گریه کنیم!!!

☞ یک محاسبه تقریبی برای ظرفیت:

$$\#user = \frac{200 \text{ kHz}}{47.4 \text{ kHz}} \approx 4 \text{ !!!!}$$

☞ دو راه کار:

☞ یک ایده خوب فشرده سازی (Compression) است. از مزایای مخابرات رقمی است، در GSM تا 13 kbps

$$\#user = \frac{200 \text{ kHz}}{\frac{13}{1.35} \text{ kHz}} \approx 20$$

☞ بالا بردن میزان توسعه نسل های مختلف. اما چگونه؟ Bandwidth efficiency=1.35

مرز فشرده‌سازی



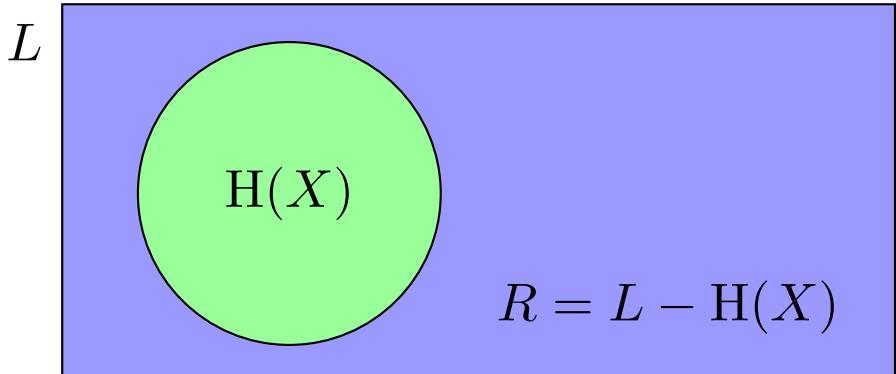
Shannon ریاضی‌دان، مهندس الکترونیک و رمزنگار معروف آمریکایی است که به عنوان پدر نظریه اطلاعات شناخته می‌شود. او در مقاله ۱۹۴۸ خود علم نظریه اطلاعات را پایه‌گذاری می‌کند و در مقاله ۱۹۴۹ خود علم رمزنگاری را بنیان‌گذاری می‌کند. شانون در هر دو مقاله به مبحث ارسال پیام در یک سامانه مخابراتی می‌پردازد، اما با دو دیدگاه مختلف.

Shannon, Claude Elwood. "A mathematical theory of communication." *Bell system technical journal* 27, no. 3 (1948): 379-423.

Shannon, Claude Elwood. "Communication theory of secrecy systems." *Bell system technical journal* 28, no. 4 (1949): 656-715.

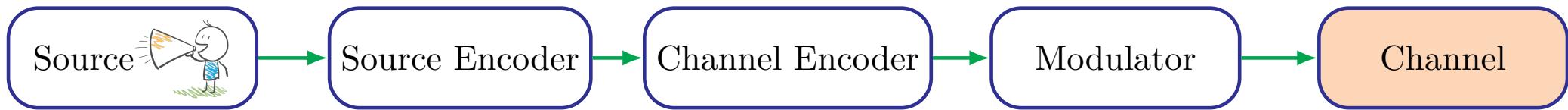


مثال ۱ این را باید مدنظر قرار داد، که هشت میلیون نفر از کودکان ایرانی زیر ۱۲ سال، کاربر بازی‌های رایانه‌ای و کامپیوتری در طول روز هستند (128). ۸ میلیون کودک زیر ۱۲ سال، بازی کامپیوتری می‌کنند (48).



شاون مفهومی به نام $H(X)$ را به عنوان مقدار اطلاعات یک پیام معرفی کرد، و گفت که $R = L - H(X)$ میزان افزونگی (Redundancy) پیام است. شاون می‌گفت می‌توان یک پیام را تا $H(X)$ بیت فشرده نمود، بدون از دست رفتن اطلاعات.

مخابرات رقمی (ادامه)



کدگذار کانال: سیگنال در کانال دچار خطا می‌شود. چرا؟

$$10011011 \Rightarrow 100010\textcolor{red}{0}1$$

ضرورت ارایه راهکاری برای محافظت سیگنال در برابر خطا.

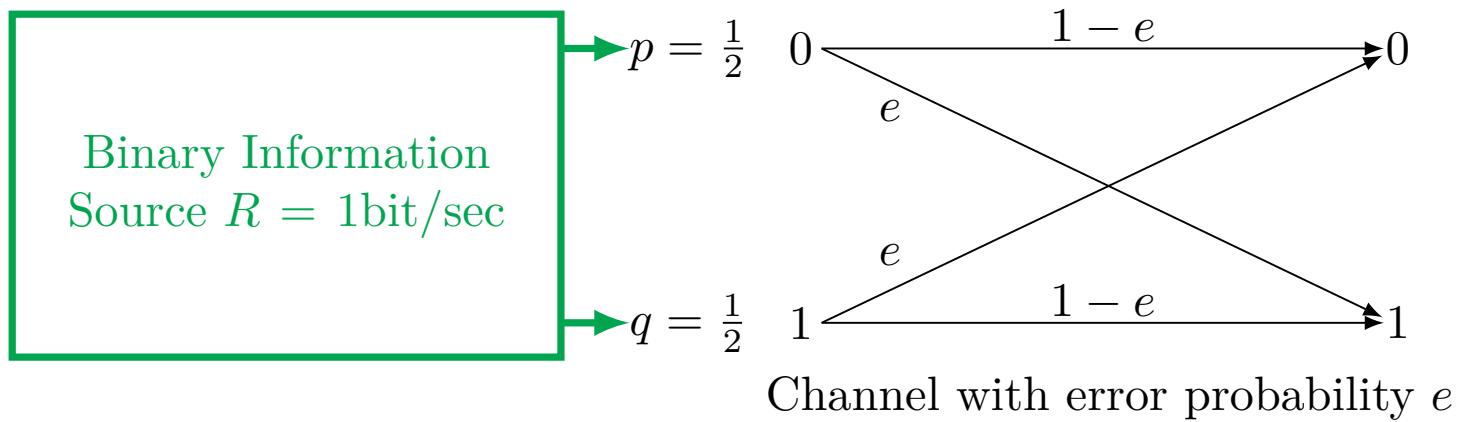
$$10011011 \Rightarrow 10011011\textcolor{green}{0} \quad \textit{Error detection}$$

$$10011011 \Rightarrow 111\textcolor{green}{0}00\textcolor{green}{0}00\textcolor{green}{1}11\textcolor{green}{1}11\textcolor{green}{0}00\textcolor{green}{1}11\textcolor{green}{1}11 \quad \textit{Error correction}$$

در کدگذار کانال، به منظور اضافه نمودن قابلیت تشخیص خطا و تصحیح خطا در سمت گیرنده، مقداری افزونگی به دنباله اطلاعات اضافه می‌گردد. بدین‌سان گیرنده، دنباله داده‌ای را که با نویز و یا عوامل دیگر در کانال تخریب شده است را، می‌تواند بازسازی نماید و یا حداقل متوجه وجود خطا در دنباله استخراج شده، بشود. اگر گیرنده توانایی تشخیص خطا را داشته باشد، در صورت نیاز می‌تواند از فرستنده درخواست ارسال مجدد، را داشته باشد.

موضوع شرایط کانال و رخداد خطا در آن، به ویژه در حوزه مخابرات بی‌سیم بسیار چالش برانگیز تر است. در ضمن در نظر داشته باشید که مجبور هستیم مقداری از پهنای باند را صرف کدگذار کانال بکنیم، که این مورد یکی از عوامل تاثیرگذار در Bandwidth efficiency است.

ظرفیت کانال



یک منبع اطلاعات با نرخ 1 bps یک دنباله باینری از صفر و یک را تولید می‌کند. احتمال تولید هر بیت مستقل از بیت‌های دیگر و برابر باشد. احتمال وقوع خطا در انتقال هر بیت در این کانال برابر $\frac{1}{4}$ است.

$$\begin{aligned} P_e &= P(Y \neq X) = P(Y \neq X | X = 0)P(X = 0) + P(Y \neq X | X = 1)P(X = 1) \\ &= \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4} \end{aligned}$$

احتمال خطای $P_e = \frac{1}{4}$ یعنی به طور متوسط در هر چهار بیت یکی غلط دریافت می‌شود.



یک راه کار برای محافظت از بیت‌ها این است که هر بیت را سه بار تکرار کنیم.

$10011011 \implies 1\textcolor{teal}{11} \ 0\textcolor{teal}{00} \ 0\textcolor{teal}{00} \ 1\textcolor{teal}{11} \ 1\textcolor{teal}{11} \ 0\textcolor{teal}{00} \ 1\textcolor{teal}{11} \ 1\textcolor{teal}{11}$

احتمال خطا به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_e = P(e|X=0)P(X=0) + P(e|X=1)P(X=1) = \frac{10}{64}$$

$$P(e|X=0) = P(110|0) + P(011|0) + P(101|0) + P(111|0) = \frac{10}{64}$$

$$P(e|X=1) = P(001|1) + P(100|1) + P(010|1) + P(000|1) = \frac{10}{64}$$

خطا از $\frac{10}{64}$ به $\frac{16}{64}$ کاهش پیدا کرده است (حدود ۳۰ درصد کاهش). البته این کاهش بدون هزینه هم نبود!

در این حالت انتقال هر بیت به جای یک ثانیه، سه ثانیه طول می‌کشد.

ظرفیت کanal (ادامه)

آیا می‌توان خط را کمتر کرد، تعمیم روش قبل: 

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_e \leq \frac{(2n+1)e(1-e)}{((1-2e)n+1-e)^2} \rightarrow 0$$

برای این‌که P_e را به سمت صفر میل دهیم، می‌بایست $R = \frac{1}{n} \rightarrow 0$ میل کند. 

ظرفیت کanal (ادامه)

آیا می‌توان خط را کمتر کرد، تعمیم روش قبل: $0 \rightarrow \underbrace{00\dots0}_{2n+1}, 1 \rightarrow \underbrace{11\dots1}_{2n+1}$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_e \leq \frac{(2n+1)e(1-e)}{((1-2e)n+1-e)^2} \rightarrow 0$$

برای این‌که P_e را به سمت صفر میل دهیم، می‌بایست $R = \frac{1}{n}$ میل کند.

نکته

شانون گفت نیازی به این کار نیست. او گفت یک روش کدگذاری وجود دارد که در آن تنها کافی

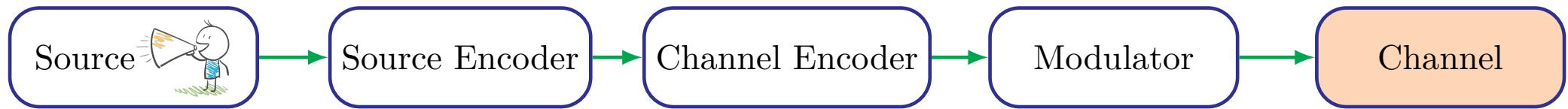
است $C < R$ باشد. ولی روش را نمی‌دانیم 😞😞😞.

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) [bps]$$

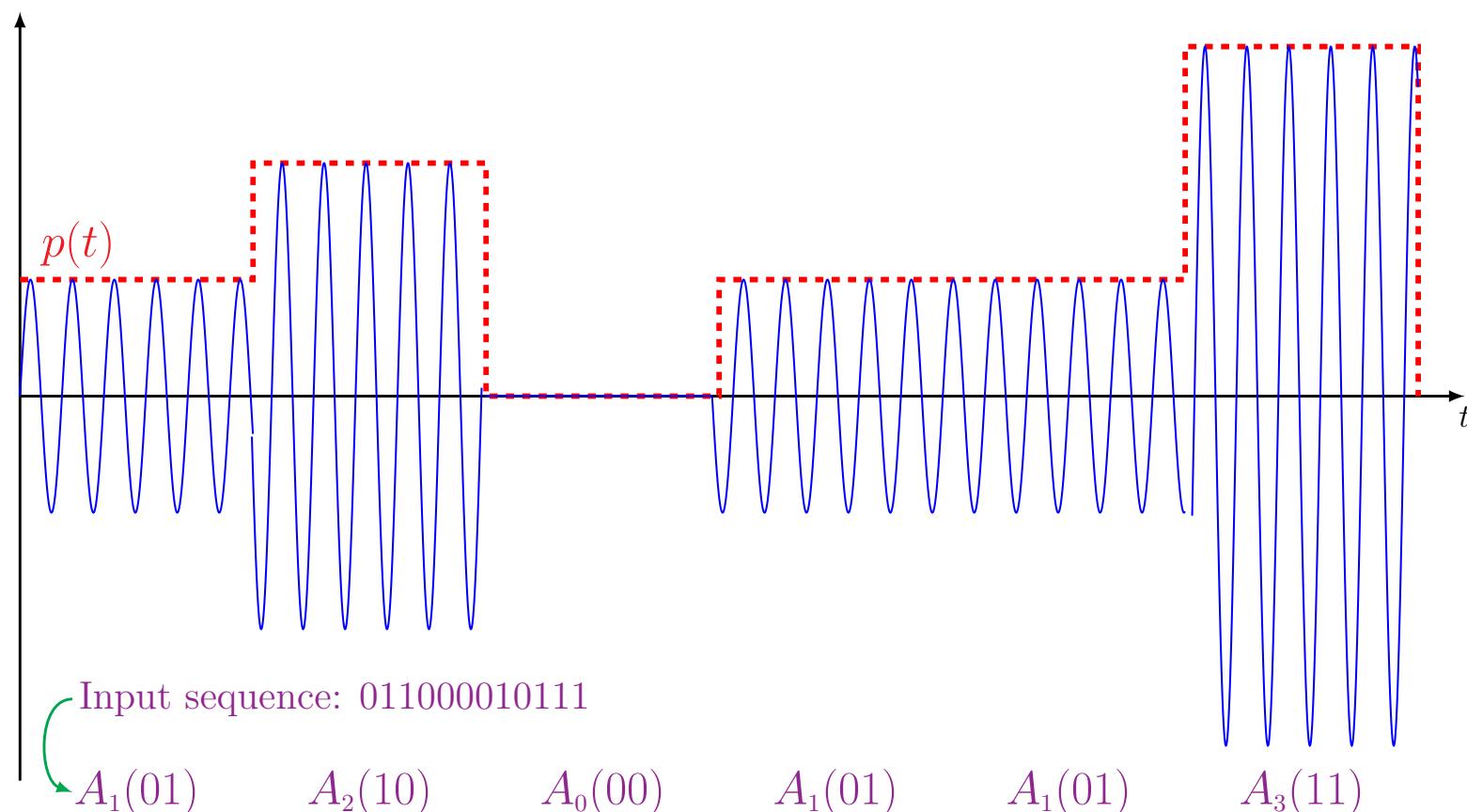
C بیانگر ظرفیت کanal (Channel Capacity) است.



مخابرات رقمنی (ادامه)



☞ **مدولاسیون:** برای تبدیل دوباره سیگنال دیجیتال به آنalog.



مدولاسیون Multi-level ASK یکی از ساده‌ترین مدولاسیون‌ها است. این مدولاسیون جزء دسته مدولاسیون‌های یک بعدی می‌باشد. یعنی تنها با استفاده از یک تابع پایه سینوسی با فرکانس معین می‌توان آن را توصیف کرد.

سیگنال خروجی از این مدولاسیون را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$s_m(t) = A_m p(t) \cos(2\pi f_{ct} t) \quad (2)$$

که در این رابطه $p(t)$ یک تابع پالس با طول T می‌باشد. A_m نشان‌دهنده مقادیری است که k بیت می‌توانند به خود بگیرند. برای مثال به مانند شکل بالا، اگر $k = 2$ باشد، برای A_m می‌توان چهار حالت متصور بود.

$$\{A_0, A_1, A_2, A_3\}$$

مخابرات رقمی در مقایسه با مخابرات آنالوگ

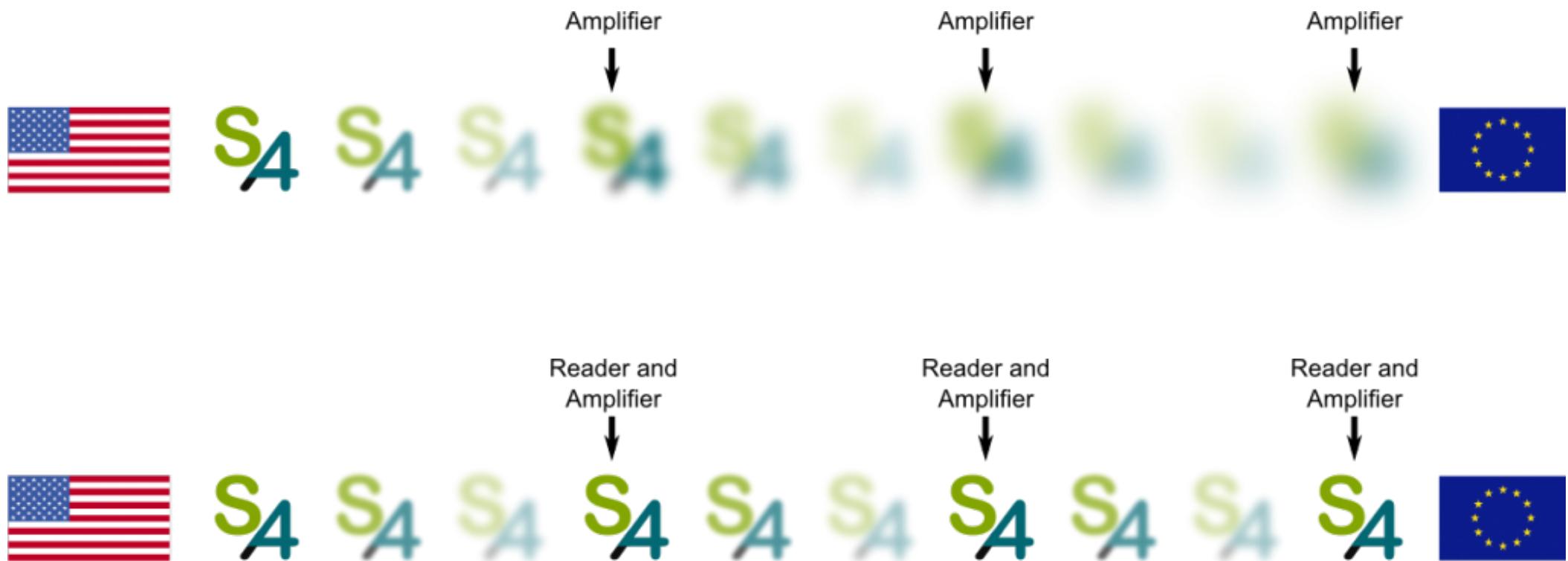
☞ مخابرات رقمی (Digital Communication) از (Analog Communication) در مقابل مخابرات آنالوگ (Digital Communication) مزایای بسیاری برخوردار است:

- ✓ پیاده‌سازی بسیار راحت، ارزان و ساده به دلیل رشد فناوری IC (Integrated Circuit)
- ✓ مباحث امنیت در این نوع مخابر، براحتی قابل اعمال است.
- ✓ استفاده از کدگذار کanal (Channel Coding) در تکرارکننده‌ها نویز به صورت جمعی افزایش نخواهد یافت.
- ✓ وجود سازوکارهای ساده برای فشرده‌سازی سیگنال
- ✗ در مخابرات رقمی، بحث همزمان‌سازی از اهمیت فراوانی برخوردار است.
- ✗ پهنای باند بیشتری نسبت به مخابرات آنالوگ، نیاز دارد.

مخابرات رقمی در مقایسه با مخابرات آنالوگ



s_A s_A s_A



- [1] W. Saad, M. Bennis, and M. Chen, “A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems,” *arXiv preprint arXiv:1902.10265*, 2019.

مظہر مہارائی

پس از پرتاب Sputnik 1 در ۱۹۵۷، بشر هیچ‌گاه تصور نمی‌کرد که روزگاری بررسد که ماهواره‌ها، تا بدین حد نقش موثری در زندگانی او ایفا کند. از میان ۸۹۰۰ ماهواره‌ای که به دور کره زمین در حال گردش هستند، ماهواره‌های ناوبری، مخابراتی، هواشناسی و تصویربرداری هوایی، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. کشف دو کمربند Van Allen در ۱۹۵۸، موجب شد تا تنها سه ناحیه کلی برای گردش ماهواره‌ها به دور کره زمین وجود داشته باشد، که ما امروزه از آن‌ها با عنوان مدارهای LEO، MEO و GEO یاد می‌کنیم. البته مدار HEO را نیز در این میان نباید از یاد برد. اکثر ماهواره‌های همه‌پخشی در ارتفاع ۳۵۷۸۶km (مدار GEO) قرار دارند. بزرگترین مزیت حضور ماهواره در این مدار، ساکن بودن آن نسبت به زمین و پوشش وسیع ایجاد شده توسط هر ماهواره است؛ تا جایی که ادعا می‌شود با سه ماهواره Hotbird، می‌توان خدمات همه‌پخشی تلویزیونی را در کل سطح زمین به ارمغان آورد. اکثر ماهواره‌های ناوبری نظیر GPS، Galileo، GLONASS و BeiDou نیز در مدار MEO و در فاصله ۵۰۰۰ تا ۳۵۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین واقع شده‌اند.

از کاربردهای ناوبری که بگذریم، باید گفت که گرچه مدار GEO یک مدار ایده‌آل برای قرار گرفتن یک ماهواره

محسوب می‌شود، اما RTT حدود 240 میلی‌ثانیه‌ای آن موجب می‌شود، که بکارگیری آن‌ها در حوزه مخابرات دوسویه با دشواری‌هایی روبرو باشد. بدین‌سان انتظار بر آن است که اکثریت ماهواره‌های با کاربرد مخابراتی، عملاً در مدار LEO و در بازه 160 تا 2000 کیلومتری از سطح زمین قرار گیرند (گرچه این موضوع قابل اطلاق به کل نیست). نخستین چالشی که در LEO بدان برخورد می‌کنیم عدم ساکن بودن ماهواره‌ها نسبت به ناظر بر روی سطح کره زمین و همچنین پوشش محدودتر آن‌ها نسبت به مدار GEO است. راه حل این مشکل را می‌بایست در مفهومی به نام منظومه ماهواره‌ای جستجو نمود، جایی که در آن تلاش می‌گردد تا با چند ده ماهواره کل سطح کره زمین را پوشش داد، ماهواره‌هایی که توسط واسطه‌های بین ماهواره‌ای و یا واسطه‌های زمینی، تشکیل یک مجموعه یکپارچه را می‌دهند. در چنین شرایطی راه گریزی از مفاهیمی به مانند واگذاری وجود ندارد. در ضمن نیکو است ذکر شود که کاربردهای مخابراتی به نوبه خود کاربردهای تلفن‌ماهواره‌ای، ISP‌های ماهواره‌ای و همچنین ارتباطات نظامی را نیز در بر می‌گیرد. گرچه کاربرد منظومه‌های ماهواره‌ای، تنها به حوزه مخابرات محدود نمی‌گردد، اما روی سخن این نوشتار بیشتر بر روی این حوزه خواهد بود.

از نمونه شرکت‌هایی که با استفاده از منظومه ماهواره‌ای در حوزه مخابرات دوسویه به ارایه خدمات می‌پردازند، می‌توان Orbcomm، Globalstar، Iridium، LeoSat، Boeing، Inmarsat، StarLink، OneWeb، ViaSat و Project Kuiper را نام برد. البته در این زمینه فهرست بلندبالایی وجود دارد، که اکثریت آن‌ها بسان یک ISP، با هدف تسهیل در دسترسی به اینترنت ایجاد شده‌اند، گرچه برخی از آن‌ها به مانند Globalstar، Iridium NEXT در بحث تلفن‌ماهواره‌ای نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با نگاهی به فهرست یاد شده، چند نکته جالب در نخستین نگاه به ذهن مبتادر می‌شود. نخست آن که اکثر سامانه‌های یاد شده به ویژه در حوزه دسترسی به اینترنت پس از سال ۲۰۱۵ ایجاد شده است. از سوی دیگر، علاوه بر آمریکا و تقریباً یک تمایز قابل ملاحظه کشورهایی نظیر انگلیس، فرانسه، چین و کانادا نیز دستی بر این حوزه دارند. در ضمن، به مانند مفهوم MVNO در شبکه‌های تلفن‌همراه، تمامی شرکت‌های یاد شده خود دارای ماهواره نیستند، بلکه از بستر ایجاد شده توسط دیگران بهره می‌برند. یک مثال خوب در این زمینه BGAN است که عملاً از شبکه ایجاد شده توسط Inmarsat در مدار GEO بهره می‌برد.

از Inmarsat که بگذریم، پروژه‌های Project Kuiper، OneWeb، SpaceX و Starlink شرکت پیشتازان حوزه ارایه خدمات اینترنت ماهواره‌ای هستند. پروژه‌هایی که قرار است در آینده‌ای نه‌چندان دور چند ده هزار ماهواره را برای تحقق این رویا به فضا پرتاب کنند. ایده ۴۲ هزار ماهواره SpaceX، به تنها‌ی کافی است تا ستاره‌شناسان را از تراژدی برنامه جهانی اینترنت پرسرعت ماهواره‌ای از هم‌اکنون به هراس بیاندازد. البته باید توجه داشت که داستان بدینجا ختم نمی‌شود. فراهم آوردن ساده پوشش وسیع و قابلیت توسعه‌پذیری آسان سامانه‌های ماهواره‌ای دو ویژگی است که موجب شده است این فناوری از بازیگران اصلی داستان 5G محسوب گردد.

یک منظومه ماهواره‌ای است که توسط شرکت آمریکایی  با هدف ایجاد یک فراهم‌آورنده خدمات اینترنتی (Internet Service Provider) با بستر ماهواره‌ای ایجاد شده است. در این پروژه قرار است چیزی در حدود 42 هزار ماهواره سبک وزن (100 تا 500 کیلویی) در مدار LEO (Low Earth Orbit) قرار گیرد. تا این زمان (۱۴ سپتامبر ۲۰۲۱) به طور کلی، ۱۷۴۰ ماهواره پرتاب شده و از این تعداد ۱۲۷ عدد از مدار خارج

شده‌اند. همچنین مجموع ماهواره‌های فعلی ۱۶۰۷ عدد بوده و تعداد کل ماهواره‌های عملیاتی نیز ۱۴۲۰ عدد می‌باشد. برطبق برنامه تا پایان امسال ۱۵۰۰ ماهواره در مدار قرار خواهد گرفت. توسعه این محصول در سال ۲۰۱۴ آغاز شد. دو نمونه ماهواره تست اولیه، در فوریه ۲۰۱۸ به فضا پرتاب شد. SpaceX همزمان ۶۰ ماهواره را به فضا پرتاب می‌کند و هدف آن استقرار ۱۵۸۴ فضایی‌پیمای ۲۶۰ کیلوگرمی (۵۷۰ پوند) برای ارائه خدمات تقریباً جهانی تا اواخر سال ۲۰۲۱ یا ۲۰۲۲ است. پیش‌بینی می‌شود تعداد ماهواره‌ها تا سال ۲۰۳۰ به ۱۲۰۰۰ ماهواره SpaceX افزایش یابد. در ۱۵ اکتبر ۲۰۱۹ کمیسیون فدرال ارتباطات ایالات متحده FCC پرونده‌هایی را از طرف به اتحادیه بین‌المللی مخابرات از راه دور ITU فرستاد تا طیفی را برای ۳۰'۰۰۰ ماهواره اضافی مکمل ۱۲'۰۰۰ ماهواره Starlink که قبلاً توسط کمیسیون فدرال ارتباطات تأیید شده بود، فراهم کند.

در ماه مه ۲۰۲۱، SpaceX اعلام کرد که تاکنون بیش از ۵۰۰'۰۰۰ نفر برای دریافت سرویس Starlink درخواست ثبت کرده‌اند. در اوخر همان ماه، Microsoft Azure و Google Cloud Platform با SpaceX توافق‌هایی برای ارائه خدمات محاسباتی و شبکه‌سازی زمینی برای Starlink صورت گرفته است.

از لحاظ مداری، همه ماهواره‌ها در مدار LEO قرار خواهند گرفت. اما به دلیل مشکلاتی که ممکن است در اثر شلوغ شدن مدارهای گردش ماهواره‌ها پیش آید، بر طبق برنامه، ماهواره‌ها در سطوح ۱۱۵۰، ۱۱۵۰ و ۳۴۰ قرار خواهند گرفت. جزئیات دقیق و فنی پروژه Starlink هنوز منتشر نشده است. اما بر طبق ادعای  هر ماهواره مجهز به تعدادی (در حدود چهار) لیزر است که مشابه با عملکرد فیبرنوری، واسطه‌های ISL (Intersatellite Link) را فراهم می‌آورد. با حضور ISL‌ها ما با یک شبکه توری نوری (Optical Mesh Network) عظیم از ماهواره‌ها در فضا مواجه خواهیم بود.

شاید باید Starlink را مشابه با یک Global ISP بشمار آورد که می‌تواند با IXP (Internet Exchange Point)‌ها ارتباط برقرار کند، به همین دلیل تاخیر (Round Trip Time) RTT بیش از پیش کم خواهد شد. با دیگر ISP‌ها ارتباط برقرار کند، به همین دلیل تاخیر (Round Trip Time) RTT بیش از پیش کم خواهد شد. از سوی دیگر، با وجود ISL و الگوریتم مسیریابی (Routing) هوشمندانه تعییه شده، تا حد ممکن ارتباطات از طریق ISL انجام شده و بعد از رسیدن به مقصد به سوی گره‌های زمینی ارسال می‌شود.

ایلان ماسک، مدیرعامل  قصد دارد تاخیر در شبکه اینترنتی ماهواره‌ای این شرکت را به کمتر از

۲۰ میلی ثانیه کاهش دهد. در حال حاضر، تاخیر در شبکه اینترنتی ماهواره‌ای  می‌تواند از بیش از ۲۰ میلی ثانیه تا حد اکثر ۸۸ میلی ثانیه متغیر باشد. بر طبق ادعاهای صورت گرفته، میزان RTT در یک ارتباط در حدود ۴۳ میلی ثانیه در یک ارتباط از لندن تا نیویورک است. گفته شده است که UE به مانند یک جعبه پیتزا است که در هرجایی که بتواند آسمان را مشاهده کند، کار می‌کند.

ارائه خدمات ماهواره‌ای بر روی هر کشوری طبق مقررات اتحادیه بین‌المللی مخابرات و معاهدات بین‌المللی، مستلزم اعطای مجوز توسط حوزه قضایی هر کشور است. درنتیجه، حتی اگر شبکه دسترسی به Starlink در عرض‌های جغرافیایی زیر ۶۰ درجه تقریباً در سطح جهانی محدود باشد، خدمات پهن باند به مناطق روستایی و محروم فقط تاکنون در چند کشور قابل ارائه است. SpaceX همچنین می‌تواند ملاحظات اقتصادی و عملیاتی تجاری داشته باشد که ممکن است باعث شود که کشورهایی که خدمات Starlink در آن‌ها ارائه خواهد شد با ترتیب و در زمان‌های متفاوتی این خدمات را دریافت کنند. به عنوان مثال، SpaceX در ژوئن ۲۰۲۰ خواستار مجوز برای ارائه خدمات در کانادا شد، مقام‌های نظارتی کانادا درخواست را در نوامبر ۲۰۲۰ تصویب کردند. دو

ماه بعد، در ژانویه ۲۰۲۱، SpaceX سرویس خود را در این کشور ارائه داد. جدول زیر، دسترسی به

شرکت  در کشورها را نمایش می‌دهد.

وضعیت	آغاز	کشور	قاره
بتأیی عمومی	۲۰۲۰ مارس	ایالات متحده آمریکا	آمریکای شمالی
بتأیی عمومی	ژانویه ۲۰۲۱	کانادا	آمریکای شمالی
بتأیی عمومی	۲۰۲۱ مارس	بریتانیا	اروپا
بتأیی عمومی	۲۰۲۱ مارس	آلمان	اروپا
بتأیی عمومی	آوریل ۲۰۲۱	نیوزیلند	اقیانوسیه
بتأیی عمومی	آوریل ۲۰۲۱	استرالیا	اقیانوسیه
بتأیی عمومی	می ۲۰۲۱	فرانسه	اروپا
بتأیی عمومی	آوریل ۲۰۲۱	لهستان	اروپا
بتأیی عمومی	می ۲۰۲۱	هلند	اروپا
بتأیی عمومی	می ۲۰۲۱	بلژیک	اروپا
آزمایش محدود	ژوئن ۲۰۲۱	جمهوری ایرلند	اروپا
بتأیی عمومی	ژوئیه ۲۰۲۱	دانمارک	اروپا
آزمایش محدود	ژوئیه ۲۰۲۱	شیلی	آمریکای جنوبی
بتأیی عمومی	اوت ۲۰۲۱	پرتغال	اروپا
برنامه‌ریزی شده	اکتبر ۲۰۲۱	مکزیک	آمریکای شمالی

بسیاری از شرکت‌های فناوری ارتباطی در تلاش هستند تا به هدف افزایش اتصال به اینترنت کاربران، در سرتاسر دنیا دست یابند. همه آنها تا حدودی با پروژه معروف Starlink در نحوه پرتاب ماهواره‌ها و فناوری‌های ماهواره‌ای متفاوت هستند اما در هدف نهایی مشابه یکدیگر هستند. در ادامه با برخی از پروژه‌های این حیطه آشنا می‌شویم.

پروژه‌ای که هدف‌شان استقرار ماهواره‌های خود در LEO است:

- OneWeb: یک شرکت ارتباطات جهانی است که توانایی ارائه خدمات اینترنت ماهواره‌ای پهن باند را در سرتاسر جهان فراهم می‌کند. دفتر مرکزی این شرکت در لندن بوده و دارای دفاتری در کالیفرنیا و یک کارخانه تولید ماهواره در فلوریدا است که با سرمایه‌گذاری مشترک ایرباس دفاعی و فضایی همکاری می‌کند.
- OneWeb پرتاب منظومه‌ی ماهواره‌ای خود را با شبکه‌ای از ۶۵۰ ماهواره در مدار پایین زمین، در فوریه ۲۰۱۹ آغاز کرد و تا مه ۲۰۲۱، ۶۴۸ ماهواره از ۴۸۰۰۰ ماهواره در مدار ۷۵ مایلی زمین قرار داد. هدف نهایی OneWeb استقرار ۶۵۰ ماهواره در مدار ۷۵ مایلی زمین است.

Amazon Project Kuiper: • مشابه SpaceX، آمازون نیز در حال طراحی ماهواره‌ای برای دستیابی به اینترنت است. با توجه به آنچه این شرکت فاش کرده است، آن‌ها یک آنتن "phased-array" Ka-band را با هم ترکیب می‌کند و در نتیجه هزینه کلی کوچک‌تر را اختراع کرده‌اند که سیگنال‌های دریافت و ارسال را با هم ترکیب می‌کند و در نتیجه هزینه کلی سیستم را کاهش می‌دهد. به گفته آمازون، این فناوری با تجزیه و تحلیل رفتار مشتری در انتقال داده‌ها، فعال می‌شود. از آنجا که میزان ارسال داده افراد بسیار کمتر از دریافتی آنها است، آن‌ها دو آنتن را در یک آنتن ترکیب کرده‌اند. تفاوت دیگر در نزدیکی ماهواره‌های آن‌ها به زمین است. این شرکت قصد دارد ۳۲۳۶ ماهواره را در مدار ۳۹۱ مایلی زمین ارسال کند.

پروژه‌هایی که هدف‌شان استقرار ماهواره‌های خود در MEO است:

O3b Mpower: • O3b Mpower، مدار میانی زمین را هدف قرار می‌دهد، به این معنا که ماهواره‌های آن‌ها نسبت به زمین ثابت هستند. ماهواره‌های این شرکت در مدار ۱۰۵۰ مایلی زمین با سرعت ۵ مگابایت بر ثانیه تا ۵ گیگابایت بر ثانیه، قادر به سرویس‌دهی هستند.

با این حال، به دلیل وزن بیشتر این ماهواره‌ها، تولید و پرتاب آن‌ها به ارتفاعات بالاتر مدار زمین، هزینه بیشتری خواهد داشت. اما از آنجا که نیازی به پرتاب ماهواره به تعداد ماهواره‌های مدار پایین زمین ندارند، هزینه نهایی تولید و پرتاب آنها ممکن است کمتر از هزینه نهایی تولید و پرتاب ماهواره‌های مدار پایین زمین شود.

اپنی نت گراہان

در سال ۱۹۹۳ (سال ۱۳۷۲)، ایران به اینترنت متصل شد. مبدأ اینترنت در ایران در IPM بوده است.



اینترنت در ایران (ادامه)

پیش از ایجاد شبکه اینترنت، نسل قبلی شبکه‌های رایانه‌ای جهان گستر به نام بیت‌نت در دنیا به کار می‌رفت. به گفته سیاوش شهشهانی، قائم مقام سابق پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، این مرکز در ایران در سال ۱۳۶۸ به گفته سیاوش شهشهانی، قائم مقام سابق پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، این مرکز در ایران در سال ۱۳۶۸ خورشیدی (معادل ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۰) برای اولین بار به شبکه بیت‌نت متصل شد؛ هدف این کار ارتباط علمی و پژوهشی با دانشگاه‌های دنیا بود.



(ب) سیاوش شهشهانی



(آ) محمد جواد لاریجانی

بیت‌نست شبکه‌ای بود که در سال ۱۹۸۱ میلادی با مشارکت جامعه دانشگاهی آمریکا بوجود آمد. IPM در ابتدا با استفاده از خط تلفن به دانشگاهی در اتریش متصل شد. پس از آن یک خط استیج‌جاری با دانشگاه وین برقرار شد. در ابتدا تنها دانشگاه‌ها می‌توانستند از طریق IPM به اینترنت متصل شوند، اما به مرور این دسترسی برای کاربران عادی نیز فراهم شد. اولین ISP عمومی در ایران شرکت ندارایانه بود. دکتر شهرشانی می‌گوید: برای اتصال دانشگاه به شبکه، در مرکز تحقیقات دو دیدگاه مختلف وجود داشت؛ یکی این که اینترنت را به عنوان یک امتیاز ویژه برای مرکز حفظ کنیم. دوم این که آن‌ها را در دانشگاه‌ها توزیع کنیم. بالاخره بعد از بحث‌های متوالی، نظریه دوم پیروز شد و دانشگاه‌ها به نوبت به اینترنت وصل شدند. با توجه به این که در آغاز اتصال از طریق خط استیج‌جاری بود، به‌طور طبیعی محدودیت‌هایی در دانشگاه‌ها به وجود آمد. برای استفاده از اتصال ماهواره‌ای، مذاکراتی طولانی با مخابرات را پشت سر گذاشتیم و تا پای عقد قرارداد هم رفتیم؛ ولی تصادفاً در همان روزی که بنا بود قرارداد امضا شود، رئیس مخابرات عوض شد. رئیس بعدی هم از امضای قرارداد خودداری کرد. به همین دلیل حدود ۳ سال طول کشید تا اولین ارتباط ماهواره‌ای با سرعت ۱۲۸ کیلوبیت بر ثانیه از

طریق یک شرکت ایتالیایی برقرار شود. پیش از آن به ترتیب دانشگاه‌های صنعتی شریف و صنعتی اصفهان، مرکز تحقیقات ژنتیک و مرکز زلزله‌شناسی به اینترنت وصل شده بودند. اتصال ۱۲۸ که برقرار شد وضع اینترنت در دانشگاه‌ها کمی بهتر شد. البته ۲ تا ۳ ماه بعد ظرفیت این اتصال به نقطه اشباع رسید برای همین ۸ ماه بعد یعنی اوایل سال ۱۹۹۷ آن را به اتصال ۵۱۲ کیلوبیت در ثانیه ارتقا دادیم.

فهرست اختصارات

A

AM Amplitude Modulation

ASK Amplitude Shift Keying

B

BGAN Broadband Global Area Network

F

FCC Federal Communications Commission

FM Frequency Modulation

G

GEO Geostationary Orbit

GLONASS Global Navigation Satellite System

GPS Global Positioning System

GSM Global System for Mobile Communication

H

HEO High Earth orbit

I

IC Integrated Circuit

IPM Institute for Research in Fundamental Sciences

ISL Intersatellite Link

ISP Internet Service Provider

ITU International Telecommunication Union

IXP Internet Exchange Point

L

LEO Low Earth Orbit

LOS Line of Sight

M

MEO Medium Earth Orbit

MVNO Mobile Virtual Network Operator

R

RTT Round Trip Time

S

SDN Software-defined Networking

SDR Software Defined Radio

SON Self Optimized Network

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

Broadcasting A همه‌پخشی

مخابرات آنالوگ Analog Communication

C کاربرد Application

Carrier حامل

Carrier Frequency B فرکانس حامل

Channel Capacity ظرفیت کanal Bandwidth پهنه‌ای باند

Channel Coding کدگذار کanal Broadcast همه‌پخشی

Channel Encoder کدگذار کanal

Destination	Coverage مقصد	پوشش
Digital Communication	Collision مخابرات رقمی	تصادم
Digital Signal	Compression سیگنال رقمی	فشرده‌سازی
Discrete Signal	Continuous Signal سیگنال گسته	سیگنال پیوسته
	Cryptography	رمزگاری

E

Electromagnetic	الکترومغناطیس	D
Electromagnetic Wave	موج الکترومغناطیسی	Data Communication
Encoding	کدگذاری	لایه پیوند داده
Error Correction	Delay تصحیح خطأ	تأخیر

	کد تصحیح خطأ Error Correction Code
I	تشخیص خطأ Error Detection
Information Theory	کد تشخیص خطأ Error Detection Code
نظریه اطلاعات	واسط Interface
Interference	تداخل Interference
F	عدالت Fairness
Internet Service	فراهم آورنده خدمات اینترنتی Provider
	H
M	واگذاری Handover
Medium	ارتباط هلوگرافیک . رسانه Holographic Communication

O

Optical Fiber فیبرنوری

Optical Mesh Network شبکه توری نوری

دسترسی به رسانه دسترسی به رسانه

پیام Message

دسترسی چندگانه دسترسی چندگانه

کنترل دسترسی چندگانه کنترل دسترسی چندگانه

مدولاسیون Modulation

P

Performance کارایی

Physical Layer لایه فیزیکی

N

ناوبری Navigation

گره Node

Q

S

Sampling نمونه برداری

Satellite ماهواره R

Satellite Constellation منظومه ماهواره ای

Security امنیت

Sender فرستنده

Synchronization همزمان سازی

Source منبع

Source Encoder کدگذار منبع

Quantization چندی سازی

Radio Wave موج رادیویی

Radio Spectrum طیف رادیویی

Receiver گیرنده

Redundancy افزونگی

Repeater تکرار کننده

Routing مسیر یابی

W

گفتار Speech

Wireless Communication مخابرات بی سیم

T

گذردہی Throughput

U

کاربر User

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

پ

Coverage پوشش Holographic Communication ارتباط هلوگرافیک .

Bandwidth پهنای باند Redundancy افزونگی

Message پیام Electromagnetic الکترومغناطیس

Security امنیت

ت

Delay تاخیر

Carrier	حامی	Error Detection	تشخیص خطأ
Medium Access	دسترسی به رسانه	Collision	تصادم
Multiple Access	دسترسی چندگانه	Error Correction	تصحیح خطأ
Medium	رسانه	Repeater	تکرارکننده
Cryptography	رمزنگاری	Quantization	چندیسازی

ط

Radio Spectrum طیف رادیویی

س

سیگنال پیوسته Continuous Signal

سیگنال رقمی ظا Digital Signal

سیگنال گستته Discrete Signal

ظرفیت کانال

ش

شبکه توری نوری Optical Mesh Network

ع

Fairness عدالت

ف

User کاربر

Application کاربرد Internet Service فراهم آورنده خدمات اینترنتی

Error Detection Code کد تشخیص خطا Provider

Error Correction Code کد تصحیح خطا Sender فرستنده

Channel Encoder کدگذار کانال Carrier Frequency فرکانس حامل

Channel Coding کدگذار کانال Compression فشرده سازی

Source Encoder کدگذار منبع Optical Fiber فیبرنوری

Encoding کدگذاری

Multiple Access Control چندگانه کنترل دسترسی

ک

Performance کارایی

گ

Satellite ماهواره Throughput گزنده

Analog Communication مخابرات آنالوگ Node گره

Wireless Communication مخابرات بی سیم Speech گفتار

Data Communication مخابرات داده Receiver گیرنده

Digital Communication مخابرات رقمی

Modulation مدولاسیون

Routing مسیریابی

Destination مقصد

Source منبع

Satellite Constellation منظومه ماهواره ای

ل

Layer لایه پیوند داده

Physical Layer لایه فیزیکی

موج الکترومغناطیسی و اگذاری Electromagnetic Wave ... Handover

موج رادیویی Radio Wave

۵

ن همزمان‌سازی Synchronization

ناوبری Navigation همه‌پخشی Broadcasting

نظریه اطلاعات Information Theory همه‌پخشی Broadcast

نمونه‌برداری Sampling

۹

واسطه Interface