



فصل اول: مقدمات درس

ابوالفضل دیانت

آخرین ویرایش: ۶ آبان ۱۴۰۲ در ساعت ۲۱ و ۲۷ دقیقه - نسخه 2.7

فهرست مطالب

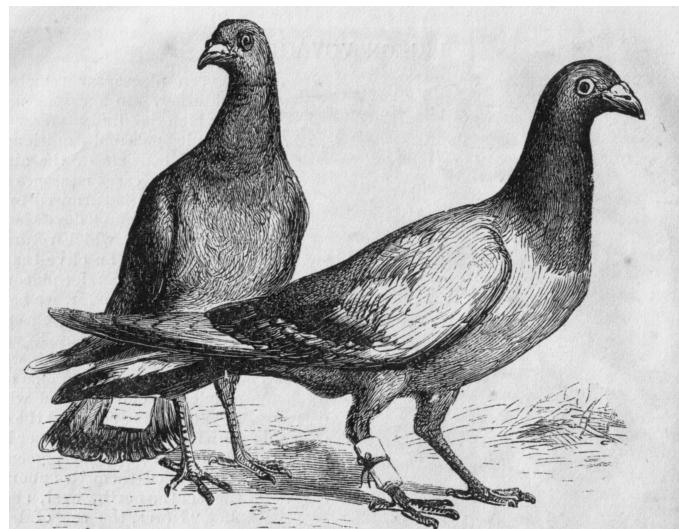
۱	گذری بر تاریخچه مخابرات
۲۹	در مورد این درس ...
۳۶	معرفی مخابرات داده
۴۳	انواع سامانه‌های مخابراتی
۴۷	مخابرات آنالوگ
۵۳	مخابرات رقمی - کدگذار منبع
۶۶	مخابرات رقمی - کدگذار کانال

۷۹	مخاریات رقمی - مدولاسیون
۹۵	مخاریات رقمی در مقایسه با مخاریات آنالوگ
۱۰۱	متفرقه - منظومه‌های ماهواره‌ای
۱۰۷	متفرقه - اینترنت در ایران
۱۱۱	متفرقه - Neuralink
۱۱۶	مراجع
۱۱۷	فهرست اختصارات
۱۲۳	واژه نامه انگلیسی به فارسی
۱۳۰	واژه نامه فارسی به انگلیسی

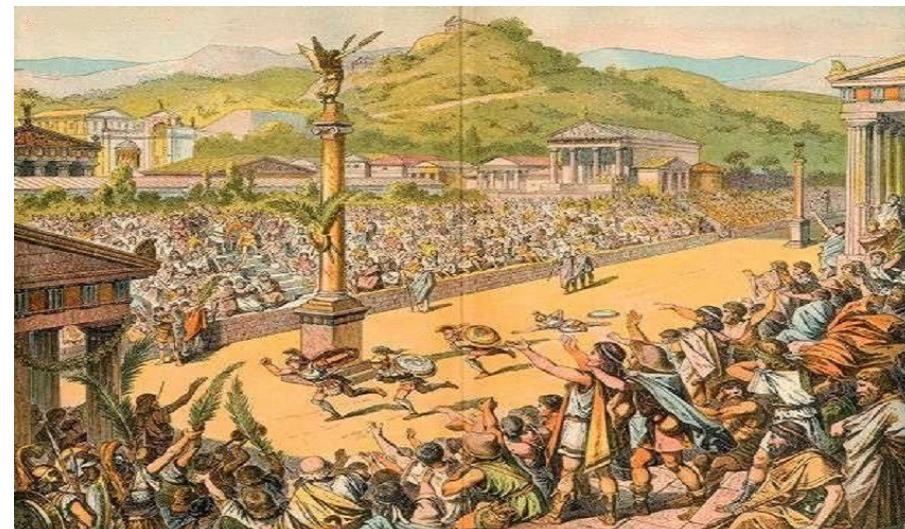
گزیری از تاریخ پنجه مفابرات

پرنده مقدس

- ▶ شروع قصه در منطقه زندگی ۱۲ خدای اساطیری یونان در ۷۷۶ سال قبل میلاد مسیح
- ▶ یک جشن مذهبی برای احترام به زئوس خدای خدایان
- ▶ دو چالش در این میان: تأخیر (Latency) (120 km/h) و قابلیت اطمینان (Reliability)



Pigeon post



(آ) جشن مذهبی

در ۷۷۶ سال قبل از میلاد مسیح، در منطقه‌ای که ۱۲ خدای اساطیری یونان باستان زندگی می‌کردند، به افتخار زئوس، خدای خدايان، بازی‌هایی تحت عنوان یک جشن مذهبی برگزار می‌شد، که ما امروزه آن را با عنوان المپیک می‌شناسیم. چیزی که در این مسابقات جالب توجه بود، نحوه اعلان برنده‌گان مسابقات به مردم در نقاط مختلف کشور بود، و آن چیزی نبود جز استفاده از کبوتران نامه‌رسان (Pigeon post). بر عکس آن‌چه که تصور می‌شود، استفاده از کبوتران نامه‌رسان با قدمتی ۵۰۰۰ ساله، یکی از ابزارهای بسیار پرکاربرد برای انتقال پیام بین نقاط مختلف بوده. گرچه در سال ۲۰۰۶، کبوتران پس از ۶۰ سال کار در پلیس Orissa، به عنوان یک خدمات‌دهنده، طور کامل بازنشسته شدند.

استفاده از کبوتران نامه‌رسان اشکالات بسیاری دارد. شاید تأخیر (Latency) (سرعت حدودی آن‌ها ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت است) و قابلیت اطمینان (Reliability) دو چالش اساسی در این میان باشد.

تلگراف

Morse (نقاش و فیزیکدان آمریکایی) در سال ۱۸۴۳ میلادی، نحوه ارتباط انسان‌ها را دگرگون کرد.

تلگراف تا صد سال مهم‌ترین روش ارتباط بشری بوده است.

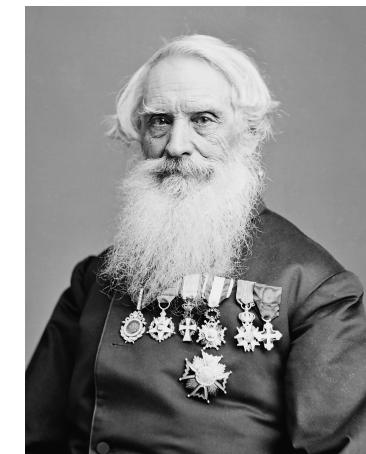
پیام‌ها در قالب سیگنال‌های مورس (کد مورس)، به موج الکتریکی (جريان الکتریکی) تبدیل شده و از طریق کابل، به عنوان کانال به سوی مقصد ارسال می‌شدند.



نمونه یک دستگاه تلگراف

A • -	J • ---	S • • •
B - • • •	K - • -	T -
C - • - •	L • - • •	U • • -
D - • •	M --	V • • • -
E •	N - •	W • ---
F • • - •	O ---	X - • • -
G --- •	P • --- •	Y - • - -
H • • • •	Q --- • -	Z - - • •
I • •	R • - •	

کد مورس



Samuel Morse

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 (ثبت رسمی اختراع)، که بعدها توسط افراد دیگری توسعه پیدا کرد. 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 هند در شرکت BSNL) در سال ۲۰۱۳ دیگری خبری از این فناوری وجود ندارد. آخرین تلگراف نیز در هند مخابره شد.

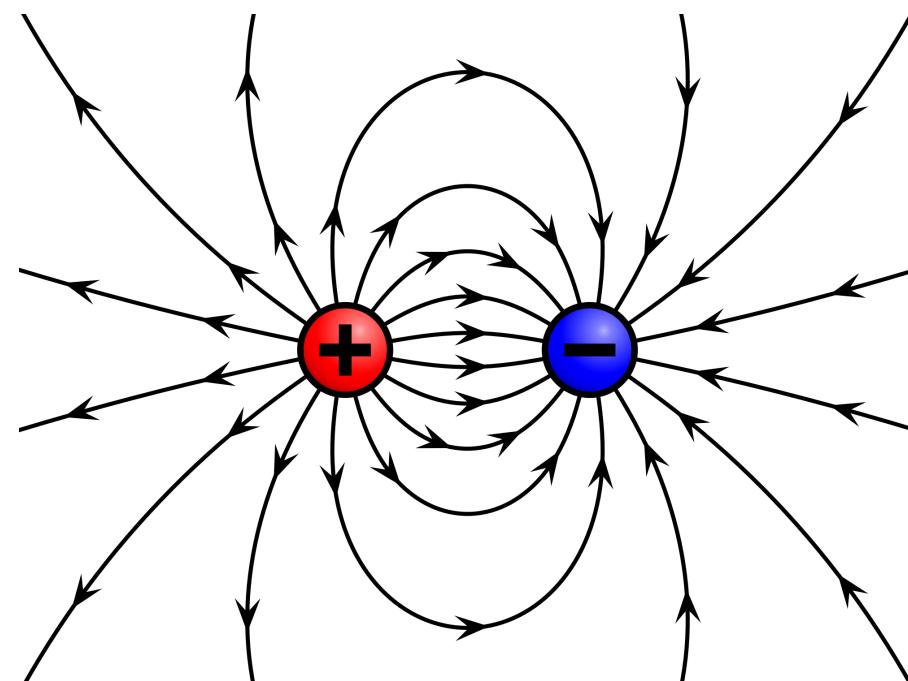
نخستین ارتباط تلگرافی در ایران در سال ۱۲۳۴ ش (۱۴ سال پس از مخابره اولین پیام تلگرافی ساموئل مورس)، میان مدرسه دارالفنون و کاخ گلستان برقرار شد که مخابره‌ای آزمایشی بود، نخستین جمله‌ای که مخابره شده بود، این بود: «منت خدای را عزّ و جلّ که طاعت‌ش موجب قربت است و به شکراندرش مزید نعمت ...»

تالس در ۶۰۰ ق.م، متوجه شد که یک تکه کهربای (Electron) مالش داده شده، پر را جذب می‌کند.

الكترون با رفتن از یک اتم، بار مثبت را ایجاد می‌کند، که موجب ایجاد یک میدان نیرو در اطراف خود می‌شود.



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



تالس، فردی که از او با عنوان آغازگر فلسفه یاد می‌شود، آنقدر برای یونانیان ارزشمند است که او را در شمار هفت خردمندان (شخصیت‌های برجسته فلسفی، علمی، اجتماعی و ادبی پیش از سقراط) به شمار می‌آورند. او عاشق طبیعت و نجوم بود. ادعا می‌شود با سفر به مصر، هندسه را برای یونانیان به ارمغان آورد. برخی از قضایای مهم ریاضی، مثل قضیه تشابه مثلث، به او نسبت داده می‌شود (محاسبه ارتفاع هرم خئوپس).

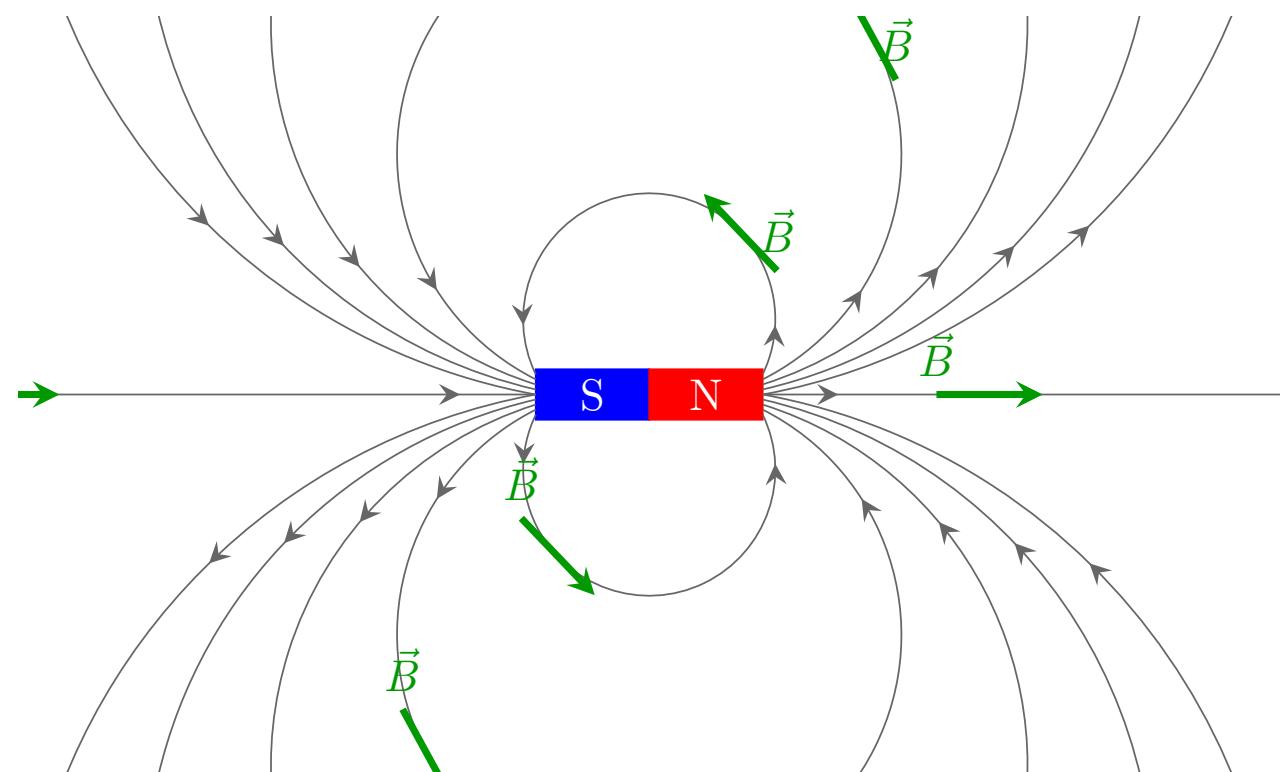
کار را با الکتریسیته شروع می‌کنیم. تالس در ۶۰۰ ق.م کشف کرد که یک تکه کهربا را اگر با یک پارچه پشمی مالش دهیم، می‌تواند پر پرندگان را جذب نماید. اما چه اتفاقی افتاده است؟!

همان‌طور که می‌دانید اتم‌ها از سه ذره اصلی پروتون، الکترون و نوترون تشکیل شده است. در اثر اتفاقاتی ممکن است تعدادی الکترون به جسم اضافه و یا از آن کاسته شود. با این رخداد تعادل باری اتم به هم خورده و یک میدان نیرو در اطراف اتم به منظور رسیدن به تعادل ایجاد می‌شود.

کولن (Coulomb) یک فیزیکدان فرانسوی بود که توانست برای نخستین بار دستگاهی بسازد که به وسیله آن می‌توانست نیرویی را که دو ذره باردار بر یکدیگر وارد می‌کنند، اندازه بگیرد.

مغناطیس

- در ۴۰۰۰ سال پیش در یونان قدیم، می‌دانستند که سنگ‌های ماگنتیت بطور طبیعی آهن را جذب می‌کند.
- تا مدت‌ها فکر می‌کردیم که الکتریسیته و مغناطیس دو پدیده کاملاً مستقل از هم هستند؟! اما ...



اولین رده پاهای مفهوم مغناطیس به داستان یک چوپان به نام Magnes در ۴۰۰۰ سال پیش بر می‌گردد. هنگامی که او در منطقه‌ای در یونان قدیم در حال چرای گوسفندان خود بود، متوجه شد که عصایش که سر آن از آهن بود سریعتر به زمین می‌چسبد. او زمین را کند و سنگ‌های مغناطیسی (آهن‌ربا) را کشف کرد. ارسطو و تالس نیز نخستین کسانی هستند که در مورد مغناطیس گفتگوهایی داشتند.

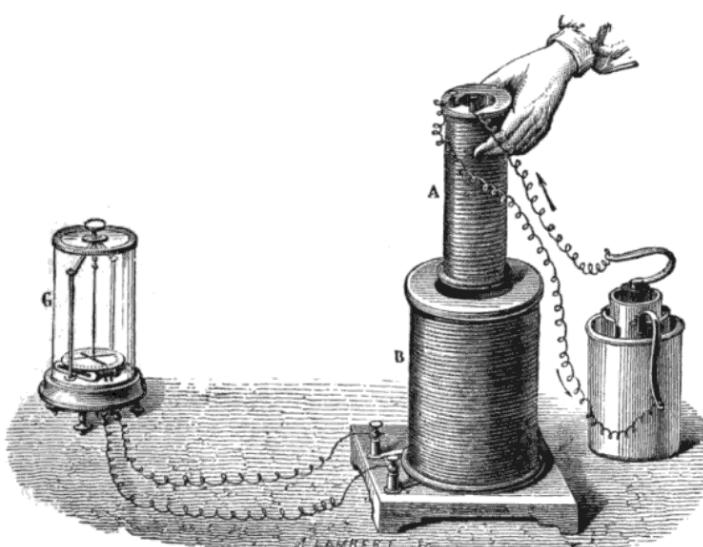
تا مدت‌ها فکر می‌کردیم که الکتریسیته و مغناطیس دو پدیده کاملاً مستقل از یکدیگر هستند. آیا این سخن درست است؟ شاید داشتن درک درستی از این‌که یک ماده چگونه خاصیت مغناطیسی از خود نشان می‌دهد، می‌تواند در یافتن پاسخ این پرسش یاریگر ما باشد.

الكتريسيته و مغناطيس (تأثير متقابل)

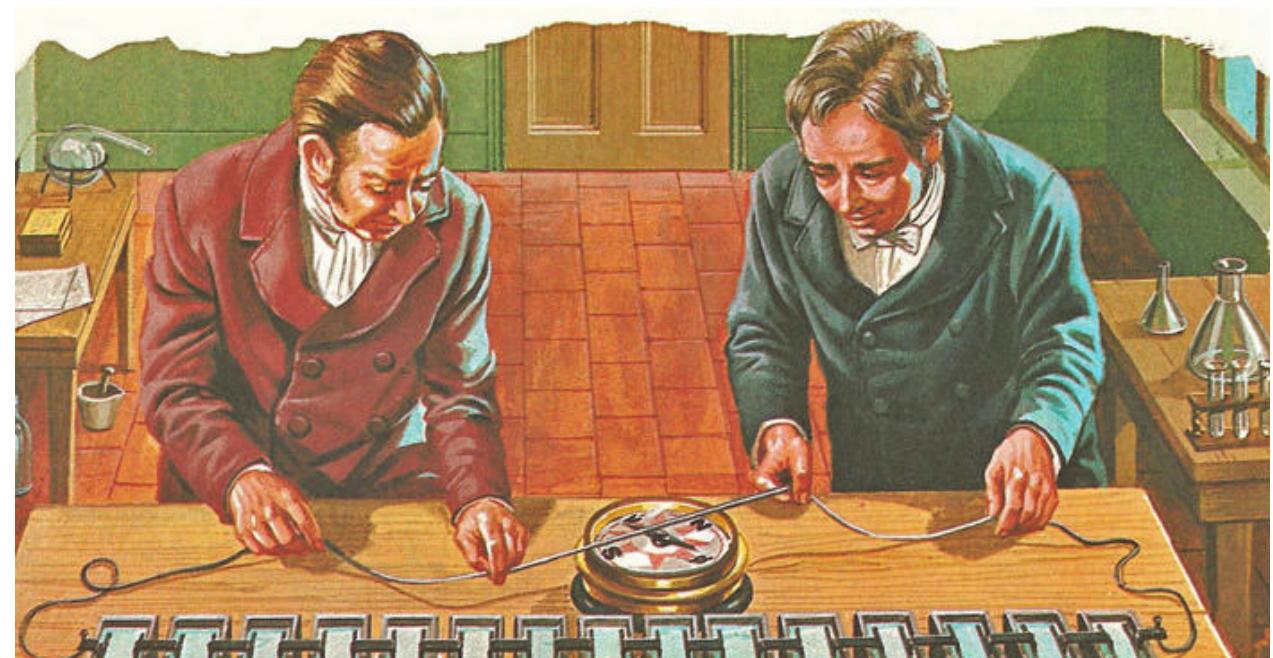
قانون آمپر: در ۱۸۲۰، اورستد، دید که جريان الكتريكي، بر روی **عقربه قطبنا** اثر می گذارد.

قانون القاي فارادي: در ۱۸۳۱، مايكل فارادي، با تغيير ميدان مغناطيسي، جريان الكتريكي توليد کرد.

آيا نيروى الكتروسيته و نيروى مغناطيسي دو جنبه مختلف از يك چيز هستند؟!



(ب) آزمایش فارادی



(آ) آزمایش اورستد

تا مدت‌ها فکر می‌کردیم که الکتریسیته و مغناطیس دو پدیده مستقل از یکدیگرند. تا این‌که در شب ۲۱ آوریل 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](#)).

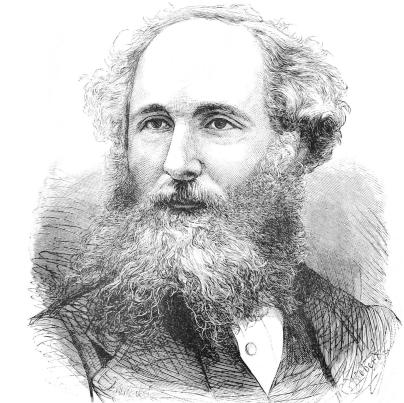
مایکل فارادی یک فیزیکدان و شیمی‌دان انگلیسی بود که در کارنامه خود کارهای بسیاری نظیر ساخت پیل الکتریکی و موتور الکتریکی را ثبت نموده است. او در ۱۸۳۱ مفهوم القای الکترومغناطیسی را کشف کرد. وی نشان داد که حرکت یک آهنربا از درون یک سیم‌پیچ می‌تواند موجب ایجاد جریان الکتریکی گردد. فارادی دریافت که تغییر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

الکترومغناطیس (Electromagnetic)

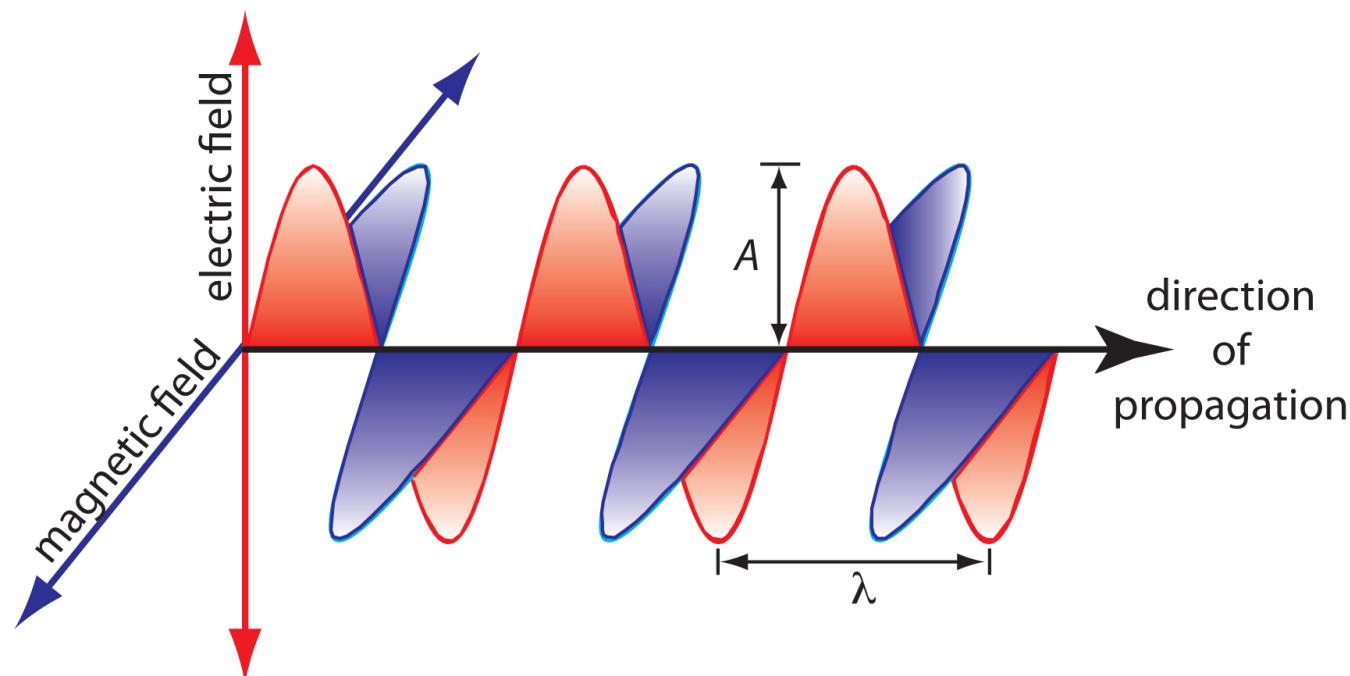
در ۱۸۶۵، ماکسول James Clerk Maxwell در مقاله‌ای توضیح داد که چگونه

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 (آ)

حتی خدا هم نمیتواند این کشتی را غرق کند!



غرق کشتی تایتانیک در اولین سفر خود با ۱۵۱۴ کشته و تنها ۷۱۰ نجات یافته در سال ۱۹۱۲ میلادی

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



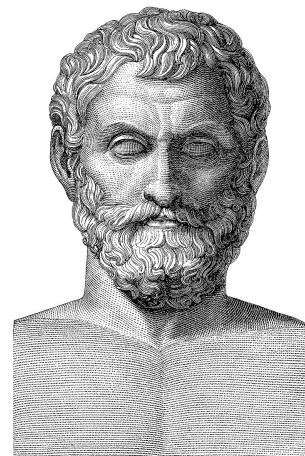
Alexander Graham Bell (ا)

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. او این آزمایشگاه را با استفاده از جایزه ۵۰,۰۰۰ فرانکی که از دولت فرانسه گرفته بود، تاسیس کرد.

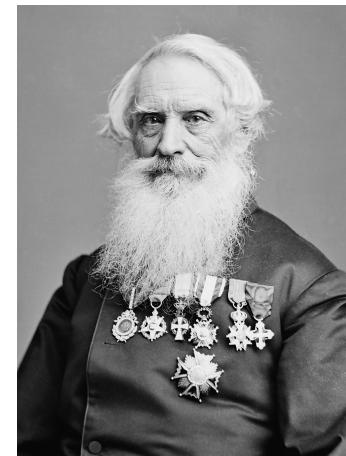
اختراعات و اکتشافات مهم و زیادی در این آزمایشگاه صورت پذیرفته است. شامل نجوم رادیویی، ترانزیستور، لیزر، سلول‌های خورشیدی، تئوری اطلاعات، (OFDM، Orthogonal Frequency Division Multiplexing)، سیستم عامل Unix زبان‌های برنامه نویسی C و C++. نه جایزه نوبل و پنج جایزه Turing (به نوعی نوبل در حوزه علوم کامپیوتر) برای کارهایی که در آزمایشگاه بل تکمیل شده است، به این آزمایشگاه اهدا شده است.



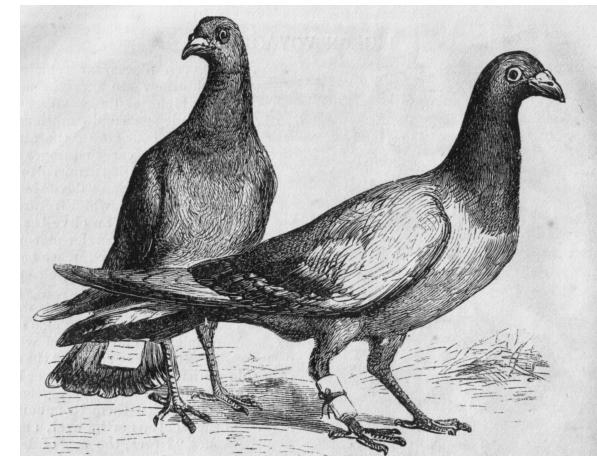
یک چوپان و مغناطیس



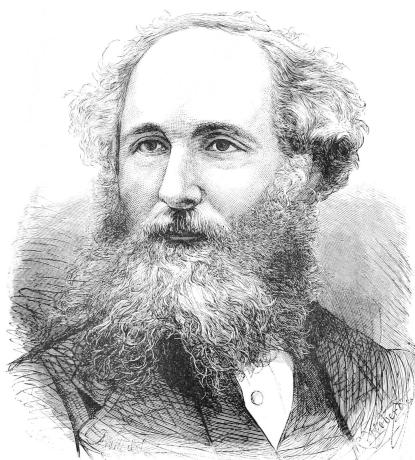
تالس و الکتریسیته



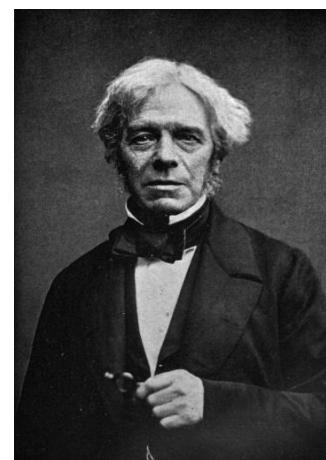
مورس و تلگراف



کبوتر نامه‌رسان



ماکسول و الکترومغناطیس



مایکل فارادی



اورستد و میدان الکتریکی به مغناطیس



مارکونی و تلگراف بی‌سیم



تسلا و تلگراف بی‌سیم



هاینریش هرتز



ارمسترانگ و رادیو FM



جان لوگی برد



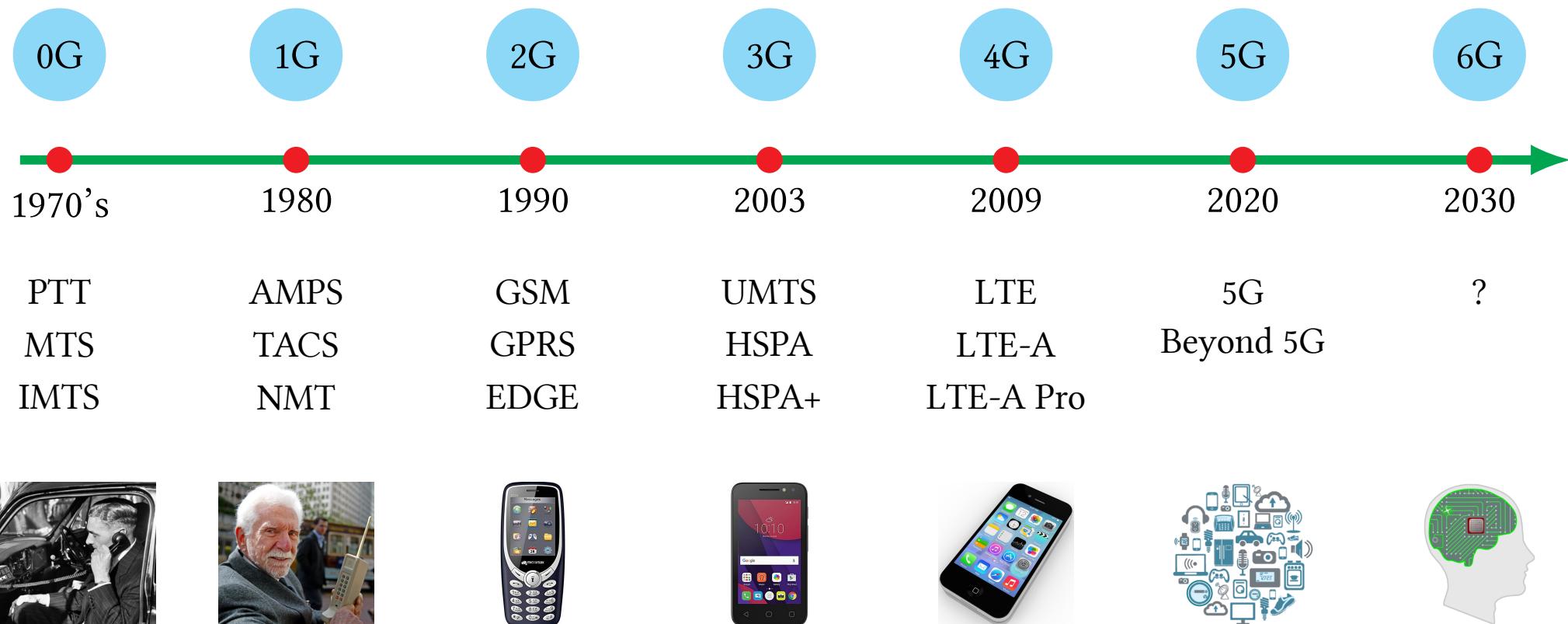
فسندن و رادیو AM



تلفن و شروع یک تحول

توسعه

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



نسل شش



XR Application, BCI, CRAS, Block Chain, Metamaterial

بحث کلاسی برای جلسه آینده



☞ در مورد CRAS و Metamaterial تحقیق کنید و بگویید استفاده از آن چه کمکی به ما خواهد کرد؟

در مقالات ارایه شده در این حوزه، این موارد به عنوان توسعه‌ای برای نسل شش در نظر گرفته شده است:

- برنامه‌های کاربردی XR: در گزارش مقدماتی Network 2030 که از سوی اتحادیه جهانی مخابرات ITU (Holographic International Telecommunication Union) منتشر شده است، از ارتباط هلوگرافیک (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 با گذردهی بالا بیش از پیش احساس می‌گردد، و این به معنای تغییر ساختار اینترنت از حالت Best Effort خواهد بود.

BCI (Wireless Brain-Computer Interactions) که منجر به تعاملات بین مغز و کامپیوتر به صورت بی‌سیم

می‌شود که ارتباط مستقیم بین مغز و 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 پهپاد، خودروهای خودران و گروه پهباوهای خودکار خواهد بود.

• تاثیرگذاری نقش BlockChain

• نرخ داده در حد ترابیت بر ثانیه برای آن در نظر گرفته شده است.

• استفاده از فراماده که انقلابی است عظیم در عرصه تکنولوژی. 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.

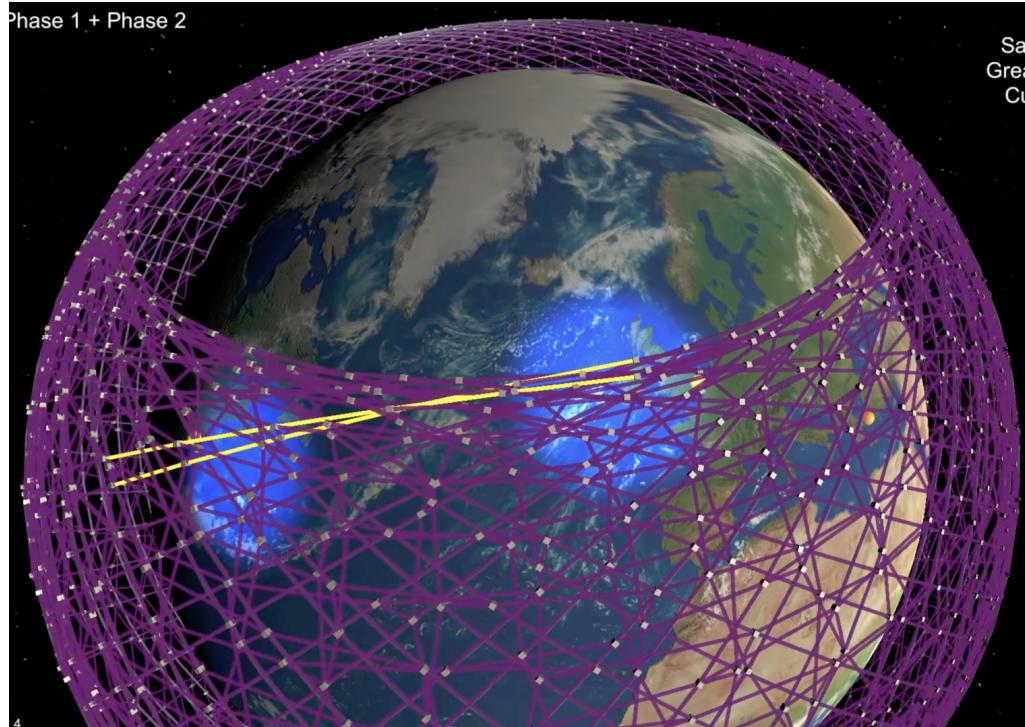
• تغییر نگرش از انبوه داده به داده‌های کوچک به صورت غیرمت مرکز.

- تغییر از شبکه‌های خودسامانده به شبکه‌های خود پایدار برای مقابله و تطابق با شرایط محیطی به شدت متغیر.
- پایان عصر گوشی‌های هوشمند، رونق وسایل پوشیدنی

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 4519 ماهواره).

☞ Ping بین 25-60 ms و گذردهی بارگیری 40-220 Mbps

۶۰۰۰ مورگ اپس

اهمیت نرم افزار در حوزه مخابرات

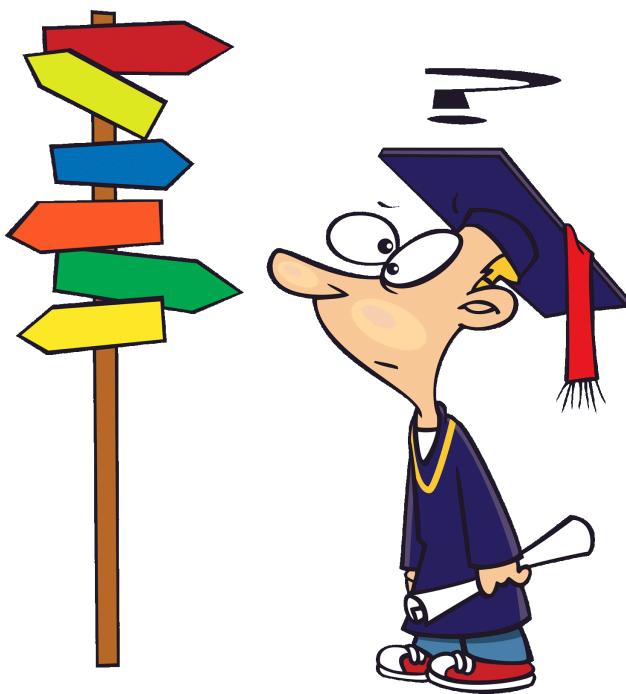


چرا ما کامپیوتری‌ها باید مخابرات یاد بگیریم؟

اهمیت کارکرد در لایه‌های لایه پیوند داده و لایه فیزیکی به دلیل SDR

SDN (Software Defined Networks) و (Software Defined Radio)

قدرت برتر در اختیار SON (Self Optimized Network)



- ♠ 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: مفاهیم دسترسی چندگانه (Multiple Access)
- ♠ فصل پنجم: کدگذار کanal (Channel Coding)، کد تصحیح خطأ و کد تشخیص خطأ

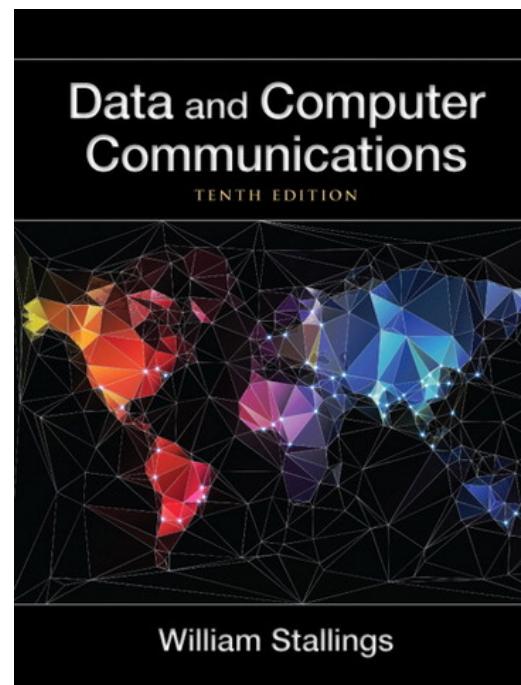
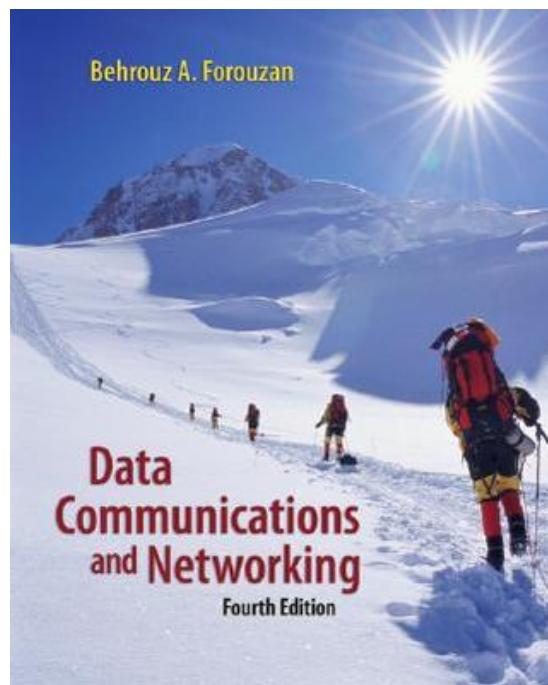
نحوه نمره‌دهی



- امتحان‌های کوتاه کلاسی (۱۱ نمره) - پنج امتحان
- حضور در کلاس (دو نمره)
- امتحان پایان ترم (سه نمره)
- تمرین‌ها و پروژه‌ها (پنج نمره)

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.



عضویت در کanal تلگرامی درس (لینک در LMS درس)



تعداد پنج کوییز در سامانه سامیا در سر کلاس برگزار می‌شود. هر فرد می‌تواند موجه یا غیرموجه حداکثر در یک کوییز شرکت نکند، در این صورت نمره کوییزی که شرکت نکردید بین سایر کوییزها پخش می‌شود.



برگزاری کلاس‌های حل تمرین به صورت مجازی و تعامل با TA‌ها



تعیین نماینده برای کلاس

برخی نکات (ادامه)



تمرین‌ها و گزارش پروژه‌ها باید به صورت تایپ شده و به زبان فارسی باشد. نمرات تمرین‌هایی که با LATEX تحويل داده شوند، از 100 حساب خواهد شد ($10 + 90$). زمان تحويل به هیچ وجه تمدید نمی‌شود،

جریمه	زمان
۵ درصد	روز اول
۱۵ درصد	هفته اول
۳۰ درصد	هفته دوم



تمرین و پروژه به صورت فردی است و نه گروهی!

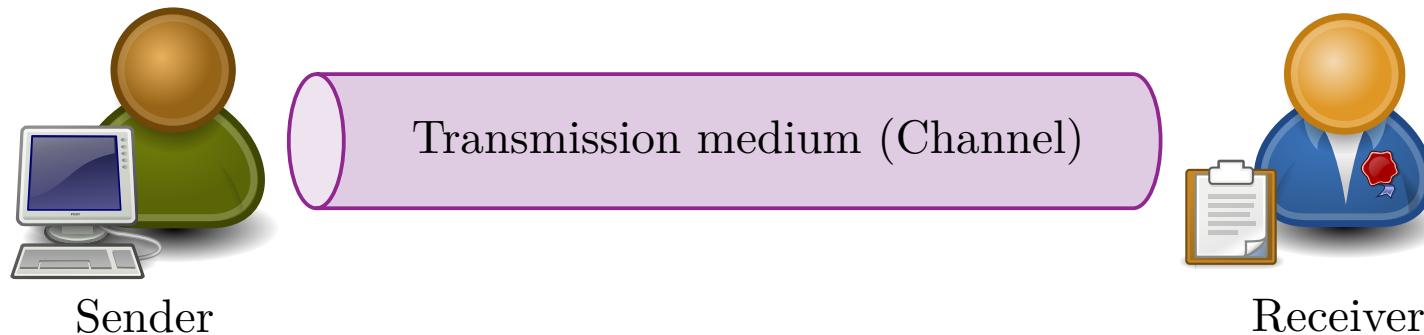
برای پیاده‌سازی پروژه‌های این درس باید از نرم‌افزار MATLAB استفاده کنید.



لطفا کپی نکنید!!

معرفی مفابرانت دارو

♠ 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.



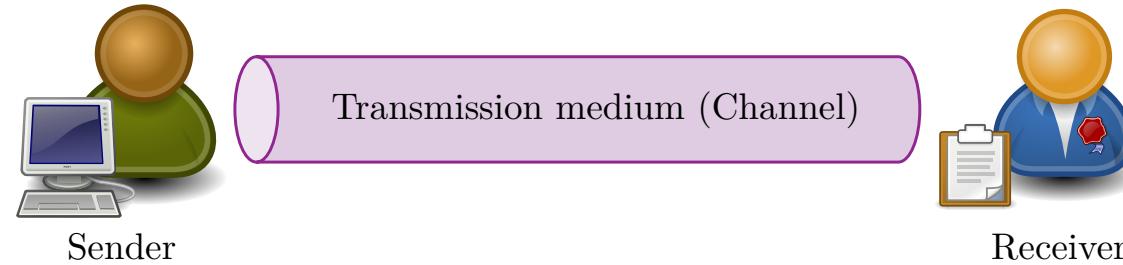
ارسال سیگнал به صورت یک موج الکتریکی (در کابل شبکه) و یا یک موج نوری (فیبرنوری) و ...

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.



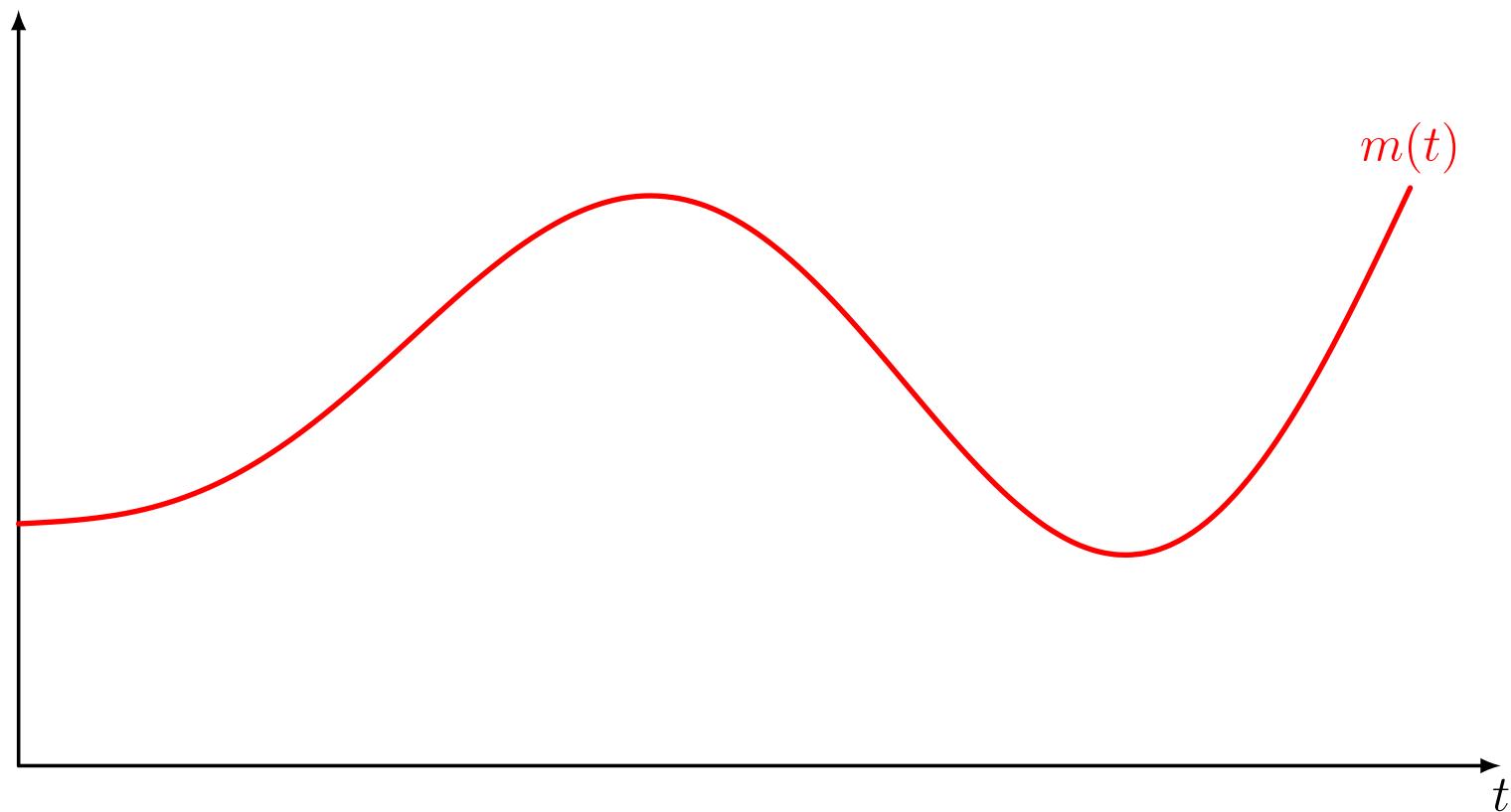
علم مخابرات چند رسالت اصلی دارد. منابع در کanal محدود است. به عنوان مثال با یک کابل شبکه ده گیگ تنها می‌توانید ده گیگابایت اطلاعات در ثانیه منتقل کنید. علم مخابرات باید بتواند از این منبع محدود، کمال استفاده را بکند. با توجه به مطالبی که در مورد محدودیت طیف رادیویی (Radio Spectrum) بیان شد، دریافتیم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

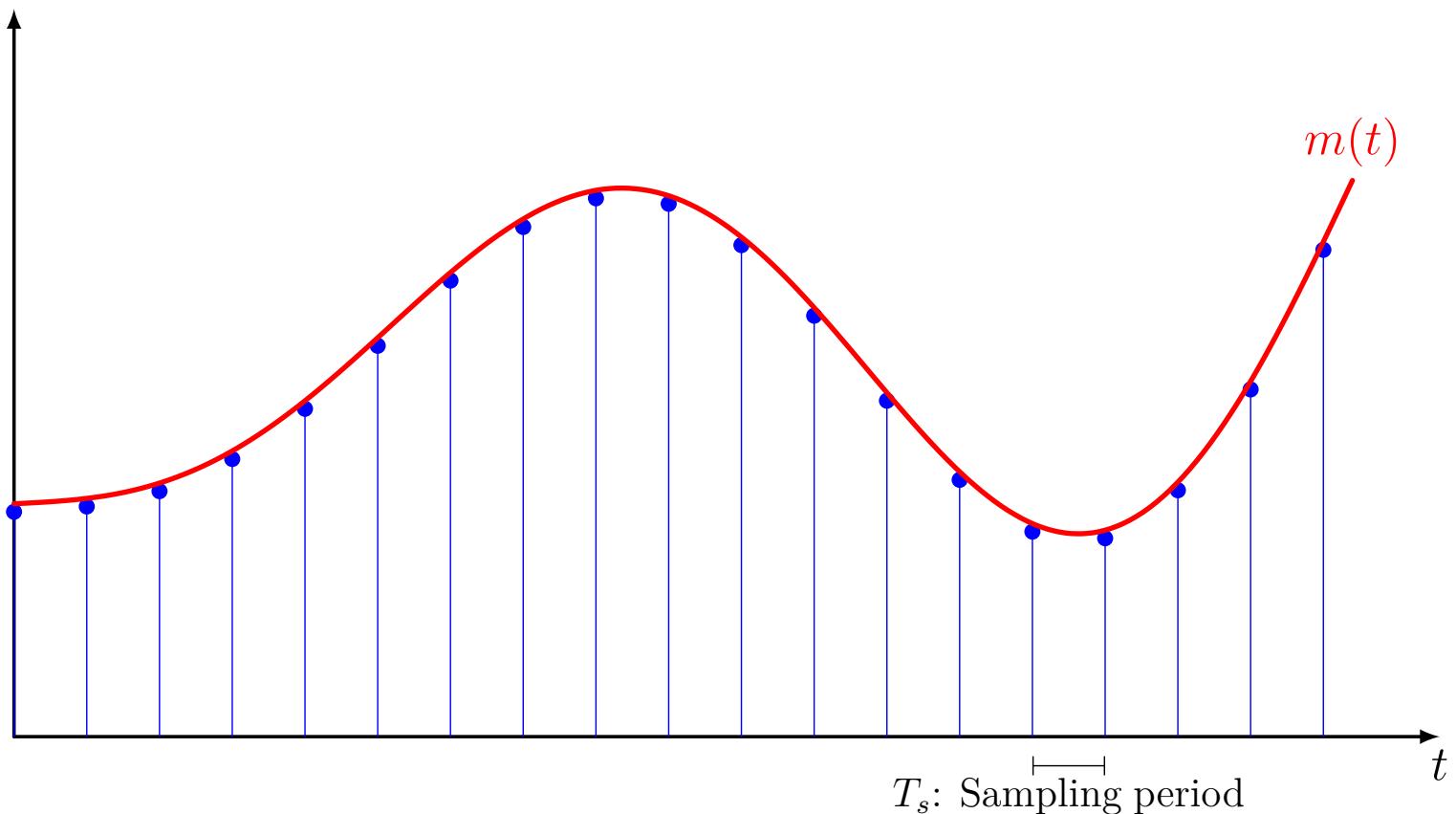
بود. به همین منظور در هر سامانه ارتباطی می‌بایست سازوکاری برای مدیریت به اشتراک‌گذاری رسانه‌های مشترک وجود داشته باشد. اصطلاحاً به این سازوکارها کنترل دسترسی چندگانه و یا دسترسی به رسانه گفته می‌شود. رعایت عدالت، تضمین کیفیت خدمات و بالابردن کارایی، مهم‌ترین اصول طراح در طراحی یک سازوکار کنترل دسترسی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

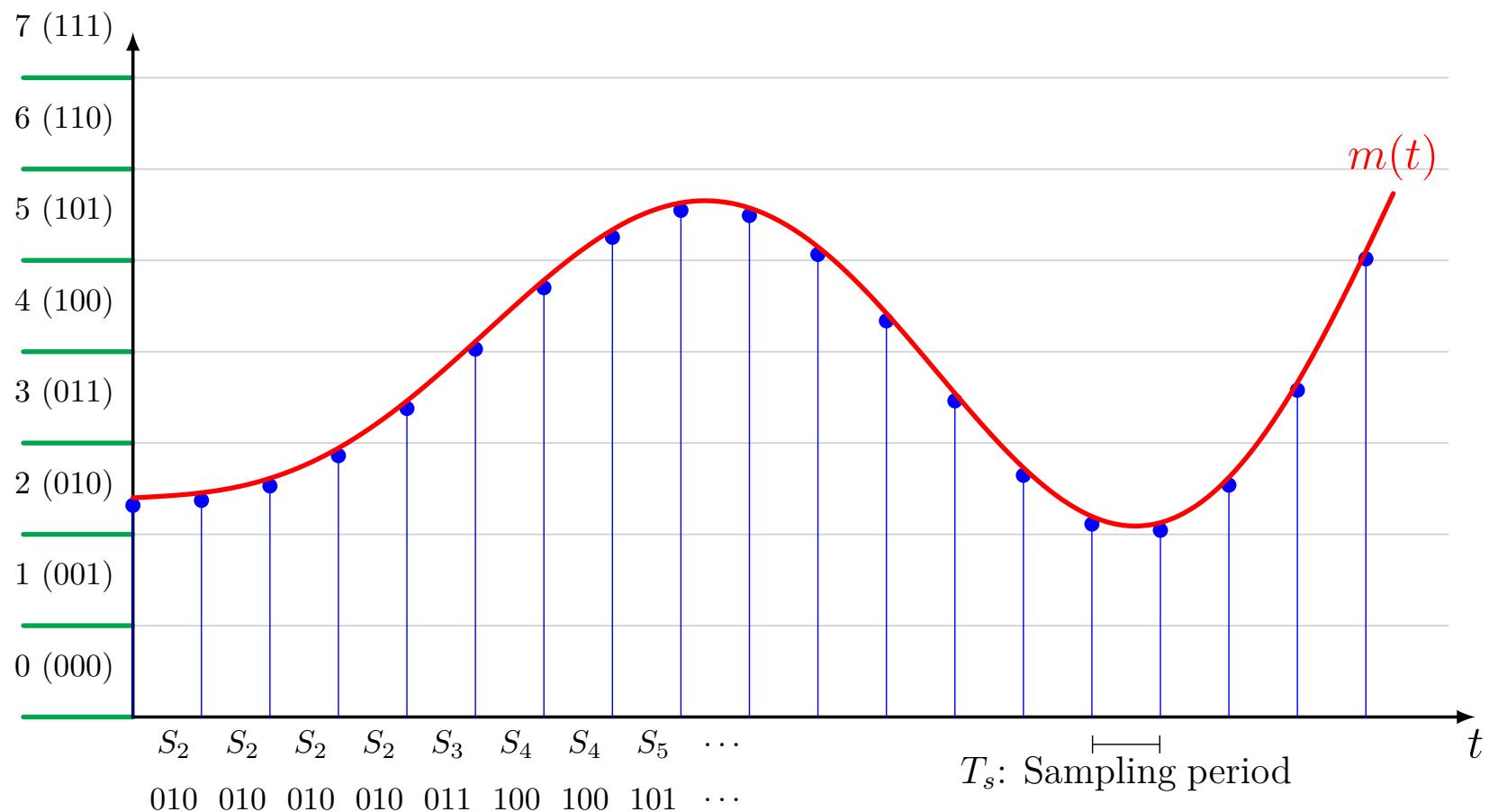


سیگنال گستته: سیگنال‌های گستته از نظر مقدار پیوسته هستند، ولی از جهت زمانی گستته، یعنی فقط در زمان‌های خاصی، مقدار سیگنال تعریف شده است (فرکانس نمونه‌برداری $f_s = \frac{1}{T_s}$).



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.

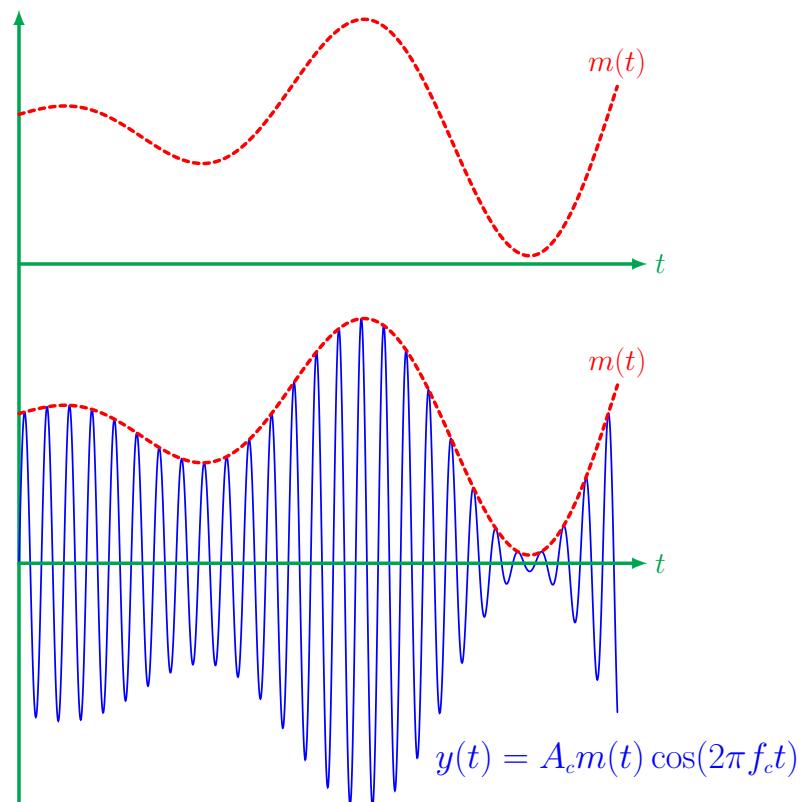


مُخَبَّرات آنالوگ

بلوک‌های تشکیل‌دهنده یک سامانه 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 $A_c \cos(2\pi f_{ct}t)$ نشانگر سیگنال حامل باشد، آن‌گاه رابطه مدولاسیون به صورت زیر خواهد شد.

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

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؟ پهنانی باند ارسال، دو برابر می‌شود.

چرا مدولاسیون؟

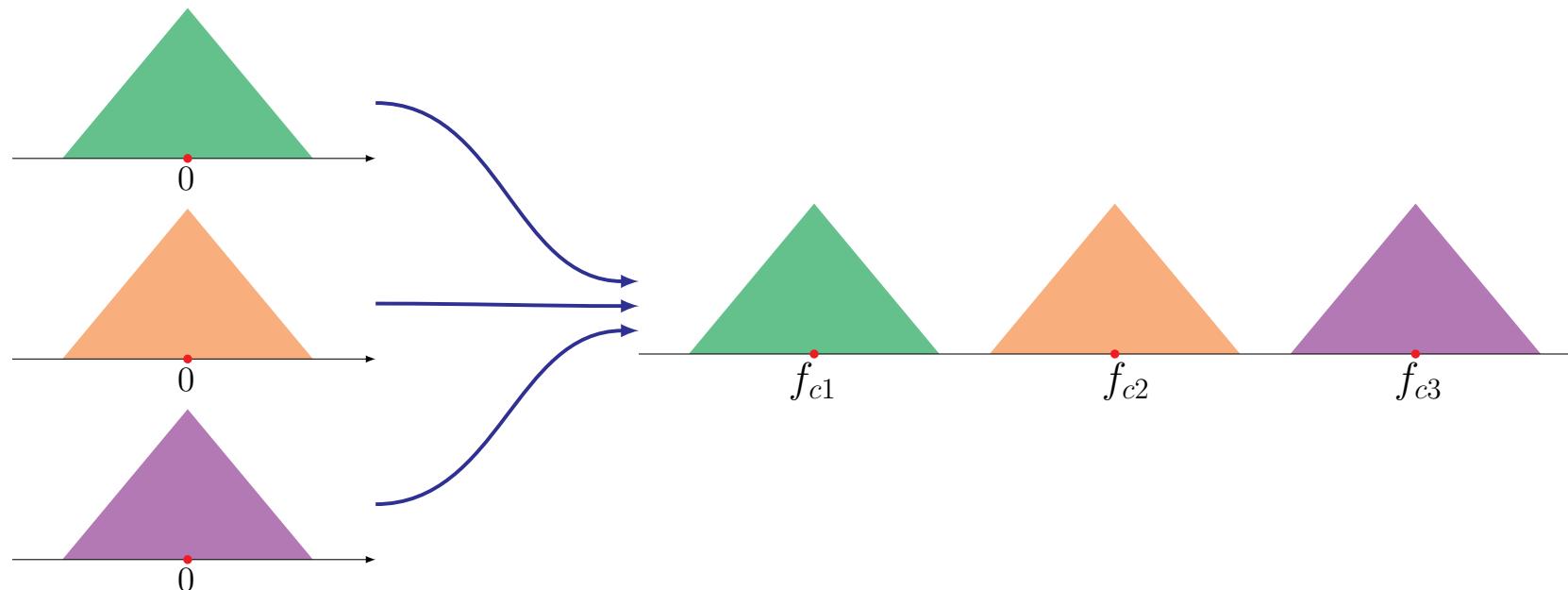


چرا باید از مدولاسیون استفاده کنیم؟

- 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).



چرا مدولاسیون؟ (ادامه)

☞ چرا در رادیو AM طول آنتن بزرگ است؟

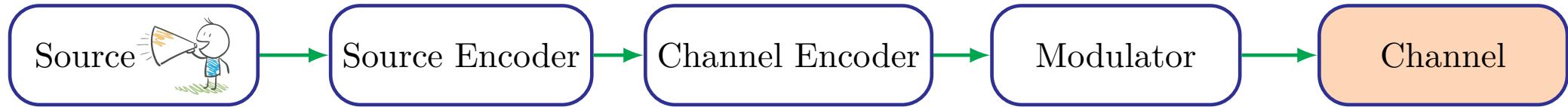


اگر $f = 1 \text{ GHz}$ باشد، آن‌گاه در مورد طول آنتن خواهیم داشت:

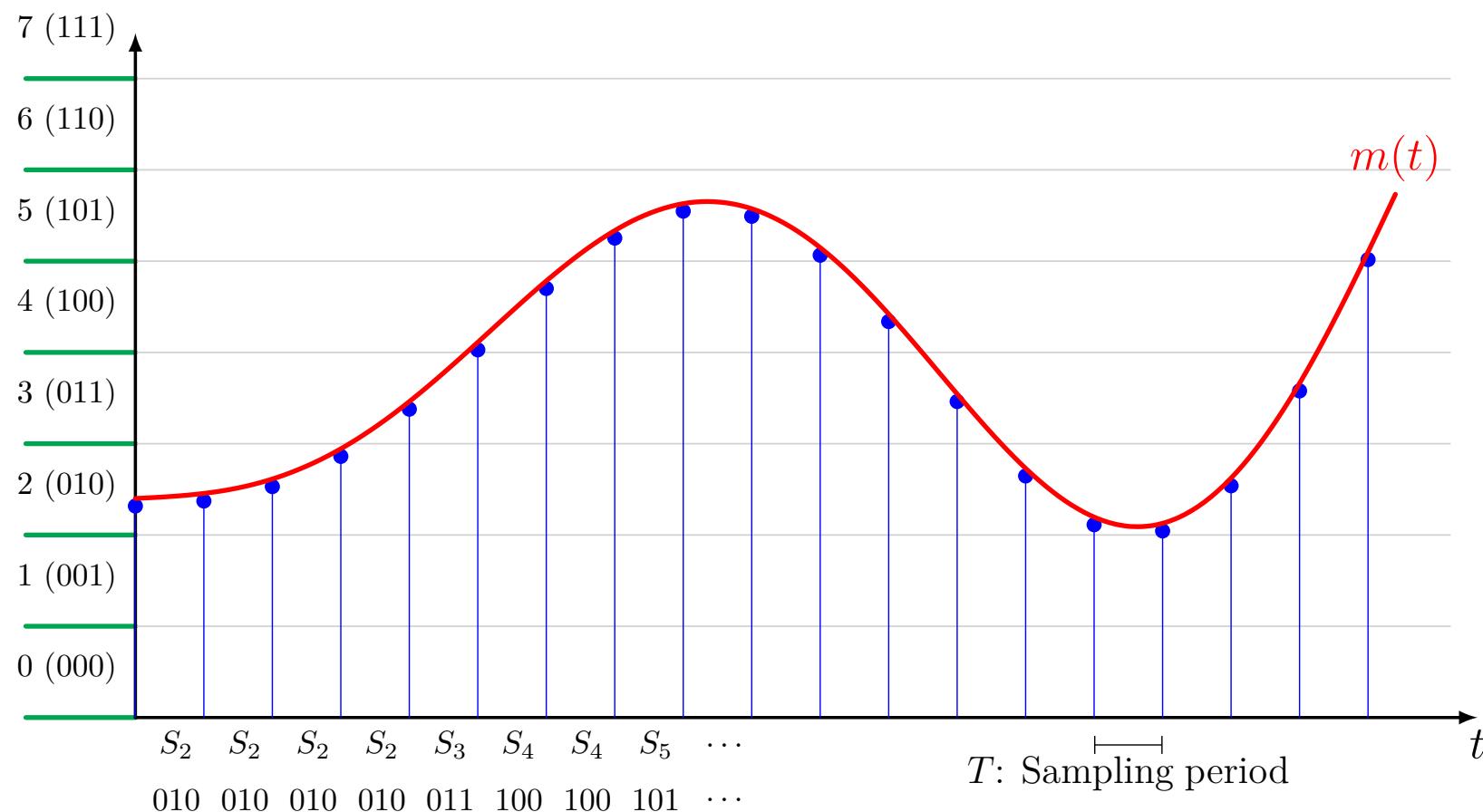
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^{+8}}{1 \times 10^{+9}} = 30 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad L > \frac{\lambda}{4} \approx 7.5 \text{ cm}$$

مُهابرات رقمي - كرگزار منبع

بلوک‌های تشکیل‌دهنده یک سامانه مخابرات رقمی - کدگذار منبع



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:

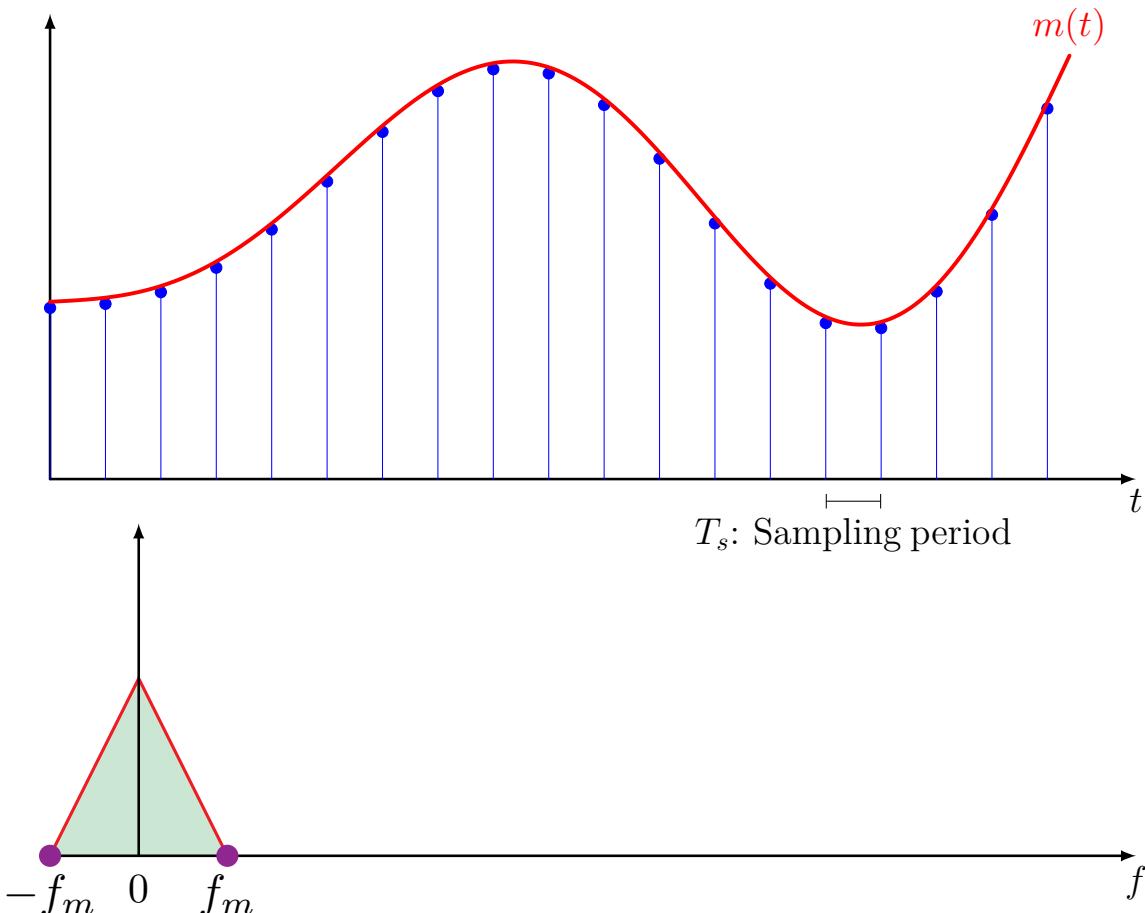
❶ نمونه‌برداری: نمونه‌برداری یعنی در زمان‌های معین، نمونه‌هایی از سیگنال را انتخاب کنیم.

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 رقمی - قضیه نایکوئیست



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



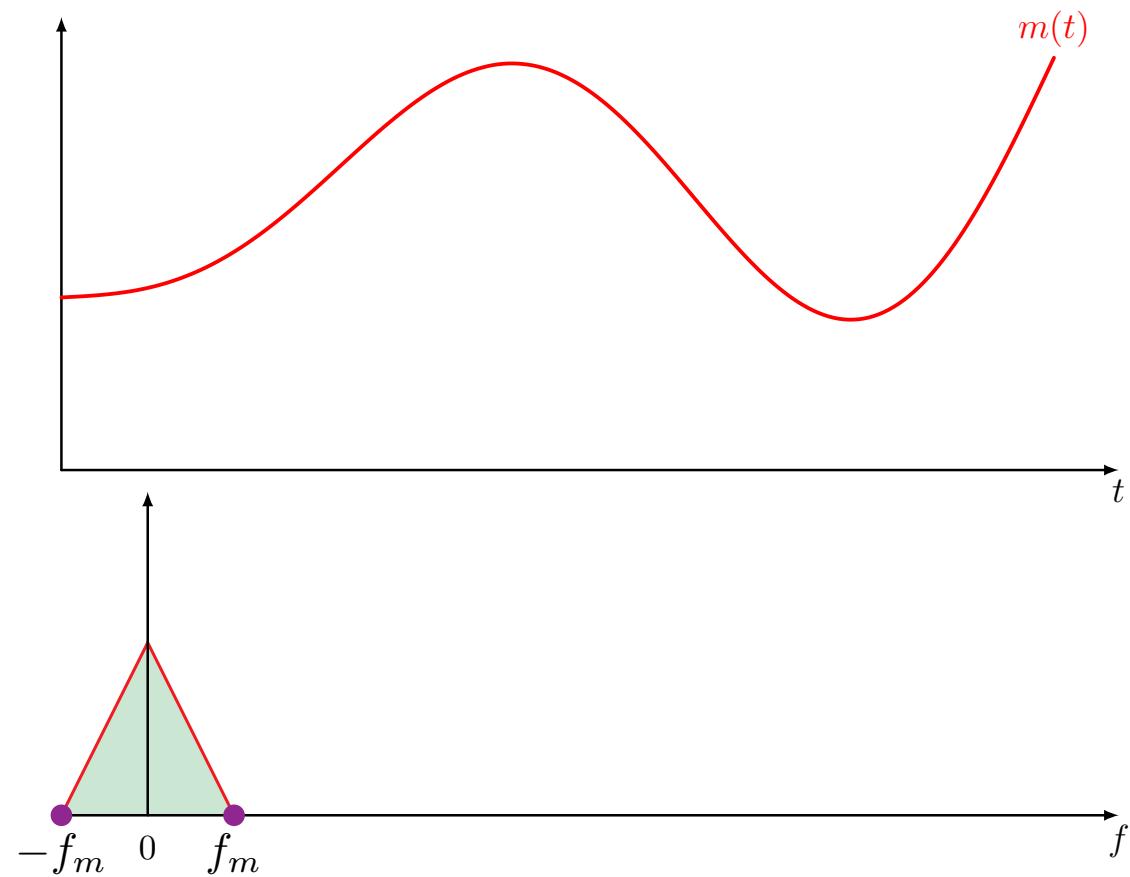
Harry Nyquist

$$f_s > 2 \times f_m$$

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

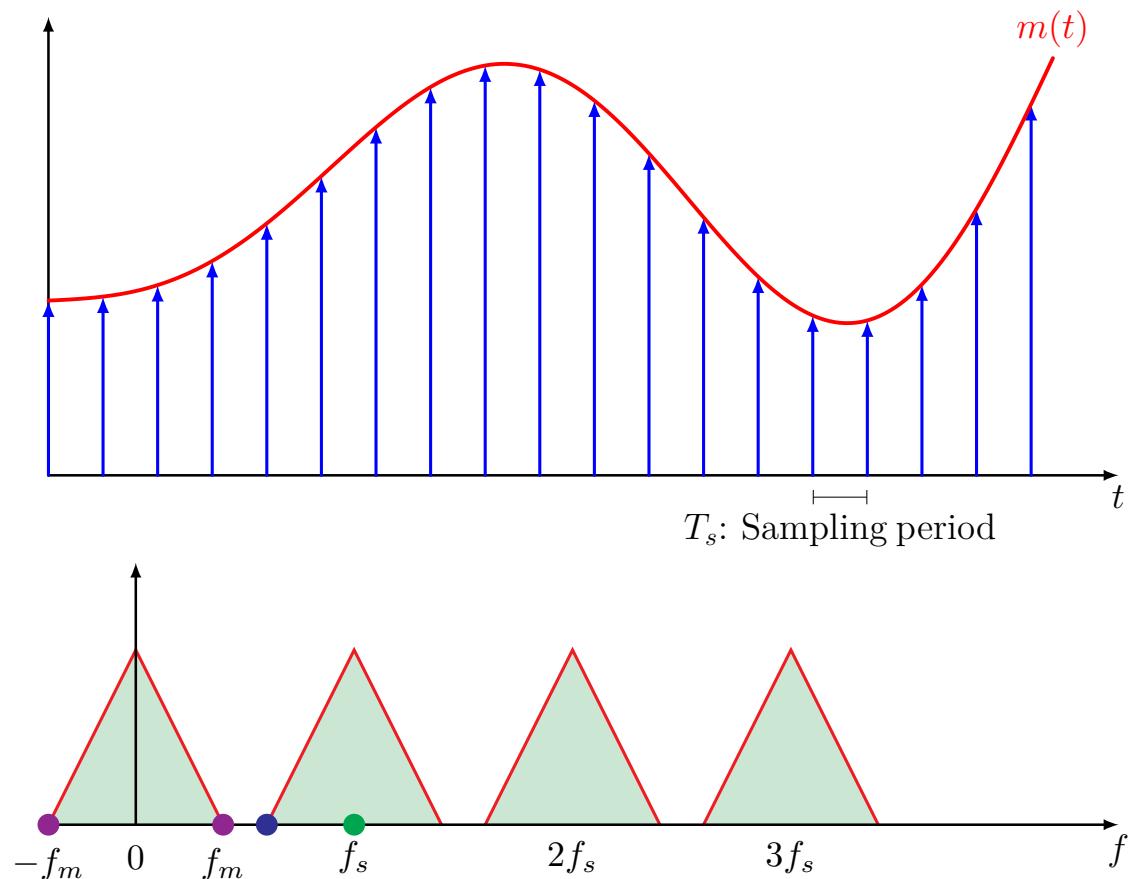
نمونه برداری

ابدا سیگنال پیوسته $m(t)$ را به صورت زیر در نظر بگیرید:

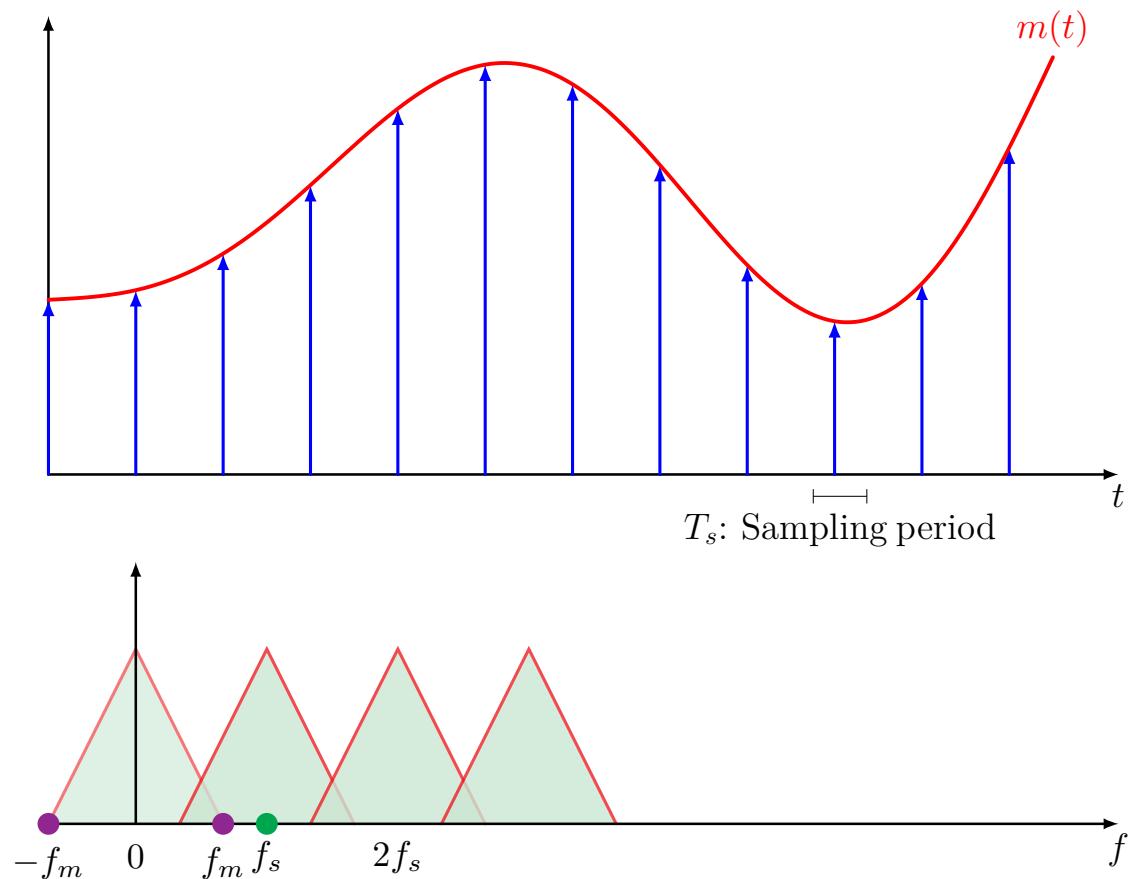


نمونه‌برداری

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



اگر این فرکانس رعایت نشود؟!



یک آزمایش عملی

كل بازه شنوايی انسان 20Hz – 20KHz است. [این فیلم](#) را مشاهده کنید، تا بفهميد که گوش شما تا چه بازه فرکانسی را می‌شنود؟ همچنین [این پیوند](#) را نيز مشاهده کنید.

برنامه کاربردی [Audacity](#) را نصب کنید و يك فایل نمونه در آن وارد کنید.

با استفاده از امکان Lowpass Filter موجود در منوی Effect، سعی کنید فایل موردنظر را از بازه‌های 1KHz و 4KHz و 12KHz فیلتر کنید و کیفیت صدا و موسیقی را با یکدیگر مقایسه کنید.

- فایل اصلی
- فایل بعد از گذر از فیلتر 1KHz
- فایل بعد از گذر از فیلتر 4KHz
- فایل بعد از گذر از فیلتر 12KHz

مخابرات رقمی - کدگذار منبع

- 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} باید نمونه‌برداری کرد ($f_s > 2f_{\max} = 8 \text{ kHz}$).
 - 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؟!
- برای 64 kbps به $\frac{64}{1.35} \text{ kHz}$ نیاز است. پهنانی باند بیشتر از مخابرات آنالوگ. 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



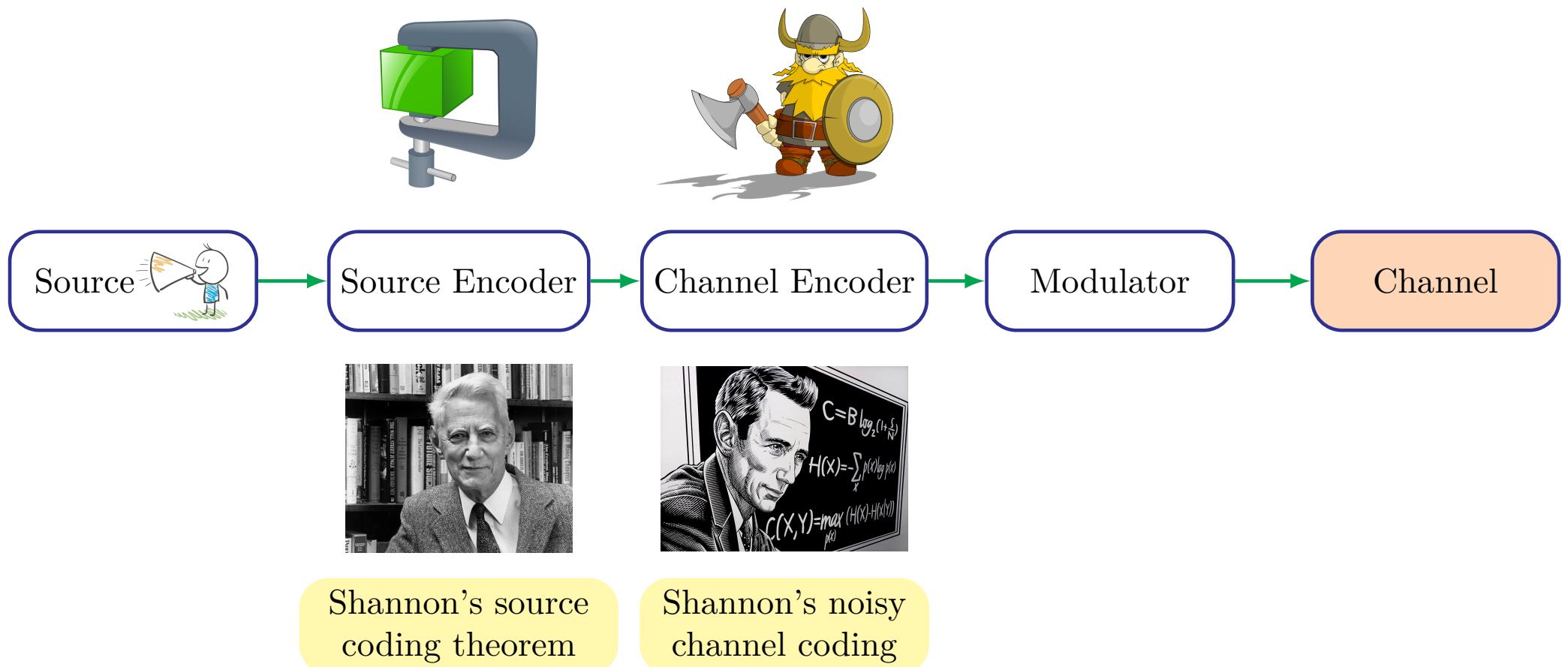
Shannon ریاضی‌دان، مهندس الکترونیک و رمزنگار معروف آمریکایی است که به عنوان پدر نظریه اطلاعات شناخته می‌شود. او در مقاله ۱۹۴۸ خود علم نظریه اطلاعات را پایه‌گذاری می‌کند و در مقاله ۱۹۴۹ خود علم رمزنگاری را بنیان‌گذاری می‌کند. شانون در هر دو مقاله به مبحث ارسال پیام در یک سامانه مخابراتی می‌پردازد، اما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

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

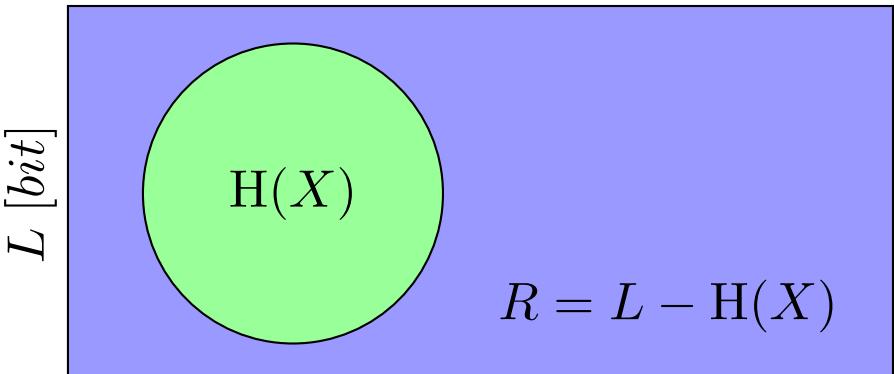
Shannon, Claude Elwood. "Communication theory of secrecy systems." *Bell system technical journal* 28, no. 4 (1949): 656-715.



یادی از شانون ...



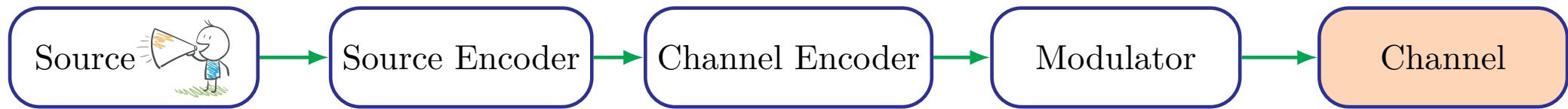
مثال ۱ این را باید مدنظر قرار داد، که هشت میلیون نفر از کودکان ایرانی زیر ۱۲ سال، کاربر بازی‌های رایانه‌ای و کامپیوتری در طول روز هستند (128). ۸ میلیون کودک زیر ۱۲ سال، بازی کامپیوتری می‌کنند (48).



◀ شanon 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. شanon می‌گفت می‌توان یک پیام را تا $H(X)$ بیت فشرده نمود، بدون از دست رفتن اطلاعات.

مفابرات، رقمی - کرگزار، گنال

بلوک‌های تشکیل‌دهنده یک سامانه مخابرات رقمی - کدگذار کanal



☞ **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.

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

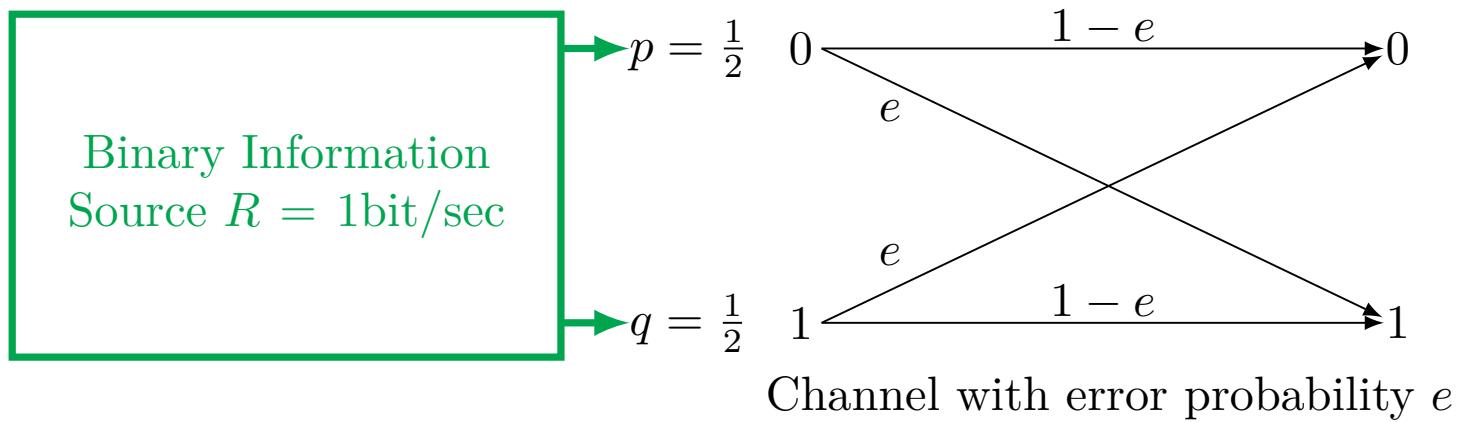
$$10011011 \Rightarrow 111\textcolor{green}{0}00\textcolor{green}{0}00\textcolor{green}{1}11\textcolor{green}{1}11\textcolor{green}{0}00\textcolor{green}{1}11\textcolor{green}{1}11\textcolor{green}{1} \quad \textit{Error correction}$$



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.



ظرفیت کanal (ادامه)

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

$10011011 \implies 1\textcolor{teal}{11} \textcolor{teal}{000} \textcolor{teal}{000} \textcolor{teal}{111} \textcolor{teal}{111} \textcolor{teal}{000} \textcolor{teal}{111} \textcolor{teal}{111}$

احتمال خطا به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

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

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

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

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.

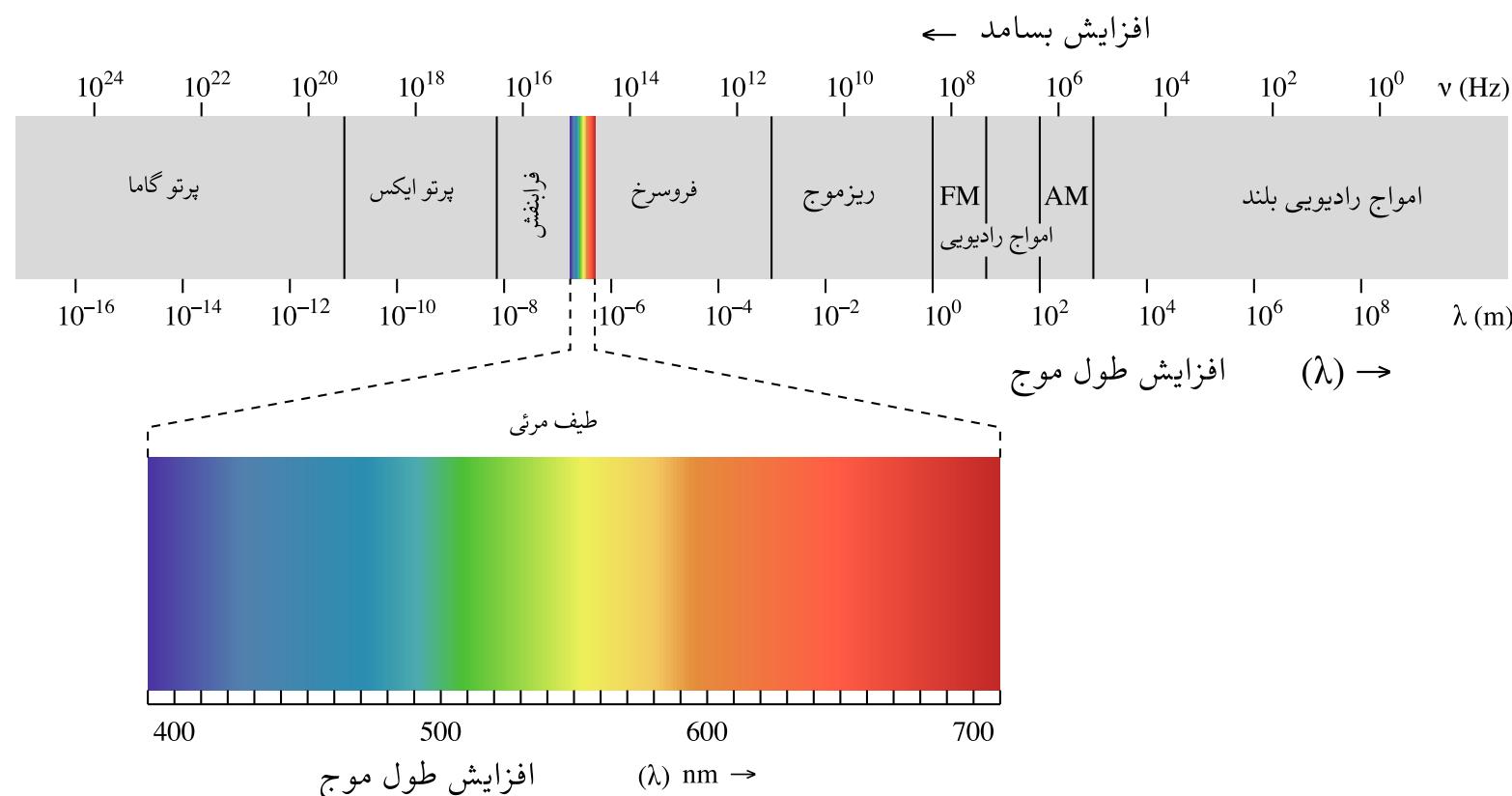


او چه می‌گوید؟



محدوده انتقال داده در طیف امواج الکترومغناطیسی

- تاکنون توانسته ایم تنها از بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی در مخابرات بی سیم استفاده کنیم.
- طیف رادیویی (Radio Spectrum) بازه فرکانسی بین 20kHz تا 300GHz.
- هر بخش از طیف ویژگی مشخصی دارد، و یک سامانه مخابراتی نمی تواند در هر بخشی فعالیت کند.



به دلایل عملی ما تنها می‌توانیم از بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی برای تبادل اطلاعات استفاده کنیم. این بخش شامل سه قسمت امواج بلند رادیویی، امواج رادیویی و به تازگی ریزموج‌ها است. به این بخش اصطلاحاً طیف رادیویی (Radio Spectrum) می‌گوییم، که بازه فرکانسی 30 گیگاهرتز تا 300 هرتز را در بر می‌گیرد. در این درس ما بر روی شبکه‌های مخابرات بی‌سیم تمرکز خواهیم کرد، بدین‌سان بدهی است که سروکار ما در این درس بر محوریت طیف رادیویی، خواهد گردید.

هر بخش از طیف ویژگی مشخص و معینی دارد که ما در این درس آن را خواهیم آموخت. پر واضح است که یک سامانه مخابراتی نمی‌تواند به صورت دلخواه در هر جایی از طیف به فعالیت بپردازد. به عنوان مثال، اتمسفر زمین امواج بزرگ‌تر از 30 کیلوهرتز تا 30 مگاهرتز را، مثل یک آینه بازتاب می‌کند، پس از این قسمت از طیف نمی‌توان برای مخابره با ماه استفاده کرد. به عنوان مثال دیگر امواج در فرکانس‌های حدود 60 گیگاهرتز به بالا به دلیل افت زیاد مسیر کوتاهی را می‌توانند طی کنند، پس این بخش از طیف برای مخابرات دوربرد کاربرد ندارد.

به نظر می‌رسد تقسیم‌بندی ما در بخش طیف رادیویی خوب نیست، شاید بهتر باشد که آن را به بخش‌های

کوچکتری تقسیم‌بندی کنیم.

نهاد استانداردسازی RF (Radio Frequency) ITU (International Telecommunication Union) را به تعدادی قسمت کوچکتر تقسیم‌بندی می‌کند. گاه به هر جزء این تقسیم‌بندی باند فرکانسی (Frequency Band) نیز می‌گوییم؛ مثلاً می‌گوییم باند HF.

امروزه فرکانس‌های کمتر از 20kHz کاربرد مخابراتی چندانی ندارند. باند (Band) نیز به دلیل میزان افت زیادش، در مخابرات با شعاع کمتر از 1 کیلومتر بکار می‌رود. اما در این میان هزاران کاربرد وجود دارند که می‌خواهند از این منبع (بازه فرکانسی) بهره گیرند. از شبکه‌های تلفن همراه گرفته تا WiFi، WiMAX، بی‌سیم پلیس، سامانه‌های همه‌پخشی (Broadcast) رادیویی و تلویزیونی، مایکروویو و

او چه می‌گوید؟



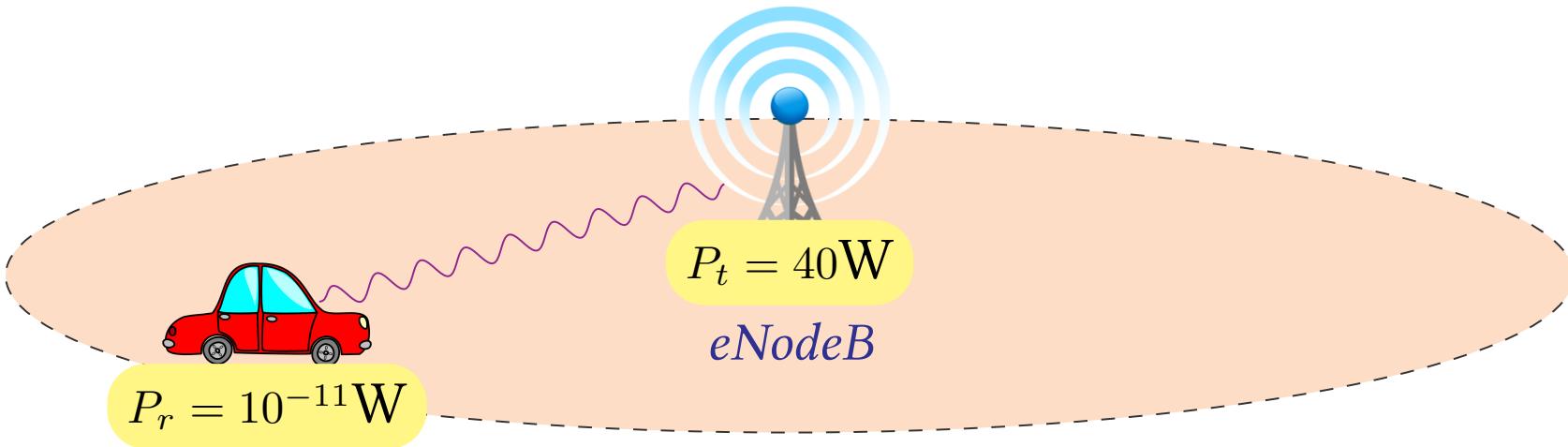
فارس
FARSNEWS

M.Hasan Zarimanesh

مسنون

mashreghnews.ir

مثالی از ظرفیت شانون



در شبکه LTE بیشینه پهنای باند (Bandwidth) مورد استفاده برابر با $B = 20 \text{ MHz}$ است. در حالتی که

توان دریافتی برابر 10^{-11}W و توان نویز برابر با $6 \times 10^{-13} \text{W}$ است، پس خواهیم داشت:

$$\frac{S}{N} = \frac{10^{-11} \text{W}}{6 \times 10^{-13} \text{W}} \approx 16$$

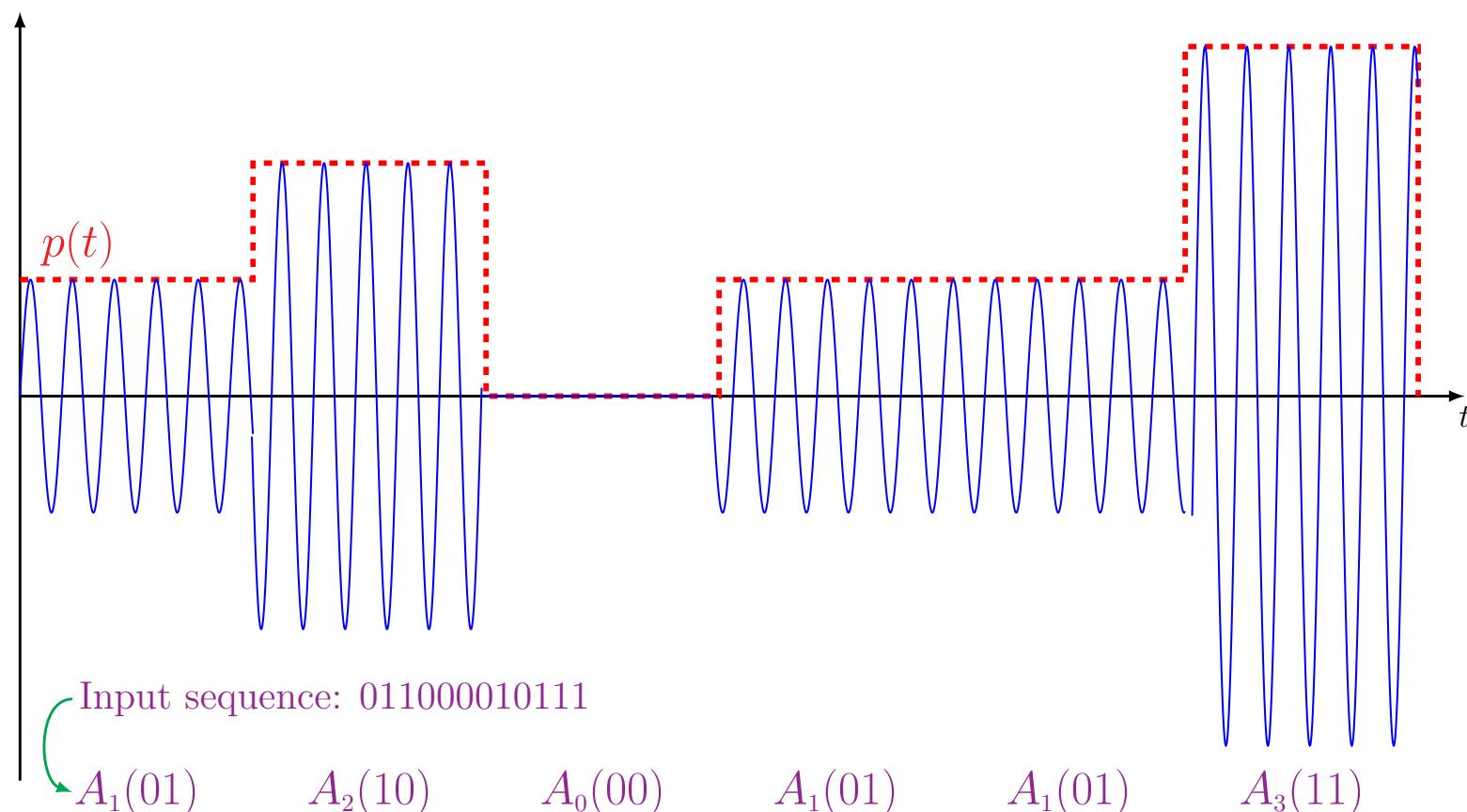
$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 20 \log_2(1 + 16) \approx 81.49 \text{ Mbps}$$

مُهَايِّرَاتٍ رُّفْعَى - مَرْوَلَاسِيُور

مخابرات رقمی - مدولاسیون



مودولاسیون: برای تبدیل دوباره سیگنال دیجیتال به آنalog.



بلوک مدولاسیون در مخابرات دیجیتال، دو عملکرد مهم را انجام می‌داد. نخست گروه‌بندی بیت‌ها و تبدیل آن‌ها به سمبول (Symbol) و سپس به یک سیگنال آنالوگ. یعنی بیت‌ها را در گروه‌های n بیتی تقسیم‌بندی می‌کنیم و سپس هر یک از این گروه‌ها را به یک سمبول نگاشت می‌کنیم. بعد هر کدام از این سمبول‌ها را به صورت یک سیگنال آنالوگ (مثلا سیگنال پالسی شکل) در می‌آوریم. به عنوان مثال ما در شبکه‌های نسل پنجم، می‌توانیم مدولاسیون با ۲۵۶ یا حتی ۱۰۲۴ سطح (تعداد سمبول) داشته باشیم. اما این سیگنال آنالوگ فرکانس پایینی داشت و می‌بایست در مرحله بعدی فرکانس آن بالا برود (عملیات upconversion). به عنوان نمونه‌ای از این روش‌ها، می‌توان به مدولاسیون (Amplitude Shift Keying) ASK اشاره کرد. مدولاسیون ASK یا حالت کلی‌تر آن 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:

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

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.

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

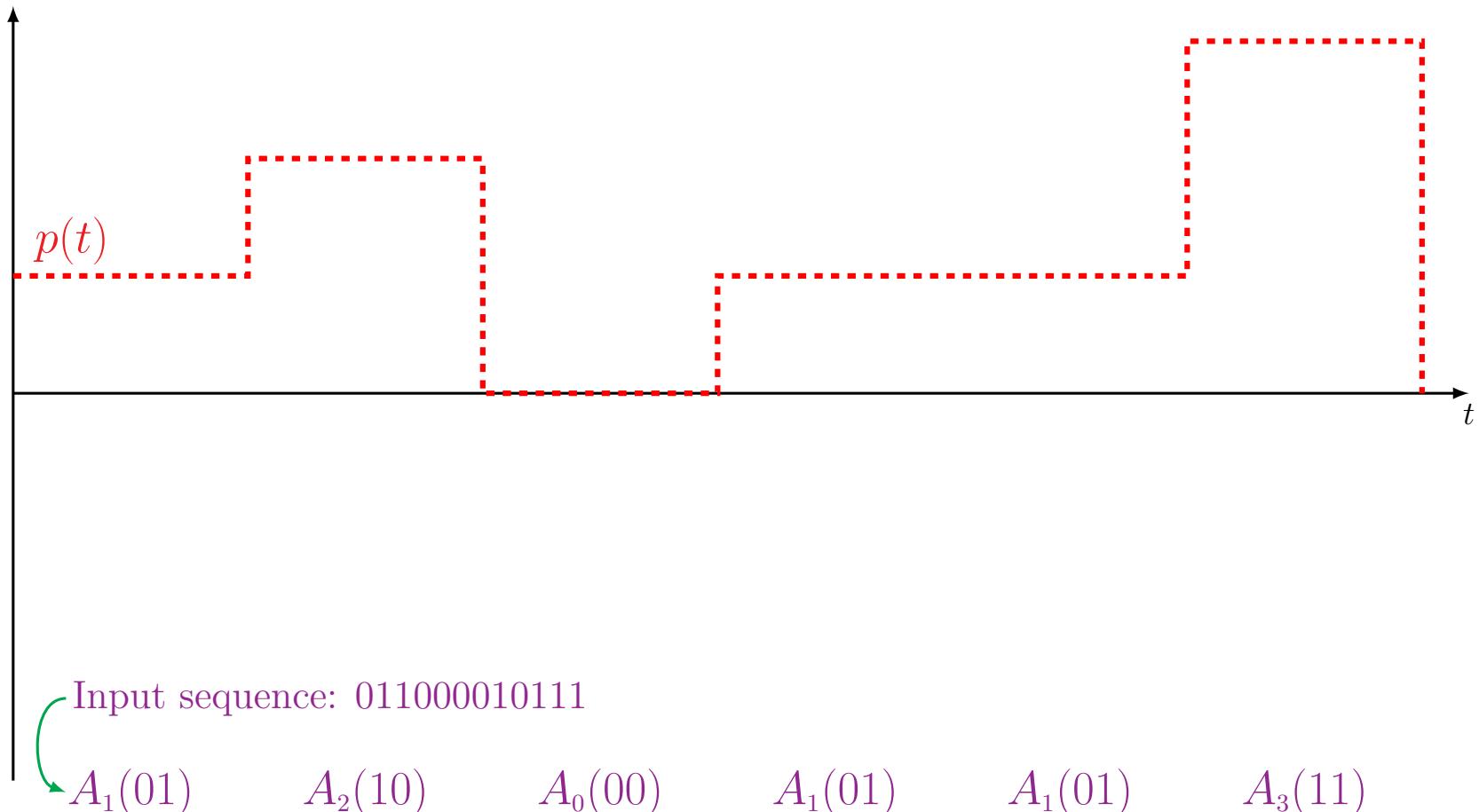
گروه‌بندی

☞ خروجی کدگذار کانال یک رشته بیت است که ابتدا باید آن‌ها را گروه‌بندی و تبدیل به سمبل (Symbol) کرد.



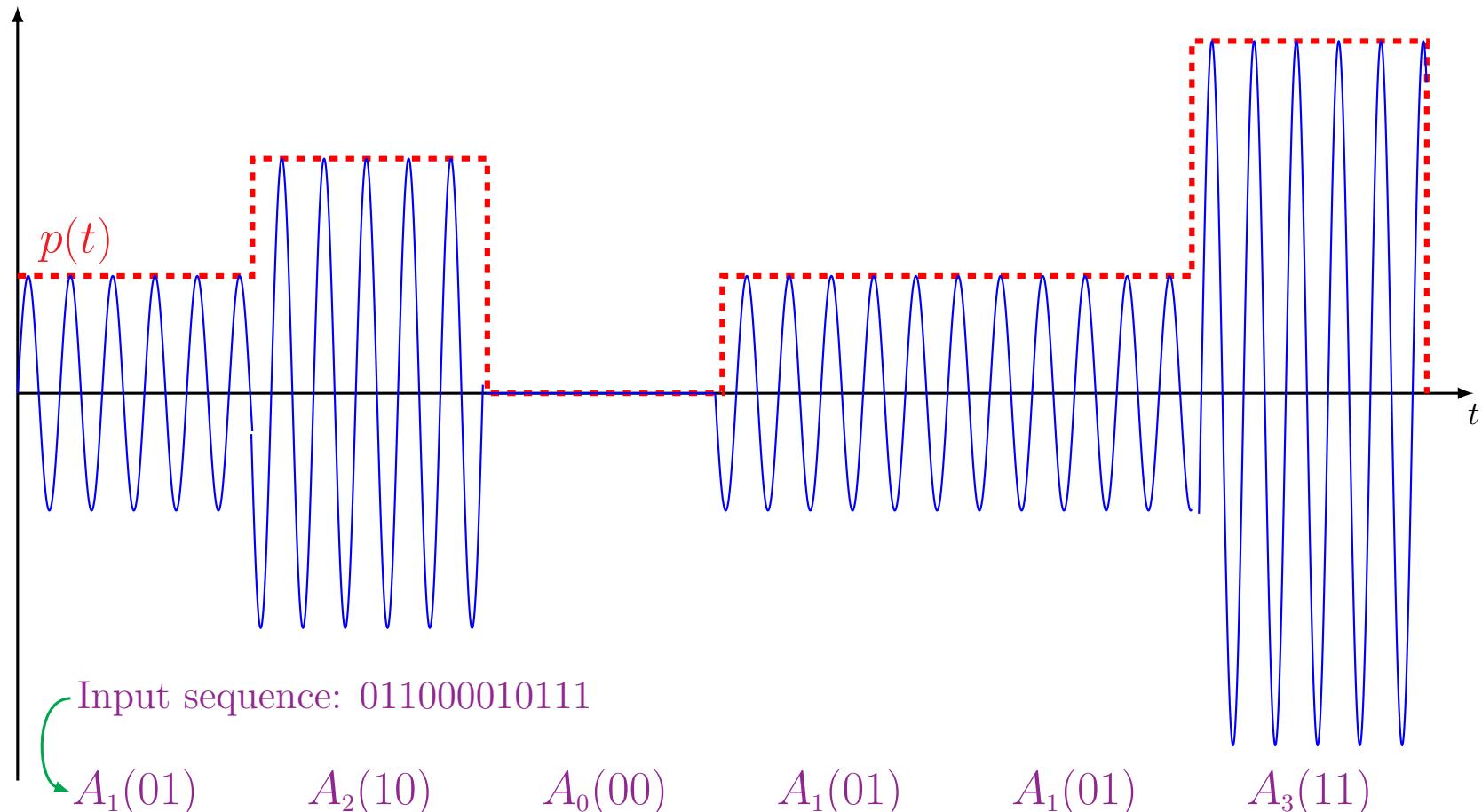
تبديل به سیگنال آنالوگ

در مرحله بعدی باید سمبل‌هارا به یک سیگنال آنالوگ تبدیل کرد (به عنوان مثال یک سیگنال پالسی شکل).



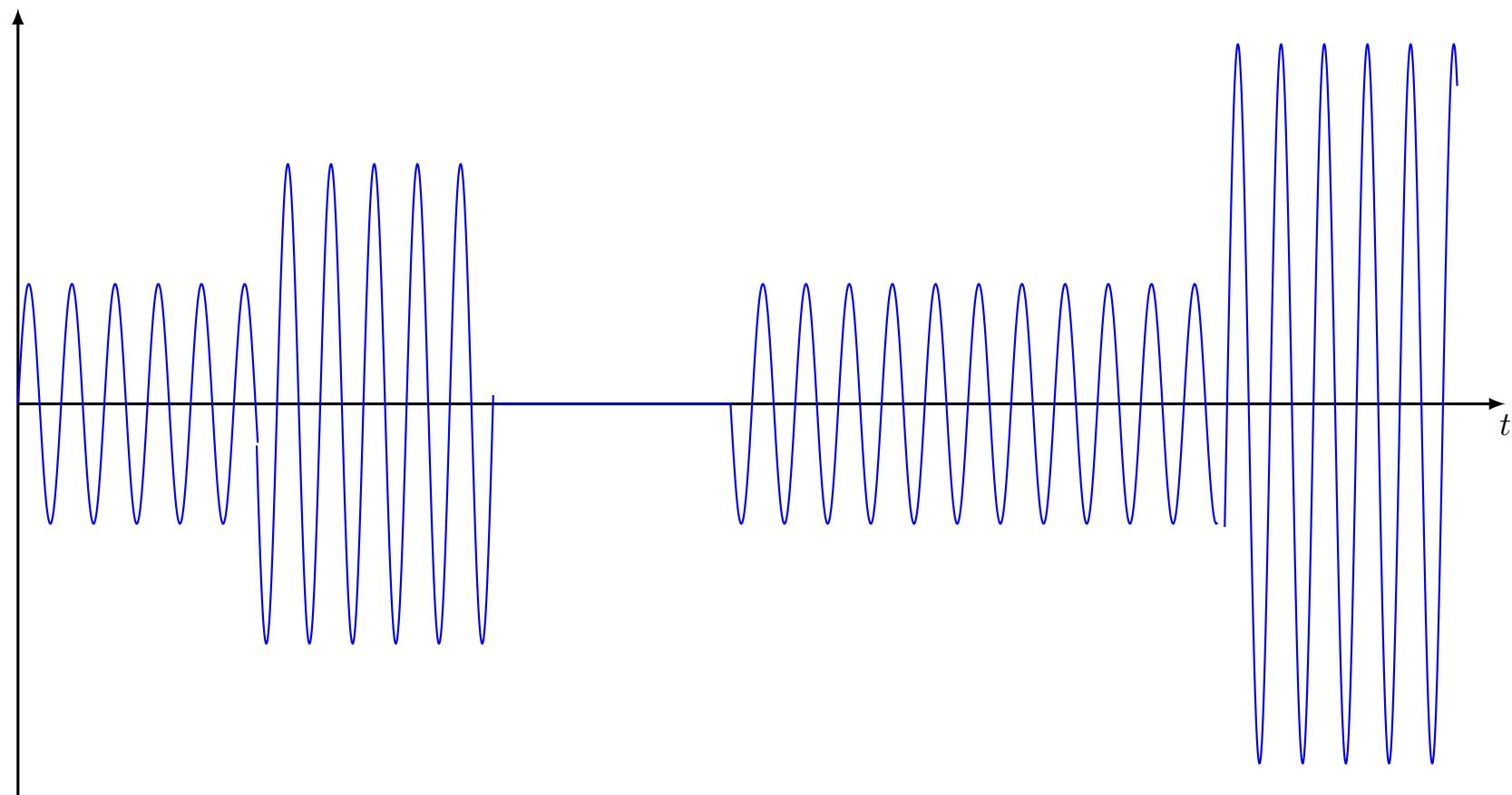
تبديل به سیگنال با فرکانس بالا

در این مرحله سیگنال پالسی شکل باید به یک سیگنال با فرکانس بالا تبدیل شود (Upconversion). 



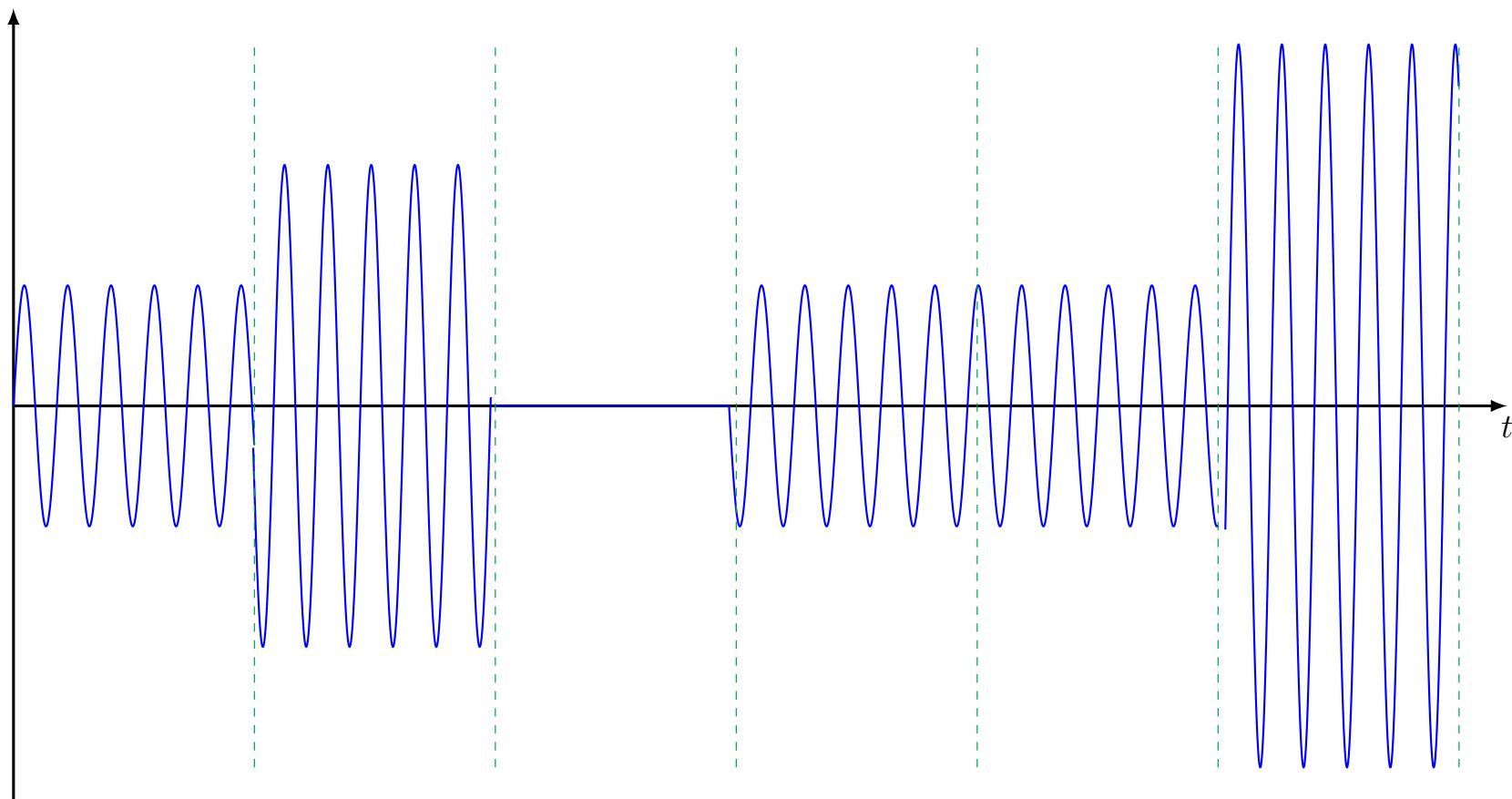
ارسال

در نهایت یک شکل موج آنالوگ با فرکانس بالا ارسال می‌شود، و گیرنده آن را دریافت می‌کند.



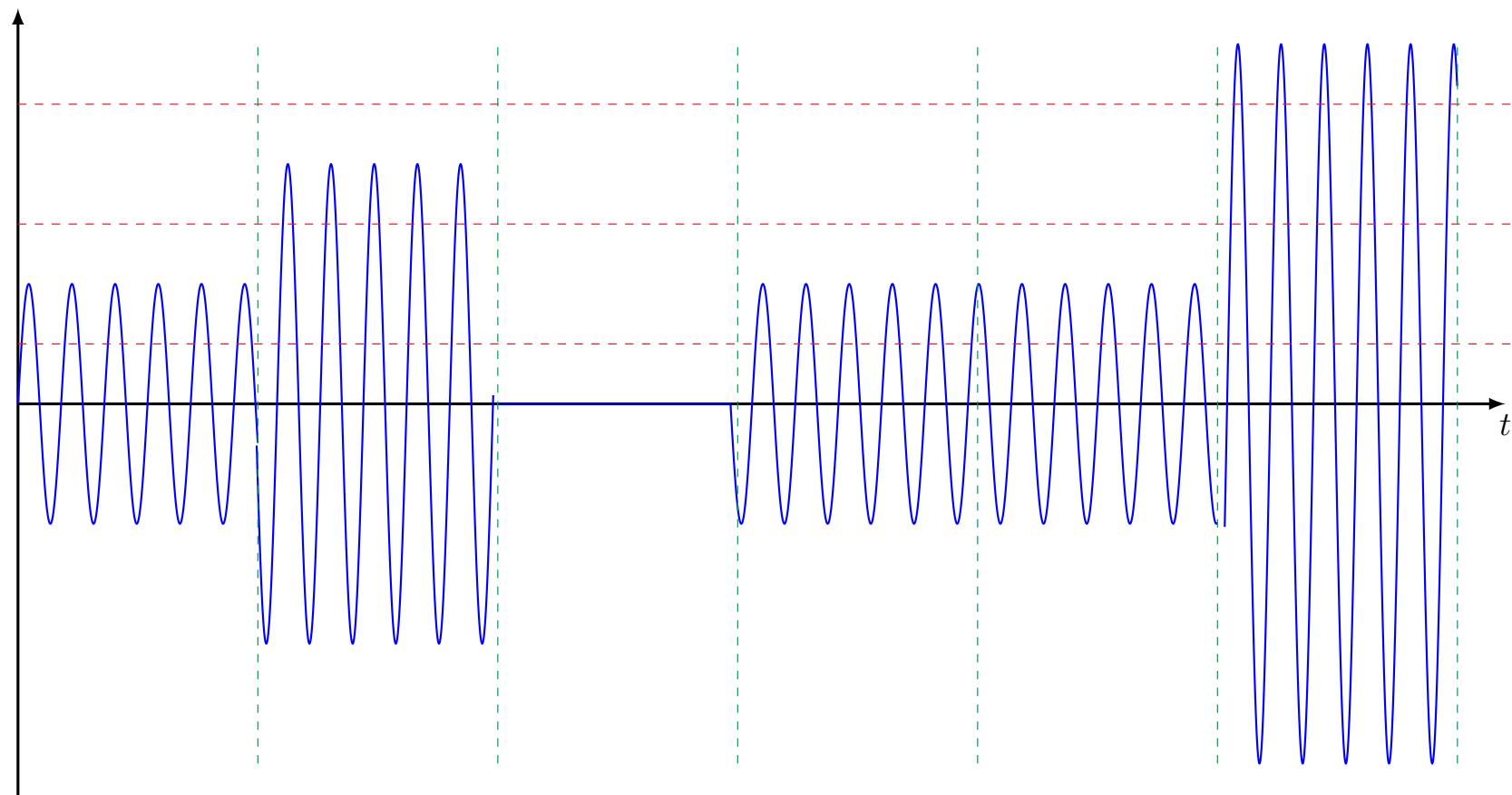
همزمانبودن - وادی طلب

کار شاید ساده‌ای نباشد، ولی گیرنده بازه شروع و پایان یک پالس را می‌داند.



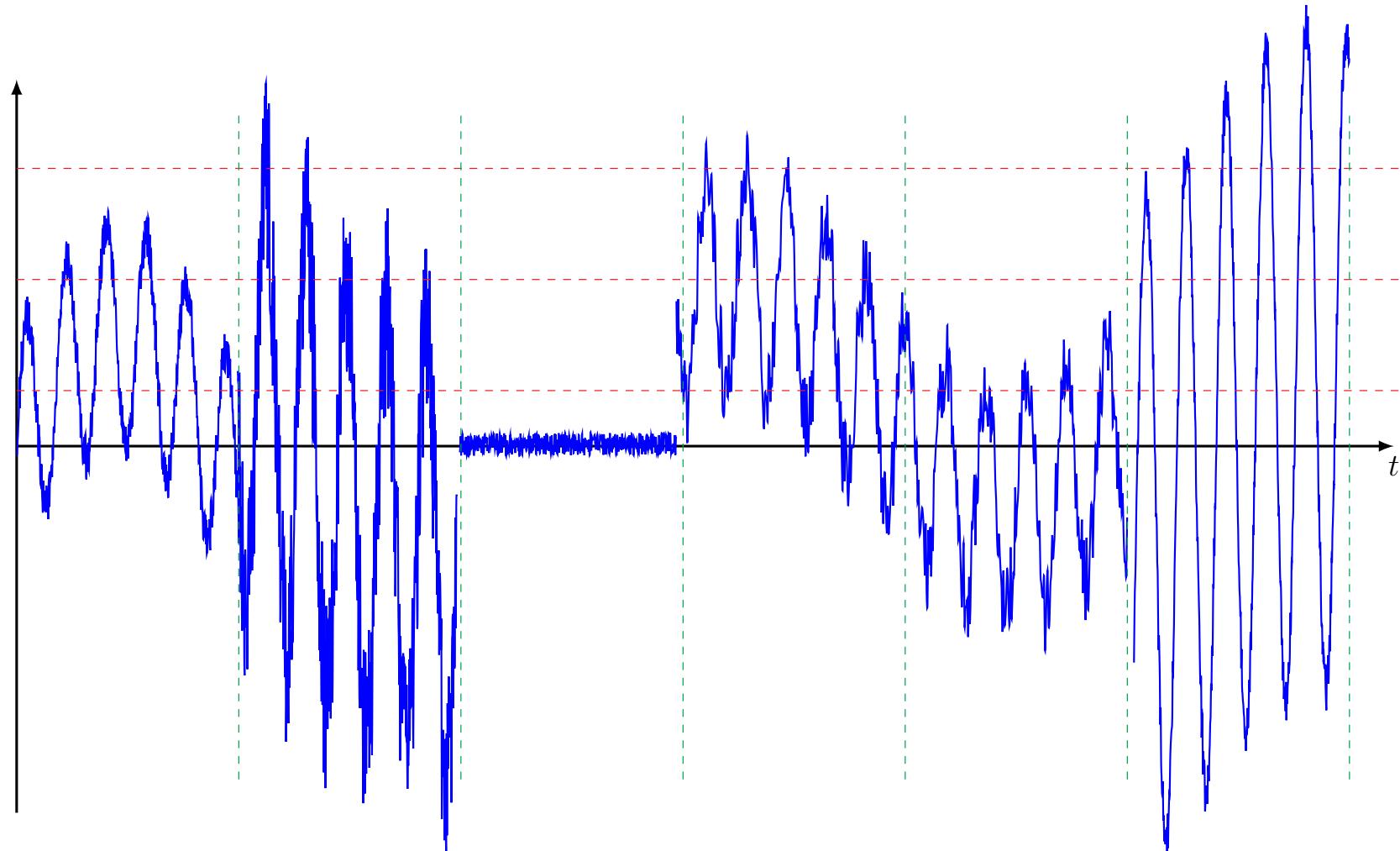
همزمانبودن - وادی عشق

گیرنده می‌تواند با تعیین تعدادی سطوح آستانه برای سیمبل ارسالی را تشخیص دهد.



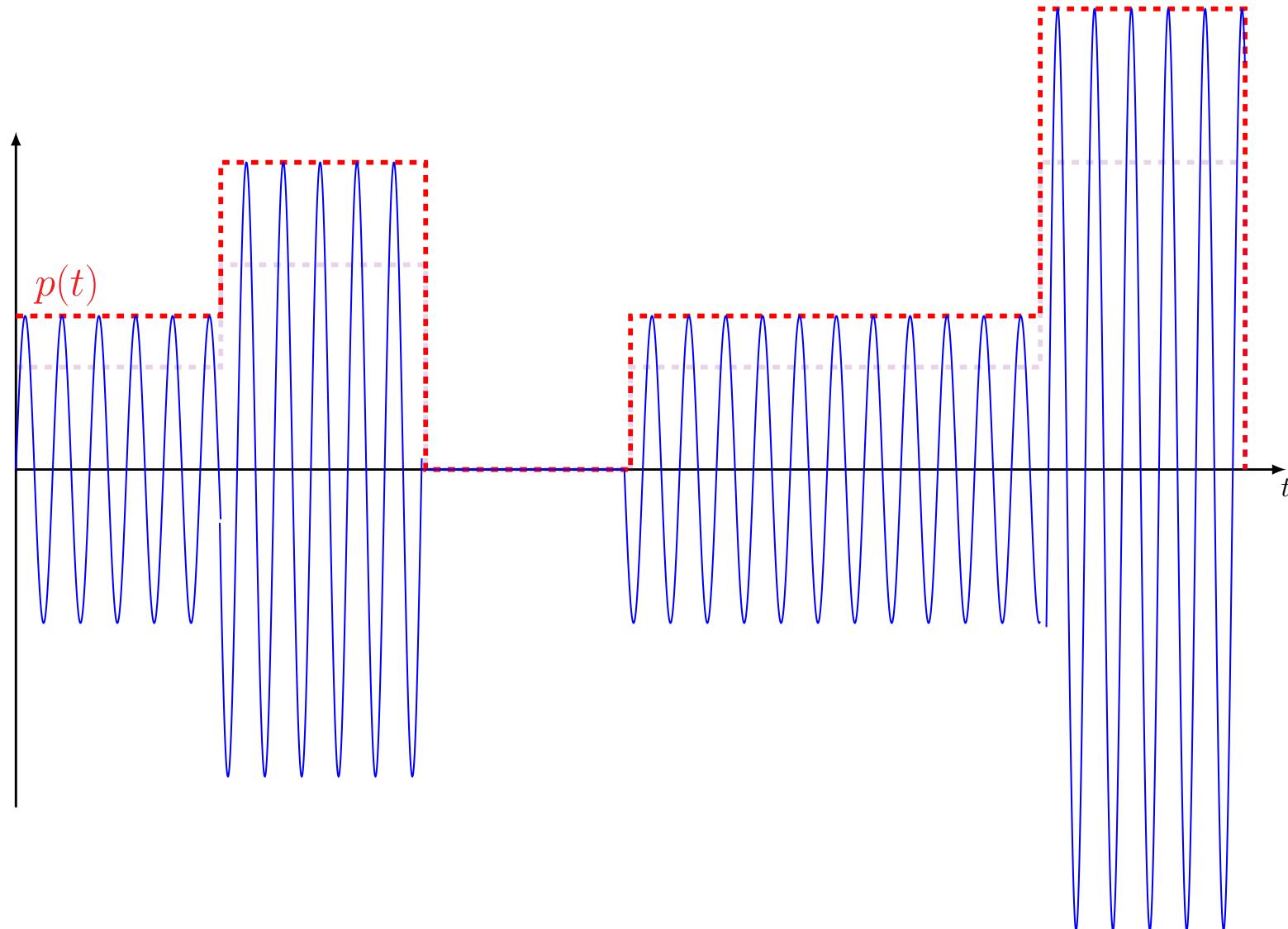
وجود خطأ - وادی معرفت

☞ خراب شدن سیگنال به همراه اضافه شدن نویز به سیگنال در کانال، عامل ایجاد خطأ در گیرنده است.



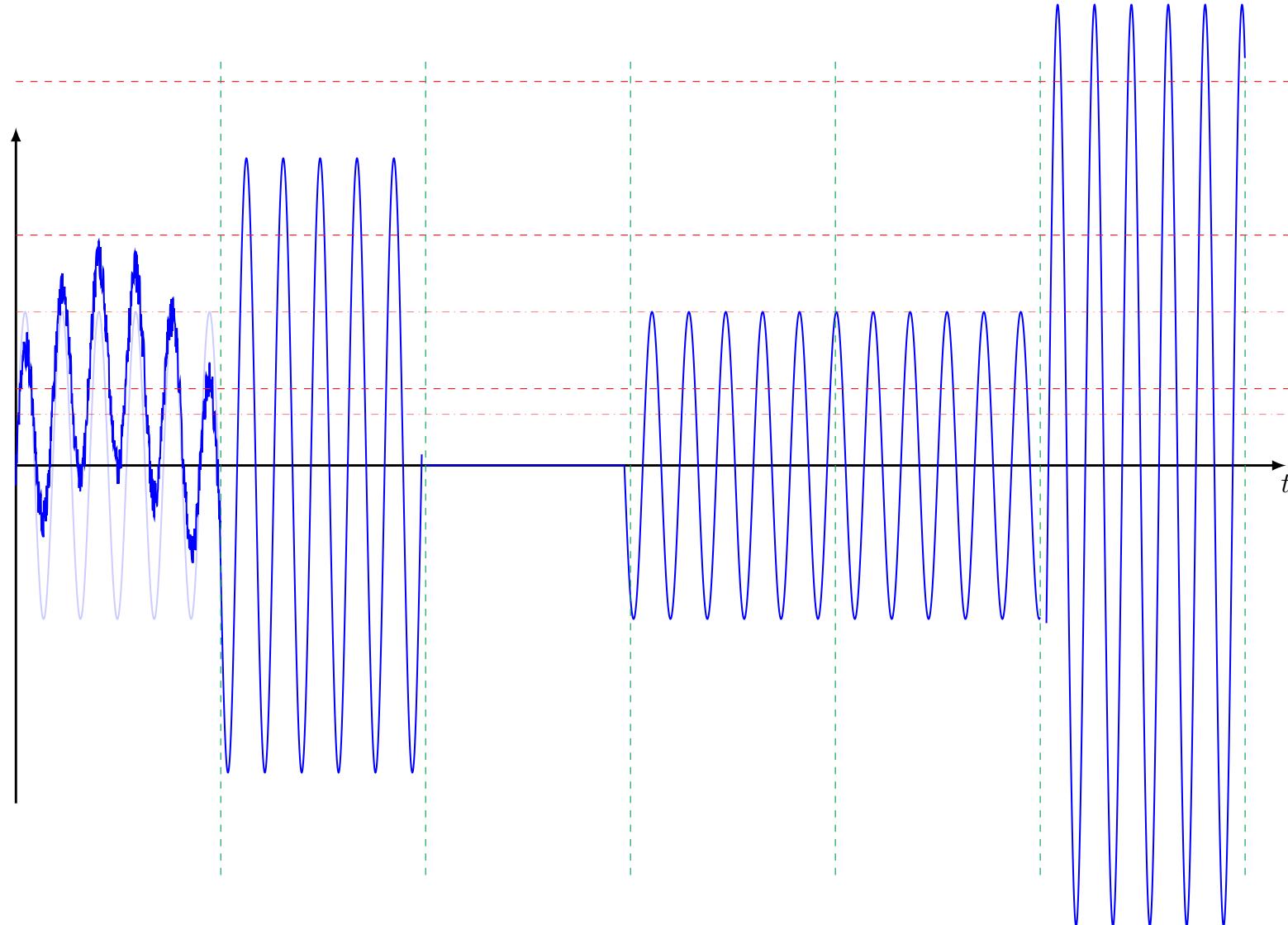
مقابله با خطا - وادی استغنا

یک راه مقابله با خطای افزایش سطوح پالس است.



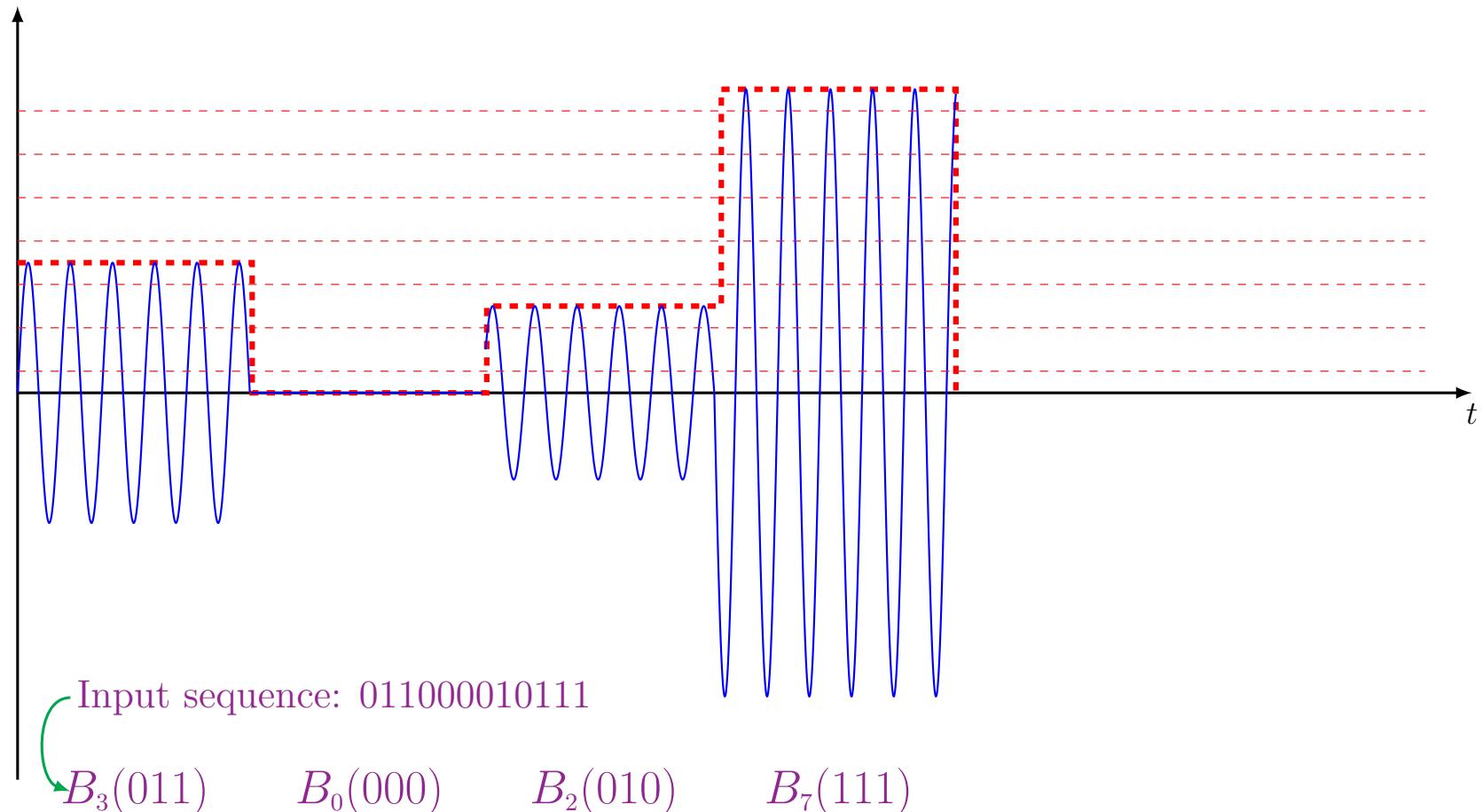
هرکاری هزینه‌ای دارد! - وادی توحید

اوپر اوضاع بهتر شد، اما به چه هزینه ?(Cost) 



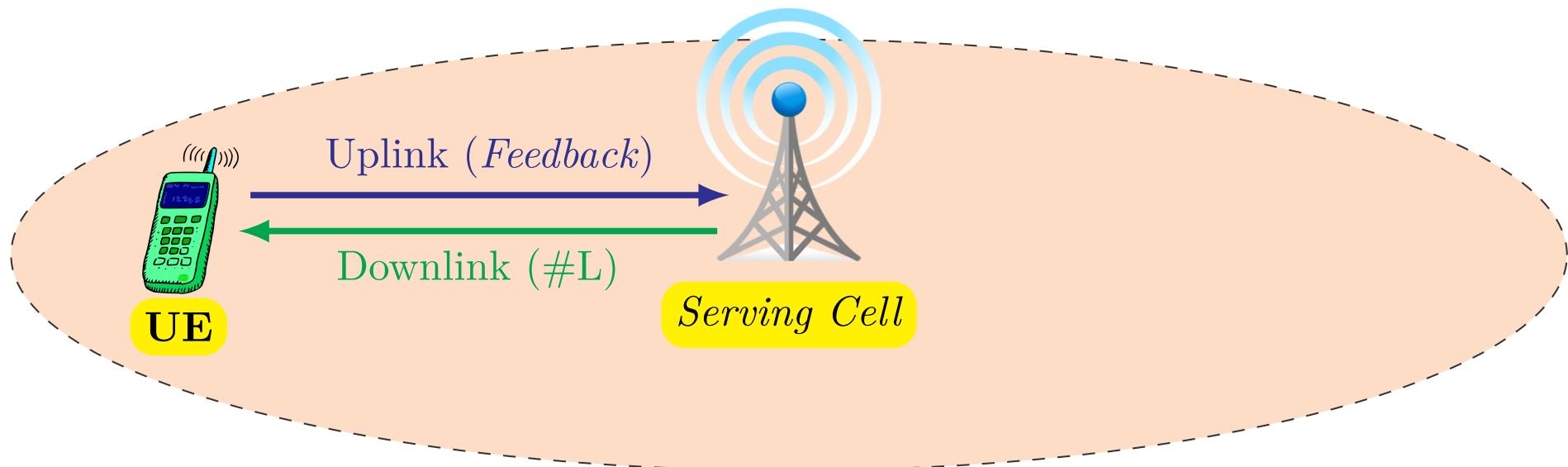
می خواهم نرخ بالاتر برود - وادی حیرت

برای این که نرخ بالاتر برود، چاره‌ای نداریم جز این که تعداد سطوح پالس را بیشتر کنیم.



در دنیای واقعی چه می‌گذرد؟

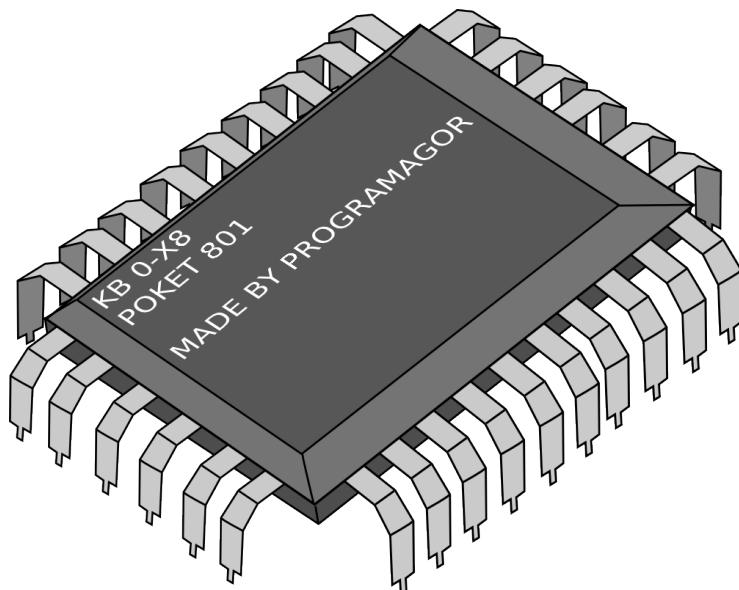
- ما در مثلث نرخ (Rate)، خطأ (Error) و توان (Power) محصور شدیم.
- در عمل، ما سعی می‌کنیم پارامترها را به صورت تطبیقی (Adaptive) تعیین کنیم.



منابر، رقمی در مقایسه با منابر انalog

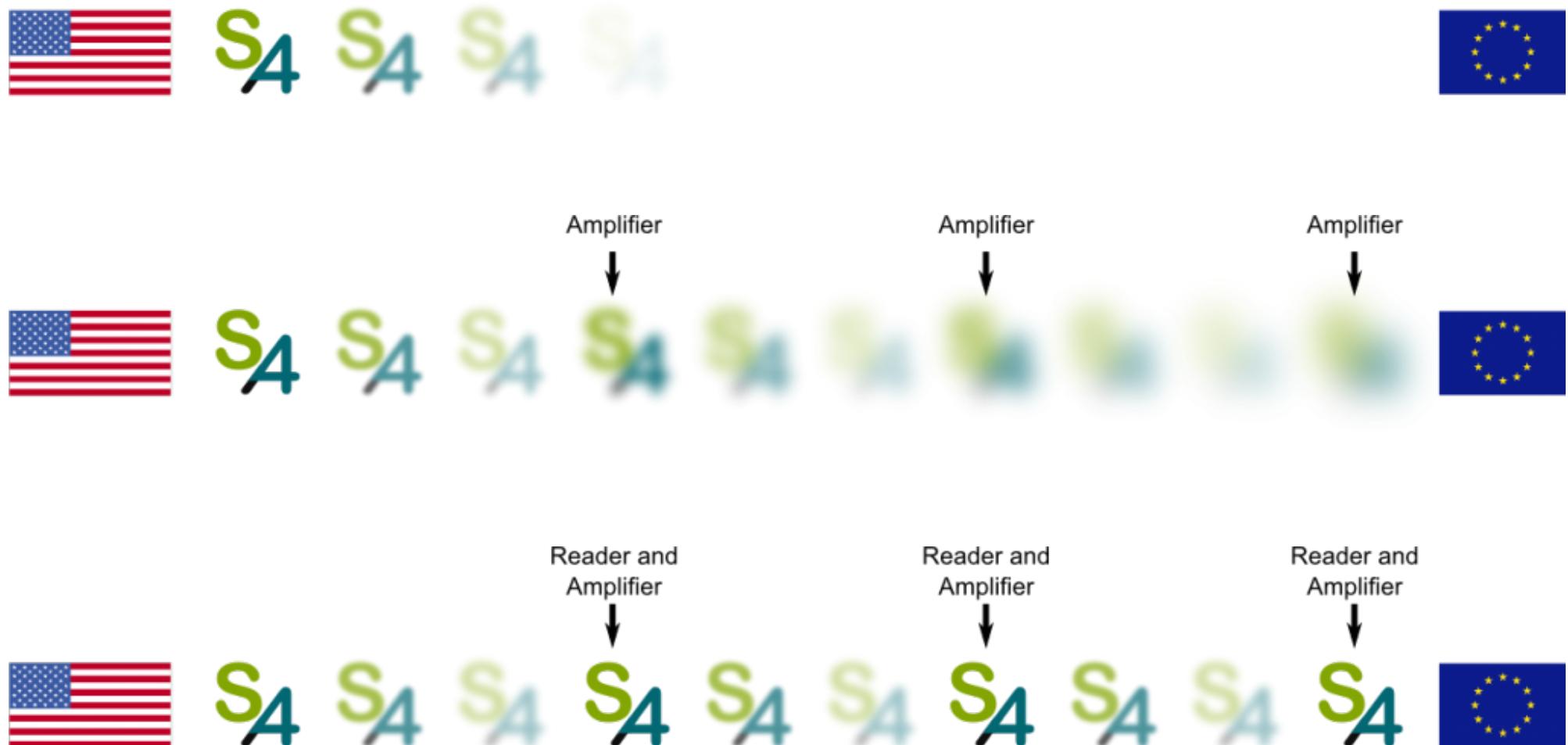
مخابرات رقمی در مقایسه با مخابرات آنالوگ (مزایا و معایب)

- ✓ پیاده‌سازی بسیار راحت، ارزان و ساده به دلیل رشد فناوری (IC (Integrated Circuit))
- ✓ مباحث امنیت (Security) در این نوع مخابر، براحتی قابل اعمال است.



مخابرات رقمی در مقایسه با مخابرات آنالوگ (مزایا و معایب) (ادامه)

استفاده از کدگذار کanal (Channel Coding) در تکرارکنده‌ها نویز به صورت جمعی افزایش نخواهد یافت. ✓



مخابرات رقمنی در مقایسه با مخابرات آنالوگ (مزایا و معایب) (ادامه)

✓ وجود سازوکارهای ساده برای فشرده‌سازی سیگنال



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

☞ یک محاسبه تقریبی برای ظرفیت:

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

☞ دوراه کار:

☞ یک ایده خوب فشرده‌سازی (Compression) است. از مزایای مخابرات رقمنی است، در GSM تا 13 kbps

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

مخابرات رقمی در مقایسه با مخابرات آنالوگ (مزایا و معایب) (ادامه)

✖ پهنه‌ای باند بیشتری نسبت به مخابرات آنالوگ، نیاز دارد.

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

- فرکانس صدای انسان را می‌توان از 20 Hz تا 4 kHz در نظر گرفت ($f_{\max} = 4 \text{ kHz}$).

- قضیه نایکوییست: دو برابر $f_{\max} = 8 \text{ kHz}$ باید نمونه برداری کرد ($f_s > 2f_{\max} = 8 \text{ kHz}$).

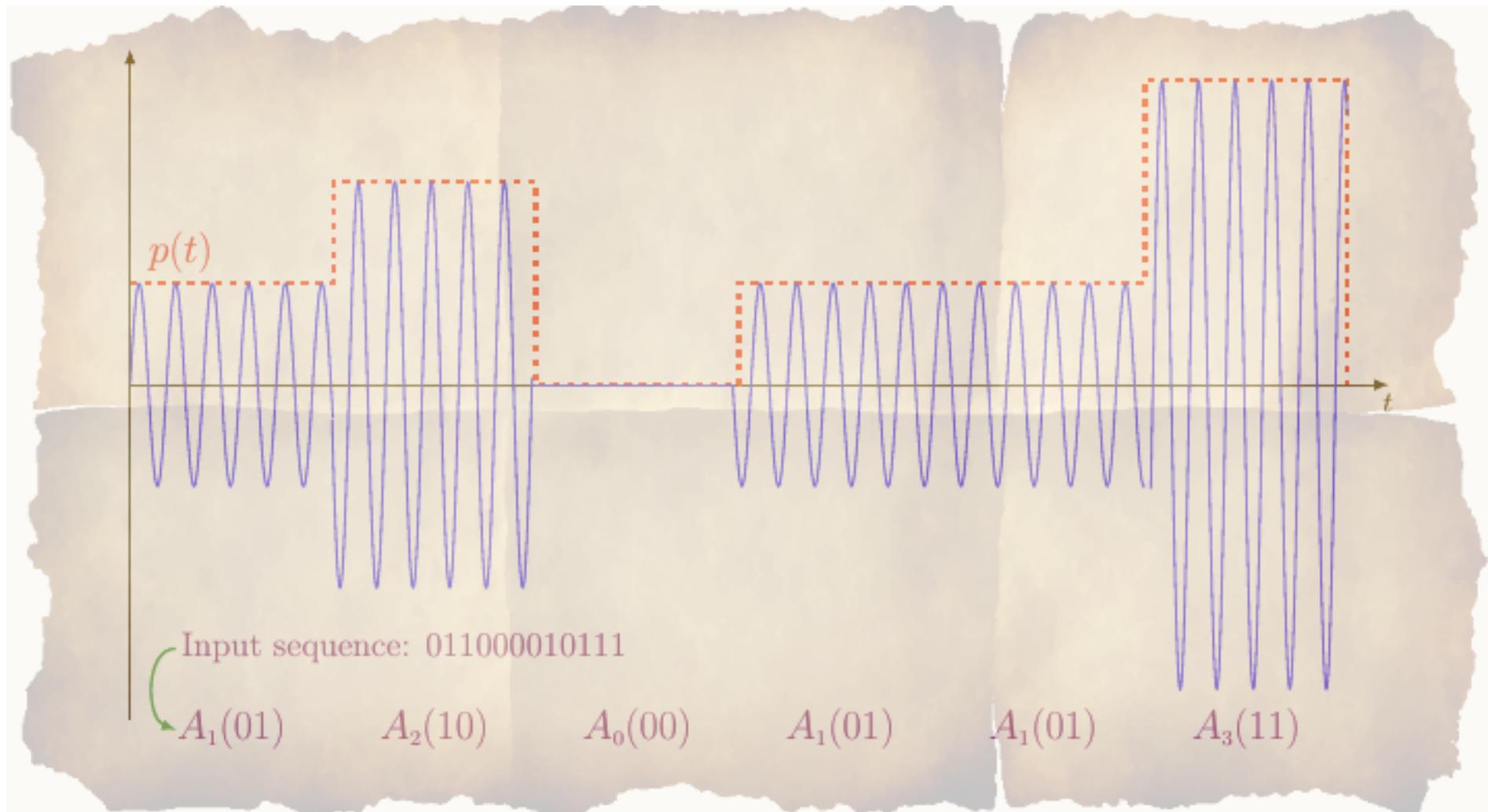
- چندی‌سازی: هر مقدار دامنه به 256 (هشت بیت) سطح نگاشته می‌شود.

- 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 پهنه‌ای باند نیاز است؟ پاسخ: مفهوم Bandwidth efficiency=1.35

مخابرات رقمی در مقایسه با مخابرات آنالوگ (مزایا و معایب) (ادامه)

✖ در مخابرات رقمی، بحث همزنمانسازی از اهمیت فراوانی برخوردار است.



مُتَفَرِّقَةٌ - مُنْظَرِيَّةٌ مَاهُوَارِيَّةٌ

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.

از نمونه شرکت‌هایی که با استفاده از منظومه ماهواره‌ای در حوزه مخابرات دوسویه به ارایه خدمات می‌پردازن،

،ViaSat،Orbcomm،Globalstar،Iridium،LeoSat،Boeing،Inmarsat،StarLink،OneWeb می‌توان

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.

از Amazon که بگذریم، پروژه‌های Project Kuiper و OneWeb شرکت Starlink شرکت Inmarsat

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 تنها‌یی 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 Starlink 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 (۲۶ سپتامبر ۲۰۲۲) به طور کلی، ۳۳۴۷ ماهواره پرتاب شده. جزئیات دقیق و فنی پروژه Starlink هنوز منتشر نشده است. اما برطبق 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) اینها 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 پیتنا است که در هرجایی که بتواند آسمان را مشاهده کند، کار می‌کند.

مُتَفَرِّغٌ - اِنْتِرْنَتٌ وَّ اِبْرَاهِيم



(ب) سیاوش شهرشہانی



(آ) محمد جواد لاریجانی

بیت‌نت 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 استیجاری 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 شهرشہانی 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 این‌که 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 تصادفًا 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.



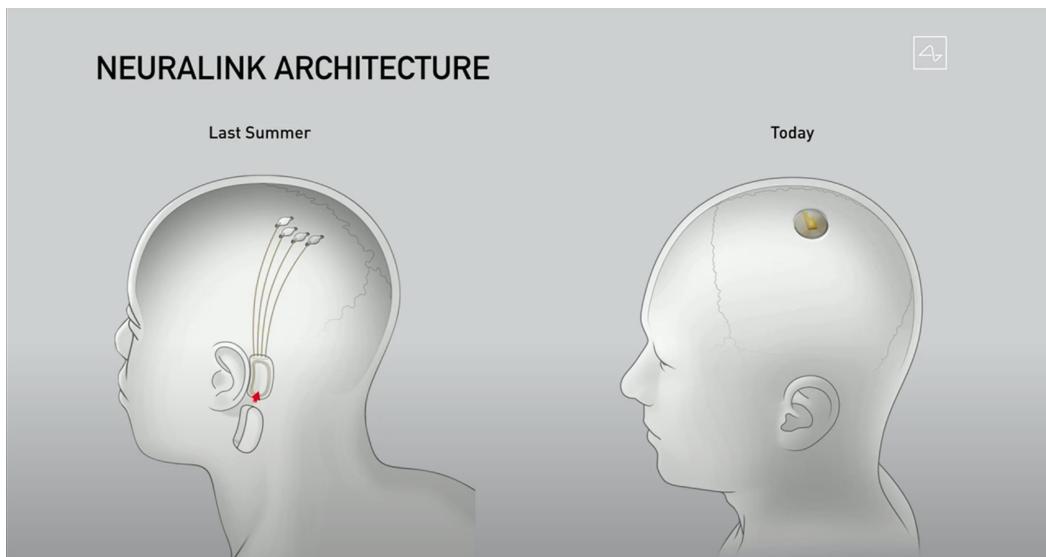
نمایی از IPM که گفته می‌شود پیشتر دفتر کار فرح پهلوی بوده است.

Neuralink = مُنْفِعٌ

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.

- [1] W. Stallings. *Data and Computer Communications: International Edition*. Pearson Education, 2015.
- [2] B. A. Forouzan and S. C. Fegan. *Data Communications and Networking*. McGraw-Hill Forouzan networking series, McGraw-Hill Higher Education, 2007.

فهرست اختصارات

A

AM Amplitude Modulation

ASK Amplitude Shift Keying

B

BGAN Broadband Global Area Network

E

EHF Extremely High Frequency

F

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

HF High Frequency

I

IC Integrated Circuit

ISL Intersatellite Link

ISP Internet Service Provider

ITU International Telecommunication Union

IXP Internet Exchange Point

L

LEO Low Earth Orbit

LOS Line of Sight

LTE Long Term Evolution

M

MEO Medium Earth Orbit

O

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing

R

RF Radio Frequency

RTT Round Trip Time

S

SDN	Software Defined Networks
SDR	Software Defined Radio
SON	Self Optimized Network

U

UE	User Equipment
----------	----------------

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

Broadcast A همه‌پخشی

Broadcasting همه‌پخشی Adaptive تطبیقی

Analog Communication مخابرات آنالوگ

C Application برنامه کاربردی

Carrier حامل

Carrier Frequency B فرکانس حامل

Channel Capacity ظرفیت کانال Bandwidth پهنای باند

Channel Coding کدگذار کانال

Data Link Layer	لایه پیوند داده ..	Channel Encoder	کدگذار کanal
Delay	تأخير ..	Coverage	پوشش ..
Destination	مقصد ..	Collision	تصادم ..
Digital Communication	مخابرات رقمی ..	Compression	فشرده سازی ..
Digital Signal	سیگنال رقمی ..	Continuous Signal	سیگنال پیوسته ..
Discrete Signal	سیگنال گستته ..	Cost	هزینه ..
Download	بارگیری ..	Cryptography	رمزنگاری ..

E

D

Electromagnetic	الکترومغناطیس ..	Data Communication	مخابرات داده ..
-----------------------	------------------	--------------------------	-----------------

F

Fairness	عدالت	Electromagnetic	موج الکترومغناطیسی
Frequency Band	باند فرکانسی	Spectrum	کدگذاری
	Encoding		خطا
H	Error	Error Correction	تصحیح خطأ
Handover	واگذاری	Error Correction Code	کد تصحیح خطأ
Holographic Communication .	ارتباط هلوگرافیک .	Error Detection	تشخیص خطأ
	Error Detection Code		کد تشخیص خطأ

M

Medium	رسانه	Information Theory
Medium Access	دسترسی به رسانه	Interface
Message	پیام	Interference
Multiple Access	دسترسی چندگانه	Internet Service
Multiple Access Control	کنترل دسترسی چندگانه	Provider
Modulation	مدولاسیون	

L

N	Latency	تأخير
Navigation	ناوبری	

گره

Node

Q

Quantization چندی‌سازی

O

Optical Fiber فیبرنوری

R

Optical Mesh Network شبکه توری نوری

Radio Wave موج رادیویی

Radio Spectrum طیف رادیویی

P

Rate نرخ

Performance

کارایی

Received Power توان دریافتی

Physical Layer

لایه فیزیکی

Receiver گیرنده

Power

توان

Sender	Redundancy	افزونگی
Symbol	Reliability	قابلیت اطمینان
Synchronization	Repeater	تکرارکننده
Source	Routing	مسیریابی
Source Encoder	کدگذار منبع	
Speech	S گفتار	
T	Sampling	نمونه برداری
Throughput	Satellite Constellation	منظومه ماهواره‌ای
	Security	امنیت
	Satellite	ماهواره

U

کاربر User

W

مخابرات بی سیم Wireless Communication

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

۱

ب

Download بارگیری Holographic Communication ارتباط هلوگرافیک .

Frequency Band باند فرکانسی Redundancy افزونگی

Application برنامه کاربردی Electromagnetic الکترومغناطیس

Security امنیت

پ

Coverage پوشش

Adaptive	Bandwidth	پهنه‌ای باند
Repeater	Message	پیام
Power	توان	توان
Received Power	دریافتی	دریافتی
				ت
		Latency	تأخیر
	Delay	تأخیر
Quantization	چندی‌سازی	تدخّل
		Interference	تدخّل
		Error Detection	تشخیص خطأ
		Collision	تصادم
	Collision	تصحیح خطأ
Carrier	حامل	حمل

ر

Medium رسانه

Cryptography رمزنگاری

خ

Error خطأ

س

Symbol سمبل

Continuous Signal سیگنال پیوسته

Digital Signal سیگنال رقمی

Discrete Signal سیگنال گسسته

د

Medium Access دسترسی به رسانه

Multiple Access دسترسی چندگانه

ش

ظ

شبکه توری نوری Optical Mesh Network ظرفیت کانال Channel Capacity

ط

طیف امواج الکترومغناطیسی Electromagnetic عدالت Fairness

Spectrum

طیف رادیویی Radio Spectrum

ف

فراهم آورنده خدمات اینترنتی Internet Service

Provider

ف

User کاربر Sender فرستنده

ق

Error Detection Code کد تشخیص خطا Carrier Frequency فرکانس حامل

ک

Error Correction Code کد تصحیح خطا فشرده‌سازی

Channel Encoder کدگذار کanal Optical Fiber فیبرنوری

Channel Coding کدگذار کanal

Source Encoder کدگذار منبع

Encoding کدگذاری

Multiple Access Control کنترل دسترسی چندگانه

قابلیت اطمینان Reliability

کارایی Performance

گ

Satellite	ماهواره	Throughput	گزدهی
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	Data Link Layer	لایه پیوند داده
Source	منبع	Physical Layer	لایه فیزیکی
Satellite Constellation	منظومه ماهواره‌ای		

۶ Electromagnetic Wave ... موج الکترومغناطیسی

Interface	واسطہ Radio Wave
Handover	واگذاری

ن

٥ Navigation	ناوبری
Cost	هزینہ Rate
Synchronization	همزمان سازی Information Theory
Broadcasting	همه پخشی Sampling
Broadcast	همه پخشی