

عنوان

بررسی ساختارهای فرستنده‌های پر قدرت مخابراتی شبکه‌های موبایل، تلویزیون و رادیو و

بررسی توپولوژی‌های مختلف طبقات خروجی آن‌ها

کارشناسی مخابرات

نام دانشجو

.....

استاد گران قدر:

جناب آقای

تابستان ۱۳۹۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده

با توجه به گسترش روزافزون بهره‌وری از فناوری‌های مخابراتی، در این پژوهش، به دنبال بررسی ساختار فرستنده‌ها و نیز شبکه‌های مخابراتی هستیم. سیستم‌های مخابراتی، در پیاده‌سازی دارای مراحل پیاده‌سازی و توپولوژی‌هایی هستند که گریزی به آن‌ها نیز زده شده است. در بخش اول، به معرفی اصطلاحات و موارد کاربرد در زمینه فرهنگ لغت سیستم‌های مخابراتی پرداخته شده است. بخش دوم، به اجزا و انواع ایستگاه‌های BTS و انواع آنتن‌ها و نحوه عملکرد و موارد مربوط به آن‌ها، اشاره شده است. در فصل سوم، با نگرشی عمیق‌تر و مفصل‌تر به مدولاسیون و فیلترینگ پرداخته شده است و در فصل چهارم، امواج و ارتباطات و روش‌های دسترسی، مورد بحث قرار گرفته است. سرانجام در فصل پنجم، نسل‌های مختلف تلفن همراه و توضیحاتی مربوط به شبکه بی‌سیم به رشته تحریر درآمده است.

کلیدواژه: فرستنده مخابراتی، توپولوژی شبکه، شبکه مخابراتی، مدولاسیون، فیلترینگ.

فهرست مطالب

بخش اول - مقدمه.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- مخابرات چیست؟.....	۱
۳-۱- فرستنده سیستم مخابراتی.....	۱
۴-۱- گیرنده سیستم مخابراتی.....	۶
۵-۱- سیگنال.....	۶
۱-۵-۱- سیگنال‌های گسسته و پیوسته.....	۷
۲-۵-۱- گسسته سازی.....	۸
۶-۱- کوانتتش.....	۹
۷-۱- محدوده فرکانس.....	۱۱
بخش دوم- اجزا و نحوه عملکرد ایستگاهها.....	۱۲
۱-۲- ایستگاه موبایل BTS چیست و چگونه کار می‌کند؟.....	۱۲
۱-۱-۲- BTS چیست؟.....	۱۲
۲-۱-۲- اجزا و انواع ایستگاه‌های BTS.....	۱۳
۳-۱-۲- نحوه کار BTS.....	۱۴
۲-۲- نحوه عملکرد آنتن.....	۱۵
۱-۲-۲- موارد استفاده آنتن‌ها.....	۲۱
۲-۲-۲- آنتن گیرنده یک رادیو.....	۲۳
۳-۲-۲- انواع آنتن.....	۲۶
۳-۲- پارامترهای اساسی آنتن.....	۳۱
۱-۳-۲- سمت گرایی.....	۳۱
۲-۳-۲- گین.....	۳۱
۳-۳-۲- پهنای باند.....	۳۲
بخش سوم- مدولاسیون و فیلترینگ.....	۳۳
۱-۳- مدولاسیون و دمدولاسیون در سیستم مخابراتی.....	۳۳
۲-۳- فیلترها و شبکه‌های اینترنت پس از مدولاسیون و دمدولاسیون.....	۳۳
۳-۳- انواع فیلترینگ.....	۳۴
۱-۳-۳- فیلترینگ از طریق DNS.....	۳۴
۲-۳-۳- فیلترینگ به‌وسیله پروکسی.....	۳۴
۳-۳-۳- فیلتر کردن به کمک مسیر یاب‌ها.....	۳۵
۴-۳-۳- فیلترینگ به کمک سانسور افزارها.....	۳۵
۵-۳-۳- فیلترینگ به کمک مسدود کردن پورت‌ها.....	۳۵

۳۵.....	۳-۳-۶- لیست سیاه و لیست سفید
۳۶.....	۳-۳-۷- فیلترینگ معکوس
۳۷.....	بخش چهارم- امواج و ارتباطات.....
۳۷.....	۴-۱- امواج رادیویی
۳۷.....	۴-۲- رادیو
۳۷.....	۴-۳- ارتباطات رادیویی
۳۷.....	۴-۴- ایستگاه فرستنده و گیرنده BTS
۳۸.....	۴-۵- روش های دسترسی به کانال
۴۰.....	بخش پنجم- نسل های تلفن همراه.....
۴۰.....	۵-۱- نسل های شبکه تلفن همراه
۴۰.....	۵-۱-۱- نسل اول تلفن همراه یا 1G
۴۰.....	۵-۱-۲- نسل دوم تلفن همراه یا 2G
۴۲.....	۵-۱-۳- نسل های 2.5G و 2.75G تلفن همراه
۴۳.....	۵-۱-۴- نسل سوم تلفن همراه یا 3G
۴۴.....	۵-۱-۵- نسل 3.5G و 3.75G تلفن همراه
۴۵.....	۵-۱-۶- نسل چهارم تلفن همراه یا 4G
۴۵.....	۵-۱-۷- نسل 4.5 تلفن همراه
۴۶.....	۵-۱-۸- نسل پنجم تلفن همراه یا 5G
۴۷.....	۵-۲- درباره نسل های تلفن همراه
۴۸.....	۵-۳- تجهیزات شبکه بی سیم
۴۹.....	۵-۴- نقش آنتن در شبکه بی سیم.....
۵۳.....	منابع و مراجع.....

فهرست شکل ها

۳.....	شکل ۱-۱- سیگنال ها در مدولاسیون دامنه یا AM
۵.....	شکل ۲-۱- تأثیر نویز روی سیگنال تصویری دریافت شده.....
۱۲.....	شکل ۱-۲- ایستگاه BTS.....
۱۶.....	شکل ۲-۲- طیف الکترومغناطیسی
۱۶.....	شکل ۳-۲- ارسال و دریافت سیگنال.....
۱۷.....	شکل ۴-۲- دو بیسیم یکسان.....

- شکل ۲-۵- آنتن‌های فرستنده و گیرنده..... ۱۸
- شکل ۲-۶- شماتیکی از انتقال امواج رادیویی به صورت مستقیم..... ۱۹
- شکل ۲-۷- لایه‌های جوی در اطراف کره زمین..... ۲۰
- شکل ۲-۸- شماتیکی از جریان‌های الکتریکی در طول روز در لایه یونوسفر..... ۲۰
- شکل ۲-۹- نمایی از آنتن‌های تلسکوپی جهت دریافت امواج رادیویی FM..... ۲۱
- شکل ۲-۱۰- نمایی از دو مدولاسیون دامنه و فرکانس..... ۲۲
- شکل ۲-۱۱- طیف ترا هرتز..... ۲۳
- شکل ۲-۱۲- تصویر از سیم پیچیده شده به دور یک هسته فريت..... ۲۴
- شکل ۲-۱۳- آنتن FM و آنتن AM..... ۲۵
- شکل ۲-۱۴- یک آنتن گیرنده..... ۲۵
- شکل ۲-۱۵- حفاظ آلومینیوم..... ۲۶
- شکل ۲-۱۶- نمایی از یک آنتن دوقطبی نصف طول موج برای فرکانس کاری UHF..... ۲۷
- شکل ۲-۱۷- نمایشی از یک آنتن گیرنده دوقطبی..... ۲۸
- شکل ۲-۱۸- نمایی از یک آنتن یاگی..... ۲۸
- شکل ۲-۱۹- نمایی از یک آنتن سهمی شکل..... ۲۹
- شکل ۲-۲۰- نمایی از آنتن wifi طراحی شده روی برد الکترونیکی کوچک..... ۳۰
- شکل ۲-۲۱- نمونه‌ای از تگ‌های RFid..... ۳۰
- شکل ۴-۱- روش‌های دسترسی به کانال..... ۳۹
- شکل ۵-۱- برخی ماژول‌های 2G شرکت SIMCOM..... ۴۳
- شکل ۵-۲- چند ماژول 3G شرکت SIMCOM..... ۴۴
- شکل ۵-۳- چند ماژول 4G شرکت SIMCOM..... ۴۶
- شکل ۵-۴- ماژول‌های 5G شرکت SIMCOM..... ۴۷
- شکل ۵-۵- نقش آنتن‌ها در شبکه‌های بی سیم..... ۵۱
- شکل ۵-۶- نمایی از ساختار شبکه..... ۵۲
- نمودار ۱-۱- سیگنال گسسته (نمونه برداری شده)..... ۸
- نمودار ۲-۱- سیگنال دیجیتال چند سطحی..... ۸

بخش اول – مقدمه

۱-۱ – مقدمه

گیرنده‌ها و فرستنده‌های مخابراتی، با بهره‌گیری از جدیدترین تکنولوژی‌ها در همه سطوح ولتاژ، به عنوان یک بستر مخابراتی، اطلاعات را ارسال و دریافت می‌کنند. از مهم‌ترین دلایل گرایش به این فناوری‌ها و توسعه روزافزون آن‌ها، بی‌نیازی به سیم‌کشی و نصب زیرساخت‌های جدید برای پیاده‌سازی این تکنولوژی‌ها و ضریب نفوذ بالای شبکه برق در دنیا و نیز دسترسی آسان به آن است. امروزه با گذشت بیش از یک قرن از ابداع این فناوری، سیستم‌های قدرت در بخش بندی‌های مختلف با کاربرد و استانداردهای خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این بخش، به بیان تاریخچه، تجهیزات مختلف و نیز اصطلاحات رایج در این تکنولوژی پرداخته می‌شود.

۱-۲ – مخابرات چیست؟

مخابرات به معنای ارسال، دریافت و پردازش یک سیگنال اطلاعاتی بین دو یا تعداد بیشتری از وسایل است. به مجموعه‌ای از اجزا که با یکدیگر کار می‌کنند تا این ارتباط بین فرستنده و گیرنده یک پیام برقرار شود، «سیستم مخابراتی»^۱ می‌گویند. به عنوان نمونه‌ای از سیستم مخابراتی می‌توان به پخش رادیویی، پخش تلویزیونی، رادیو تلگرافی، مخابرات موبایل و مخابرات کامپیوتری اشاره کرد. دو فرد با یکدیگر به وسیله سیگنال‌های صوتی ارتباط برقرار می‌کنند. این نوع ارتباط را نیز می‌توان یک سیستم مخابراتی به حساب آورد.

¹ Communication System

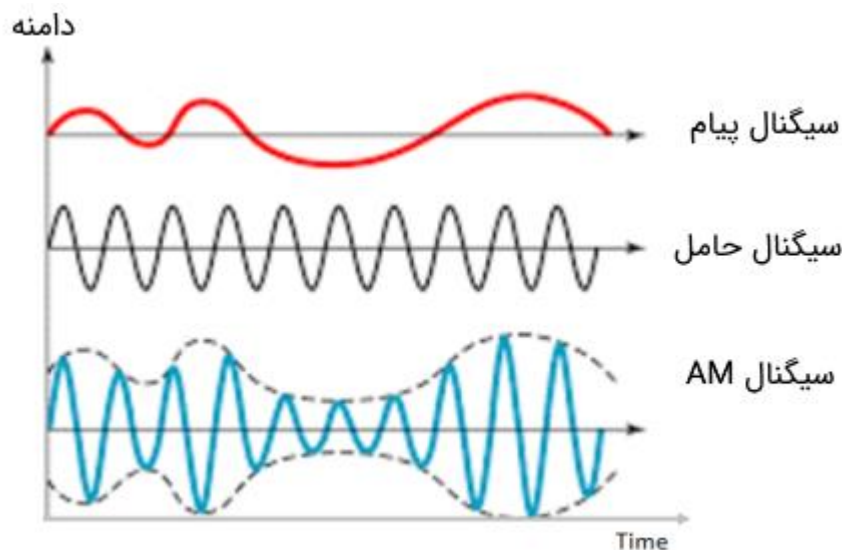
۳-۱- فرستنده سیستم مخابراتی

وظیفه یک فرستنده در یک سیستم مخابراتی این است که سیگنال الکتریکی را به فرمی تبدیل کند که برای انتقال از طریق یک کانال فیزیکی یا «واسط انتقال»^۱ مناسب باشد. برای مثال در مخابرات رادیویی و تلویزیونی هر کشور، توسط نهادهای مربوطه، بازه فرکانسی برای هر ایستگاه فرستنده تعیین می‌شود. به همین دلیل، فرستنده باید سیگنال اطلاعات را به یک سیگنال مناسب ترجمه کند که در یک بازه فرکانسی خاص منتقل می‌شود.

بنابراین سیگنال‌های ارسال شده توسط چندین ایستگاه رادیویی مختلف با یکدیگر تداخل نمی‌یابند. عملکرد مشابهی در سیستم‌های مخابرات تلفنی نیز وجود دارد؛ زیرا در سیستم مخابرات تلفنی نیز سیگنال‌های الکتریکی مربوط به حرف زدن تعداد زیادی از کاربران از طریق یک سیم مخابره می‌شود. در حالت کلی می‌توان گفت که یک فرستنده عمل تطبیق بین سیگنال پیام و کانال مخابراتی را از طریق فرایندی به نام **مدولاسیون**، انجام می‌دهد. همیشه در فرایند مدولاسیون از سیگنال پیام استفاده می‌شود تا به صورتی کاملاً سیستماتیک دامنه، **فاز** یا **فرکانس** یک **سیگنال سینوسی** فرکانس بالا به نام سیگنال حامل را تغییر دهد. به عنوان مثال در پخش رادیویی **AM** یا **مدولاسیون دامنه**، سیگنال اطلاعاتی که منتقل می‌شوند، شامل تغییرات دامنه سیگنال سینوسی حامل هستند و فرکانس مرکزی آن‌ها در باند فرکانسی اختصاص داده شده به آن ایستگاه فرستنده رادیویی قرار دارند. این یک مثال از مدولاسیون دامنه است.

در پخش رادیویی **FM** یا **مدولاسیون فرکانس**، سیگنال اطلاعات ارسال شده شامل تغییرات فرکانس سیگنال سینوسی حامل است. همچنین روش دیگر مدولاسیون آنالوگ، **مدولاسیون فاز** یا **PM** نام دارد که در آن فاز سیگنال حامل سینوسی بر اساس سیگنال اطلاعات تغییر داده می‌شود.

¹ Transmission Medium



شکل ۱-۱- سیگنال‌ها در مدولاسیون دامنه یا AM

بنابراین همان‌طور که بیان کردیم، روش‌های مدولاسیون سیگنال حامل مانند مدولاسیون دامنه، فرکانس و یا فاز، در فرستنده انجام می‌گیرد تا سیگنال اطلاعات به یک فرم مشخص تبدیل شود که بر مشخصه‌های کانال منطبق باشد. در طول فرایند مدولاسیون، سیگنال اطلاعات به یک سیگنال خاص ترجمه می‌شود که با باند فرکانسی اختصاص داده‌شده همخوانی داشته باشد.

انتخاب روش مدولاسیون بستگی به فاکتورهای مختلفی دارد. برخی از این عوامل عبارت‌اند از: مقدار پهنای باند اختصاص داده‌شده، نوع نویز و تداخلاتی که سیگنال اطلاعات در طول کانال مخابراتی با آن‌ها روبه‌رو می‌شوند و نیز نوع وسایلی که برای تقویت کردن سیگنال قبل از ارسال در اختیار ما قرار دارد. در هر حال، فرایند مدولاسیون این امر را ممکن می‌سازد که انتقال سیگنال‌های پیام چندگانه از کاربران متعدد در طول یک کانال فیزیکی یکسان با سهولت انجام گیرد.

در یک فرستنده مخابراتی، علاوه بر عمل مدولاسیون، عملکردهای دیگری مانند فیلتر کردن عوامل مزاحم سیگنال اطلاعات، تقویت کردن سیگنال مدوله‌شده و در مورد مخابرات بی‌سیم، تاباندن سیگنال به وسیله یک آنتن فرستنده انجام می‌گیرد.

یک کانال مخابراتی به عنوان یک واسط فیزیکی محسوب می شود که برای ارسال سیگنال از فرستنده به گیرنده مورد استفاده قرار می گیرد. در مخابرات بی سیم، اتمسفر همیشه به عنوان کانال در نظر گرفته می شود. در غیر این صورت، کانال های تلفنی همواره گستره متنوعی از رسانه های فیزیکی مانند خطوط سیمی، کابل های فیبر نوری و وایرلس (رادیو مایکروویو یا ریز موج) را به کار می گیرند. کانال فیزیکی در یک سیستم مخابرات رادیویی هر چه باشد، در این امر تفاوتی ندارد که سیگنال ارسالی به روشی تصادفی توسط مکانیسم های متعددی خراب می شود.

متداول ترین دلیل خراب شدن یک سیگنال اطلاعات در قالب «نویز جمع شونده با سیگنال»^۱ است. این نویز در قسمت جلوی گیرنده تولید می شود که عمل تقویت کنندگی انجام می گیرد. به این نویز، «نویز حرارتی»^۲ نیز می گویند. در مخابرات بی سیم، اغتشاشات اضافه جمع شونده^۳ همگی نویزهای ایجاد شده توسط بشر هستند و نویزهای اتمسفری توسط یک آنتن گیرنده دریافت می شود. نویز ادوات الکتریکی پیرامون، مثالی از یک نویز ساخته بشر است و رعدوبرق یک نمونه از نویز اتمسفر است. تداخلات سایر کاربران یک کانال مخابراتی نیز نمونه ای از نویز جمع شونده است که هم در سیستم های مخابرات بی سیم و هم در سیستم های مخابرات سیمی به وجود می آید.

در برخی کانال های مخابرات رادیویی مانند کانال های «یونوسفر»^۴ که برای «ارتباطات رادیویی موج کوتاه بلند برد»^۵ مورد استفاده قرار می گیرد، یک نوع دیگر از تخریب سیگنال وجود دارد که «انتشار چندگانه»^۶ نام دارد. این نوع از اعوجاج سیگنال به عنوان یک اغتشاش غیر جمع شونده توصیف می شود و معمولاً خود را به صورت تغییرات زمانی در دامنه سیگنال آشکار می کند که به آن «محوشدگی»^۷ می گویند.

¹ Additive Noise

² Thermal Noise

³ Additional Additive Disturbances

⁴ Ionospheric

⁵ Long Range, Short-Wave Radio Transmission

⁶ Multipath Propagation

⁷ Fading



شکل ۱-۲- تأثیر نویز روی سیگنال تصویری دریافت شده

هم اعوجاجات جمع شونده و هم اعوجاجات غیر جمع شونده سیگنال، به عنوان پدیده‌های تصادفی و با عبارات احتمالاتی توصیف می‌شوند. تأثیر این اعوجاجات سیگنال باید در هنگام طراحی یک سیستم مخابراتی به حساب آورده شود. در طراحی یک سیستم مخابراتی، مهندس طراح با مدل‌های ریاضی کار می‌کند که این مدل‌ها، اعوجاجات سیگنال را که در کانال‌های مخابراتی با آن‌ها روبه‌رو هستیم، به صورت احتمالاتی توصیف می‌کنند.

معمولاً توصیفات آماری که در یک مدل ریاضی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نتیجه اندازه‌گیری‌های تجربی به دست آمده از ارسال سیگنال‌ها به صورت واقعی در طول این کانال‌ها هستند. در این حالت برای مدل‌های ریاضی مورد استفاده در طراحی یک سیستم مخابراتی، توجیهات فیزیکی در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر، در برخی طراحی‌های سیستم‌های مخابراتی، مشخصه‌های آماری مربوط به کانال ممکن است به صورت واضحی در طول زمان تغییر کنند. در این موارد، طراح سیستم ممکن است یک سیستم مخابراتی را طراحی کند که در مقابل بازه وسیعی از اعوجاجات سیگنال، مقاوم باشد. چنین ویژگی به این طریق به

دست می‌آید که سیستم برخی از پارامترهای خود را متناسب با اعوجاجات کانال به صورت تطبیقی تغییر دهد.

۴-۱- گیرنده سیستم مخابراتی

عملکرد یک گیرنده در سیستم مخابراتی، بازیابی سیگنال پیام نهفته در سیگنال دریافت شده است. اگر سیگنال پیام توسط مدولاسیون حامل منتقل شده باشد، آنگاه در سمت گیرنده باید عمل دمدولاسیون حامل انجام گیرد تا سیگنال پیام اصلی از سیگنال حامل سینوسی فرکانس بالا مجدداً استخراج شود. به دلیل اینکه دمدولاسیون سیگنال در حضور نویز جمع شونده و احتمالاً سایر انواع اعوجاجات سیگنال انجام می‌گیرد، سیگنال دمدوله شده تا حدودی توسط حضور این اعوجاجات در سیگنال دریافت شده تخریب می‌شود.

واضح است که درستی و دقت یک سیگنال پیام دریافت شده تابعی از نوع مدولاسیون انجام گرفته روی سیگنال، شدت نویز جمع شونده با سیگنال، شدت و نوع هرگونه تداخل جمع شونده و شدت هر تداخل غیر جمع شونده محسوب می‌شود. در کنار انجام عمل دمدولاسیون اولیه روی سیگنال دریافت شده، گیرنده یک سری اعمال جانبی دیگر مانند فیلتر سیگنال و نیز سرکوب کردن نویز را هم انجام می‌دهد.

۵-۱- سیگنال

در مهندسی برق، به هر کمیت متغیر با زمان که اطلاعاتی درباره رفتار یا ویژگی یک پدیده (معمولاً فیزیکی) دربردارد، **سیگنال** گفته می‌شود؛ این کمیت، اغلب با یک تبدیل گر مناسب (مانند یک حس گر)، به ولتاژ یا جریان تبدیل شده است. ممکن است سیگنال، تابعی از هر متغیر مستقل دیگری جز زمان باشد (مانند میزان روشنایی پیکسل‌ها در یک تصویر ثابت)، یا دربردارنده اطلاعات خاصی نباشد (مانند یک موج سینوسی با دامنه و فرکانسی معین). البته چه بسا مفهوم، گستره و تعریف دقیق سیگنال دشوار باشد.

در برخی کاربردها مانند مخابرات یا پردازش سیگنال، سیگنال ماهیتی اتفاقی یا تصادفی^۱ دارد؛ به همین دلیل دارای اطلاعات است. در یک سیستم مخابراتی، فرستنده پیغام را به سیگنال تبدیل می‌کند و این سیگنال از راه کانال مخابراتی به گیرنده می‌رسد؛ مثلاً، اگر جمله «فردا، هوا بارانی است» پیغامی است که پشت تلفن گفته می‌شود، میکروفون تلفن (فرستنده) صدای گوینده را به سیگنال الکتریکی (تغییرات ولتاژ) تبدیل می‌کند. سپس این سیگنال از راه سیم‌ها به تلفن گیرنده می‌رسد و در آنجا در بلندگو، سیگنال دریافت‌شده به صدا تبدیل شده و به گوش شنونده می‌رسد (پیام منتقل می‌شود).

سیگنال‌ها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگون دسته‌بندی کرد. از یک دیدگاه، تفاوت سیگنال‌ها در گسسته یا پیوسته بودن آن‌ها در حوزه زمان است؛ به این معنی که سیگنال روی بازه زمانی گسسته یا پیوسته تعریف می‌شود. سیگنال‌های «زمان پیوسته» را اغلب حتی وقتی که دامنه سیگنال، پیوسته نیست، «سیگنال پیوسته» می‌نامند؛ مثال آن موج مربعی است.

تفاوت عمده دیگر سیگنال‌ها، از نظر گسسته یا پیوسته بودن دامنه آن‌هاست؛ سیگنال‌های دیجیتال دارای دامنه گسسته‌اند، اگرچه ممکن است زمان پیوسته باشند.

۱-۵-۱- سیگنال‌های گسسته و پیوسته

وقتی مقادیر یک سیگنال، در زمان‌های گسسته تعریف شوند، آن را سیگنال گسسته می‌نامیم. به بیان دیگر، یک سیگنال گسسته، تابعی دارای مقادیر حقیقی (از یک سری اعداد صحیح است. یک سیگنال پیوسته، تابعی دارای مقادیر حقیقی و پیوسته از اعدادی حقیقی و پیوسته (معمولاً در یک بازه زمانی) است.

از دیدگاهی جامع‌تر، می‌توان سیگنال‌ها را به چهار دسته تقسیم کرد:

۱. سیگنال پیوسته در دامنه و پیوسته در زمان (سیگنال آنالوگ هم گفته می‌شود)، مانند سیگنال

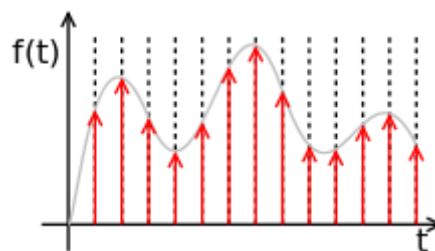
خروجی یک میکروفون.

¹ random, stochastic

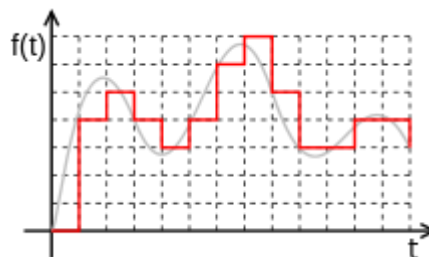
۲. سیگنال پیوسته در دامنه و گسسته در زمان، مانند سیگنال خروجی یک میکروفون پس از نمونه برداری.

۳. سیگنال گسسته در دامنه و پیوسته در زمان (سیگنال دیجیتال هم گفته می‌شود)، مانند یک سیگنال باینری (دودویی).

۴. سیگنال گسسته در دامنه و گسسته در زمان، مانند سیگنال خروجی یک میکروفون پس از نمونه برداری و کوانتس.



نمودار ۱-۱- سیگنال گسسته (نمونه برداری شده)



نمودار ۲-۱- سیگنال دیجیتال چندسطحی

معمولاً در عمل، دو نوع عمده سیگنال وجود دارد که یکی دیجیتال و دیگری آنالوگ نام دارد و تفاوت آن‌ها در این است که سیگنال دیجیتال، دامنه گسسته (و کوانتیده^۱)، دارند، درحالی‌که دامنه سیگنال آنالوگ پیوسته است. هر دو نوع سیگنال، زمان پیوسته فرض می‌شوند.

۲-۵-۱- گسسته سازی

^۱ quantized

از مشخصه‌های اصلی سیگنال‌ها، گسسته یا پیوسته بودن آن‌ها در حوزه زمان است. از نظر ریاضی بازه سیگنال زمان پیوسته، اعداد حقیقی است، در حالی که بازه سیگنال زمان گسسته، اعداد صحیح است؛ این که این اعداد صحیح چه چیزی را نشان می‌دهند بستگی به ماهیت سیگنال دارد. سیگنال گسسته غالباً از نمونه‌برداری از سیگنال‌های پیوسته به دست می‌آید. برای مثال، حس‌گرها (سنسورها) اطلاعات جمع‌آوری شده خود را به صورت ولتاژ (یا جریان) تحویل می‌دهند.

اگرچه می‌توان سیگنال آنالوگ را به طور محدود ضبط (ذخیره) کرد، مانند ضبط صدا و تصویر روی نوارهای کاست و وی‌اچ‌اس در گذشته به روش مغناطیسی، امروزه این کار با توجه به حجم زیاد داده‌ها و اطلاعات، بهینه نبوده و تقریباً ناممکن است؛ بنابراین از آنجاکه سیگنال در یک بازه زمانی پیوسته را نمی‌توان به طور بهینه ذخیره کرد، نمونه‌هایی از سیگنال پیوسته، مثلاً خروجی سنسور، در زمان‌هایی معین و منظم، به عنوان سیگنال گسسته معادل آن سیگنال پیوسته، ذخیره و استفاده می‌شود (نمونه‌برداری از سیگنال و در نتیجه، گسسته‌سازی آن در زمان). نمونه‌برداری^۱ و گسسته‌سازی^۲، دو مفهوم توأم و رایج در کار با سیگنال‌های زمان پیوسته هستند. کامپیوترها و ابزار دیجیتال تنها می‌توانند با سیگنال‌های گسسته کار کنند.

۶-۱- کوانتش

اگر در نمایش مقادیر سیگنال پس از نمونه‌برداری و گسسته‌سازی، تنها محدود به استفاده از مجموعه‌ای از اعدادی معین باشیم (که در عمل همواره چنین است)، به ناچار بخشی از دقت پردازش از دست می‌رود. مثلاً، اگر در پردازش سیگنال، تنها مجاز به استفاده از هشت بیت باشیم، مقادیر سیگنال (پس از نمونه‌برداری) را تنها با ۲۵۶ مقدار (سطح) می‌توان نشان داد. در این حالت، ساده‌ترین کار این است که محدوده تغییرات سیگنال را به ۲۵۶ بازه تقسیم کرده و در هر بازه، کمترین مقدار را به عنوان نماینده آن بازه در نظر بگیریم. حالا، هر نمونه سیگنال را که در یکی از بازه‌های تعریف شده می‌گنجد، با نماینده آن

¹ Sampling

² Discretization

بازه جایگزین می‌کنیم (به آن می‌نگاریم). به این کار کوانتش می‌گویند. البته در عمل، از روش‌های بهینه و پیشرفته‌تری برای کوانتش استفاده می‌شود.

- **موقعیت:** موقعیت یک جسم متحرک در فضا را می‌توان یک سیگنال در نظر گرفت. این سیگنال، با زمان تغییر می‌کند و مقادیر سیگنال، مختصات جسم در فضای سه‌بعدی است.
- **صوت:** از آنجایی که صدا ناشی از ارتعاش هوا است، یک سیگنال صوتی تغییرات فشار هوا نسبت به زمان است. میکروفن تغییرات فشار هوا در یک مکان (صوت) را به ولتاژ تبدیل می‌کند؛ درواقع صوت به سیگنال (ولتاژ) تبدیل می‌شود.
- **داده‌های لوح فشرده - (CD):** در یک نگاه ساده و البته نه‌چندان دقیق، داده‌های ذخیره‌شده روی سی‌دی صوتی (Audio CD)، سیگنال‌هایی دیجیتال هستند که درواقع نمونه‌های صوت‌اند و در هر ثانیه ۴۴ هزار و صد نمونه از آن‌ها ضبط می‌شود. هر نمونه شامل اطلاعاتی برای کانال‌های چپ و راست است (صدای استریو)
- **تصویر ثابت دیجیتال^۱:** یک تصویر ثابت دیجیتال، مجموعه‌ای از پیکسل‌هاست، به‌طوری‌که هر پیکسل دارای مقدار مشخصی روشنایی^۲ و رنگ^۳ است. مجموعه مقادیر روشنایی (رنگ) پیکسل‌های یک تصویر ثابت را می‌توان یک سیگنال گسسته در نظر گرفت. این سیگنال، وابسته به مکان (جای هر پیکسل در صفحه تصویر) است و نه زمان.
- **تصویر متحرک^۴:** ویدئو (تصویر متحرک، فیلم) ترکیبی از تصاویر است که این تصاویر یکی پس از دیگری در طول زمان نمایش داده می‌شوند. اطلاعات یک نقطه از ویدئو (پیکسل، Pixel) بر اساس موقعیتش در صفحه‌نمایش و نیز مقدار روشنایی و رنگ آن مشخص

^۱ Digital Still Image

^۲ Luminance, Brightness

^۳ Chrominance, Color

^۴ Motion Picture, Video

می‌شود، به‌طوری‌که این میزان روشنایی و رنگ، با زمان تغییر می‌کند. سیگنال ویدئویی دربردارنده این تغییرات روشنایی و رنگ وابسته به مکان نقطه در صفحه و نیز زمان است (برخلاف تصویر ثابت که مقدار روشنایی و رنگ نقاط تصویر، فقط وابسته به مکان است)

- **پتانسیل غشاء سلولی:** این سیگنال، یک پتانسیل الکتریکی است (ولتاژ) و تعیین محدوده آن دشوار است. برخی سلول‌ها دارای پتانسیل غشائی یکسانی هستند. نورون‌ها، عموماً در نقاط مختلف پتانسیل‌های مختلف دارند. اگرچه این سیگنال‌ها بسیار ضعیف‌اند، اما برای راه‌اندازی سیستم عصبی کافی هستند. می‌توان میزان آن‌ها را به کمک تکنیک‌های الکتروفیزیولوژی اندازه گرفت.

۷-۱- محدوده فرکانس

سیگنال‌ها را می‌توان از نظر طیف فرکانسی (بازه فرکانسی که سیگنال در آن تعریف شده است) تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی کرد. تکنیک‌های حوزه فرکانس در همه سیگنال‌ها قابل‌استفاده هستند، چه پیوسته و چه گسسته. اگر سیگنالی از یک سیستم LTI عبور کند، طیف فرکانسی سیگنال خروجی با ضرب کردن طیف فرکانسی سیگنال ورودی و پاسخ فرکانسی سیستم به دست می‌آید.

بخش دوم – اجزا ونحوه عملکرد ایستگاهها

۱-۲- ایستگاه موبایل BTS چیست و چگونه کار می کند؟

۱-۱-۲- BTS چیست؟

ایستگاه پایه فرستنده/گیرنده که مخفف^۱ BTS می نامیم؛ مجموعه ای از تجهیزات مخابراتی بی سیم و باسیم است که ارتباط میان کاربر موبایل و یک شبکه عمومی را فراهم و تسهیل می کند.

این ارتباط بی سیم می تواند از انواع نسل های ۲، ۳ و ۴ موبایل، وای فای، وایمکس و دیگر فناوری های ارتباطات بی سیم شهری باشد ولی عموماً اصطلاح ایستگاه های BTS برای شبکه های موبایل GSM

استفاده می شوند.



شکل ۱-۲- ایستگاه BTS

^۱ Base Transceiver Station

ایستگاه‌های BTS مهم‌ترین اجزای شبکه‌های موبایل GSM هستند. آنتن‌های نصب شده روی این دکل‌ها از طریق امواج رادیویی مایکروویو با شبکه در ارتباط هستند و سعی می‌کنند یک منطقه مانند شهر را زیر پوشش کامل یک شبکه موبایل ببرند.

بنابراین؛ وقتی ما در حال مکالمه با گوشی موبایل هستیم؛ پیامک می‌زنیم و از اینترنت موبایل استفاده می‌کنیم؛ از طریق یک ایستگاه BTS به شبکه موبایل سراسری متصل شدیم.

هرچه قدر تعداد آنتن‌ها و ایستگاه‌های BTS در یک منطقه بیشتر باشد؛ پوشش‌دهی شبکه موبایل بهتر و سریع‌تر خواهد بود. به همین دلیل، اپراتورهای موبایل دایما در حال گسترش و نصب ایستگاه‌های جدید هستند.

دکل‌های موبایل تنها بخشی از یک ایستگاه مخابراتی موبایل هستند و اجزای بسیار دیگری هم برای راه‌اندازی یک شبکه موبایل مورد نیاز است.

BTS، ارسال و دریافت سیگنال‌ها و امواج رادیویی، پردازش سیگنال‌ها و پرش‌های فرکانسی، رمزنگاری و رمزگشایی اطلاعات روی مسیرهای رادیویی، مدیریت لینک‌ها و خطوط، مدیریت کیفیت ارتباطات و خطوط و تطبیق نرخ بیت و اجرای کدگذاری‌ها برعهده ایستگاه‌های BTS است.

۲-۱-۲- اجزا و انواع ایستگاه‌های BTS

یک BTS براساس ظرفیت و کاربری‌اش از انواع تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تشکیل شده است. هر BTS یک سیستم فرستنده/گیرنده (TRX)، یک سیستم تقویت‌کننده توان سیگنال (PA)، آنتن، مالتی‌پلکسر، سیستم‌های ترکیب‌کننده چند موج رادیویی، واحد کنترل، سیستم نظارت و توسعه، واحد گیرنده باند پایه و حتی سیستم‌های رمزنگاری و رمزگشایی دارد.

همین‌طور، ایستگاه‌های BTS ثابت می‌توانند روی زمین صاف و مسطح نصب شده باشند؛ روی سطح دیوار نصب شوند؛ پشت‌بام ساختمان‌ها و برج‌ها مستقر شوند یا اینکه یک سایت کامل مخابراتی باشند.

ایستگاه‌های BTS متحرک و درون ساختمانی هم ساخته شده و استفاده می‌شود. در مواقع بحرانی مانند مناطق زلزله‌زده که زیرساخت‌های مخابراتی از بین رفته است؛ ایستگاه‌های BTS متحرک که CIAB و COLT نام دارند؛ سریعاً برپا و مستقر می‌شوند تا شبکه موبایل به طور اضطراری در دسترس باشد. ایستگاه‌های BTS متحرک می‌توانند مشکل موقتی شبکه موبایل در یک منطقه را سریعاً رفع و پوشش‌دهی بهتری برای اتصال کاربران به شبکه موبایل فراهم کنند. در مکان‌هایی که امکان نصب یک سایت و ایستگاه BTS روی زمین نیست و برای توسعه سریع شبکه از BTS پشت بام استفاده می‌شود.

یک دسته‌بندی دیگر ایستگاه‌های مخابراتی شامل ماکرو سایت، میکرو سایت و پیکو سایت است. ماکرو سایت‌ها برای پوشش‌دهی بخش جغرافیایی وسیعی از کاربران استفاده می‌شوند. دکل‌های این نوع ایستگاه‌ها از ۲۰ متر تا ۶۵ متر ارتفاع دارند و در داخل شهرها می‌توانند تا چند صد متر را زیر پوشش شبکه موبایل ببرند.

ایستگاه‌های میکرو سایت برای پوشش‌دهی کمتر ولی ظرفیت ترافیکی بیشتر استفاده می‌شوند. میکرو سایت‌ها معمولاً بردی کمتر از ۱۰۰ متر دارند و در نقاط کور رادیویی برای بهبود و تقویت شبکه موبایل نیز استفاده می‌شوند.

پیکو سایت‌ها در داخل ساختمان‌ها و محل‌های سرپوشیده نصب شده و برای تأمین بیشترین کیفیت دسترسی و همچنین رهاسازی بار ترافیکی ماکرو سایت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۱-۲- نحوه کار BTS

هنگامی که می‌خواهیم با فردی تماس بگیریم یا پیامک بزنیم و حتی در هنگامی که گوشی موبایل را روشن می‌کنیم؛ گوشی موبایل سعی می‌کند نزدیک‌ترین ایستگاه BTS را شناسایی کند. برای این کار با استفاده از کانال‌های سیگنالینگ یک تعداد پیغام ارسال می‌شود.

ایستگاه BTS این پیام‌های سیگنالی را دریافت می‌کند. ایستگاه‌های BTS به طور معمول از طریق فیبرنوری یا رادیوهای پرنظرفیت به سایر نقاط شبکه موبایل که نود^۱ نامیده می‌شوند؛ مرتبط می‌شوند. ایستگاه‌های BTS به این روش پیام‌های ما را در شبکه موبایل به مقصد رسانده و امکان برقراری یک تماس یا ارسال یک پیامک را فراهم می‌کنند.

هرچه تعداد آنتن‌های موبایل در محیط اطراف ما بیشتر باشد؛ پوشش‌دهی شبکه موبایل بیشتر و قوی‌تر خواهد بود و کیفیت مکالمه و استفاده از شبکه موبایل بهتر خواهد بود.

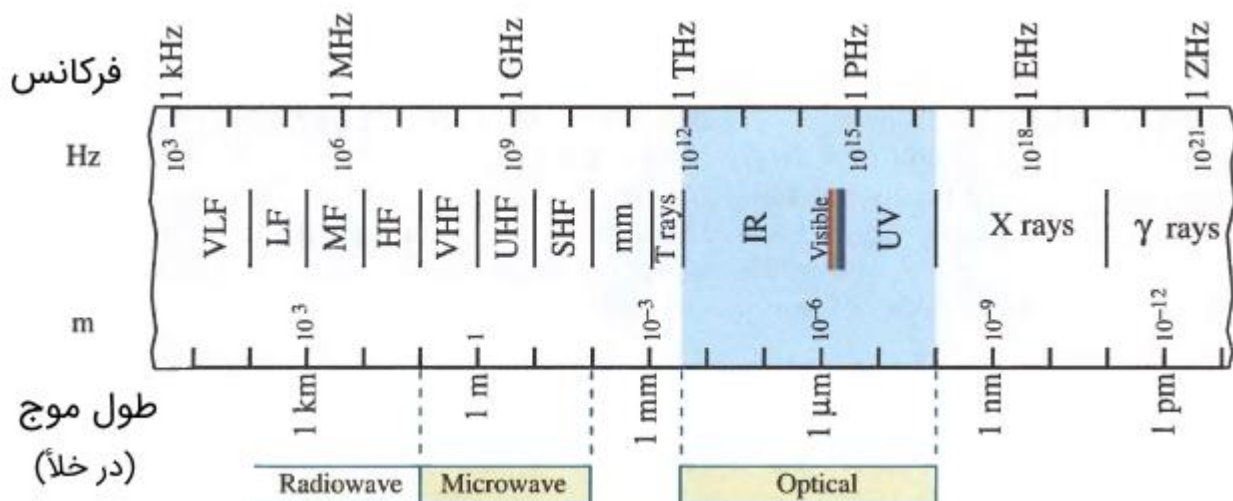
پس، ایستگاه‌های BTS نقشی مهم و بزرگ در توسعه شبکه‌های موبایل و بهبود کیفیت زندگی بشر دارند. اپراتورهای موبایل دایما در حال به‌روزرسانی خود هستند تا خدمات بهتری به مشتریان بدهند و شبکه موبایلی با بالاترین سرعت و پایین‌ترین تاخیر در اختیار مردم باشد.

۲-۲- نحوه عملکرد آنتن

فرض کنید که در یک ایستگاه رادیویی هستید و می‌خواهید صدای خود را به دوردست‌ها بفرستید. میکروفون صدای شما را که موجی مکانیکی است، تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی می‌کند. مداری که در آنجا تعبیه شده است، با صرف انرژی، سیگنال‌های الکتریکی را به یک ساختار فلزی خاص، موسوم به آنتن می‌فرستند. در واقع با ایجاد جریان الکتریکی در آنتن مذکور، الکترون‌های آن در امتداد آنتن حرکت کرده و همان‌طور که از قوانین پایه فیزیک الکتریسیته و مغناطیس می‌دانیم، بار متحرک تولید میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمود برهم، یعنی امواج الکترومغناطیسی می‌کند. این امواج در هوا با سرعتی نزدیک به سرعت نور منتشر می‌شوند.

امواج رادیویی و مایکروویو به واسطه طول موج خیلی بلندی که دارند، می‌توانند در مسیرهایی طولانی منتشر شوند.

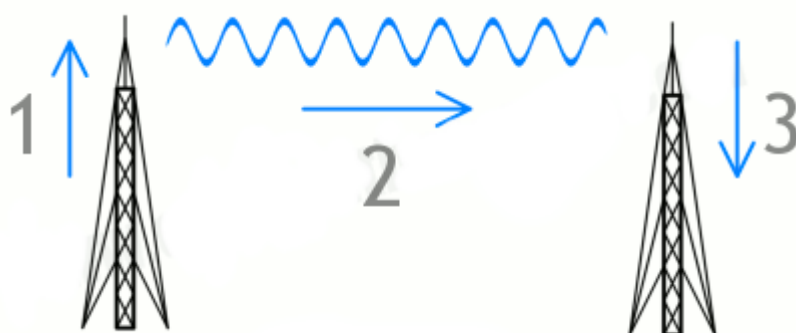
¹ Node



شکل ۲-۲ طیف الکترومغناطیسی از فرکانس‌های کم (طول موج زیاد) شروع و به صورت پیوسته تا فرکانس‌های بالا (طول موج کم) گسترش می‌یابد.

در این شکل، باندهای مختلف امواج رادیویی و میکروویو نشان داده شده است.

حال اگر شخصی آنتن رادیو خود را باز کرده و در جهت فضایی مناسبی باشد، می‌تواند این امواج الکترومغناطیسی که حاوی اطلاعات است (مدوله شده) را دریافت کند. در واقع آنتن رادیو در حکم گیرنده است. امواج الکترومغناطیسی به هنگام برخورد با آنتن رادیو، انرژی خود را به الکترون‌های آنتن داده و در نتیجه الکترون‌های آنتن فلزی به نوسان در می‌آیند. می‌توان گفت مطابق با **قانون القای فارادی**، جریان الکتریکی در آنتن شکل می‌گیرد. این جریان الکتریکی، همان سیگنال‌های الکتریکی ارسال شده توسط آنتن فرستنده هستند که به وسیله بلندگو رادیو، به امواج مکانیکی (**صوت**) تبدیل می‌شوند.



شکل ۲-۳ ارسال و دریافت سیگنال

همانطور که در شکل می بینید، با ارسال سیگنال الکتریکی به آنتن فرستنده، الکترون‌های متحرک، امواج الکترومغناطیسی تولید می‌کنند. ۲. امواج الکترومغناطیسی از طریق کانال انتقال (در اینجا هوا) منتشر می‌شوند. ۳. امواج الکترومغناطیسی با برخورد به آنتن گیرنده باعث نوسان و حرکت الکترون‌های آن می‌شوند و در نتیجه همان سیگنال ورودی به فرستنده در گیرنده ظاهر می‌شود.

آنتن‌های فرستنده و گیرنده در اغلب کاربردها طراحی و ساختاری مشابه دارند. به طول مثال آنتن فرستنده و گیرنده در دو بیسیم یک شکل و یک اندازه است. با این حال در برخی کاربردهای خاص، آنتن فرستنده می‌تواند بسیار بزرگ‌تر و قوی‌تر از آنتن گیرنده باشد. به طور مثال در ایستگاه‌های پخش تلویزیونی و رادیویی، آنتن‌های فرستنده دکل‌های بسیار بزرگ با توان ارسالی خیلی زیادی هستند. چرا که باید مسافت خیلی زیادی را پوشش دهند. این در حالی است که آنتن گیرنده تلویزیون یا رادیو تنها یک میله فلزی ساده است.



شکل ۲-۴- دو بیسیم یکسان که با جفت شدن در یک کانال خاص می‌توانند با یکدیگر توسط امواج رادیویی، ارتباط برقرار کنند. آنتن به کار رفته در هر دو بیسیم یکسان است.

امواج الکترومغناطیسی تنها از طریق هوا، به صورت مستقیم بین فرستنده و گیرنده تبادل نمی‌شوند. بسته به نوع موج الکترومغناطیسی، در واقع فرکانس آن، مقدار مسافت بین فرستنده و گیرنده و زمان ارسال، ۳ روش مختلف برای انتقال امواج الکترومغناطیسی وجود دارد:

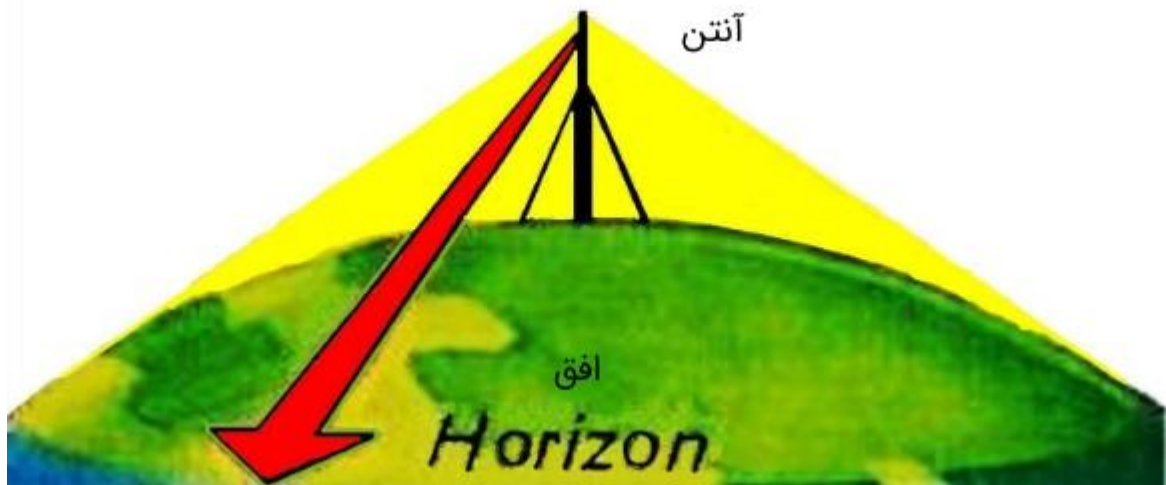
اولین حالت، انتقال به صورت مستقیم بوده که به (Line of sight) معروف است. در واقع ارسال موج را می‌توان همانند پرتو نوری یا لیزری که خطی مستقیم را طی می‌کند، در نظر گرفت. در قدیم برای شبکه‌های تلفنی راه دور و ایستگاه‌های ارتباطی میکروویو، از آنتن‌های بسیار بلند، جهت این نوع ارتباط استفاده می‌کردند.



شکل ۲-۵- آنتن‌های فرستنده و گیرنده‌ای که بالای یک برج بلند جهت ارتباطات مستقیم یا بُرد بیشتر قرار گرفته‌اند.

امروزه نیز در مخابرات نوری فضای آزاد^۱ از این نوع روش برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کنند.

¹ free space optical communication

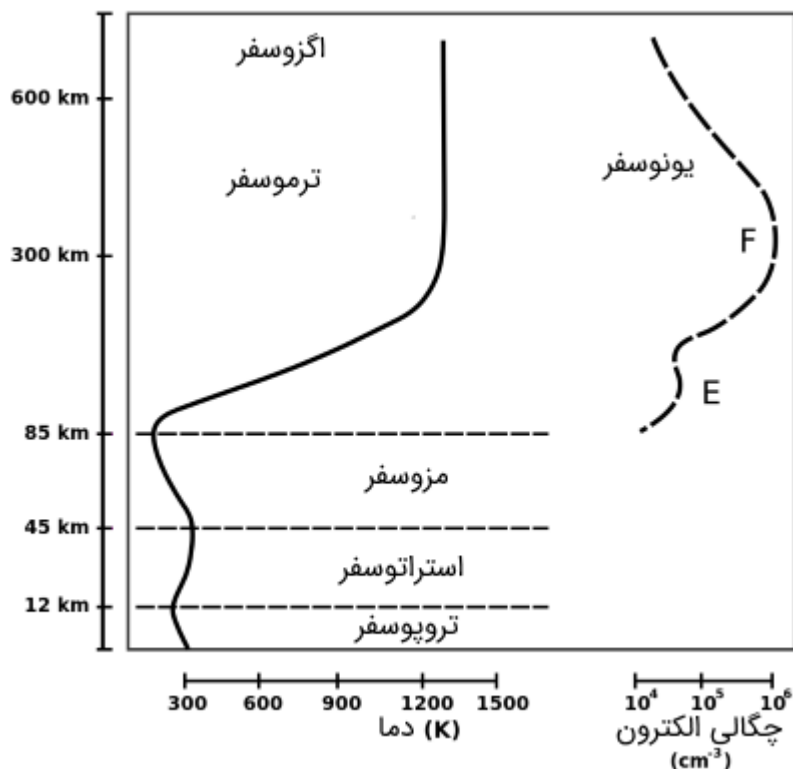


شکل ۲-۶- شماتیکی از انتقال امواج رادیویی به صورت مستقیم یا Line of sight

حالت دوم، انتشار در انحنای زمین بوده که به «انتشار امواج زمین^۱» معروف هستند. این روش تنها برای امواجی که فرکانس خیلی پایین (طول موج بالا) دارند قابل استفاده است. به طور مثال امواج رادیویی AM (امواجی الکترومغناطیسی که به روش مدولاسیون دامنه، اطلاعات بر آن‌ها سوار شده است) از این طریق منتشر می‌شوند. دلیل اینکه ما می‌توانیم توسط رادیویی که در دید مستقیم آنتن فرستنده نیست، امواج رادیویی را دریافت کنیم، همین امر است.

حالت سوم نیز این است که با ارسال امواج الکترومغناطیسی به سمت آسمان، می‌توان بازتاب آن‌ها را از لایه یونوسفر یا یون‌سپهر در سمت دیگر (مسیرهایی خیلی طولانی) دریافت کرد. یونوسفر لایه‌ای بسیار بالاتر از تروپوسفر که ما در آن زندگی می‌کنیم است. این لایه حاوی چگالی بسیار بالایی از الکترون‌ها بوده که می‌تواند برای امواج رادیویی نظیر یک بازتاب‌دهنده عمل کند.

¹ Ground wave propagation



شکل ۲-۷- لایه‌های جوی در اطراف کره زمین، به دلیل چگالی بالای الکترون‌ها در لایه یونوسفر، می‌توان از این لایه جهت بازتاب امواج رادیویی استفاده کرد.

استفاده از این روش برای ارسال امواج الکترومغناطیسی در طیف رادیویی، در شب بهتر عمل می‌کند، چرا که در روز بخش زیادی از امواج توسط لایه‌های زیرین یونوسفر جذب می‌شود. دقت داشته باشید که طول موج یا فرکانس موج ارسالی، زاویه تابش آنتن فرستنده، روز و شب (از حیث دما و وجود امواج خورشیدی)، موقعیت جغرافیایی و ... همه عواملی هستند که در این روش تاثیرات بسزایی دارند.



شکل ۲-۸ - شماتیکی از جریان‌های الکتریکی در طول روز (تابش آفتاب) در لایه یونوسفر

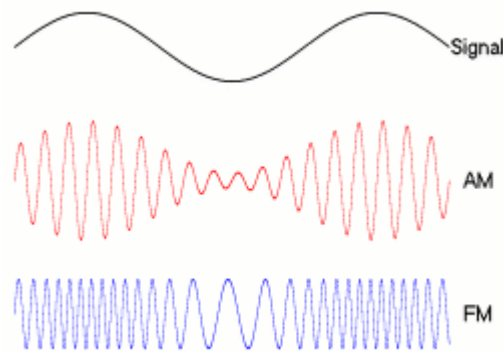
۱-۲-۲- موارد استفاده آنتن‌ها

ساده‌ترین ساختار آنتن، می‌تواند یک قطعه سیم فلزی باشد که آن را به رادیو متصل کرد. امروزه رادیوهای ترانزیستوری جدید، حداقل دو آنتن دارند. یکی از آن‌ها، میله تلسکوپی بلند و براقی است که در خارج بدنه رادیو قرار داشته و برای جمع‌آوری امواج (سیگنال) با مدولاسیون فرکانس (FM) تعبیه شده است. آنتن دوم درون بدنه رادیو و معمولاً روی بُرد اصلی به صورت ثابت قرار گرفته است که سیگنال‌های مدولاسیون دامنه (AM) را جمع‌آوری می‌کند.



شکل ۲-۹- نمایی از آنتن‌های تلسکوپی جهت دریافت امواج رادیویی FM

سیگنال‌های موجود در باندهای مختلف طیف رادیویی می‌توانند فرکانس و طول موج متفاوتی داشته باشند. به طور مثال سیگنال‌های AM معمولی دارای فرکانس 1MHz تا 1MHz هستند. این در حالی است که فرکانس سیگنال‌های معمولاً FM در حدود 100MHz تا 100MHz است. بنابراین نوسان سیگنال‌های FM حدود ۱۰۰ برابر سیگنال‌های AM است. می‌دانیم که تمامی امواج الکترومغناطیسی در هوا با تقریب خوبی، با سرعت نور ($c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$) منتشر می‌شوند. پس طبق رابطه $\lambda = cf$ ، طول موج امواج AM در حدود ۱۰۰ برابر، از طول موج امواج FM بلندتر است.

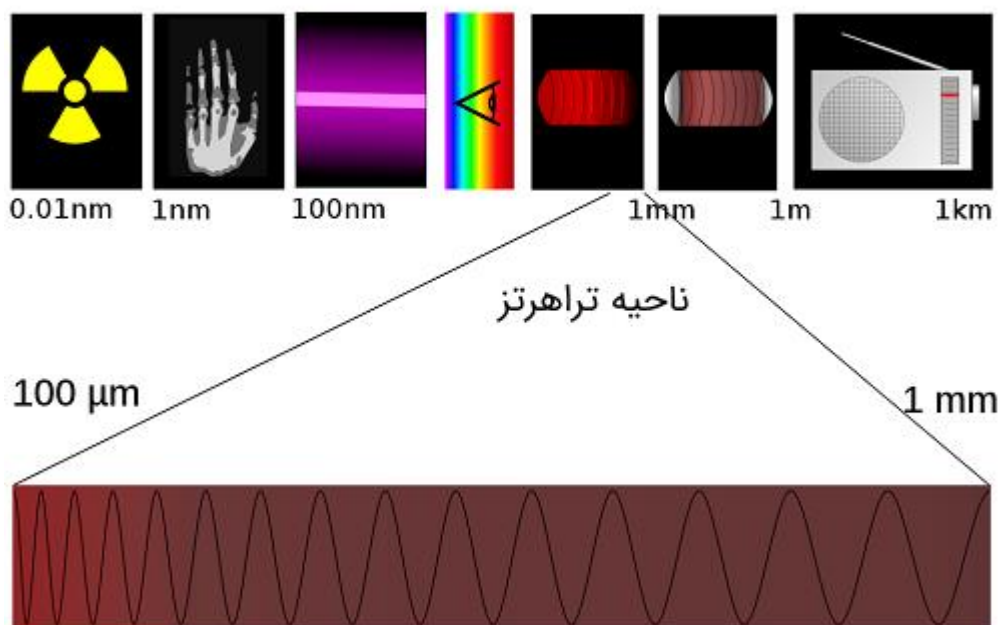


شکل ۲-۱۰ - نمایی از دو مدولاسیون دامنه و فرکانس

با این اوصاف، شما به دو آنتن نیاز دارید، چرا که یک آنتن توانایی پوشش رنج وسیعی از فرکانس‌ها را ندارد. در واقع طول موج یا فرکانس امواج ارسالی، اندازه و نوع (ساختار - جنس) آنتن را تعیین می‌کند. به طور کلی اندازه یک آنتن باید تقریباً نیمی از طول موج آنتن باشد که می‌خواهید آن را دریافت کنید. همچنین می‌توان آنتن‌هایی را توسعه داد که به اندازه یک چهارم طول موج ($\lambda/4$) یا حتی فشرده‌تر، در حدود ($\lambda/10$) باشند که کاربردهای خاص خود را دارند.

با توجه به این نکته، هرچه فرکانس امواج الکترومغناطیسی بیشتر می‌شود، آنتن مربوطه جهت ارسال و دریافت آن‌ها کوچکتر می‌شود. به طور مثال یک آنتن تراهرتز^۱ ابعادی در حدود میکرومتر یا حتی نانومتر دارد. در مقام مقایسه یک آنتنی که در طیف رادیویی کار می‌کند، می‌تواند ابعادی در حدود چندین متر نیز داشته باشد.

^۱ terahertz antenna



شکل ۲-۱۱ - طیف تراهرتز در انتهای طیف میکروویو و ابتدای طیف مادون قرمز (فرکانس 0.3THz تا 3THz) قرار دارد.

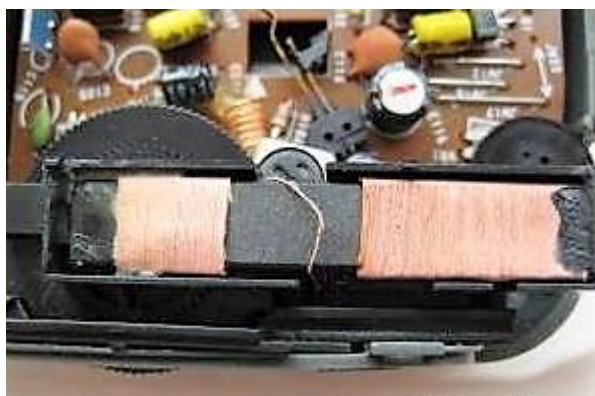
نوع (ساختار - جنس) فلز به کار رفته در آنتن گیرنده (فرستنده) نیز در دریافت (ارسال) امواج الکترومغناطیسی مهم است. به زبان ساده، چگونگی برهمکنش امواج الکترومغناطیسی با ماده تابعی از فرکانس است. در واقع آنتنی که جنس و ساختارش متناسب با باند فرکانسی خاص، انتخاب و طراحی شده باشد، در قبال باندهای فرکانسی دیگر خنثی است.

۲-۲-۲- آنتن گیرنده یک رادیو

همان‌طور که در بخش قبلی اشاره کردیم، فرکانس امواج رادیویی معمولی FM حدود 100MHz است. طبق رابطه $(\lambda = cf)$ ، این امواج طول موجی در حدود ۳ متر دارند. پس طول یک آنتن جهت دریافت مناسب امواج FM، چیزی حدود ۱٫۵ متر است که برای یک آنتن میله‌ای تلسکوپی معقول به نظر می‌رسد.

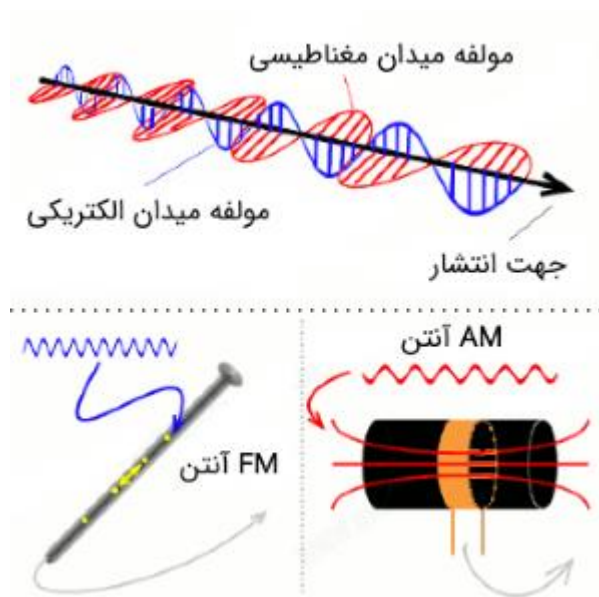
اما برای دریافت امواج رادیویی AM با فرکانس حدود 1MHz، که طول موجی در اندازه ۳۰۰ متر دارند، به یک آنتن به طول ۱۵۰ متر نیاز است!

اما چگونه رادیویی به طول ۳۰ سانتی‌متر می‌تواند سیگنال‌های AM را دریافت کند؟ در یک رادیو ترانزیستوری، آنتن گیرنده AM به روش متفاوتی نسبت به آنتن گیرنده FM کار می‌کند. می‌توان گفت، آنتن گیرنده FM از مولفه الکتریکی موج الکترومغناطیسی و آنتن گیرنده AM از مولفه مغناطیسی موج الکترومغناطیسی تاثیر می‌گیرند.



شکل ۲-۱۲- تصویر از سیم پیچیده شده به دور یک هسته فریت جهت دریافت امواج رادیویی AM همان‌طور که در شکل فوق مشخص است، می‌توان جهت دریافت سیگنال‌های AM، سیم خیلی بلندی را به صورت سیم‌پیچ به دور یک هسته آهنی فریت، درآورد و طول آن را کاهش داد. از قوانین فیزیک پایه می‌دانیم که مطابق با قانون «القا فارادی»^۱، میدان مغناطیسی می‌تواند باعث القای جریان الکتریکی شود. البته الزامی به استفاده از هسته آهنی نیست؛ در واقع از هسته آهنی بدین منظور استفاده می‌شود که از تعداد دور حلقه (سیم) کمتری استفاده کنیم.

¹ Faraday's law



شکل ۲-۱۳ - در یک دستگاه رادیو، آنتن FM مولفه الکتریکی و آنتن AM مولفه مغناطیسی امواج الکترومغناطیسی را دریافت می‌کند.

البته از این روش برای دریافت امواج AM به صورت آنتن خارجی نیز می‌توانیم استفاده کنیم. شاید به چشم آنتن‌هایی متصل به رادیو را به صورت حلقه‌های (سیم‌پیچ) به قطر ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر دیده باشید.



شکل ۲-۱۴ - یک آنتن گیرنده به صورت سیم‌پیچ (حلقه‌ای) جهت دریافت امواج الکترومغناطیسی با مدولاسیون AM.

طول موج امواج رادیویی با فرکانش مذکور در حدود ۳۷,۵ سانتی متر می‌شود، که نصف (2λ) آن حدود ۱۸ و یک چهارم آن (4λ) حدود ۹ سانتی متر است. پس برای یک موبایل هوشمند امروزی به طول تقریبی ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر مناسب است. به عنوان مثالی دیگر آنتن یک موبایل هوشمند جهت اتصال به شبکه‌های 4G/LTE می‌تواند اندازه بسیار کوچک‌تری نیز داشته باشند چرا که اکثر شبکه‌های مخابراتی 4G برای خدمات معمولی، فرکانسی حدود 1.8GHz تا 1.8GHz دارند.



شکل ۲-۱۵- حفاظ آلومینیوم

از آنجایی که بدنه برخی از تلفن‌های هوشمند از فلز (غالباً آلومینیوم) ساخته می‌شود، آنتن‌های مخابراتی را به صورت خارجی روی بدنه موبایل طراحی می‌کنند. آلومینیوم حفاظ خوبی در برابر امواج الکترومغناطیسی است.

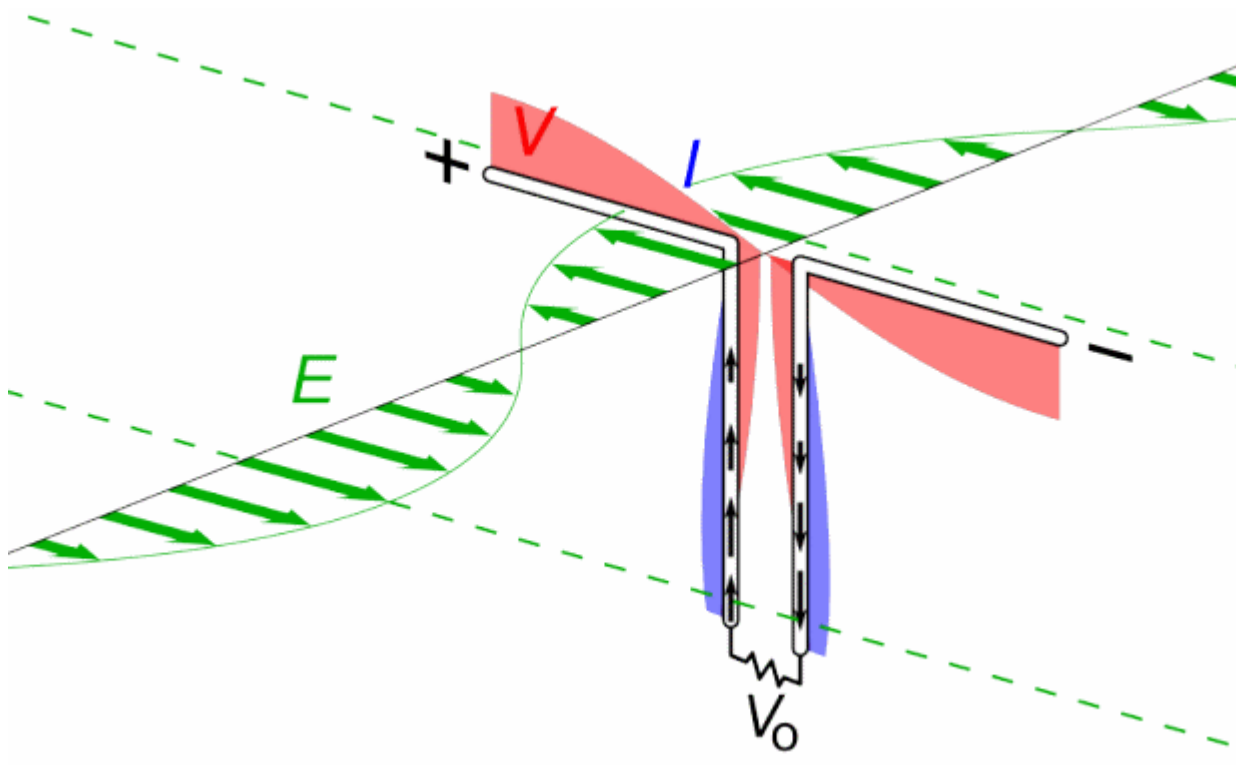
۳-۲-۲- انواع آنتن

ساده‌ترین نوع آنتن‌ها، آنتن‌های میله‌ای شکل هستند. اما احتمالاً در پشت بام اکثر خانه‌ها، آنتن‌های دوقطبی را دیده‌اید. آنتن دو قطبی، میله‌ای است که به دو بخش تقسیم شده و به صورت افقی قرار می‌گیرد.



شکل ۲-۱۶- نمایی از یک آنتن دو قطبی نصف طول موج برای فرکانس کاری UHF

تصویر زیر نمایشی از یک آنتن گیرنده دوقطبی است. میدان الکترومغناطیسی باعث حرکت الکترون‌ها در آنتن گیرنده می‌شود.



شکل ۲-۱۷- نمایشی از یک آنتن گیرنده دوقطبی

الگو و طرح‌های مختلفی از آنتن‌های دوقطبی، جهت بهبود کیفیت ارسال و دریافت طراحی و ساخته می‌شوند. به طور مثال، آنتن‌هایی موسوم به آنتن «یاگی»^۱ وجود دارند که تعدادی از این دوقطبی‌ها را در امتداد یکدیگر به واسطه یک میله مرکزی قرار داده‌اند. به شکل زیر دقت کنید:



شکل ۲-۱۸- نمایشی از یک آنتن یاگی.

در تصویر بالا، بازتابنده‌هایی برای بهبود گیرندگی در این مدل طراحی شده‌اند. برخی دیگر از آنتن‌ها به صورت حلقه‌هایی سیم‌پیچ یا ماهواره‌ای (سه‌می شکل) هستند. آنتن‌های سه‌می شکل (بشقابی یا دیش) در سیستم‌های راداری بسیار کاربرد هستند.

^۱ Yagi



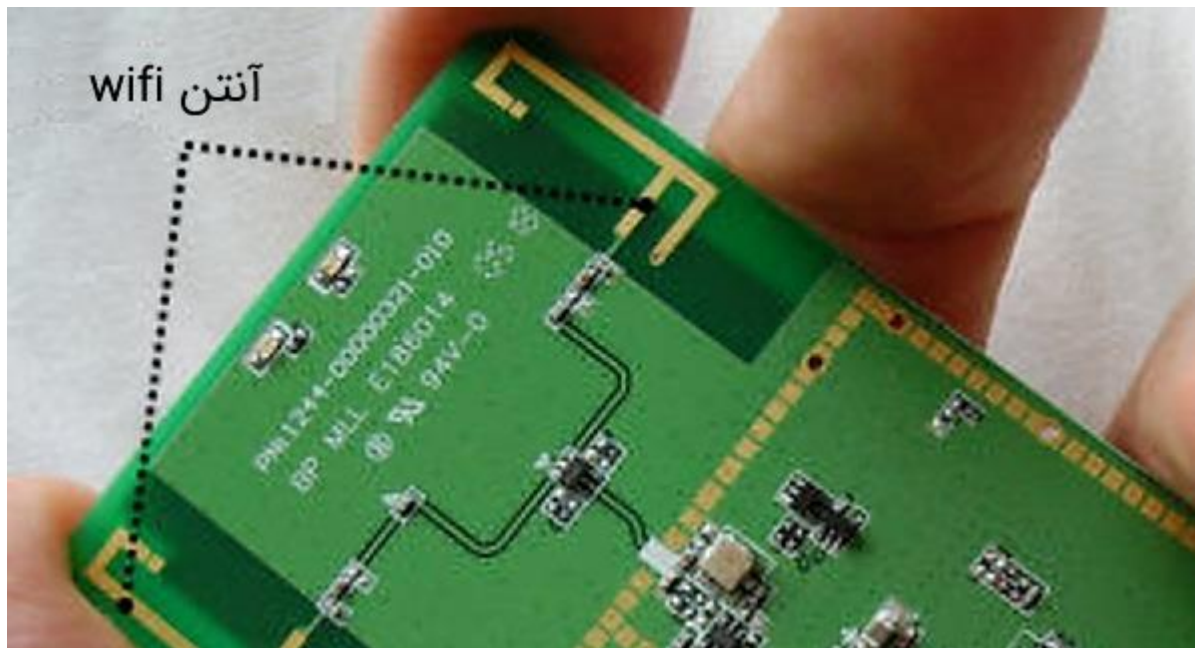
شکل ۲-۱۹- نمایی از یک آنتن سهمی شکل.

آنتن‌های سهمی شکل در نجوم رادیویی به وفور استفاده می‌شوند.

دلیل توسعه آنتن‌های مختلف، بهبود پارامترهای اساسی آن، برای فرستندگی و گیرندگی بهتر است. الگو و مدل‌های مختلف آنتن‌های دو قطبی باعث تشخیص آسان‌تر و بهتر سیگنال می‌شود. به عنوان مثالی دیگر، یک آنتن سهمی شکل، امواج الکترومغناطیسی را در همچون آینه در نقطه کانونی خود، همگرا می‌کند که گیرنده (LNB) بهتر آن‌ها را دریافت کند.

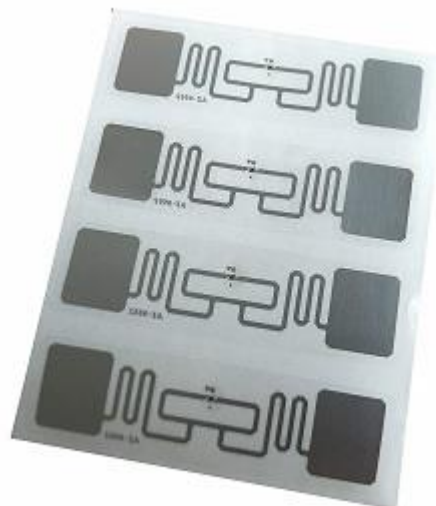
آنتن، کلمه‌ای جامع است و تنها به معنی گیرنده یا فرستنده نیست. در مثال قبل، گیرنده اصلی امواج در نقطه کانونی بشقاب سهموی قرار دارد و این بشقاب تنها همگرا کردن امواج در نقطه کانونی است. به هر حال به کل این مجموعه، آنتن گفته می‌شود. یا در آنتن‌های یاگی (تصویر ۱۶) دوقطبی‌هایی که در پشت قرار گرفته‌اند، حکم بازتابنده امواج را دارند که سیگنال بیشتری به گیرنده دوقطبی جلو برسد.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره کردیم، آنتن‌هایی که فرکانس کاری بالایی دارند، اندازه کوچکی داشته و می‌توان آن‌ها را به شرط رعایت نکاتی خاص، روی برد الکترونیکی اصلی طراحی کرد. به طور مثال، امواج Wifi که در فرکانس 2.4GHz کار می‌کنند، طول موجی در حدود ۱۲,۵ سانتی‌متر داشته که نصف آن ۶ سانتی‌متر می‌شود. پس به راحتی قابلیت طراحی روی برد را دارند.



شکل ۲-۲۰- نمایی از آنتن wifi طراحی شده روی برد الکترونیکی کوچک

نمونه‌های دیگری از آنتن‌ها هستند که احتمالاً در فروشگاه‌ها یا برخی کارتهای اعتباری زیاد آن‌ها را دیده‌اید. این نوع آنتن‌ها که به تگ‌های RFid معروف هستند، تمامی انرژی مورد نیاز خود را از امواج الکترومغناطیسی موجود در محیط می‌گیرند.



شکل ۲-۲۱- نمونه‌ای از تگ‌های RFid

۳-۲- پارامترهای اساسی آنتن

پارامترهای مختلفی برای طراحی یک آنتن مطرح می‌شوند، می‌توان گفت مهم‌ترین این پارامترها، ۳ پارامتر سمت‌گرایی (جهت)، گین و پهنای‌بند است. در زیر به معرفی این ۳ پارامتر می‌پردازیم:

۱-۳-۲- سمت‌گرایی^۱

آیا تا به حال سعی در تنظیم یک آنتن داشته اید تا کیفیت سیگنال دریافتی را افزایش دهید؟ در واقع شما سعی داشتید تا زاویه مناسب آنتن را جهت دریافت بهتر امواج الکترومغناطیسی پیدا کنید. به عنوان مثال به هنگام گوش دادن به رادیو AM با چرخش رادیو کیفیت سیگنال دریافتی بهتر می‌شود. این بدین معنی است که آنتن سیم‌پیچ به دور هسته فریب در رادیو یک آنتن جهت دار است. با چرخش رادیو به طوری که مولفه میدان مغناطیسی امواج رادیویی AM بیشترین اثر را بر سیم‌پیچ بگذارد، کیفیت سیگنال بهتر می‌شود.

آنتن FM در رادیو، آنتن جهت داری نیست، اگر کیفیت امواج در محیط مناسب باشد، با باز کردن آنتن تلسکوپی رادیو در هر جهتی می‌توان کیفیت مطلوبی را دریافت نمود.

این امر را توسط پارامتری موسوم به سمت‌گرایی توصیف می‌کنند. البته پارامتر سمت‌گرایی در همه جا امر مطلوبی نیست. به طور مثال آنتن گیرنده موبایل یا گیرنده‌های GPS باید کمترین میزان سمت‌گرایی را داشته باشند، چرا که باید بتوانند در هر وضعیتی حداکثر امواج را دریافت کنند.

۲-۳-۲- گین^۲

گین یا همان بهره آنتن، یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که در طراحی آنتن باید به آن توجه داشت. یک تلویزیون یا رادیو بدون آنتن، سیگنالی به شدت ضعیف و پر نویز را می‌گیرد. دلیل این امر این است که سایر قسمت‌های فلزی موجود در آن‌ها به عنوان آنتن عمل کرده که در جهت خاصی متمرکز نیستند.

¹ Directionality

² Gain

حال با اضافه کردن یک آنتن در جهت مناسب، سیگنال بسیار بهتری دریافت خواهیم کرد؛ در واقع باعث افزایش گین یا بهره‌وری سیگنال شده‌ایم.

گین یا بهره در واحد «دسی‌بل»^۱ اندازه‌گیری می‌شود. به عنوان قاعده‌ای کلی به یاد داشته باشید که هرچه گین یک آنتن بیشتر باشد، سیگنال ارسالی یا دریافتی بهتری خواهید داشت.

۳-۳-۲- پهنای باند^۲

پهنای باند آنتن، دامنه فرکانسی (یا طول موج) است که در آن به طور موثر کار می‌کند. پهنای باند وسیع‌تر، این امکان را به ما می‌دهد که رنج وسیعی از امواج الکترومغناطیسی با فرکانس‌های مختلف را انتخاب کنیم. به عنوان مثال چندین کانال مختلف تلویزیونی با فرکانس‌های مختلف (اما نزدیک بهم) را یکجا داشته باشید.

البته برای کاربردهایی خاصی که ارتباط شما در فرکانسی خاص برقرار است، بهتر است که پهنای باند آنتن کم باشد تا نویز پذیری آن کاهش یابد.

^۱ Decibels

^۲ Bandwidth

بخش سوم – مدولاسیون و فیلترینگ

۱-۳- مدولاسیون و دمدولاسیون در سیستم مخابراتی

مدولاسیون و دمدولاسیون در زمینهٔ ارسال و دریافت سیگنال برای تلفن همراه به شکلی مجزا تعریف می شوند. مدولاسیون، اصولاً زمانی که سیگنال های ارسالی بر روی موج حامل سوار می شوند گفته می شود. به طور کلی هدف از مدولاسیون ارسال سیگنال به شکل مطلوب است. در نهایت برای این که بتوان دریافت و ارسال سیگنال را در تلفن همراه داشت و این سیگنال ها مطابق با فرکانس مرکزی باشند و بتوان آن ها را بر روی موج حامل سوار کرد نیاز به عمل مدولاسیون ضروری به نظر می رسد. مدولاسیون به طور کلی از دو نوع مدولاسیون دامنه و مدولاسیون فرکانس تشکیل شده است.

دمدولاسیون زمانی که عمل مدولاسیون بر روی سیگنال ارسالی انجام می شود باید پیاده سازی سیگنال از موجی که حامل آن است صورت بگیرد به این عمل دمدولاسیون می گویند که در واقع نوعی رمزگشایی می باشد. در موبایل که به عنوان یک گیرنده و فرستنده عمل می کند مدولاسیون و دمدولاسیون توام با یکدیگر انجام می شوند.

۲-۳- فیلترها و شبکه های اینترنت پس از مدولاسیون و دمدولاسیون

پس از معرفی مدولاسیون و دمدولاسیون نوبت به معرفی فیلترها می رسد. فیلترها غالباً به صورت سخت افزاری یا نرم افزاری می توانند اطلاعاتی را که در فضای اینترنت مبادله می شوند محدود کنند. در نهایت فیلترها می توانند سبب شوند که محتوایی که آسیب پذیر می باشد از ورود به موبایل و تلفن همراه جلوگیری نماید. با استفاده از فیلترها و عمل فیلترینگ که در محتوای مورد نظر ایجاد می شود امکان دسترسی به وب سایت ها و یا هر نوع ارتباط اینترنتی دیگر ممکن است با محدودیت مواجه شود.

شبکه های 3G در موبایل: به عنوان نسل سوم در شبکه های تلفن همراه شبکه های 3G معرفی می شوند. این شبکه ها نسبت به شبکه های نسل دوم پیشرفته تر بوده و از لحاظ کیفیت در تماس های صوتی و

قابلیت انتقال داده ها و همین طور ارائه اینترنت پرسرعت برای تلفن همراه بهتر از نسل دوم می باشد. این نسل از اینترنت دارای قابلیت های ویژه و مطلوبی دارد که می توان آن را بر روی موبایل راه انداز کرد.

نسل 4G یا LTE به عنوان شبکه هایی شناخته می شوند که سرعت تبادل اطلاعات را به شکل بالایی در اختیار کاربران قرار می دهند. این شبکه ها دارای سرعت بالایی در ارتباطات موبایل هستند به نحوی که می توان به راحتی یک فیلم با کیفیت HD را با آن ها مشاهده نمود. سرعت بالای بیشتر از ۱۰۰ مگابایت بر ثانیه می باشد. در نسل چهارم این شبکه های موبایل به عنوان یک انقلاب در تکنولوژی بی سیم می باشند و زمانی که از این سرویس های نسل چهارم استفاده می کنید احساس می کنید که از یک شبکه LAN استفاده می کنید. مزیت استفاده از شبکه 4G این است که می توانند ارتباطات IP را با سرعت بالایی برای کاربران خود فراهم کنند.

۳-۳- انواع فیلترینگ

۳-۳-۱- فیلترینگ از طریق DNS

سرویس DNS نام هر دامنه^۱ را به IP آدرس متناظرش ترجمه می کند. آدرس سروری که سرویس DNS را ارائه می دهد، به طور اتوماتیک و در هنگام برقراری اتصال به اینترنت از طریق ISP در اختیار کامپیوتر شما گذاشته می شود. اگر این سرور DNS ، سانسور کننده باشد، کلیه درخواست ها برای سایت های غیرمجاز را بی پاسخ می گذارد.

۳-۳-۲- فیلترینگ به وسیله پروکسی

در این روش ISP دسترسی مستقیم به اینترنت را محدود کرده و شما را ملزم به استفاده از پروکسی می کند. باید در تنظیمات مرورگر، آدرس پروکسی سروری را که ISP داده را وارد کنید. کلیه درخواست ها

¹ Domain

به پروکسی فرستاده می‌شود و در صورت مجاز بودن درخواست، پروکسی آن را از اینترنت گرفته و برایتان ارسال می‌کند.

۳-۳-۳- فیلترکردن به کمک مسیریاب ها

در قسمت انتهایی شبکه^۱، مسیریاب طوری تنظیم می‌شود که ترافیک خروجی شبکه را به سمت یک سیستم خاص منحرف کند؛ کلیه درخواست‌ها از این سیستم عبور داده می‌شوند و در صورت وجود سایت‌های غیر مجاز، جریان اطلاعات بلوک می‌شود.

۳-۳-۴- فیلترینگ به کمک سانسورافزارها

این نرم‌افزارها بیشتر در منزل (برای کنترل والدین بر فرزندان)، مدارس و دانشگاه‌ها استفاده می‌شوند و در حقیقت نوعی فیلترینگ سفارشی هستند که در کشورهای مثل آمریکا به کار گرفته می‌شوند. مانند Cyber portal, Cyber sitter, Net Nanny,

۳-۳-۵- فیلترینگ به کمک مسدود کردن پورتها

پورتها مانند درهایی هستند که سرور از طریق آن‌ها سرویس هایش را ارائه می‌دهد. اگر پورتی بلوک شود، تمام سرویس‌هایی که از طریق آن پورت ارائه می‌گردد، غیر قابل دسترس می‌باشد. بیشتر پورت‌های ۸۰، ۳۱۲۸، ۸۰۸۰ مسدود می‌شوند، زیرا پورت‌های متداول برای پروکسیها هستند.

۳-۳-۶- لیست سیاه و لیست سفید

لیست سیاه، شامل آدرس مجموعه سایت‌هایی است که دسترسی به آن‌ها مجاز نمی‌باشد. گاهی هم از کلمات کلیدی استفاده می‌شود به طوری که اگر در سایت مورد درخواست این کلمات وجود داشته باشد، بلوک می‌شود.

¹ Gateway

لیست سفید، شامل آدرس مجموعه سایت‌هایی است که دسترسی به آن‌ها مجاز می‌باشد. در سازمان‌هایی استفاده می‌شود که می‌خواهند کارمندان‌شان فقط به تعداد معدودی سایت دسترسی داشته باشند.

۷-۳-۳- فیلترینگ معکوس

این نوع فیلترینگ در مقصد انجام می‌شود. سرور شرکت ارائه دهنده خدمات، قبل از ارائه هر گونه سرویسی، ابتدا IP مشتری را چک می‌کند و در صورتی که متعلق به یک کشور تحریم شده باشد، از ارائه سرویس سرباز می‌زند.

بخش چهارم – امواج و ارتباطات

۱-۴- امواج رادیویی

فرکانس رادیویی (RF) به فرکانس هایی در بازه ۳ کیلوهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز گفته می شود. هر یک از وسایل ارتباط رادیویی که توسط نهادهای، شرکت ها و سازمان های دولتی و یا عموم مردم مورد استفاده قرار می گیرد، از بازه ای مخصوص استفاده می کند. برای مثال محدوده اختصاصی رادیو FM بین ۸۷ مگاهرتز تا ۱۰۸ مگاهرتز است و فرستنده های رادیو FM مجاز هستند فرکانس کانال های خود را در این محدوده قرار دهند. یا محدوده اختصاصی ناوبری رادیویی هوانوردی در باند VHF بین ۱۰۸ مگاهرتز تا ۱۱۷,۹۷۵ مگاهرتز است.

۲-۴- رادیو

به فناوری یا دستگاهی گفته می شود که صدا، پیام یا سیگنال ها را به وسیله امواج رادیویی منتقل می کند.

۳-۴- ارتباطات رادیویی

ارسال و دریافت سیگنال های رادیویی با استفاده از انواع روش های مدولاسیون را ارتباطات رادیویی گویند.

۴-۴- ایستگاه فرستنده و گیرنده BTS

هر ارتباط رادیویی برای پیاده سازی نیازمند یک سری بسترهای سخت افزاری است. یکی از بسترهای سخت افزاری مورد نیاز نسل های شبکه تلفن همراه، BTS است. BTS که به معنی پایگاه استقرار فرستنده و گیرنده است، از اجزای زیر تشکیل شده است: فرستنده^۱، گیرنده^۲، تقویت کننده^۳ قدرت،

^۱ Transmitter

^۲ Receiver

^۳ Power Amplifier

ترکیب کننده، مالتی پلکسر، آنتن، سیستم‌های نظارت و توسعه، واحد کنترل و واحد گیرنده باند پایه است.

۵-۴- روش‌های دسترسی به کانال

روش‌های دسترسی به کانال به روش‌های استفاده از پهنای باند مشترک توسط چند سیستم مخابراتی است. انواع مختلف روش دسترسی به کانال وجود دارد که ما سه مورد از آن‌ها را نام می‌بریم:

۱- روش ^۱FDMA یا دسترسی چندگانه با تقسیم فرکانس. در این روش، پهنای باند اختصاص یافته به سیستم‌های مخابراتی، به چند بخش تقسیم می‌شوند و هر سیستم مخابراتی در محدوده فرکانسی خود به تبادل اطلاعات می‌پردازد. اگر بخواهیم مثالی برای تفهیم روش FDMA بزنیم، این است که چند نفر به طور همزمان در کانال‌هایی با محدوده‌های فرکانسی مختلف با یکدیگر صحبت می‌کنند.

۲- روش ^۲TDMA یا دسترسی چندگانه با تقسیم زمان. در این روش در هر لحظه از زمان، محدوده فرکانسی مشترک به یک سیستم مخابراتی اختصاص داده می‌شود. به این لحظه از زمان اصطلاحاً شیار زمانی گفته می‌شود و هر سیستم مخابراتی در شیار زمانی خود به تبادل اطلاعات در آن محدوده فرکانسی می‌پردازد. اگر بخواهیم روش TDMA را طی یک مثال تفهیم کنیم، این است که چند نفر به طور همزمان توسط یک کانال با یکدیگر صحبت می‌کنند اما در لحظه‌ای از زمان کانال در اختیار یک فرستنده و گیرنده قرار می‌گیرد و در زمانی دیگر، کانال در اختیار فرستنده و گیرنده دیگری قرار می‌گیرد. سرعت اختصاص یافتن کانال به فرستنده‌ها و گیرنده‌ها، به قدری زیاد است که گیرنده (شنونده) متوجه نمی‌شود که در زمان‌هایی، کانال در اختیار خودش و فرستنده نبوده است.

۳- روش ^۳CDMA یا دسترسی چندگانه با تقسیم کد. در این روش اطلاعات هر فرستنده کد می‌شود و اطلاعات همه فرستنده‌ها با اشغال محدوده فرکانسی به طور همزمان فرستاده می‌شود. در سمت گیرنده،

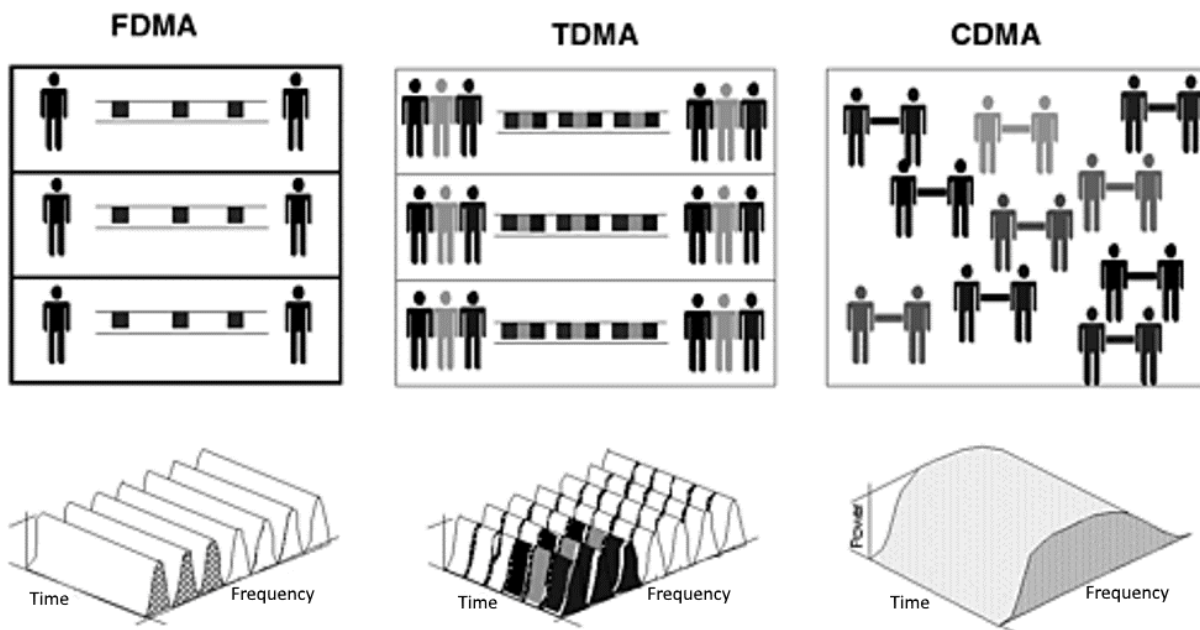
¹ Frequency-Division Multiple Access

² Time-Division Multiple Access

³ Code-Division Multiple Access

هر گیرنده با توجه به نوع کدگذاری که روی اطلاعات انجام شده، تنها اطلاعات مربوط به فرستنده خود را دریافت می کند. اگر بخواهیم مثالی برای روش CDMA بزنیم، این است که در یک جمع، همه افراد بخواهند دو به دو با هم حرف بزنند. در این صورت باید گوینده و شنونده با زبان خودشان حرف بزنند تا متوجه حرف یکدیگر شوند و همچنین دیگران متوجه حرف آنها نشوند.

در شکل زیر سه روش FDMA و TDMA و CDMA با نمودار و مثال تصویر شده اند.



شکل ۴-۱- روش های دسترسی به کانال، FDMA و TDMA و CDMA

بخش پنجم – نسل‌های تلفن همراه

۱-۵- نسل‌های شبکه تلفن همراه

۱-۱-۵- نسل اول تلفن همراه یا 1G

نسل اول شبکه تلفن همراه یا نسل اول تلفن همراه را که آن را با نام 1G^۱ می‌شناسیم، آنالوگ بود. شروع به کار راه اندازی شبکه ای به منظور ارتباط موبایل (متحرک)، برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ در کشورهای اسکاندیناوی یعنی سوئد، نروژ و فنلاند و همچنین دانمارک شروع شد که در اواخر این دهه، اولین ارتباط نقطه به نقطه از راه دور به کار گرفته شد. پس از آن کشورهای اسکاندیناوی، اولین شبکه تلفن متحرک را با نام NMT^۲ راه اندازی کردند. سپس آمریکا نیز این کار را انجام داد. ژاپن هم با بهره‌گیری از NMT در اسکاندیناوی و آمریکا، سیستم سیار خود را با نام HCMS عرضه و در ادامه سیستم NTT را با قابلیت اتصال به شبکه برقرار کرد.

انواع دیگر از شبکه آنالوگ از جمله AMPS در آمریکا، TACS در انگلستان، Radiocom 2000 در فرانسه و RTMI در ایتالیا ساخته شدند. اینها نسل اول شبکه همراه بودند. ارتباط تلفنی در این نسل می‌تواند در فرکانس ۱۵۰ مگاهرتز یا بالاتر مدوله شده و به برج‌های رادیویی فرستاده شود. روش تخصیص فرکانس نسل اول تلفن همراه FDMA بود.

پس از آن نسل‌های شبکه تلفن همراهی به وجود آمد که همگی به صورت دیجیتال بودند.

۲-۱-۵- نسل دوم تلفن همراه یا 2G

تکامل نسل‌های شبکه تلفن همراه موجب به وجود آمدن نسل دیجیتال این نوع شبکه شد. این سیستم مزایای بیشتری از جمله سرعت بالاتر انتقال اطلاعات، اطلاعات رمز گذاری شده و افزایش تعداد مشترکان

¹ 1st Generation

² Nordic Mobile Telephone

را به همراه داشت. در سال ۱۹۸۵ موسسه^۱ ETSI متشکل از هفده کشور اروپایی در صدد طراحی و ابداع یک استاندارد مشترک برای ایجاد شبکه سلولی تاسیس شد.

در ابتدا هدف استاندارد سازی تلفن سیار دیجیتال به صورت همگانی بوده است. این استاندارد GSM^۲ نام گرفت. در سال ۱۹۸۷، سیزده کشور اروپایی یادداشت تفاهمی تحت عنوان MoU^۳ امضا کردند، پیرو این تفاهم نامه، تمامی اعضا می بایست که استاندارد GSM را رعایت می کردند. در این سال ها، سیستم های موبایل زمینی و ماهواره ای یکپارچه شدند و در نتیجه انواع مختلفی از دسترسی بی سیم به صورت جهانی، شامل سرویس های موجود در شبکه مخابراتی ثابت و سرویس های موبایل، عملی شد. در نسل دوم تلفن همراه، به جای استفاده از روش FDMA از روش های TDMA و CDMA استفاده شد.

در این برهه از زمان، پروتکل ها و موسسات دیگری نیز در رابطه با ارتباطات به وجود آمده که خارج از بحث ما است. اما در این قسمت چند استاندارد که به عنوان نسل دوم شبکه تلفن همراه ساخته شدند، آورده می شود:

۱- استاندارد GSM (مبتنی بر TDMA): مورد استفاده در سراسر دنیا؛

۲- استاندارد IS-95 (مبتنی بر CDMA): مورد استفاده در آمریکا و بخش هایی از آسیا؛

۳- استاندارد PDC یا JDC (مبتنی بر TDMA): مورد استفاده در ژاپن؛

۴- استاندارد iDEN (مبتنی بر TDMA): مورد استفاده در آمریکا و کانادا؛

۵- استاندارد IS-136 یا D-AMPS (مبتنی بر TDMA): مورد استفاده در آمریکا.

در نهایت نسل 2G از سال ۱۹۹۲ به صورت فراگیر استفاده شد. این فناوری ها پس از ۱۸ سال از به وجود آمدن، وارد ایران شده و در تیرماه سال ۱۳۷۲ بود که اولین ثبت نام تلفن همراه در کشور انجام

¹ European Telecommunications Standards Institute

² Global System for Mobile Communication

³ Memorandum of Understanding

شد. پس از آن گسترش شبکه‌های تلفن همراه در کشور با فراز و نشیب‌های بسیار به جایگاه امروزی رسیده است، به طوری که کلیه مناطق کشور را تحت پوشش دارد.

باتوجه به شاخص بودن استاندارد GSM در میان مابقی استانداردهای نسل 2G، از این پس هرکجا صحبت از نسل دوم تلفن همراه می‌شود، منظور GSM است.

۳-۱-۵- نسل‌های 2.5G و 2.75G تلفن همراه

با ادامه روند پیشرفت در شبکه‌های سلولی نسل دوم، به منظور برقراری امکان ارسال و دریافت اطلاعات یا داده را روی شبکه تلفن همراه، یک سری ملحقات از جمله GPRS و EDGE بر روی نسل دوم افزوده شد. این دو استاندارد، یک ارزش افزوده بر روی شبکه GSM هستند و به منظور استفاده از این استانداردها نیاز به بستر سخت افزاری جدیدی نبوده و می‌توان با یک سری بروز رسانی‌ها، از همان آنتن‌های GSM استفاده کرد.

در نسل 2.5 که به آن ^۱GPRS گفته می‌شود، داده‌ها به صورت بسته ^۲فرستاده می‌شوند. با استفاده از GPRS، قابلیت ارسال پیام تصویری (MMS) و خدمات اینترنت، به شبکه‌های سلولی اضافه شد. این دو قابلیت باعث به وجود آمدن نسل جدید به نام 2.5G شد. سرعت اولیه در GPRS بسیار پایین بوده است. سرعت آن به مرور زمان افزایش یافته و امروزه سرعت در حالت دانلود به ۱۷۱ کیلوبیت برثانیه می‌رسد.

قبل از ورود به نسل سوم تلفن همراه، فناوری دیگری به نام ^۳EDGE یا ^۴EGPRS در سال ۲۰۰۳ به وجود آمد که به دلیل نزدیکی به نسل سوم، به صورت غیر رسمی، 2.75G نام گذاری شده است. هدف از به وجود آمدن این فناوری، افزایش سرعت بود. یکی از مزیت‌های EDGE این است که همانند

^۱ General Packet Radio Service

^۲ Packet

^۳ Enhanced Data GSM Evolution

^۴ Enhanced GPRS

GPRS نیاز به ایستگاه پایه (آنتن مرکزی) جداگانه نداشته و با همان آنتن‌های شبکه‌های نسل دوم نیز سازگار است. این فناوری در گوشی تلفن همراه به اختصار E نشان داده می‌شود. در این فناوری می‌توان به سرعت ۲۳۶٫۸ کیلوبیت برثانیه دست یافت.



شکل ۵-۱- برخی ماژول های 2G شرکت SIMCOM

۴-۱-۵- نسل سوم تلفن همراه یا 3G

با گذر زمان و افزایش سطح انتظارات و نیازهایی همچون ارسال و دریافت فایل های چندرسانه ای حجیم، استفاده از ویدئو کنفرانس، نیاز به دریافت اطلاعات در هنگام حرکت، انجام بازی های آنلاین و بسیاری از موارد دیگر، باعث ساخت نسل سوم تلفن همراه با رویکرد مالتی مدیا شد. در نسل سوم تلفن همراه، فناوری های مختلفی در کشورهای متفاوت به وجود آمد. استاندارد^۱ UMTS که در سال ۲۰۰۱ توسط سازمان GPP^۲ معرفی شد، فراگیرتر از سایر رقبا همچون WCDMA^۳ است. در نسل سوم تلفن همراه، سرعت دریافت تا ۴۲ مگابیت برثانیه قابل دسترسی است. امنیت در این نسل بالاتر رفته و ژاپن اولین کشوری بود که از سال ۲۰۰۱ به صورت گسترده و تجاری از 3G استفاده کرد. پیشرفت های 3G نسبت به نسل قبل را می توان به صورت زیر خلاصه گفت:

۱- اتصال به شبکه اینترنت با سرعت بالا و درحین حرکت؛

۲- برقراری تماس تصویری؛

^۱ Universal Mobile Telecommunications System

^۲ 3rd Generation Partnership Project

^۳ Wideband Code Division Multiple Access

۳- دانلود ویدئو، امکان دریافت کلیپ های تصویری بر روی گوشی تلفن همراه؛

۴- امکان دریافت تصاویر تلویزیونی بر روی گوشی های تلفن همراه؛

۵- ارائه انواع محتوای دیجیتال بر بستر شبکه تلفن همراه.

این استاندارد که باتوجه به سرعت بالا نسبت به 2G، نیاز به تغییر برخی زیرساخت ها در کشور داشت، در ۱۳۸۹ وارد ایران شد.

یک توضیح کوتاه درباره 3GPP (پروژه مشارکت نسل سوم) این که یک همکاری بین گروه های انجمن استاندارد ارتباطات راه دور (ETSI) بوده است. در ابتدا حوزه فعالیت 3GPP مربوط به نسل سوم تلفن همراه بود اما در ادامه حوزه فعالیت آن گسترش یافته و حتی امروزه در استانداردهای نسل 5G نیز نقش دارد.

۵-۱-۵- نسل 3.5G و 3.75G تلفن همراه

با پیشرفت و نزدیک شدن به نسل چهارم، فناوری هایی جدیدی شکل گرفت که تحت عنوان نسل های 3.5G و 3.75G نام گذاری شدند. نسل 3.5، فناوری ^۱HSPA است که می تواند حداکثر سرعت ۷,۲ مگابیت بر ثانیه دست یابد. نسل 3.75، فناوری HSPA+ است که می تواند حداکثر سرعت ۸۴ مگابیت بر ثانیه را به ارمغان آورد. هر دوی این فناوری ها توسط 3GPP ارائه شدند. در گوشی های تلفن همراه این دو فناوری با علامتهای H و H+ نمایش داده می شوند.



شکل ۵-۲- چند مازول 3G شرکت SIMCOM

¹ High-Speed Downlink Packet Access

۶-۱-۵- نسل چهارم تلفن همراه یا 4G

در نسل چهارم تلفن همراه، هدف افزایش ظرفیت، سرعت، کیفیت سرویس و مناطق تحت پوشش و همچنین کاهش هزینه است. یکی از استانداردهای ارائه شده برای 4G، استاندارد ^۱LTE است که توسط 3GPP ارائه شده است. از استانداردهای دیگر در این نسل، ^۲UBM و ^۳WIMAX هستند که برای WIMAX دو نسخه WIMAX1 و WIMAX2 ارائه شده است. این دو استاندارد نسبت به LTE محبوبیت کمتری دارند.

هدف ^۴G رسیدن به سرعت ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه در حال حرکت و ۱ گیگابیت بر ثانیه در حالت سکون است که در مقایسه با نسل قبلی تفاوت چشمگیری محسوب می شود. از دیگر ویژگی های مهم نسل چهارم شبکه تلفن همراه این است که مکالمه صوتی نیز باید همانند داده به صورت بسته ارسال شود که به آن VoIP یا ^۴VoLTE گفته می شود.

در ایران، ایرانسل اولین اپراتور ارائه دهنده LTE در سال ۱۳۹۳ بوده است که در ابتدا تنها مشهد و تهران و هم اکنون اکثر نقاط کشور را تحت پوشش دارد. اکنون این فناوری توسط هر سه اپراتور تلفن همراه (ایرانسل، همراه اول و رایتل) در کشور پشتیبانی می شود.

۷-۱-۵- نسل 4.5 تلفن همراه

در راه رسیدن از 4G به 5G، فناوری هایی جدیدی به وجود آمدند. از جمله ^۵LTE-A و ^۶MIMO که عملکرد بهتری نسبت به 4G دارند. همراه اول، اولین اپراتور ارائه دهنده نسل 4.5G تلفن همراه کشور بوده است. دو برتری 4.5G در مقایسه با 4G عبارتند از :

^۱ Long Term Evolution

^۲ Ultra Mobile Broadband

^۳ Worldwide Interoperability for Microwave Access

^۴ Voice on LTE

^۵ LTE Advanced

^۶ Multiple Input – Multiple Output

۱- میانگین سرعت دانلود در 4.5G در حدود ۲ تا ۳ برابر بیشتر از 4G است؛

۲- پشتیبانی از فناوری اینترنت اشیا باند باریک یا NB-IoT^۱

با گذر زمان، نسخه های متعددی از LTE به وجود آمد. در نسخه ۱۳ از LTE دو فناوری مهم به نام های eMTC (که با نام LTE Cat-M1 نیز شناخته می شود) و NB-IoT (اینترنت اشیا باند باریک) معرفی شدند. این استاندارد از روش FDD^۲ برای دسترسی به کانال ها استفاده می کند. فناوری eMTC، بیشترین پهنای باند را فراهم کرده و برای ارسال های بی درنگ و اپلیکیشن های تلفن همراه مناسب است. فناوری NB-IoT بر روی نرخ انتقال بسیار پایین به منظور کوچک تر کردن دستگاه و کم کردن هزینه ساخت تمرکز دارد. این فناوری هم در طیف فرکانسی 4G و هم در طیف فرکانسی 2G کار کرده و برای سنسورها نیز مناسب است. NB-IoT تنها از ۲۰۰ کیلوهرتز پهنای باند استفاده کرده تا اینکه به نرخ انتقال چند ده کیلوبیت بر ثانیه دست پیدا کند.



شکل ۵-۳- چند ماژول 4G شرکت SIMCOM

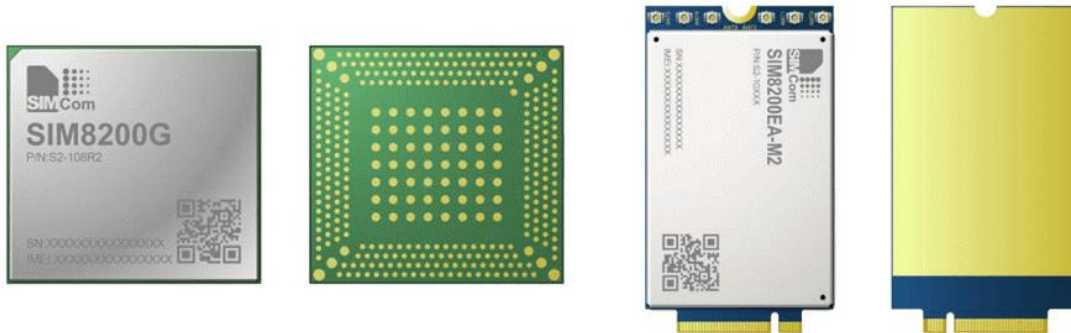
۸-۱-۵- نسل پنجم تلفن همراه یا 5G

نسل آینده از شبکه های تلفن همراه، نسل پنجم تلفن همراه یا 5G است. در نسل پنجم تلفن همراه، سرعت انتقال ۲۰ گیگابیت بر ثانیه هدف گذاری شده که افزایش چشمگیری خواهد بود. همچنین علاوه

¹ Narrow Band IoT

² Frequency Division Duplex

بر افزایش سرعت، فناوری هایی نوین به منظور کاهش مصرف توان در ساعات کم مصرف و همچنین بهبود پشتیبانی از ارتباطات ماشین به ماشین و بدون دخالت انسان (اینترنت اشیا)، با هزینه، مصرف باتری و تأخیر کمتر از نسل چهارم خواهد بود.



شکل ۵-۴- ماژول های 5G شرکت SIMCOM

۲-۵- نکاتی درباره نسل های تلفن همراه

۱- نسل های شبکه تلفن همراه مجموعه پیشرفت های سخت افزاری و نرم افزاری هستند که با به وجود آمدن مخابرات موبایل (متحرک) به وجود آمده اند.

۲- هر یک از وسایل ارتباط رادیویی که توسط نهادها، شرکت ها و سازمان های دولتی و یا عموم مردم مورد استفاده قرار می گیرد، از بازه فرکانسی مخصوصی استفاده می کند.

۳- روش های دسترسی به کانال به روش های استفاده از پهنای باند مشترک توسط چند سیستم مخابراتی است. انواع مختلف روش دسترسی به کانال وجود دارد که FDMA و TDMA و CDMA از این روش ها هستند.

۴- تنها نسل اول شبکه تلفن همراه آنالوگ بود. نسل های دوم تا پنجم همگی دیجیتال هستند.

۵- شروع به کار راه اندازی شبکه ای به منظور ارتباط موبایل، برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ در کشورهای اسکانندیناوی یعنی سوئد، نروژ و فنلاند و همچنین دانمارک شروع شد. پس از آن آمریکا، ژاپن، انگلستان، فرانسه و ایتالیا نیز هر کدام شبکه تلفن همراه خود را ساختند.

۶- در سال ۱۹۸۵ موسسه ETSI متشکل از هفده کشور اروپایی در صدد طراحی و ابداع یک استاندارد مشترک برای ایجاد شبکه سلولی تاسیس شد. این استاندارد GSM نام گرفت.

۷- در سال ۱۹۸۷، سیزده کشور اروپایی یادداشت تفاهمی تحت عنوان MoU امضا کردند، پیرو این تفاهم نامه، تمامی اعضا می بایست که استاندارد GSM را رعایت می کردند.

۸- نسل‌های شبکه تلفن همراه شامل نسل دوم تلفن همراه، نسل سوم تلفن همراه و نسل چهارم تلفن همراه، دارای پیشرفت‌هایی شدند که نام آن‌ها به ترتیب عبارت از 2.5G و 2.75G و 3.5G و 3.75G و 4.5G است.

۹- 3GPP یک همکاری بین گروه‌های انجمن استاندارد ارتباطات راه دور (ETSI) بوده است. در ابتدا حوزه فعالیت 3GPP مربوط به نسل سوم تلفن همراه بود اما در ادامه حوزه فعالیت آن گسترش یافته و حتی امروزه در استانداردهای نسل 5G نیز نقش دارد.

۱۰- از ویژگی‌های مهم نسل چهارم شبکه تلفن همراه این است که مکالمه صوتی نیز باید همانند داده به صورت بسته ارسال شود که به آن VoIP یا VoLTE گفته می‌شود.

۱۱- دو برتری 5G در مقایسه با 4G عبارتند از : اول: میانگین سرعت دانلود در 4.5G در حدود ۲ تا ۳ برابر بیشتر از 4G است. دوم: پشتیبانی از فناوری اینترنت اشیا باند باریک یا NB-IoT.

۱۲- در نسخه ۱۳ از LTE دو فناوری مهم به نام‌های eMTC و NB-IoT معرفی شدند.

۱۳- در نسل پنجم تلفن همراه، سرعت انتقال ۲۰ گیگابیت بر ثانیه هدف گذاری شده که افزایش چشمگیری خواهد بود.

۳-۵- تجهیزات شبکه بی‌سیم

الف) کارت شبکه بی‌سیم: سه نوع کارت شبکه بی‌سیم وجود دارد:

۱- کارت شبکه بی‌سیم که در شکاف توسعه روی برد اصلی جایگذاری می‌شود و امروزه غالباً در دو نوع PC-Express و PCI وجود دارند.

۲- کارت شبکه مخصوص لپ‌تاپ PCMCIA یا PC card. لازم به ذکر است اغلب لپ‌تاپ‌ها دارای کارت شبکه بی‌سیم است.

۳- کارت شبکه بی‌سیم USB که می‌توان هم به رایانه رومیزی و هم لپ‌تاپ متصل کرد.

ب) Access Point یا A.P: هنگامی که لازم باشد بین رایانه‌های شبکه که دارای کارت شبکه بی‌سیم هستند، ارتباط برقرار کرد از Access Point استفاده می‌شود؛ البته این موضوع زمانی ضرورت پیدا می‌کند که تعداد رایانه‌ها از پنج دستگاه بیشتر باشد؛ چون در تعداد کمتر از پنج رایانه می‌توان بدون استفاده از اکسس پوینت با تکنولوژی Ad Hoc رایانه‌ها را به هم به‌صورت شبکه متصل نمود. می‌توان گفت که دستگاه A.P درواقع نقش سوئیچ در شبکه‌های سیمی را دارد و کار تقویت سیگنال رادیویی را هم برای ارتباط بهتر فراهم می‌کند. در بعضی از A.P ها این امکان وجود دارد که از آن‌ها به‌عنوان مسیریاب نیز استفاده کرد.

انواع Access Point:

۱- داخلی یا Indoor

۲- خارجی یا Outdoor

۴-۵- نقش آنتن در شبکه بی‌سیم

آنتن، یکی از تجهیزات مهم در شبکه بی‌سیم است که انتخاب نامناسب آن در کاهش کارایی شبکه نقش مهمی دارد.

- انواع آنتن به لحاظ محل قرارگیری

۱- آنتن‌های داخلی^۱: در فضای بسته داخل ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد و معمولاً از ۲db تا ۱۰db ساخته می‌شود.

¹ Indoor

۲- آنتن‌های خارجی^۱: بیرون از ساختمان و برای ارتباط راه دور (تا چند صد کیلومتر) استفاده می‌شود. برای اتصال A.P داخلی به آنتن‌های خارجی از کابل کوکسیال مخصوص استفاده می‌شود.

- انواع آنتن برای ارتباط بین دو یا چند شبکه (A.P)

۱- آنتن‌های یک‌به‌یک: جهت آنتن‌های یک‌به‌یک به سمت همدیگر تنظیم می‌شود. در صورتی که جهت دو آنتن بیش از ۴۵ درجه اختلاف داشته باشند ارتباط برقرار نخواهد شد، زیرا در آنتن‌های یک‌به‌یک امواج به‌طور مستقیم ارسال می‌شوند.

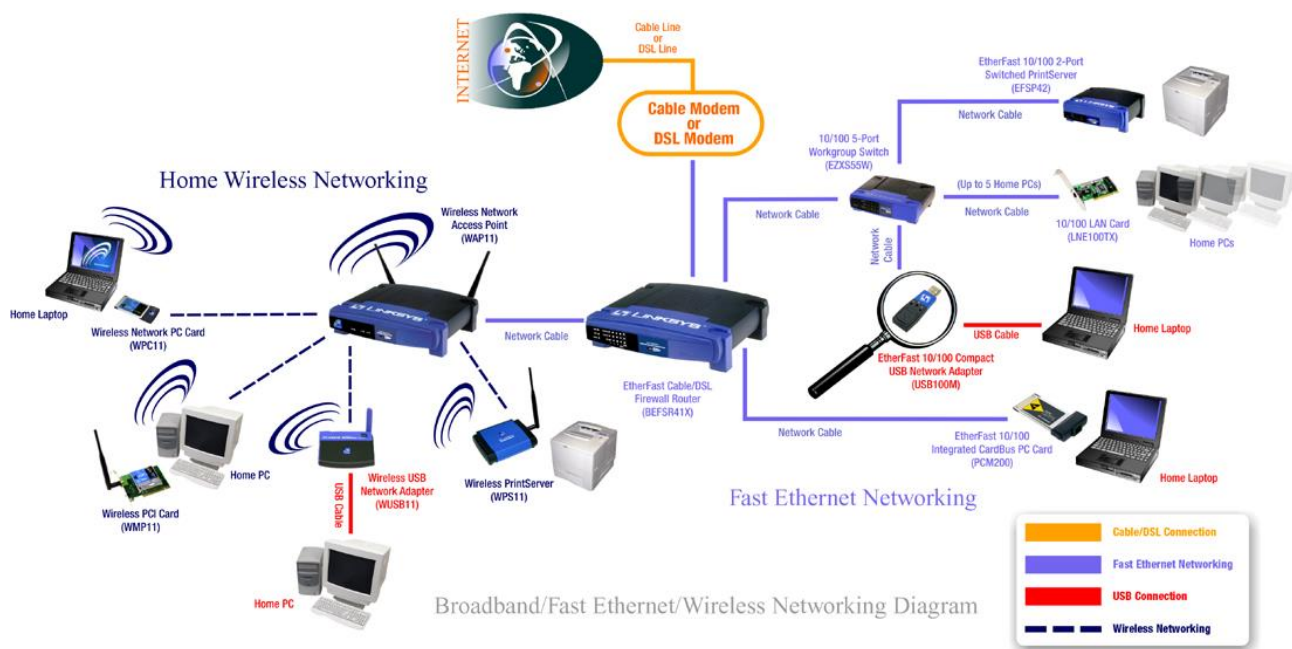
دو نوع آنتن یک جهته وجود دارد:

الف) آنتن‌های یک جهته پانلی.

ب) آنتن‌های یک جهته سهمی‌وار.

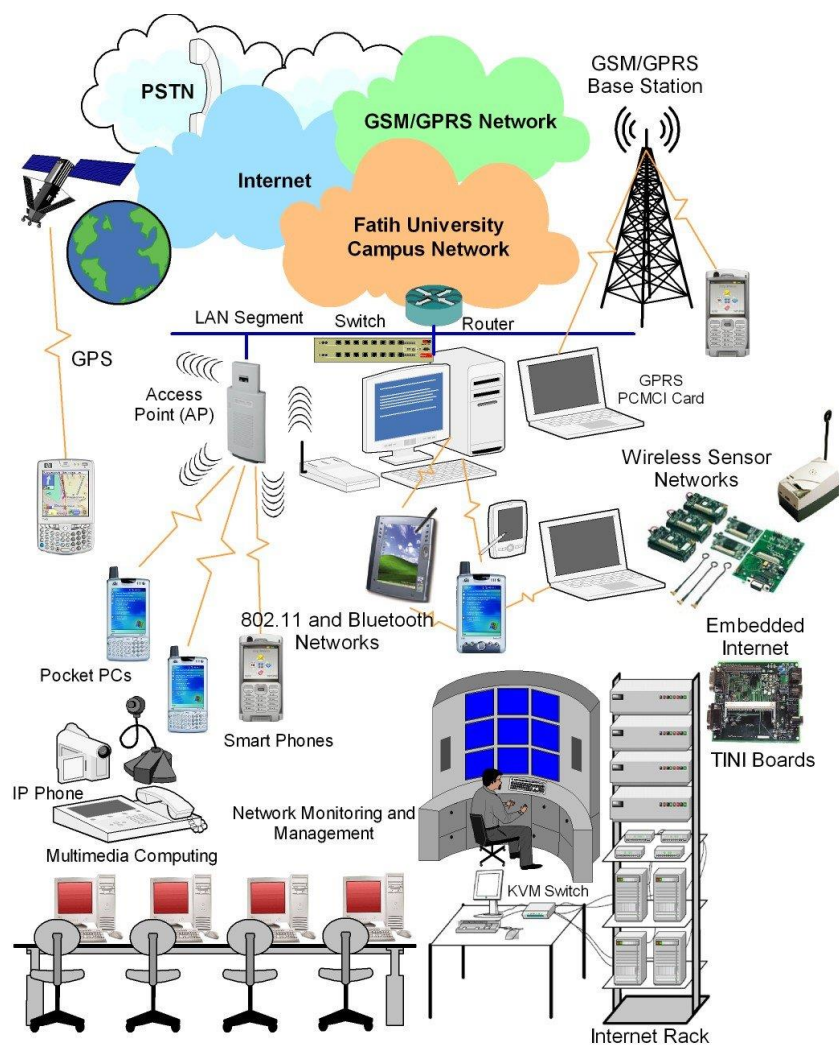
۲- آنتن‌های یک به چند: وقتی که در دفتر مرکزی، یک آنتن وجود داشته باشد و لازم باشد به چند شعبه دیگر از طریق بی‌سیم ارتباط برقرار شود، آنتن یک به چند را در مرکز قرار داده و در نقاط دیگر (شعبه‌ها) آنتن‌های نوع یک را قرار می‌دهند که جهت آنتن‌های نوع یک به سمت آنتن مرکزی (آنتن یک به چند) تنظیم می‌شود. آنتن‌های یک به چند، به‌صورت استوانه‌ای می‌باشند و به آنتن‌های Omni معروف می‌باشند.

¹ Outdoor



Broadband/Fast Ethernet/Wireless Networking Diagram

شکل ۵-۵- نقش آنتن‌ها در شبکه‌های بی‌سیم



شکل ۵-۶- نمایش از ساختار شبکه

1. Avestimehr, A. S., Diggavi, S. N., & David, N. C. (2011). Wireless network information flow: A deterministic approach. *IEEE Transactions on Information theory*, 57(4), 1872-1905.
2. Bhalla, M. R., & Bhalla, A. V. (2010). Generations of mobile wireless technology: A survey. *International Journal of Computer Applications*, 5(4), 26-32.
3. Jain, K., Padhye, J., Padmanabhan, V. N., & Qiu, L. (2005). Impact of interference on multi-hop wireless network performance. *Wireless networks*, 11(4), 471-487.
4. Lenan, F. M. G. P. W. (2010). Analysis and simulation of special filtering based on ultra narrow band modulated signal [J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2.
5. Ohmori, S., Yamao, Y., & Nakajima, N. (2000). The future generations of mobile communications based on broadband access technologies. *IEEE communications magazine*, 38(12), 134-142.
6. <https://itresan.com>
7. <https://blog.faradars.org>
8. <https://www.explainthatstuff.com>
9. <https://fonoonbargh.com>
10. <https://uboard.ir>
11. <https://www.tabnak.ir>

