سیستم های مخابرات سیار

Wirless Communication

مقدمه :

به مفهوم امروزی ابداع مخابرات سیار به تلاشهای دانشمندانی همچون تسلا ، فارادی ، گاوس ، مارکنی و .... بر می گردد .

در سال 1898 تلاشهای مارکنی منجر به اثبات نظریه الکترومغناطیس در هوای آزاد شد . اولین فرستنده رادیویی (به شکل تجاری) در سال 1920 ایجاد شد . در سال 1936 اولین فرستنده تلویزیونی شروع به کار کرد . هر دوی این ابداعات در دسته مخابرات آنالوگ دسته بندی می شوند .

در 1948 در یک مقاله بسیار مهم از دانشمندی به نام کلود شانون مفاهیم اولیه مخابرات دیجیتال مطرح شد . در دهه 1950 استفاده از مخابرات آنالوگ توسعه یافت و باندهای فرکانسی شهری در محدوده 100 کیلومتر (CB : Citizen Band) گسترش یافت . مشکل CB ها عدم اتصال آن به شبکه بی سیمی (PSTN) بوده و دارای برد محدودی در حدود 100 کیلومتر بود .

برای اولین بار در آمریکا سیستم موبایلی ساخته شد که به شبکه PSTN نیز متصل بود .

سیستم فوق به دلیل محدودیت فرکانس جوابگوی تعداد زیاد کاربران نبود و لذا محققین شرکت AT&T پاسخ مناسبی ارائه کرد :

" استفاده از اصل سلولی کردن محیط جغرافیایی تحت پوشش شبکه "

این پیشنهاد در اوایل دهه 1970 میلادی سیستم های سلولی نسل اول را تولید کرد . نسل اول یک ساختار مخابراتی آنالوگ محسوب می شود .

اوایل دهه 1980 نسل دوم سیستم های سیار با نام GSM مطرح شد .

در اوایل 1990 این استاندارد از سوی کشورهای زیادی (به ویژه کشورهای اروپایی) پذیرفته شد و تکنیک مخابراتی دیجیتال لقب گرفت .

اما در آمریکا و ژاپن بر اساس تکنیک باند گسترده استاندارد CDMA , IS-95 مطرح شد و سیستم نسل دوم آن کشورها لقب گرفت .

نسل سوم ، نسل باند گسترده و ارائه خدمات بیشتر (همچون مالتی مدیا (چند رسانه ای)) به کاربران بود . (SMS – MMS)

نسل چهارم بناست تمام سرویس ها و خدمات سیار مجتمع شود و در یک ساختار شبکه ای (Network Based) ترکیب شوند (video)

انواع سرویس های سیستم های سیار :

1 - سرویس های پخشی Broad Cast : در این شبکه ها اطلاعات در جهات مختلف و برای کاربران مختلف (سیار یا ثابت) ارسال می شود .

ویژگی ها :

1 1 - جهت ارسال یک طرفه است .
1 2 - اطلاعات ارسالی برای تمام کاربران یکسان است .
1 3 - اطلاعات به طور پیوسته ارسال می شود .
1 4 - فرستنده های مختلف اطلاعات یکسانی ارسال می کنند .
1 5 - فرستنده نیاز به داشتن اطلاعات خاصی در مورد گیرنده ندارد .
1 6 - تعداد کاربران ممکن تاثیری روی ساختار فرستنده ندارد .

نکته : سه نوع جهت ارسال داریم :

- یک طرفه (simplex) : یعنی یک طرف همیشه فرستنده و یک طرف دیگر همیشه گیرنده است .
- نیمه دوطرفه (half duplex) : یا دو طرفه غیر همزمان در هر لحظه یک مسیر یک طرفه است اما در لحظه ای دیگر ممکن است جهت ارتباط بر عکس شود .
- دو طرفه کامل (full duplex) : کانال دو طرفه است ، هم ارسال و هم دریافت همزمان دارد .

2 - سرویس پیجر (pager) : به طور کلی این سیستم ها مشابه سیستم های پخشی (broad cast) یک طرفه محسوب می شوند .

ویژگی ها :

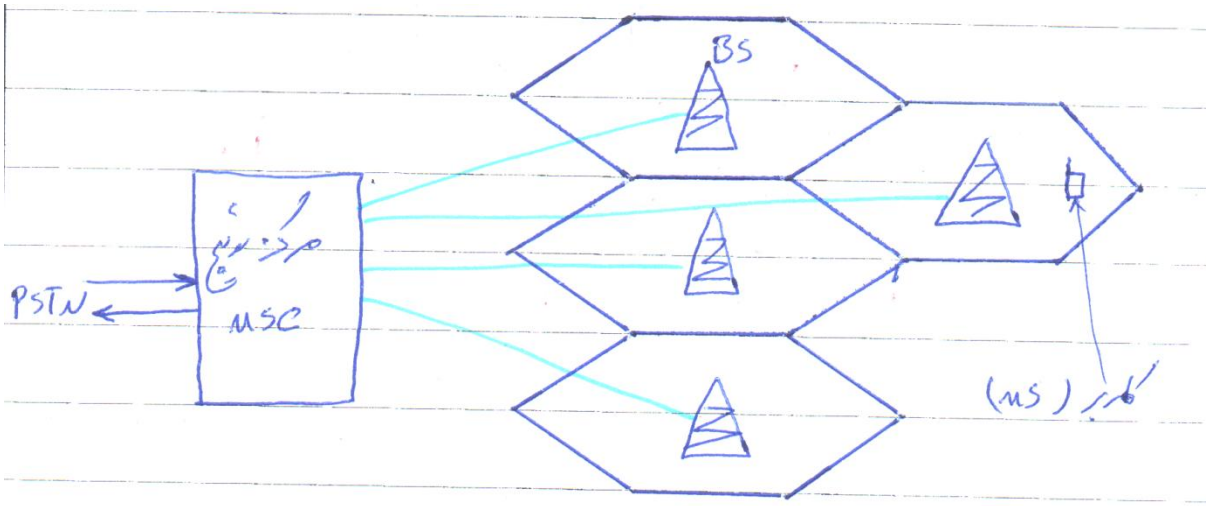
2 1 - کاربر فقط گیرنده اطلاعات است لذا تماس گیرنده یک مرکز call senter است .
2 2 - اطلاعات هر کاربر مخصوص خود اوست .
2 3 - حجم اطلاعات ارسالی بسیار کم است و ممکن است شامل فقط یک بیت یا چند بیت باشد .
2 4 - با توجه به حجم کم اطلاعات پهنای باند کمی نیاز دارد می تواند و در فرکانس های پایینتر (حدود 150MHZ) نیز کار کند . در این محدوده طیف فرکانسی به خوبی قابل استفاده است .

البته با گسترش خدمات و سرویس های تلفن های همراه کاربرد پیجرها رو به کاهش است و فقط در محیط های خاص که امکان استفاده از تلفن همراه وجود ندارد رایج است . مثل محیط های نظامی ، بیمارستانها ، صنعتی حساس و .....

3 - تلفن سلولی : تلفن سلولی بزرگترین بازار مخابرات سیار است .

ویژگی ها :

3 1 - جهت جریان اطلاعات دو طرفه است .
3 2 - کاربر می تواند در هر نقطه ای از شبکه باشد فقط سرویس دهنده شبکه نگران موقعیت کاربر است .
3 3 - برخلاف پیجرها که مرکز تماس (call senter) شروع کننده مکالمه بود در تلفن سلولی کاربر نیز می تواند مکالمه را شروع کند .
3 4 - اطلاعات هر کاربر مخصوص خود او آماده می شود .
3 5 - موقعیت کاربر حین تماس می تواند تغییر کند .



در شکل فوق کاربر با ایستگاه پایه (BS) ارتباط برقرار می کند . BS ها با کابل و یا بدون سیم به مرکز سوئیچینگ موبایل متصل اند که آن نیز به شبکه سوئیچ تلفن عمومی (PSTN) متصل است .

(PSTN : Poblic Switch Telephon Nwtwork)

از آنجاییکه هر کاربر اطلاعات مختص به خودش را دریافت و ارسال می کند لذا تعداد کاربران فعال شبکه محدود است .

پهنای باند موجود بین کاربران تقسیم می شود و این عمل توسط روشهای دسترسی چندگانه (Multiple Access) انجام می شود .

انواع روشهای دسترسی چندگانه :

- FDMA : Frequency Division Multiple Access (نسل اول سلولی)
- TDMA : Time Division Multiple Access (نسل دوم سلولی)
- CDMA : Code Division Multiple Access
- OFDMA : orthogonal frequency Division Multiple Access

4 - رادیو ترانک Tranking Radio : در این سیستم ها هیچ ارتباطی بین شبکه بی سیم و شبکه PSTN وجود ندارد . این شبکه ها برای ارتباط بین گروههای کاری مثل پلیس ، آتش نشانی ، تاکسی ها و ... به کار می رود .

ویژگی ها :

4 - 1 تماس گروهی group call : تماس می تواند به طور همزمان با تعداد زیادی کاربر صورت گیرد .

4 - 2 اولویتهای تماس call priority : می دانیم در تلفن سلولی براساس اصل " سرویس دهی زودتر به تماس های جلوتر " عمل می کند . وقتی هم تماس برقرار شد قطع نمی شود مگر به صلاحدید کاربر . اما در رادیو ترانک چنین رویه ای قابل قبول نیست (مثلا برای آتش نشانی) یعنی اعلان های اورژانسی می توانند برای کاربران ارسال شوند حتی اگر این اعلان موجب قطع شدن تماس هایی با اولویت پایین شود .

4 - 3 شبکه رله relay network : به کمک رله ها محدوده پوشش دارای برد محدود و مشخص است . شبکه ها گسترده تر می شود . به این صورت که هر کاربر می تواند نقش یک ایستگاه رله را برای کاربران دیگر داشته باشد . این روش فقط در رادیو ترانک قابل استفاده است و در تلفن سلولی به کار نمی رود (به جهت امنیت و این موضوع که کاربران تمایل ندارند توان باطری خودشان را صرف رله کردن مکالمه دیگران کنند)

5 - تلفن بدون سیم Cord Less : توصیف کننده یک ارتباط بی سیم بین یک گوشی (handset) و یک ایستگاه پایه (Base Station = BS) است . BS معمولا به طور مستقیم به شبکه PSTN متصل است . این تلفن فقط به یک گوشی متصل است لذا نیاز به هیچ سوئیچینگی نیست .

ویژگی ها :

5 - 1 BS ویژگی شبکه ندارد لذا هنگامی که تماسی از سوی PSTN گرفته می شود کاربر به سادگی پیدا می شود .

5 - 2 سیستم مرکزی نیاز ندارد یعنی هر کاربر با BS خودش ارتباط دارد .

5 - 3 یک ارتباط بدون سیم مجانی است یعنی بین BS و کاربر هزینه ای پرداخت نمی شود .

5 - 4 دارای برد محدود و مشخص است .

6 - شبکه WLAN (Wireless LAN) : شبکه های نسبتا جدیدی هستند که مشابه تلفن های Cordless هر کاربر را به یک شبکه عمومی متصل می کند . کاربر می تواند یک لپ تاپ یا یک گوشی تلفن باشد و این شبکه عمومی شبکه اینترنت باشد. بزرگترین تفاوت بین WLAN و تلفن های Cordless نرخ داده مورد نیاز است . برای بهبود سرعت و ایجاد هماهنگی مجموعه استانداردهای IEEE802.11 ابداع شدند .

در فضاهای کوچکتر برای کاربری شخصی از شبکه هائی به نام WPAN استفاده می شود . استانداردهای این شبکه در مجموعه IEEE802.15 قابل دسترسی است .

7 - شبکه های با دسترسی ثابت (Wieless Fixed Access) : نوعی ارتباط بی سیم که جایگزین کابل بین کاربر و شبکه PSTN شده است .

تفاوت اصلی این شبکه ها با شبکه های cordless عبارتند از :

1 - امکان تحرک کمتر کاربر
2 - BS تعداد متعددی کاربر را سرویس دهی می کند .
3 - فاصله بین کاربر و شبکه بسیار بیشتر از تلفن cordless است .

سیستم های مخابرات ماهواره ای :

مخابرات سلولی ماهواره ای همان مبانی کاری مخابرات سلولی زمینی را دارد با این تفاوت که :

1 - فاصله بین BS و کاربر (MS = Mobile Station) بسیار بیشتر است . در ماهواره های GEO فاصله 36000km است لذا توان ارسالی بسیار بالاست .
2 - تفاوت دیگر در اندازه سلول است . با توجه به فاصله زیاد بین ماهواره و زمین ، امکان پذیر نیست که قطر سلول کمتر از 100 km باشد . که این موضوع حسن آن است چون محدوده پوشش گسترده ای دارد و عیب آن است چون تعداد کاربران هر سلول محدود است .
3 - هزینه بر پا کردن این سیستم از سیستم های سلول زمینی به مراتب بیشتر است .
4 - شرایط تجاری و کاربری آن نیز متفاوت است .

نیاز های ضروری در مخابرات خاص (مثلا خبرنگاران در جنگ ها یا امدادرسانان در شرایط بحران) از موارد استفاده آن است .

تلاش برای ارزان کردن و همگانی کردن این سیستم در پروژه ای به نام ایریدیوم (IRIDIUM) با کمک 60 ماهواره LEO در اواخر دهه 1990 با شکست تجاری همراه بود .

پارامترهای مورد نیاز سنجش سیستم های سیار :

1 - نرخ بیت (نرخ داده) : مخابرات صوتی نرخی بین $5\frac{Kb}{s}$ تا $64\frac{Kb}{s}$ دارد که بستگی به کیفیت و میزان فشرده سازی دارد . در ارتباطات داده مثلا در شبکه های WLAN سرعت بین $0.5\frac{Mb}{s}$ تا $100\frac{Mb}{s}$ در سیستم های نسل سوم (3G) بالا می رود . نرخ بیت یعنی تعدا بیت های قابل انتقال در واحد زمان (ثانیه)
2 - محدوده پوشش و تعداد کاربران : یعنی چه تعداد کاربر از ظرفیت شبکه به طور همزمان استفاده می کنند و برد شبکه تا کجاست .
3 - قابل تحرک (Modility)
4 - مصرف انرژی : انتخاب تکنولوژی انرژی (باتری) و اینکه 50 تا 70 درصد وزن کل دستگاه کاربر باتری آن است.
5 - طیف فرکانسی مورد استفاده :

5-1- طیف فرکانسی رگوله شده (تنظیم شده) : طیف فرکانسی به اپراتور خاصی اختصاص یافته است .

5-2- طیف فرکانسی رگوله نشده (تنظیم نشده) : طیف به سرویس خاصی اختصاص یافته است و به اپراتور خاصی داده نشده است .

6 - جهت انتشار : یک طرفه (Simplex) – نیمه دو طرفه (Half Duplex) – دو طرفه کامل (Full Duplex)
7 - کیفیت سرویس (Quality of Service) : فاکتورهای مختلفی مثل کیفیت صدا ، سرعت مناسب دیتا ، در دسترس بودن سرویس برای کاربر در هر لحظه ، میزان تماس های بلوکه شده یا قطع شده و ... می باشد .

چالش های مخابرات سیار :

1 - انتشار چند مسیره (Multipath Propagation) : در مخابرات سیار کانال انتقال بین فرستنده و گیرنده هواست . سیگنال ارسالی می تواند از مسیر های مختلفی به گیرنده برسد . در بسیاری از موارد مسیر دید مستقیم (LOS = Line of Sight) بین فرستنده (Tx) و گیرنده (Rx) وجود دارد . علاوه برآن سیگنال ممکن است منعکس شود یا

دچار تفرق (پراکندگی) شود . هر کدام از این سیگنال ها یک جهت (فاز) مشخص ، دامنه متفاوت ، تاخیر زمانی و شیفت فرکانسی دارند .

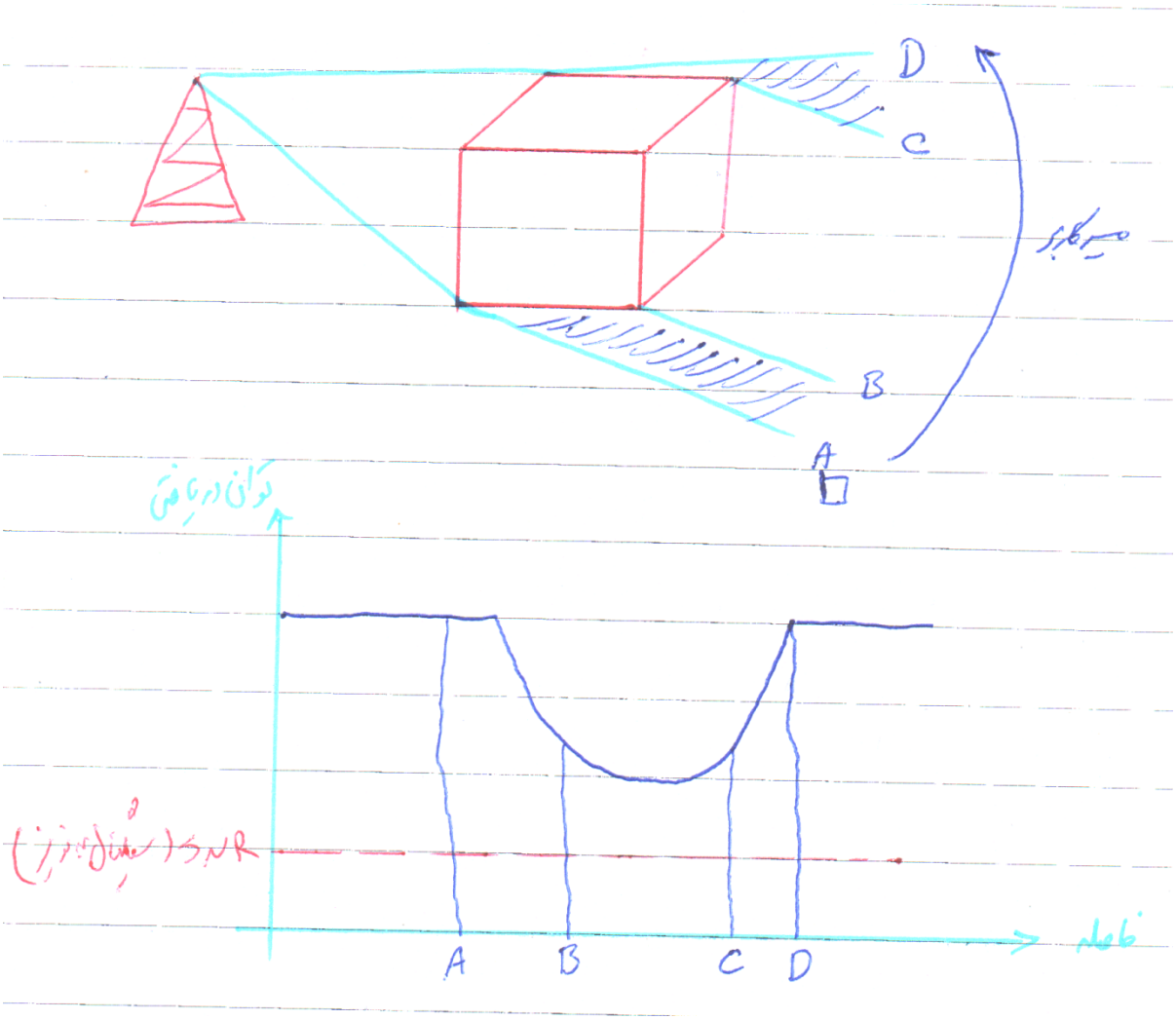
1 1 - محوشدگی (Fading) : معمولا گیرنده فرقی بین مولفه های دریافتی از مسیرهای مختلف قایل نیست و آنها را جمع می کند لذا تداخل رخ می دهد . این تداخل ممکن است سازنده یا مخرب باشد که بستگی به فاز (جهت) سیگنال ها و موقعیت آنها دارد . اثر محوشدگی ناشی از تعداد مولفه های چند مسیره است .

دو دسته عمده محوشدگی عبارتند از :

1 1 1 - مقیاس کوچک (Small Scale Fading)

1 1 2 - مقیاس بزرگ (Large Scale Fading)

محو شدگی مقیاس بزرگ (Large Scale Fading) : به این اثر که گاهی اثر سایه (Shadowing) نیز گفته می شود در اثر موانع بین فرستنده و گیرنده ایجاد می شود .



در شکل فوق فرض کنید کاربر در موقعیت A قرار دارد و موج LOS (Line of Side) از فرستنده به آن می رسد . با حرکت کاربر مسیر LOS قطع شده و کاربر وارد ناحیه نیم سایه (سایه روشن) می شود (تا نقطه B) . از B تا C سایه مطلق است و سطح توان دریافتی به شدت افت می کند که حتی ممکن است منجر به قطع مکالمه شود . از نقطه C تا D مجددا نیم سایه و پس از آن مسیر LOS باعث افزایش توان دریافتی می شود .

1 2 - تداخل بین سمبلی (ISI : Inter Symbol Interference) : موج از مسیرهای مختلف با زمانهای متفاوت در گیرنده دریافت می شود که منجر به بر هم افتادگی سمبل ها در مخابرات دیجیتال می شود . این اثر باعث می شود دو سمبل یکی بیت K ام و دیگری که از مسیر متفاوتی رسیده است با بیت K+1 ام همزمان شود که به این تداخل ISI می گویند .

ISI باعث محدود کردن نرخ بیت ارسالی می شود یعنی هر چه سرعت ارسال بالا برود (نرخ بیت) احتمال ISI نیز افزایش می یابد .

نکته : سرعت و دقت معمولا در مقابل یکدیگر هستند .

2 - محدودیت فرکانس : با توجه به اهمیت طیف فرکانسی و کمبود فرکانس خالی در طیف که‌برای هر کاربردی معین شده است انجمن بین المللی مخابرات (ITU) این تنظیمات را انجام می دهد . استانداردهای ریزتر در حوزه های ملی و منطقه ای در مثلا آمریکا توسط موسسه FCC ، در اروپا توسط CEDP و در ژاپن توسط ARIB انجام می شود .

3 - محدودیت انرژی : به دلیل متحرک بودن تجهیزات مخابرات سیار ، بحث باطری و انرژی گاهی بر طراحی غلبه می کند مثلا در ساخت مدارات مجتمع ترجیح می دهیم از تکنولوژی CMOS به جای تکنولوژی های سریعتر مثل ECL استفاده کنند تا 50% مصرف توان بهبود یابد ولی در عوض سیستم کندتر می شود .

سیستم های دارای نویز :

سیگنال ارسالی از سوی فرستنده تا زمانی که به گیرنده می رسد در کانال (مسیر واسط بین فرستنده و گیرنده) دچار انواع آلودگی ها می شود . مهمترین این آلودگی ها بحث نویز است . آنچه مهم است این است که توان سیگنال مطلوب به توان نویز (SNR) در گیرنده از یک مقدار حداقلی کمتر نشود .

1 - نویز های سماوی (آسمانی) : ناشی از شرایط اقلیمی ، تابش خورشید و اثرات کیهانی است .

2 - نویز های حرارتی : نویز حرارتی ناشی از حرکت تصادفی الکترونها درون یک رسانا است . این میزان یک فرآیند تصادفی است . نمی توان عدد دقیقی برای نویز در هر لحظه بدست آورد ولی مشخصات آماری نویز مثل امید ریاضی و واریانس قابل محاسبه هستند. در حوزه فرکانس چگالی طیف توان نویز حرارتی به فرکانس خاصی وابسته نیست .

ولتاژ موثر نویز $E_n = \sqrt{4KT\Delta fR}$

K : ثابت بولتزمن = $1.38 * 10^{-23}$ ، T : دما بر حسب درجه کلوین (درجه کلوین = درجه سانتیگراد + 273)

Δf : محدوده فرکانسی (پهنای باند : $f_2 - f_1$) ، R : رسانا (مقاومت بر حسب اهم)

مثال : یک تقویت کننده که در باند فرکانسی 18 الی 20 مگا هرتز کار می کند دارای مقاومت ورودی 10 کیلو اهم است . ولتاژ نویز را در ورودی تقویت کننده بدست آورید . دمای محیط را 27 درجه سانتیگراد فرض کنید ؟

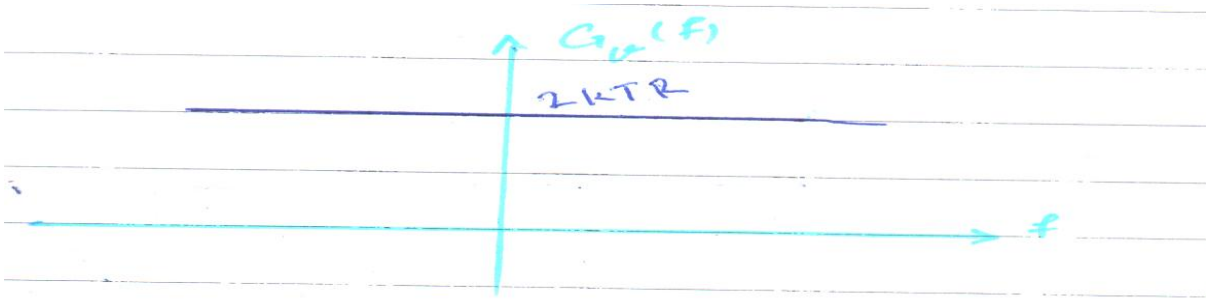
$$E_n = \sqrt{4 * 1.38 * 10^{-23} * (27 + 273) * (20 - 18) * 10^6 * 10^3} = 18.2\ \mu volt$$

نتیجه اینکه این تقویت کننده سیگنال هایی را می تواند به خوبی تقویت کند که ولتاژ آنها از 18.2 میکرو ولت خیلی بزرگتر باشد .

چگالی توان طیف نویز : $G_v(f) = 2KTR$

K : ثابت بولتزمن = $1.38 * 10^{-23}$ ، T : دما بر حسب درجه کلوین (درجه کلوین = درجه سانتیگراد + 273)

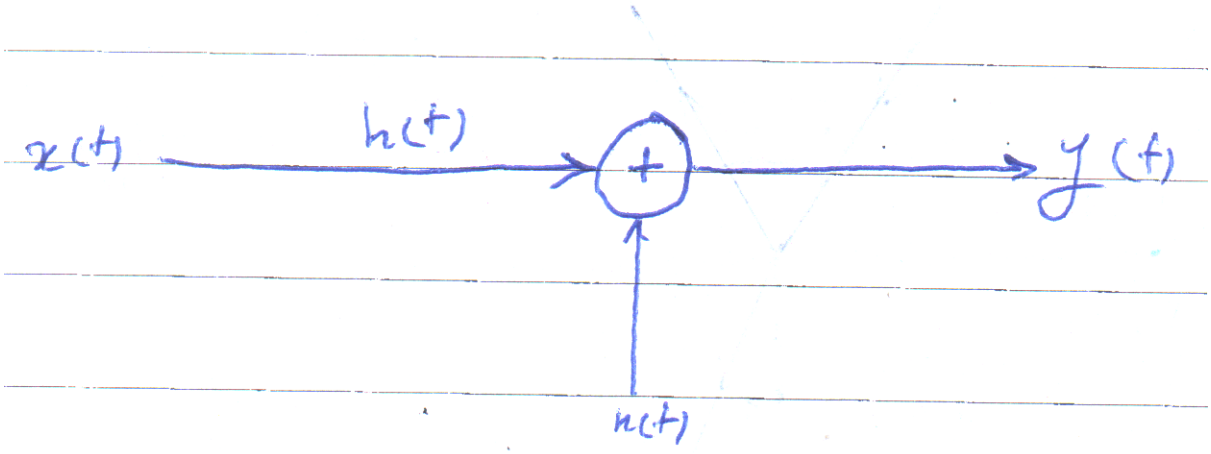
R : رسانا (مقاومت بر حسب اهم)



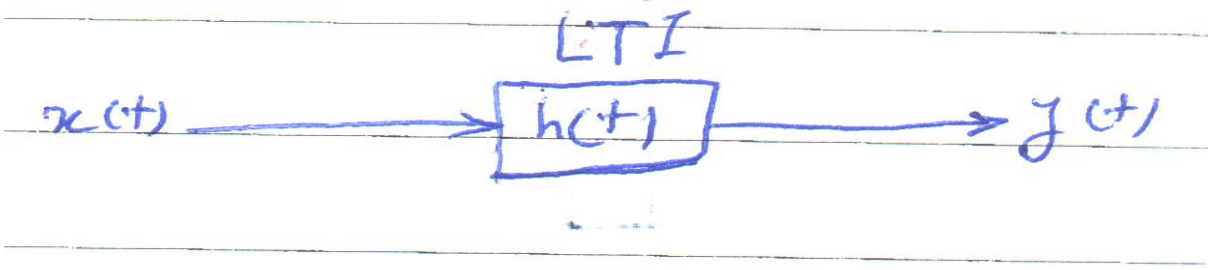
چون در فرکانس های مختلف چگالی طیف توان ثابت است در قیاس معنایی با نور سفید به آن نویز سفید (White Noise) می گویند .

نکته : با یک تقریب خوب توزیع نویز را گوسی (نرمال) در نظر می گیرند .

نکته : با یک تقریب خوب می توان تمام نویز موجود در سیستم های فرستنده و گیرنده را در یک نقطه جمع کرد و به سیستم اعمال کرد . نویز به صورت جمع شونده به سیستم اعمال می شود .



$$y(t) = x(t) * h(t) + n(t)$$



$$y(t) = x(t) * h(t) \rightarrow \quad Y(f) = X(f).H(f)$$

پاسخ فرکانسی $H(f) = \dfrac{Y(f)}{X(f)}$

نویز AWGN : یعنی نویز (Noise) جمع شونده (Additive) و سفید (White) و گاوسی (Guasian) .

نکته : در گیرنده باند فرکانسی محدود کننده سیگنال ورودی به گیرنده است .

در گیرنده $G_v(n) = 2KTR.(BW)$

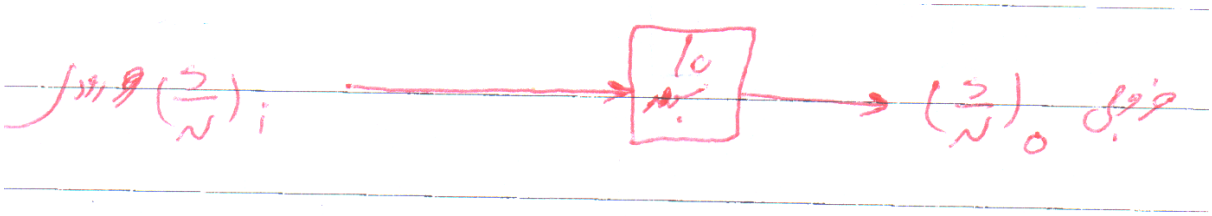
BW : پهنای باند گیرنده

گاهی اوقات توان نویز (N_0) به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\frac{N_0}{2} = 2KTR \quad => \quad N_0 = 4KTR$$

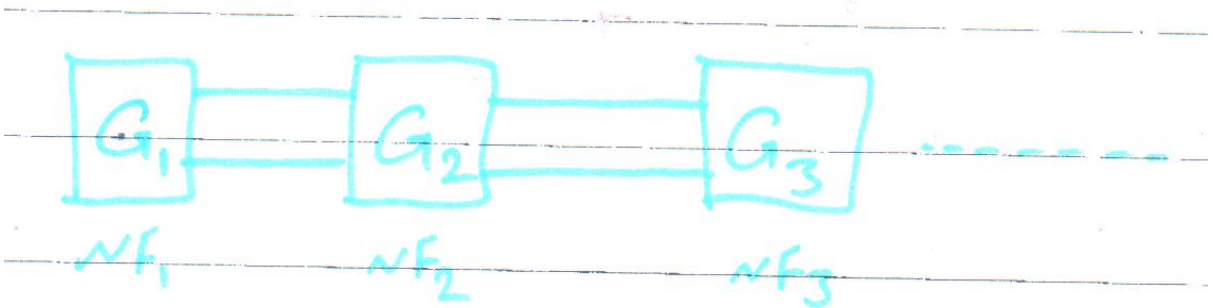
یادآوری : $\frac{S}{N}$ (SNR : Signal to Noise ratio) : نسبت توان سیگنال به توان نویز اهمیت ویژه ای دارد که به آن SNR یا $\frac{S}{N}$ گفته می شود .

- عدد نویز (NF : Noise Figur) : معیاری از میزان نویز افزوده شده به سیستم می باشد . $NF \geq 1$ است . NF=1 یعنی شبکه نویزی به سیگنال اضافه نکرده است . به این شبکه که ایده آل است شبکه بدون نویز می گویند . در عمل طراحی شبکه های کم نویز (Low Noise Systems) بسیار مورد توجه است .



$$NF = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_i}{\left(\frac{S}{N}\right)_o}$$

$(\frac{S}{N})_i > (\frac{S}{N})_o$ یعنی NF>1



$$NF_{eq} = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \frac{NF_3 - 1}{G_1.G_2} + \cdots$$

ملاحظه می شود NF در طبقه اول گیرنده از اهمیت بیشتری برخوردار است لذا طراحی طبقه اول باید دقیقتر صورت بگیرد .

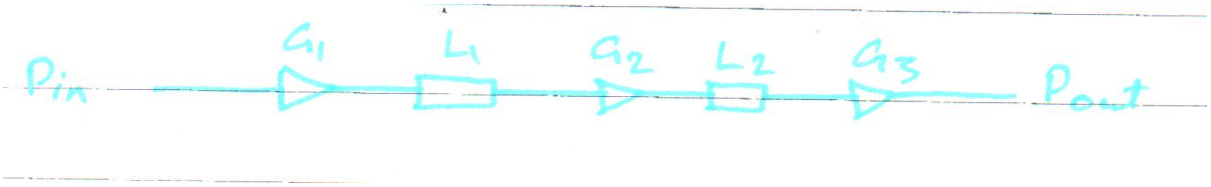
بهره (G) :

$$\text{ضریب تقویت} : G = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\text{ضریب تضعیف} : L = \frac{P_{in}}{P_{out}} = \frac{1}{G}$$

$$G_{dB} = 10 \log G_{(\text{عددی})}$$

$$L_{dB} = 10 \log L_{(\text{عددی})}$$

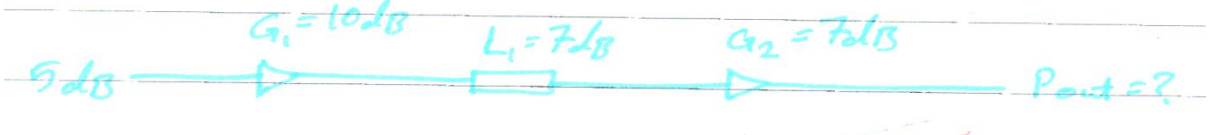


$$P_{out} = P_{in} . \frac{G_1 G_2 G_3}{L_1 L_2}$$

$$(P_{out})_{dB} = (P_{in})_{dB} + G_{1_{dB}} + G_{2_{dB}} + G_{3_{dB}} + \cdots - (L_{1_{dB}} + L_{2_{dB}} + \cdots)$$

$$= 10[\log P_{in} + \log G_1 + \log G_2 + \log G_3 + \cdots - \log L_1 - \log L_2 - \cdots]$$

مثال : در یک گیرنده به شکل زیر اگر توان وروی گیرنده 5db باشد توان خروجی را محاسبه کنید ؟



$$P_{out} = 5 + 10 + 5 - 7 = 13dB$$

نکته : $10watt = 10 \log_{10} 10 = 10dB$

نکته : گاهی مقادیر به صورت dBm داده می شوند .

$$P_{dB} = 10\log(\frac{P|w}{1w}) = 10\log(\frac{P|w}{1mw}) = 10\log(\frac{P|w}{0.001w})$$

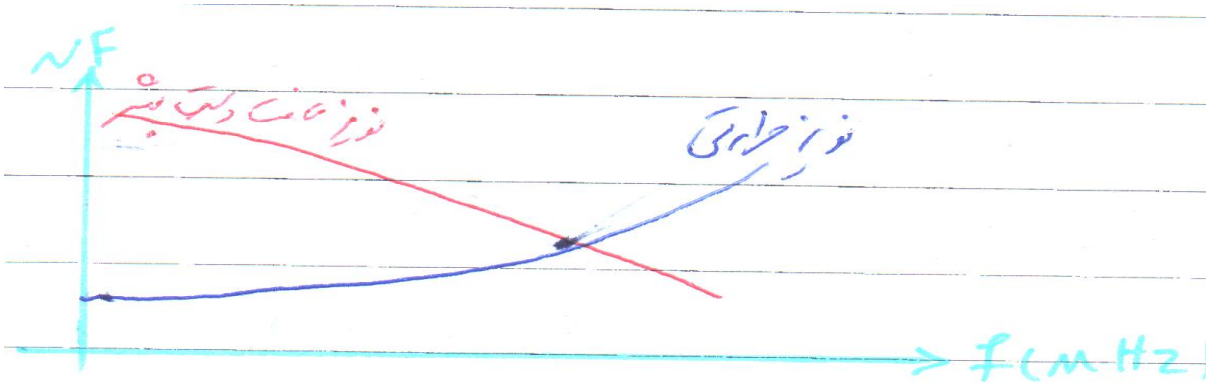
$$=> \quad P_{dB} = 10\log(P|w) + 30|dB = P_{dB} + 30_{dB}$$

3 - نویز ساخت دست بشر (man-made noise) : بسیاری از وسایل الکترونیکی مثل سایر فرستنده ها که در باندهای فرکانسی دیگری هستند ممکن است مثل نویز روی سیگنال اثر بگذارند . مثلا در محیط های شهری صدای موتور ماشین می تواند مثل نویز عمل کند .

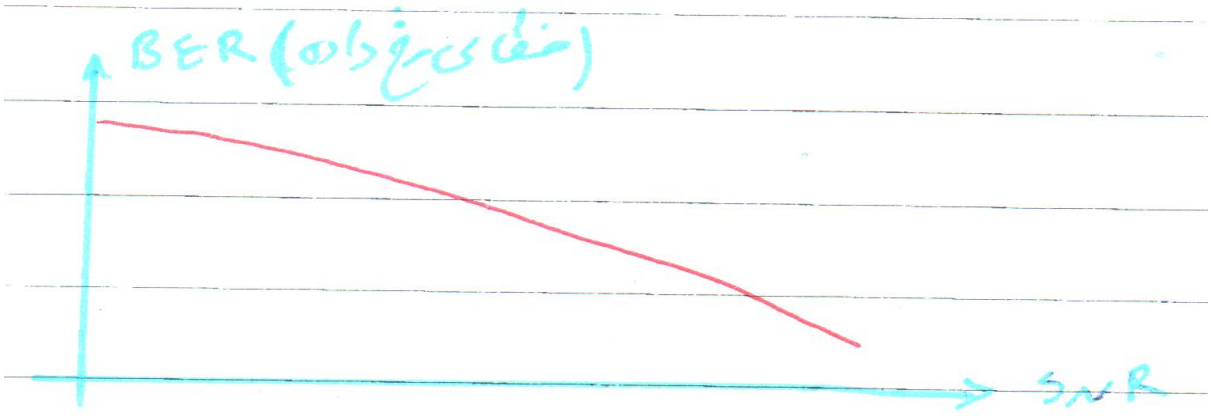
این نویز برخلاف نویز حرارتی (که به فرکانس وابسته نبود) با افزایش فرکانس کاهش می یابد .

مثلا در یک سیستم آزموده شده در فرکانس 150 مگا هرتز ، 20dB از نویز حرارتی قویتر است . در فرکانس 900 مگا هرتز فقط 10dB قویتر بوده است .

توزیع شکل موج نویز ساخت دست بشر گوسی نیست . اما براساس تجربه مدل گوسی تقریب نسبتا خوبی است .



در عمل خطای تولید شده با سیگنال به نویز ارتباط دارد .



BER : bit error rate

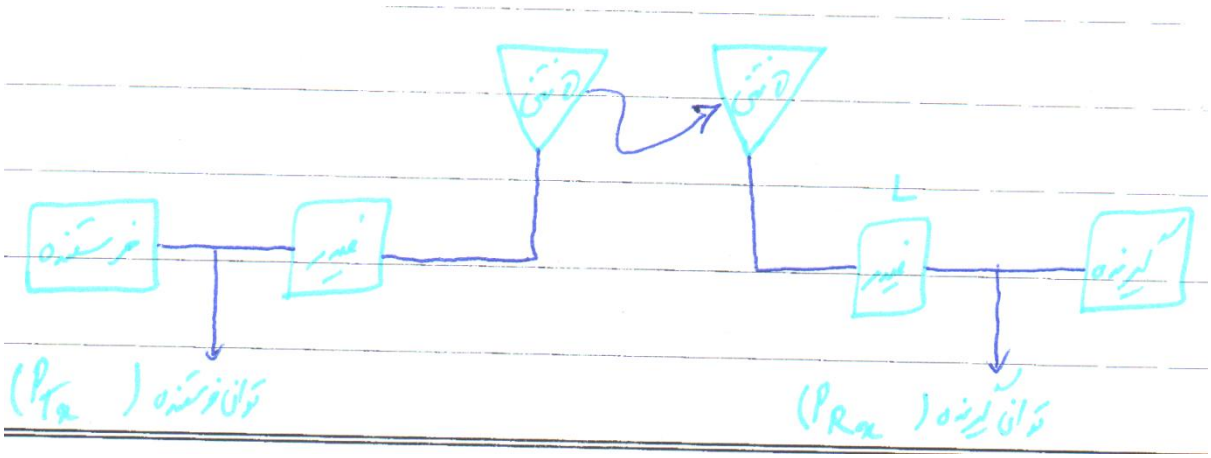
SNR : signal to noise ratio

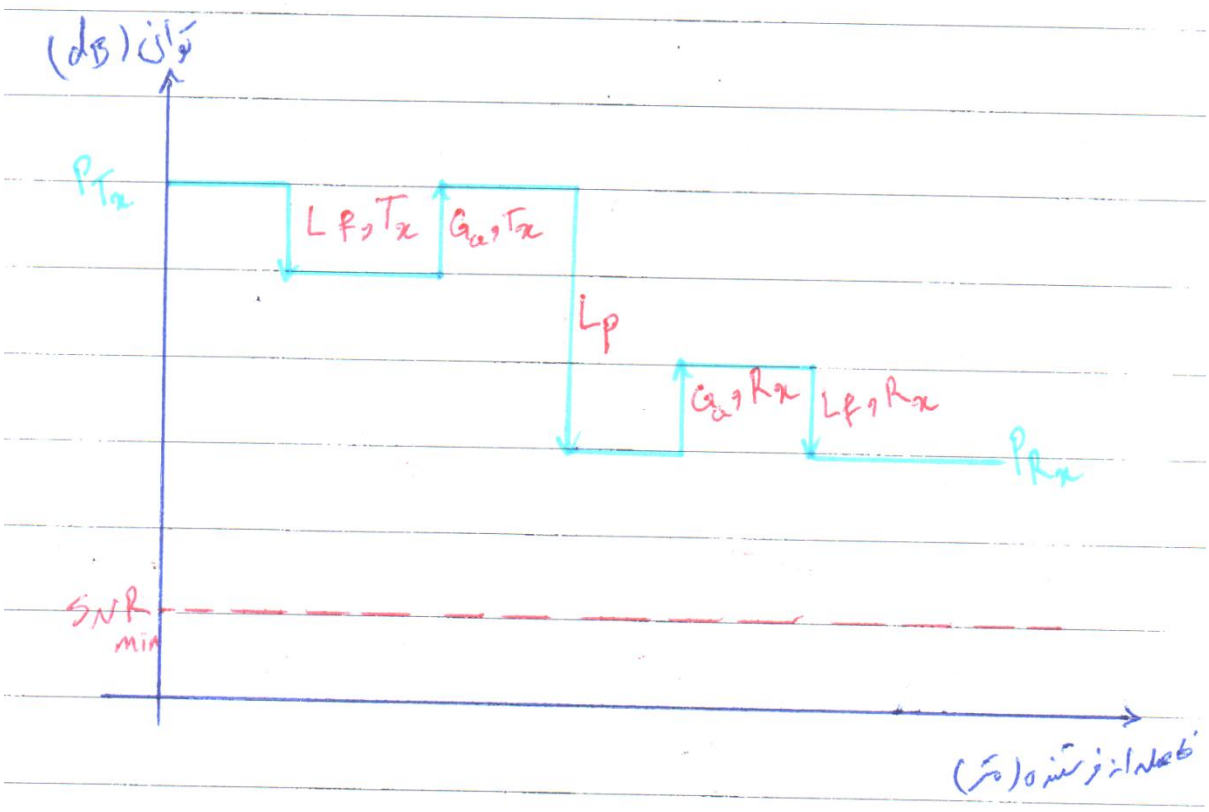
در این نمودار با افزایش SNR خطای رخ داده کاهش می یابد .

SNR_{min} حداقل سیگنال به نویزی است که برای دریافت با کیفیت حداقلی مناسب است . یعنی اگر از این مقدار کمتر شود خطا افزایش یافته و سیگنال قابل قبول نیست.

$$P_s = SNR_{min} + P_n$$

P_s : سیگنال دریافتی و P_n : توان نویز





نمودار بودجه توان (Link Budget)

L_f, T_x : تلفات فیدر در فرستنده

G_a, T_x : بهره تقویت آنتن

L_p : بهره آنتن گیرنده

G_a , R_x : بهره آنتن گیرنده

تلفات فیدر در گیرنده : L_f, R_x

- مکانیزم انتشار موج : در این قسمت به بررسی مکانیزم های انتشار موج الکترومغناطیسی در هوای آزاد با تاکید بر پارامترهای مهم آن می پردازیم .

در ساده ترین حالت موج بدون برخورد به هیچ مانعی از فرستنده به گیرنده می رسد . اما در حالت های پیچیده تر و عملی موانع محیط باعث ایجاد پرتوهای دیگری می شود . در ساده ترین حالت مهمترین اتفاق وقوع تضعیف است . و دامنه توان دریافتی افت می کند .

$$P_{R_x} = P_{T_x}.G_{T_x}.G_{R_x}.(\frac{\lambda}{4\pi d})^2$$

توان دریافتی : P_{R_x}

توان ارسالی : P_{T_x}

بهره آنتن فرستنده : G_{T_x}

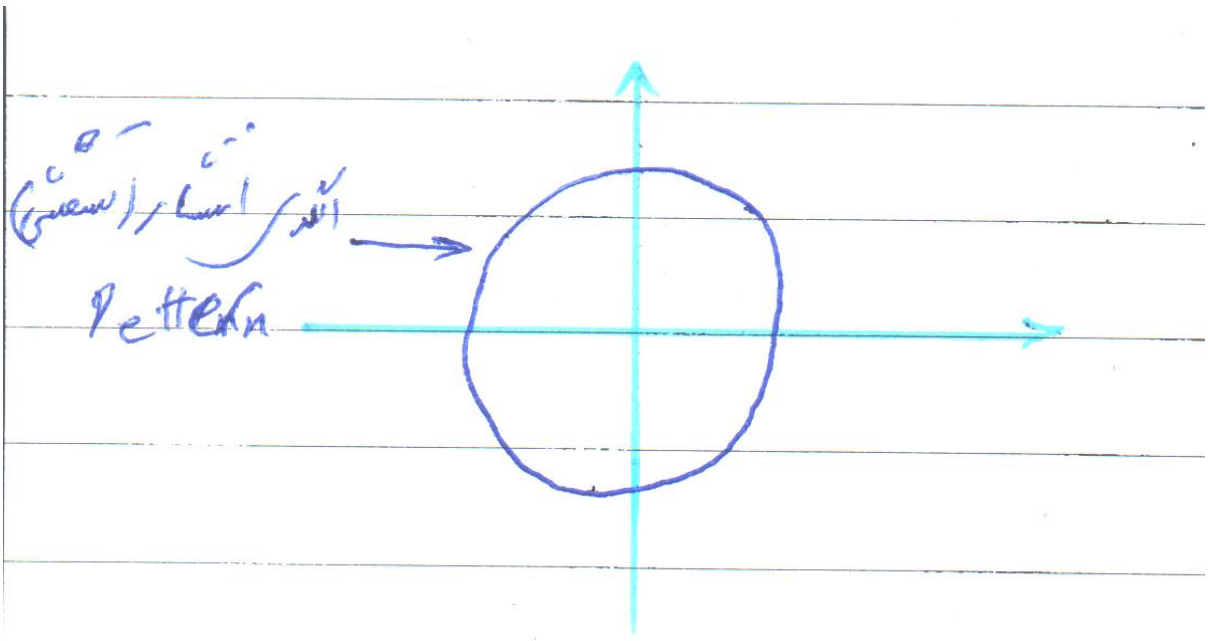
بهره آنتن گیرنده : G_{T_x}

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c\ (3 * 10^8)}{f}$$

فاصله فرستنده و گیرنده : d

آنتن ایزوتروپیک (همسان گرد) : آنتنی که الگوی انتشار آن در تمام جهات یکسان است .

$$P_{R_x} = P_{T_x}(\frac{\lambda}{4\pi d})^2 \quad ; \quad G_{iso} = 1$$



تضعیف هوای آزاد : $L_{free} = (\frac{4\pi d}{\lambda})^2$

L_{free} به معنای میزان تضعیف دو آنتن ایزوتوپیک در فضای آزاد است .

$$P_{R_x} = P_{T_x}.G_{T_x}.G_{R_x}.(\frac{\lambda}{4\pi d})^2$$

$$P_{R_x}|dB = P_{T_x}|dB + G_{T_x}|+G_{R_x}|dB - L_{free}|dB$$

به رابطه فوق قانون فریز (Friis Low) می گویند . مطابق قانون فریز تضعیف در هوای آزاد با افزایش فرکانس افزایش می یابد . همچنین در مخابرات سیار بهتر است بهره آنتن ها را با توجه به سیستم ثابت بگیریم .

$$d_R = \frac{2L_a^2}{\lambda}$$

فاصله رایلی : d_R

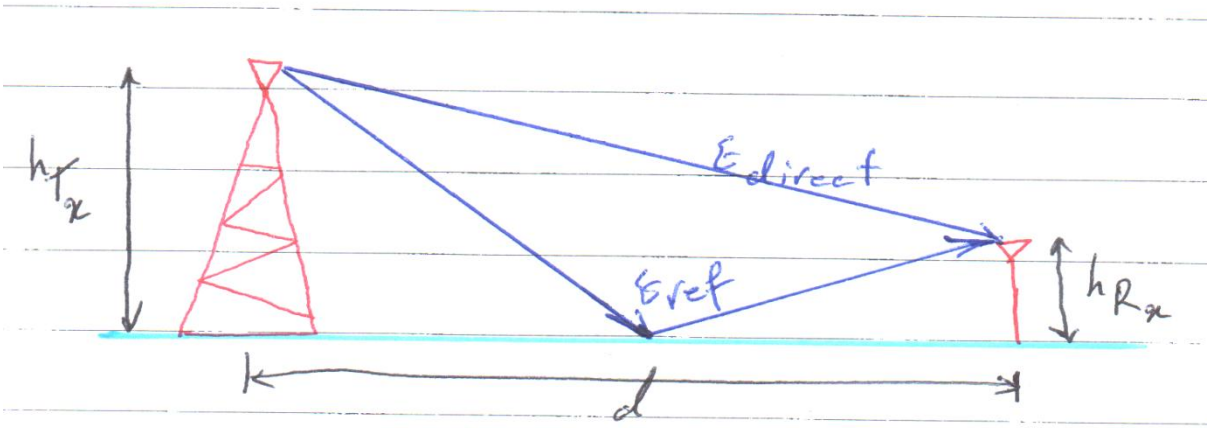
بزرگترین طول ممکن برای آنتن : L_a

- قانون توان و d^{-4} : در عمل دیده می شود که رابطه فریز برای تمام فواصل d صادق نیست و به صورت زیر در می آید :

$$P_{R_x} \approx P_{T_x}.G_{T_x}.G_{R_x}.(\frac{h_{T_x}.h_{R_x}}{d^2})^2$$

طول آنتن فرستنده : h_{T_x}

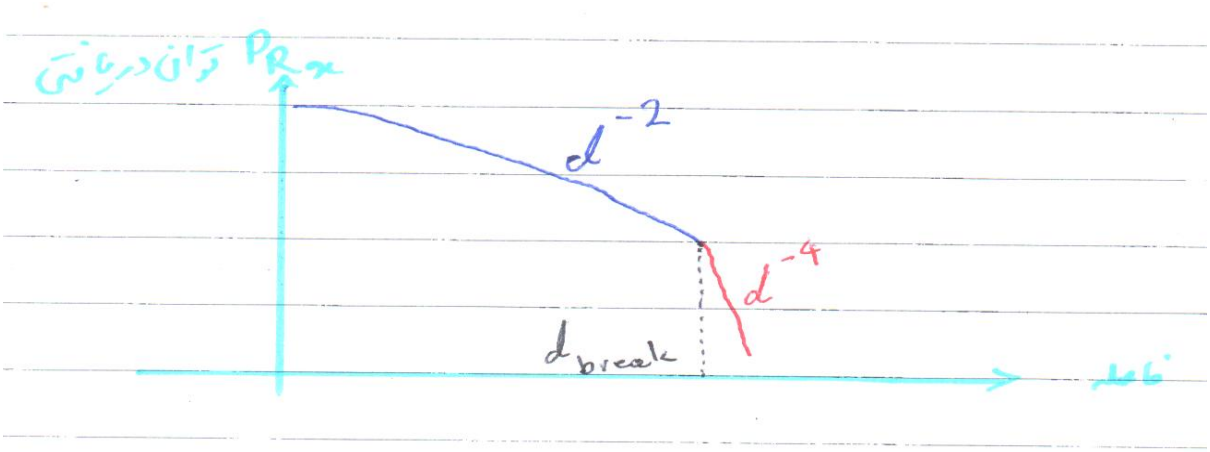
طول آنتن گیرنده : h_{R_x}



این رابطه برای تمام dها صادق نیست بلکه از $d > d_{break}$ از این رابطه باید استفاده شود .

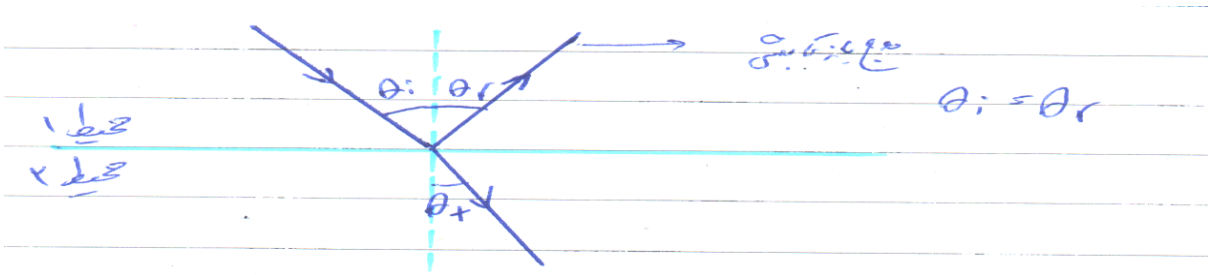
نویز اولیه : $d < d_{break}$

قانون d^{-4} : $d > d_{break}$



سوال مهم : d_{break} کجاست ؟ در اثبات قانون d^{-4} آمده است که :

$$d_{break} \geq \frac{4h_{T_x}.h_{R_x}}{\lambda}$$



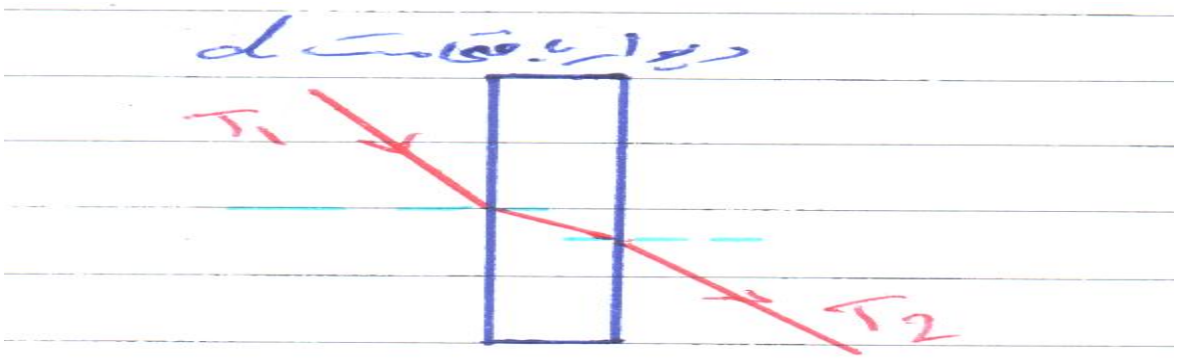
نکته : همیشه افت توان با d^{-4} معادل نیست در حالت کلی این رابطه به صورت d^{-n} نوشته می شود که n با توجه به ویژگی های محیط می تواند از 2 تا 4 متغیر باشد . ($2 \leq n \leq 4$)

- اثر نفوذ موج :

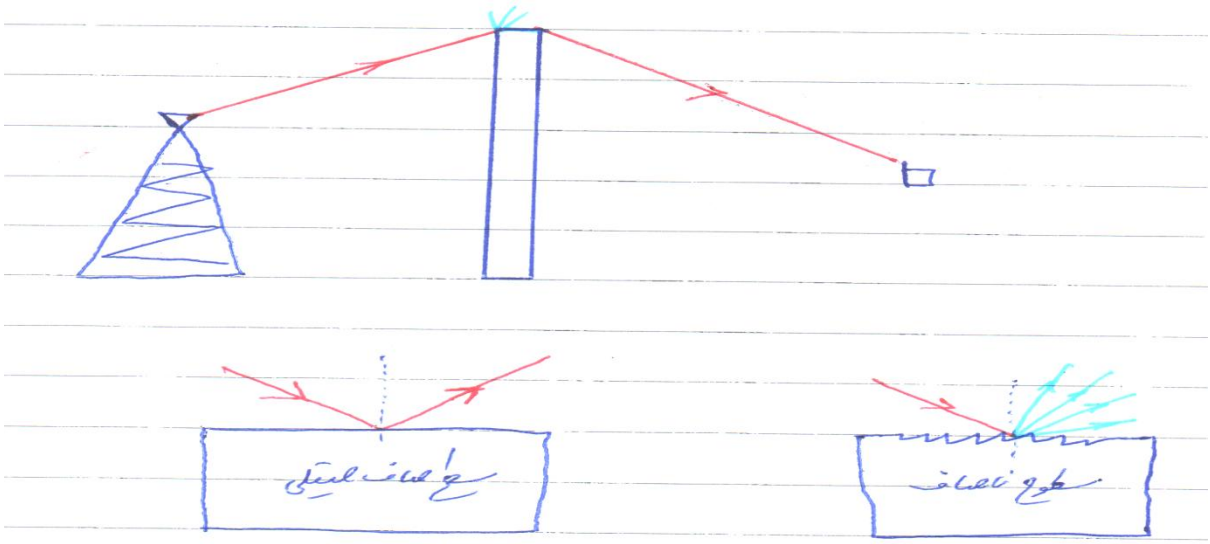
$$\frac{\sin\theta_t}{\sin\theta_i} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2}}$$

ε_1 , ε_2 : ثابت دی الکتریک محیط 1 و 2

امواج الکترومغناطیسی با برخورد به موانع دچار پدیده هایی همچون نفوذ ، انعکاس ، پراکندگی و پراش (تفرق) می شوند . روابط فوق برای حالت نفوذ به محیط های دیگر استفاده می شود . مثلا هنگام عبور از یک دیوار با توجه به جنس آن و ضخامت آن موج تغییر می کند .

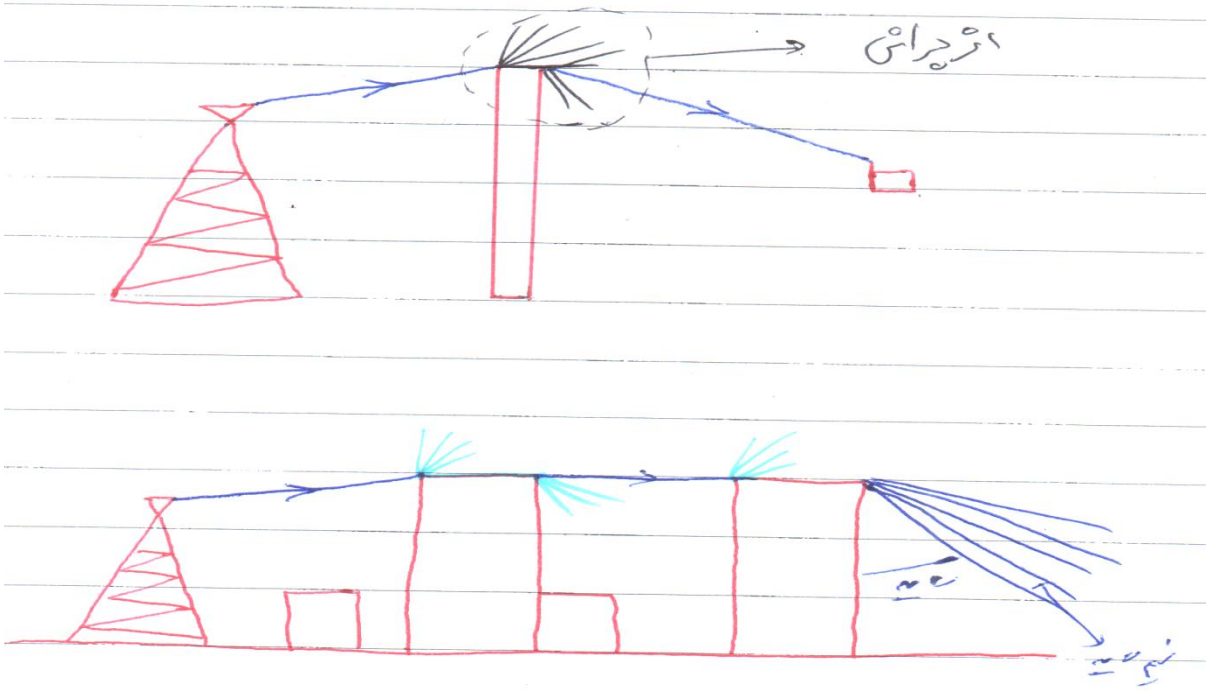


- اثر پراکندگی (شکست) : در عمل موانع موجود در مسیر (مثل ماشینها ، ساختمانها و ...) دارای ابعاد و اندازه های محدود هستند و موجب پراکندگی موج می شوند .

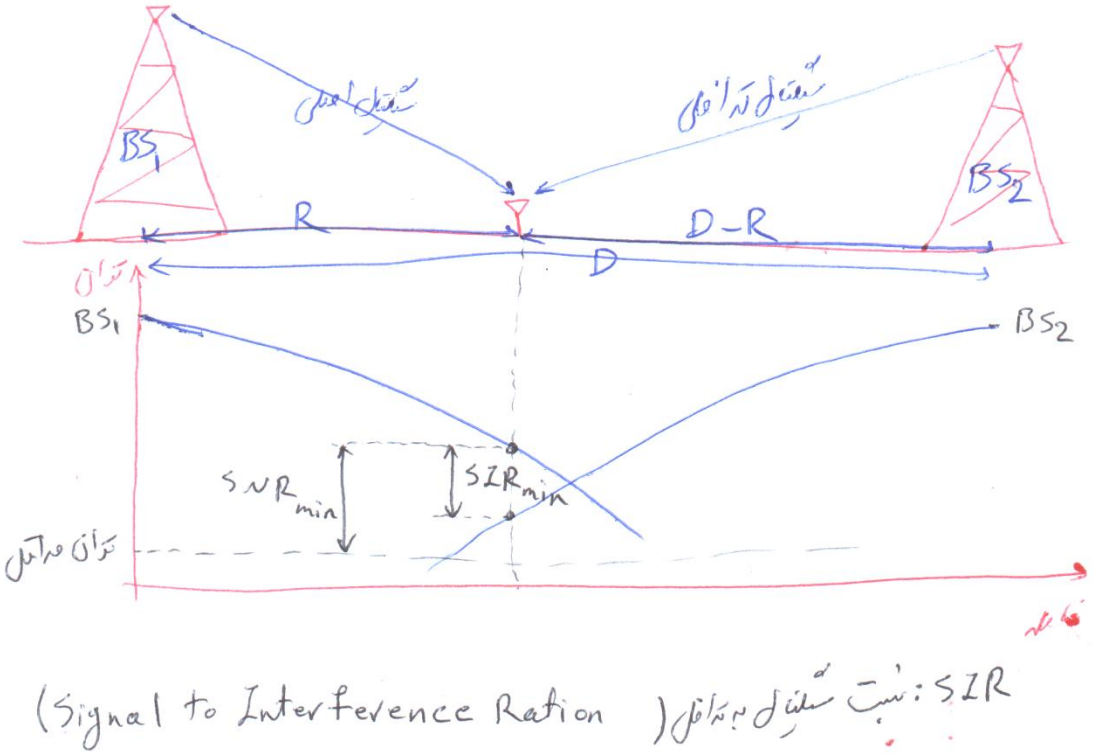


در اثر برخورد موج با سطوح ناصاف نیز پدیده پراکندگی رخ می دهد که در مخابرات سیار رایج است .

- اثر پراش (تفرق) : در اثر برخورد با لبه ها موج الکترومغناطیسی به تعدادی موج دیگر تبدیل می شود .



- اثر موج بری (Wave Guiding) : با ترکیب آثار فوق می توان به صورت ترکیبی ویژگی های مثبتی را بدست آورد که در راهروها ، تونل ها و تقاطع ها و .... استفاده می شود . کاربران تا فاصله ای که SNR_{min} از حد مجاز کمتر نشده باشد قادر به استفاده از منبع هستند .
- تداخل : گاهی اثر تداخل آنقدر قوی است که در محاسبات کارایی (SNR) اثر می گذارند .



(Signal to Interference Ration) نسبت سیگنال به تداخل : SIR

فرض کنید در شکل فوق BS تداخلی در فاصله D نسبت به BS مطلوب قرار داشته باشد و با همان فرکانس کار کند و دارای توان ارسال مشابه باشد .

سوال این است D باید چقدر باشد تا در شرایطی که کاربر در بدترین حالت (مرز بین دو سلول در شبکه سلولی) قرار می گیرد کیفیت دریافت از میزان مجاز کمتر نشود ؟

پاسخ : محاسبات تداخل بر اساس بودجه توان (Link Budget) انجام می شود .

مشابه SNR_{min} مفهومی به نام SIR_{min} تعریف می شود . گاهی این دو عامل مخرب (نویز و تداخل) با هم سنجیده می شوند و به صورت SNIR نمایش داده می شوند یعنی :

$$\frac{S}{N+I} \quad , \quad I: \text{تداخل} \quad , \quad N: \text{نویز}$$

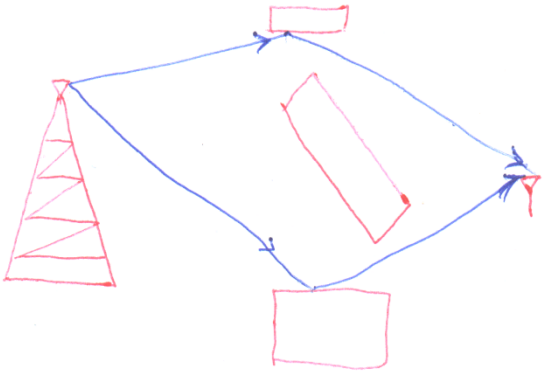
تداخل را نیز به صورت گاوسی مدل می کنند . این یک تقریب است و به ما اجازه می دهد تا به تداخل شبیه نویز نگاه کنیم .

- تفاوت اساسی نویز و تداخل : تداخل همانند سیگنال مطلوب دچار محشدگی (Fading) می شود . همچنین توان نویز ثابت است اما توان سیگنال تداخلی با فاصله افت می کند .

فصل جدید : توصیف آماری کانال مخابرات سیار

با توجه به تصادفی بودن مولفه های دریافتی در گیرنده ها نمی توان تک تک سیگنال های دریافتی را محاسبه کرد بنابراین مطلوب آن است که احتمال رسیدن پارامترهای کانال به یک مقدار مشخص مورد بررسی قرار گیرد .

- دسته اول تحلیل آماری کانال (مدل دو مسیره نامتغیر با زمان) :



در این مدل ساده شده فرض بر این است که انتشار موج در دو مسیر مختلف با زمان تغییر نمی کند .

فرض کنید توان سیگنال ارسالی به صورت زیر با فرکانس رابطه داشته باشد :

$$E_{Tx}(t)\ \alpha\ \ G(2\pi f_c t)$$

f_c : فرکانس حامل (کاریر)

موج دریافتی در گیرنده ای که در فاصله d از فرستنده قرار دارد به صورت زیر است :

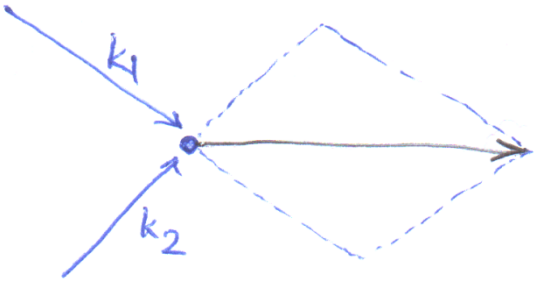
$$E(f) = E_0.\cos(2\pi f_c t - k_0 d)$$

k_0 : تعداد موجهای مرتبط با $\frac{2\pi}{\lambda}$ است (بین فرستنده و گیرنده)

$$E = E_0.e^{(-jk_0 d)}$$

توجه داریم که دو مسیر مختلف دارای دو سیگنال مختلف به شکل فوق هستند .

موج دریافتی نهایی : $E(t) = E_{01}.e^{(-jk_1 d)} + E_{02}.e^{(-jk_2 d)}$



- مدل دو مسیره متغیر با زمان : در عمل دو مسیر این مدل دارای زمانهای انتشار یکسانی نیستند . این تغییر به دلیل حرکت فرستنده ، گیرنده یا اشیا محیط رخ می دهد لذا گیرنده یک مدل متغیر با زمان دریافت می کند .

تغییرات مکانی گیرنده همچنین منجر به یک انتقال در فرکانس دریافتی می شود که شیفت داپلر (Doppler Shift) نامیده می شود .

$$E(t) = E_0.\cos(2\pi f_c t - k_0[d_0 + vt])$$

نکته جالب این که رابطه فوق برای وقتی که فرستنده و گیرنده به هم نزدیک می شوند با هنگامی که از هم دور می شوند تفاوت دارد .

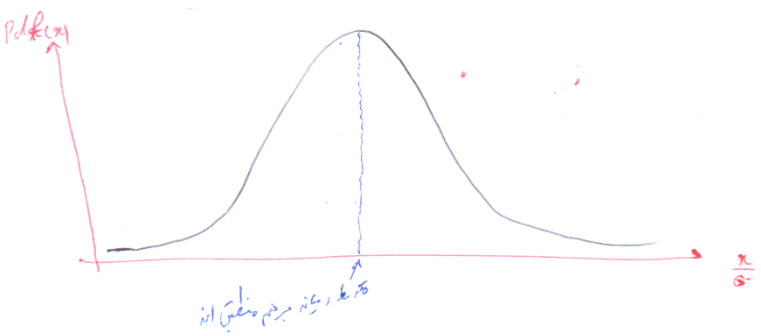
در طراحی ها حداقل و حداکثر شیفت داپلر را تخمین می زنند . معمولا این عدد بین 1Hz تا 1kHz می تواند متغیر باشد .

از آنجاییکه شیفت داپلر بسیار کوچک است گاهی اثر آن روی کانال مخابرات سیار ناچیز در نظر گرفته می شود .از سوی دیگر سرعت سیر موج الکترومغناطیسی در فرکانس مشخص بسیار بیشتر از زمانی است که گیرنده برای شیفت فرکانس نیاز دارد لذا قابل صرف نظر است اما در عمل اشیا بسیار زیادی بین فرستنده و گیرنده وجود دارند که می توانند موجب شیفت داپلر شوند ، اثر برآیند (super position) یا جمع آثار شیفت های کوچک می تواند منجر به شیفت بزرگی در گیرنده شود .

- مدل ریاضی محوشدگی مقیاس کوچک : هنگامی که مولفه های دریافتی هیچ کدام بر دیگری قالب نباشد .

با یادآوری مدل توزیع آماری گاوسی داریم :

$$pdf(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} . e^{(\frac{-x^2}{2\sigma^2})}$$

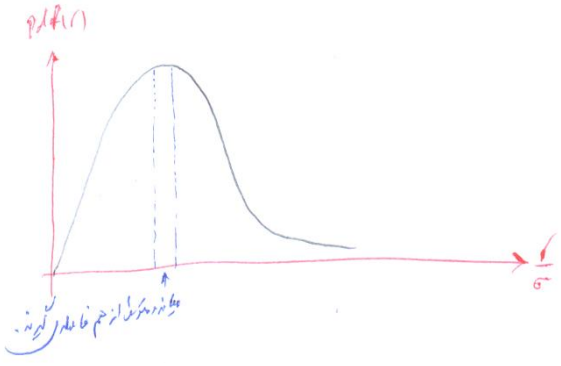


این تابع گاوسی معمولا با میانگین صفر رسم می شود .

با توجه به توزیع فوق به توزیع چگالی احتمال ریلی (رایلی : Rayleigh) می گویند .

برای یک متغیر تصادفی r داریم :

$$pdf(r) = \frac{r}{\sigma^2} . e^{(\frac{-r^2}{2\sigma^2})}$$



توزیع ریلی در مخابرات سیار بسیار پر کاربرد است زیرا :

1 - تخمین بسیارخوبی از کانال است در شرایطی که تعداد زیادی اشیا بین فرستنده و گیرنده وجود دارد . البته قابل ذکر است که هیچ کدام از این اشیا موجی قالب بر دیگران تولید نمی کند .
2 - توزیع ریلی بدترین حالت ممکن را در نظر گرفته است .
3 - تحلیل ریاضی توزیع ریلی آسان است .
4 - فقط با دانستن واریانس سیگنال دریافتی (σ^2) و متغیر r می توان pdf را محاسبه کرد .

- مدل ریاضی محوشدگی مقیاس کوچک : هنگامی که مولفه ای غالب بر سایر مولفه ها وجود داشته باشد .

توزیع ریاضی محوشدگی هنگامی که مولفه غالب (مولفه دید مستقیم : LOS) وجود داشتهباشد متفاوت است که به این توزیع ، توزیع Rice گفته می شود .

$$pdf(r) = \frac{r}{\sigma^2}.e^{\left(\frac{-r^2+A^2}{2\sigma^2}\right)}.I_0\left(\frac{rA}{\sigma^2}\right) \qquad ; \quad 0 \le r < \infty$$

A : دامنه مولفه LOS و I_0 تابع بسل است .

- توزیع ناکاگامی :

پیچیده ترین توزیع آماری مدل کانال دارای فیدبک مقیاس کوچک توزیع ناکاگامی است .

$$pdf(r) = \frac{2}{\Gamma(m)}\left(\frac{m}{\Omega}\right)^m r^{2m-1}e^{\left(-\frac{m}{\Omega}r^2\right)}$$

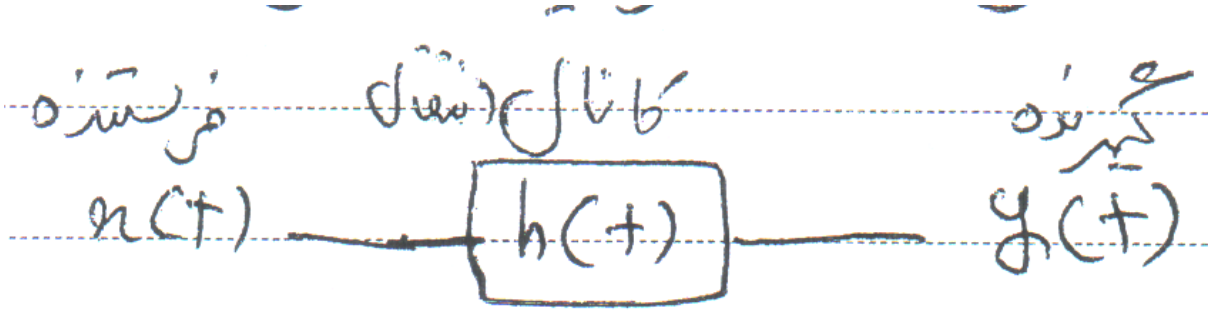
$\Gamma(m)$: تابع گاما ، $\Omega = r^{-2}$ ، $m = \frac{\Omega^2}{(r-\Omega)^2}$

توزیع ناکاگامی بسیار شبیه توزیع رایلی است و مقدار نسبتا دقیقی از محو شدگی (فیدینگ) به دست می دهد .

برای طراحی ، شبیه سازی و پیاده سازی سیستم های سیار نیاز به مدل کردن کانال انتشار داریم .

طراحان به دو موضوع زیر توجه دارند :

1 - تولید یک مدل تئوری ساده شده که منعکس کننده خصوصیات اصلی کانال انتشار باشد .



این مدلها ساده شده هستند و براساس نیاز مدلهای عملی پیاده سازی می شوند .

2 - طراحان علاقمند به طراحی و بهینه سازی سیستم های موجود با توجه ویژه به محیط های جغرافیایی هستند . موقعیت BS ها و سایر پارامترهای طراحی روی کامپیوتر بهینه می شود .

مدلهای مختلف براساس متدهای زیر تدوین شده اند :

1 - پاسخ کانال (ذخیره شده) : می توان پاسخ ضربه کانال را اندازه گیری ، دیجیتال و ذخیره کرد .

مزایا : الف) نسبتا واقعی هستند

ب) در شرایط مختلف قابل بازیابی و استفاده اند

معایب : الف) زحمت زیادی برای بدست آوردن و ذخیره اطلاعات نیاز دارد و ممکن است برای سایر محیط ها مناسب نباشد

2 - متدهای کانال قطعی (Deteministic) : این متد اطلاعات جغرافیایی و طبیعی را نیز به کمک روابط تئوری (مثل قانون ماکسول) در مدل در نظر می گیرد .

3 - متدهای مدل کانال تصادفی (Stochastic) : در این مدل ها چگالی توزیع احتمال (pdf) پاسخ ضربه کانال مورد استفاده قرار می گیرد .

- مدل کانال باریک : در یک کانال باند باریک پاسخ ضربه مثل یک تابع ضربه $\delta(t)$ عمل کرده باریک بودن باند نشان می دهد تغییرات حوزه زمان به آرامی انجام می شود .

مدل های نشان دهنده تلفات مسیر در مدل کانال :

1 - مدل Okumura – Hata : مشهورترین مدل این مجموعه است .

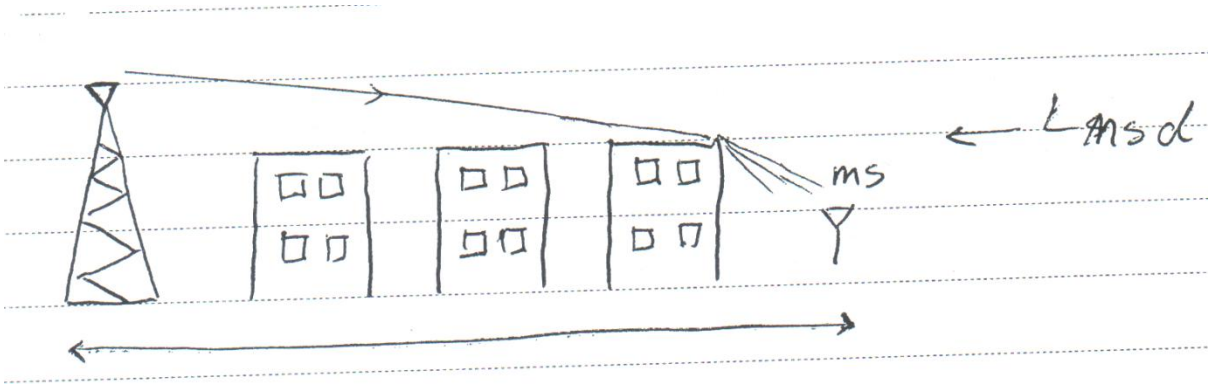
تلفات مسیر : $PL = A + B * \log(d_{km}) + C$

A ، *B* و *C* فاکتورهایی هستند که به شرایط محیط و نصب وابسته هستند . مثلا فاکتور *A* با افزایش فرکانس حامل افزایش می یابد و با افزایش طول *BS* و *MS* کاهش می یابد .و یا مثلا ضریب تلفات مسیر ($2 \le n \le 4$) با *B* نسبت دارد .

کاربرد این مدل در سلولهای بزرگ (*Marco Cell*) و با در نظر گرفتن ارتفاع زیاد *BS* نسبت به زمین است .

2 - مدل *COST 231* (*Walfish-Ikegami*) : این مدل برای میکروسل ها (*Micro Cell*) استفاده می شود و دارای فاصله های کمتری بین *BS* و *MS* و ارتفاع آنتن است .

PL_0 : تلفات فضای آزاد ، L_{msd} : این تلفات وابسته به مسیر انتشار و همین طور به تلفات ناشی از لبه بام نزدیک *MS* ، به فاصله بین ساختمانها ، فرکانس حامل ارتفاع بام ساختمانها ، L_{rts} : تلفات پراکندگی و پراش بام ساختمانها و خیابانها



3 - مدل پیشنهادی درون ساختمانی یا *Indoor* (*Motley – Keenan*) :

$$PL = PL_0 + 10n\log\left(\frac{d}{d_0}\right) + F_{wall} + F_{floor}$$

$\log\left(\frac{d}{d_0}\right)$: وابسته به فاصله است ، F_{wall} : مجموع تلفات دیوارها ($\frac{dB}{wall}$) ، F_{floor} مجموع تلفات کف ها

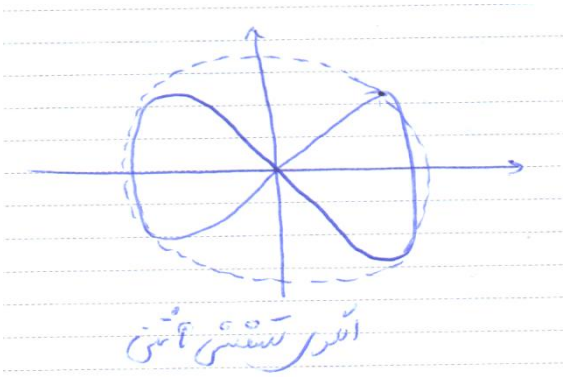
این مدل کاملا به شکل ساختمان وابسته است .

نکته : مدل *cast 207* مدلی است که برای محاسبه تلفات مسیر در *GSM* استفاده می شود (مدلی *outdoor* است)

آنتن ها :

پارامترهائی که انواع آنتن ها را با آن می سنجند عبارتند از :

1 - جهت دهی (*Directivity*) : مداری است که نشان می دهد یک آنتن چقدر می تواند توان تشعشعی اش را در یک جهت خاص متمرکز کند و یا یک آنتن گیرنده چقدر می تواند از یک جهت مشخص توان دریافت کند . لذا باید الگوی تشعشع آنتن مورد مطالعه قرار گیرد .



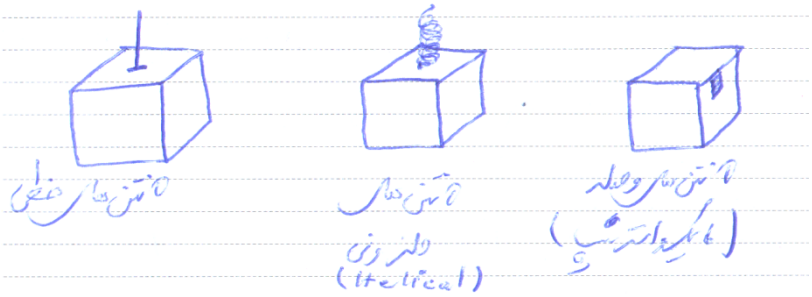
2 - بهره آنتن (بازده) : بیانگر میزان بهره و کارآیی آنتن است .

$$\eta = \frac{\text{توان مفید } (R_{rad})}{\text{توان کل } (R_{rad} + R_{\Omega} + R_{matc\ hing})}$$

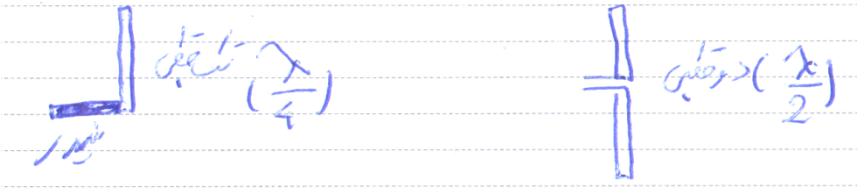
R_{rad} : تشعشع ، R_{Ω} : اهمی ، $R_{matc\ hing}$: تطبیق

3 - پلاریزاسیون (صفحه انتشار) : صفحه انتشار موج را پلاریزاسیون گویند . که می تواند به صورت خطی (افقی یا عمودی) یا غیر خطی (دایروی) باشد .
4 - پهنای باند : باندی که آنتن در آن ارسال و دریافت را انجام می دهد .

انواع آنتن ها :



1 - آنتن های خطی (*Liner*) : ساده ترین آنتن ها هستند . در انواع تک قطبی و دو قطبی ساخته می شوند .



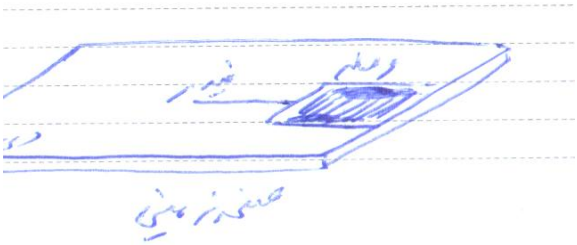
مزایا : 1- سادگی و ارزانی 2- اتصال بیرونی به بدنه *MS* (موبایل)

معایب : 1- اتصال بیرونی به بدنه *MS* (موبایل) 2- طول زیاد مثلا اگر برای استفاده در موبایل *GSM* در باند *900MHz* استفاده شود نیاز به طول آنتن حدودا 8 سانتیمتری دارد (تک قطبی)

2 - آنتن حلزونی (*Helical – Helix*) : ترکیبی از آنتن های خطی و حلقوی هستند لذا دارای دو مد عملکرد هستند و ویژگی دو مد آنتن را دارند .

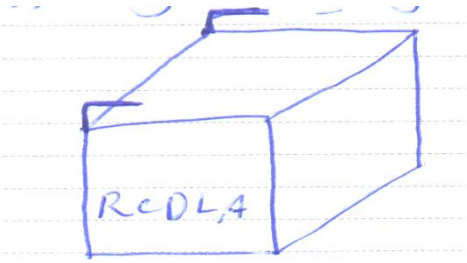
ویژگی ها : 1- طول کوتاهتری نسبت به خطی دارد 2- پهنای باند کمتری دارد .

3 - آنتن های مایکرواستریپ : در این آنتن ها تشعشع از طریق یک صفحه رسانا که بعنام وصله (*Patch*) معروف است صورت می گیرد .

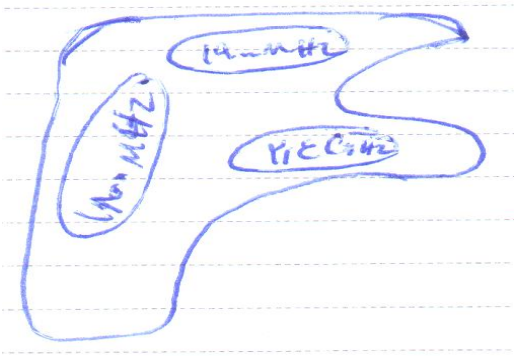


ویژگی ها : 1- کوچک و ارزان 2- نصب داخلی دارند 3- پهنای باند کمی دارند .

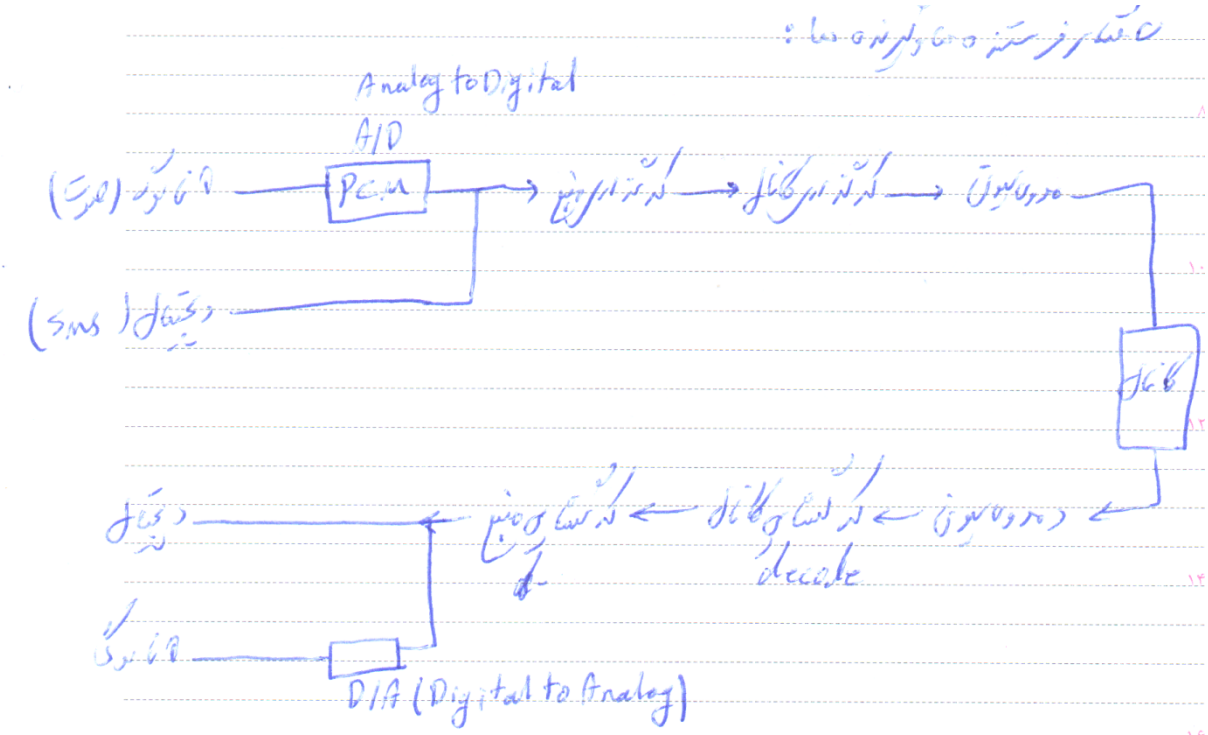
از آنتن های خانواده مایکرواستریپ می توان به آنتن های *PIFA* اشاره کرد . آنتن *RCDLA* بهبود یافته آنتن *PIFA* است . آنتن های چند باندی (*Multi Band*) در گوشی های نسل جدید استفاده می شوند و فرکانس ها و کاربردهای متعددی را پشتیبانی می کنند .



مثلا یک گوشی *GSM* می تواند با فرکانس های *900 MHz* و *1800 MHz* کار کند . همچنین برای ارتباط *Bluetooth* (بلوتوث) باید بتواند در فرکانس *2.4 GHz* کار کند .



ساختار فرستنده و گیرنده ها :



اطلاعات اولیه ممکن است آنالوگ یا دیجیتال باشند که توسط *A/D* به رشته بیت های دیجیتال تبدیل می شوند . مثلا صدا با کیفیت $8\frac{k\ sample}{sec}$ و با دقت هر نمونه معادل 8 بیت دیجیتال می شود . لذا خروجی *PCM* حدود $64\frac{kb}{s}$ است .

کد گذار منبع با داشتن اطلاعاتی از منبع داده طول رشته بیت را با هدف کاهش پهنای باند مورد نیاز کم می کند . برای مثال در *GSM* از $64\frac{kb}{s}$ به $13\frac{kb}{s}$ کاهش می دهد .

همچنین عملیات رمز نگاری نیز در این بخش انجام می شود . کد گذاری کانال برای کاهش خطا در کانال و افزایش قابلیت اطمینان سیستم از الگوریتم های کانال استفاده می کند . مثلا در *GSM* در اثر افزوده شدن این کدها طول رشته بیت به $22.8\frac{kb}{s}$ افزایش می یابد .

مدولاسیون :

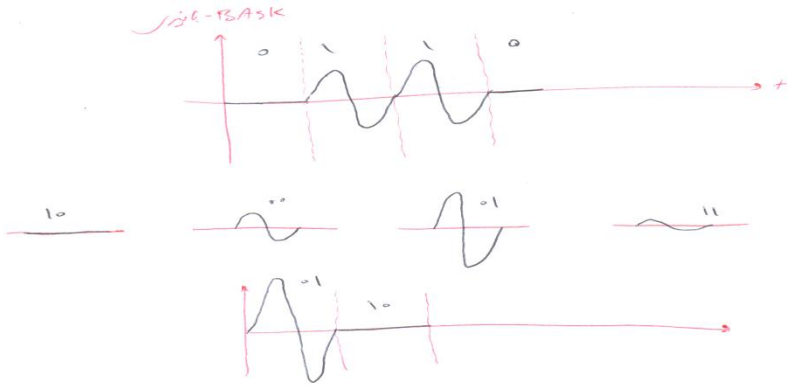
کانال انتقال در هوای آزاد یک پدیده میان گذر است . لذا سیگنال های مدوله شده باید به شکل زیر باشند :

$$S(t) = A\cos(2\pi f_c t + \varphi)$$

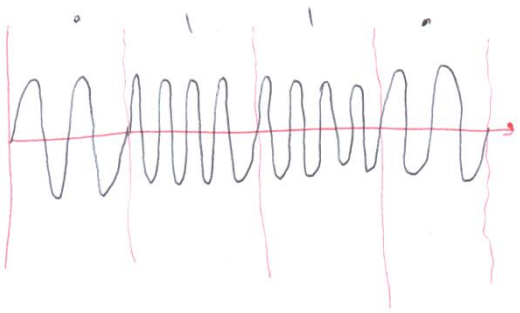
A : دامنه ، f_c : فرکانس ، φ : فاز

انواع مدولاسیون :

- کلید زنی شیفت دامنه (ASK (Amplitude Shift Keying)) : دامنه موج حاوی اطلاعات است .



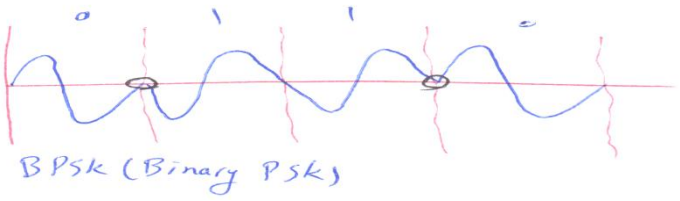
- کلید زنی شیفت فرکانس (FSK (Frequency Shift Keying)) : دامنه و فاز ثابت و فرکانس متغیر است .



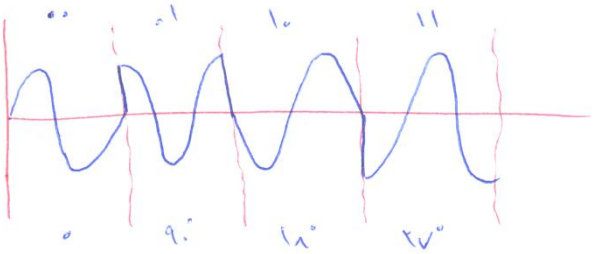
عیب : اطلاعات در فرکانس قرار دارد . نسبت به ASK پیچیده تر است و پهنای باند بیشتری اشغال می کند .

مزیت : نسبت به ASK در برابر نویز مقاومتر است زیرا نویز روی دامنه اثر می گذارد که در FSK دامنه حاوی اطلاعات نیست.

- کلید زنی شیفت فاز ((Phase Shift Keying) PSK) : در این تکنیک دامنه و فرکانس ثابت است و فاز با توجه به رشته بیت آماده ارسال تغییر می کند .

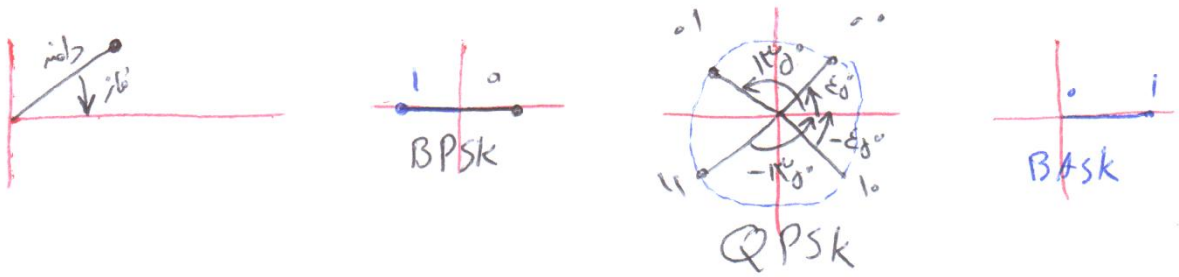


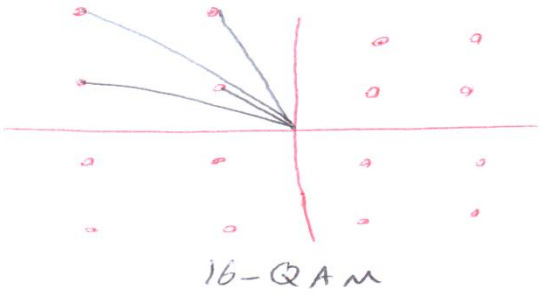
اگر از چهار فاز به جای دو فاز استفاده شود تکنیک QPSK نام دارد .



در QPSK معمولا از فازهای $45°$ ، $-45°$ ، $135°$ و $-135°$ استفاده می شود .

- QAM : از ترکیب ASK و PSK این مدولاسیون تولید می شود . برای نمایش مدولاسیونها از نمودارهای منظومه ای استفاده می شود .





16-QAM حاوی 4 بیت اطلاعات است ($\log_2 16 = 4$ ، از بازه 0000 تا 1111) در این حالت نمودار 16-QAM دارای 4 اندازه و 4 فاز متفادت می باشد .

با توجه به تداخل های موجود در کانال دامنه تغییر کرده و این گیرنده است که بایستی دامنه درست را تشخیص دهد . گیرنده با تکنیک های مختلف دامنه درست را تشخیص می دهد .

مزایا و معایب PSK :

1 - در مقابل نویز مقاومتر از ASK است .
2 - نسبت به FSK ساده تر است زیرا FSK نیاز به اسیلاتور با فرکانس های مختلف دارد .
3 - گیرنده آن در مقایسه با ASK پیچیده تر است زیرا آشکارسازی فاز از آشکارسازی دامنه پیچیده تر است .

- مدولاسیون CPFSK (FSK فاز پیوسته) : گسستگی فاز باعث ایجاد هارمونیک های فرکانسی خواهد شد که در آن تغییرات فاز عامل اصلی است . برای اجتناب از این امر ، فاز را پیوسته می کنند . اگر این موج CPFSK را از یک فیلتر به شکل تابع گاوسی عبور دهیم ، مدلاسیون GSM تولید می شود .

تکنیک دایورسیتی یا چند گانگی (Diversity) :

عبارتست از ارسال چندگانه اطلاعات یکسان از طریق مسیرهای متفاوت مستقل از هم .

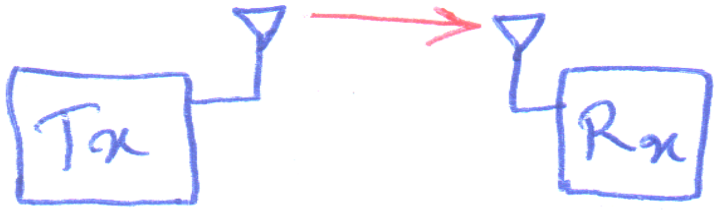
با این کار شانس دریافت بدون خطای اطلاعات در گیرنده افزایش می یابد .

میکرو دایورسیتی :

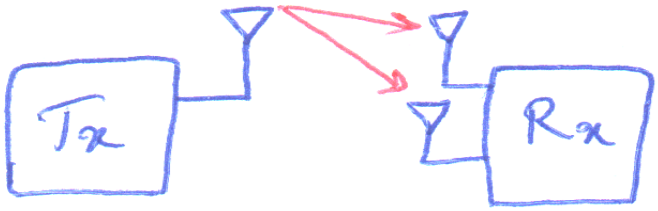
روش هایی که برای ارسال چندگانه اطلاعات برای مقابله با محوشدگی مقیاس کوچک استفاده می شود .

1 - دایورسیتی فضایی (مکانی) : استفاده از چند آنتن به جای یک آنتن با فاصله کافی .

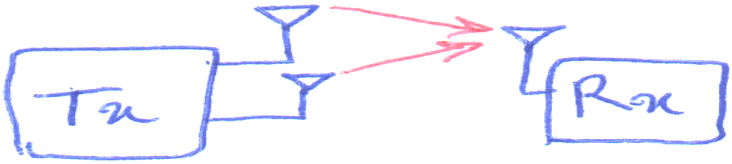
SISO (Single Input Single Output)



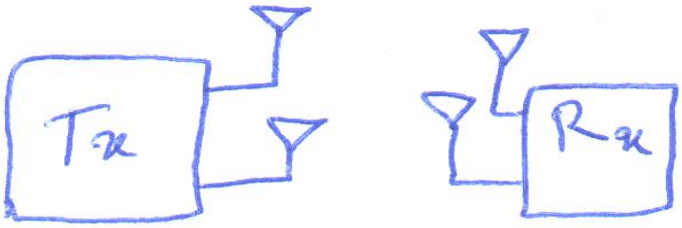
SIMO (Single Input Multiple Output)



MISO (Multiple Input Single Output)



MIMO (Multiple Input Multiple Output)



2 - دایورسیتی زمانی : در این تکنیک اطلاعات یکسان در زمانهای مختلف ارسال می شود .
3 - دایورسیتی فرکانسی : سیگنال در فرکانس های مختلف ارسال می شود .
4 - دایورسیتی زاویه ای : استفاده از آنتن هایی با زاویه های انتشار مختلف (الگوهای انتشار متفاوت)
5 - دایورسیتی پلاریزاسیون : پلاریزاسیون یعنی صفحه حرکت موج در فضا . این دایورسیتی از صفحات مختلف برای ارسال اتفاده می کند .

مایکرو دایورسیتی (چندگانگی بزرگ) :

می دانیم اثر محوشدگی مقیا بزرگ (اثر سایه یا Shadowing) مستقل از فرکانس و یا پلاریزاسیون ارسالی است . به عبارت دیگر استفاده از پنج روش فوق نمی تواند محوشدگی مقیاس بزرگ را بهبود دهد .

مثلا اگر یک مانع بزرگ (یک تپه) بین فرستنده و گیرنده وجود داشته باشد افزودن یک آنتن مشکلی را حل نمی کند .

ساده ترین شکل ماکرو دایورسیتی استفاده از تکرار کننده (Repeater) است .

سیگنال علاوه بر مسیرهای عادی ، از طریق تکرار کننده که در مکان مناسبی نصب شده است نیز به گیرنده می رسد .

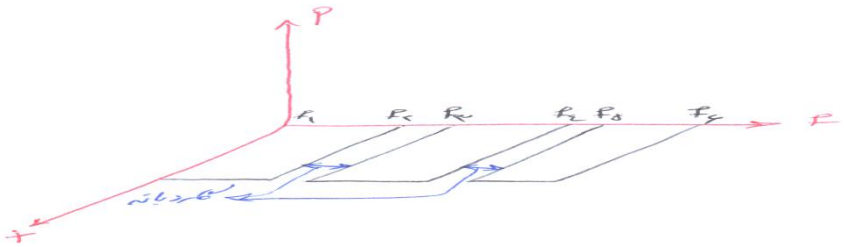
تصمیم گیری برای سیگنال ارسال شده با دایورسیتی به دو روش امکان پذیر است :

1 - انتخاب (Selection) : بهترین کپی سیگنال ، پردازش و انتخاب می شود .
2 - ترکیب (Combining) : در این روش تمام کپی های سیگنال مورد توجه قرار گرفته و ترکیب می شود و سیگنال مرکب حاصل مورد پردازش قرار می گیرد .

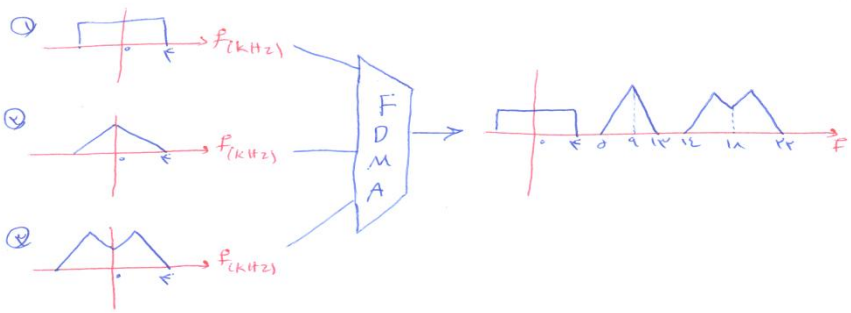
تکنیک های دسترسی چندگانه :

استفاده مشترک چندین کاربر از کانال مشترک تکنیک دسترسی نام دارد (MAC : Media Access Control)

1 - شیوه های دسترسی چندگانه کانالیزه شده (کانال بندی شده) :
1 1 - دسترسی چندگانه با تقسیم فرکانسی (FDMA : Frequency Division Multiple Access) :



FDMA تکنیکی است ذاتا آنالوگ . به کاربران باندهای فرکانسی مجزا تعلق می گیرد . گیرنده با قرار دادن فیلتر مناسب سیگنال ها را جدا کرده و به فرکانس اولیه بر می گرداند .



مهمترین ویژگی آن پهنای باند محدود آن است .

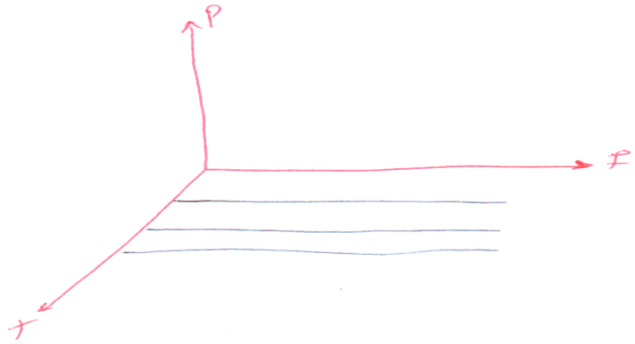
ظرفیت : $C = B\log_2(1+SNR)$

B : پهنای باند

کاربردها : در نسل اول تلفن های همراه و تلفن های ثابت .

مشکل عمده دیگر *FDMA* محدودیت تعداد کاربران است . همچنین در برابر محوشدگی ضعیف است .

2 1 - دسترسی چندگانه با تقسیم زمانی (TDMA : Time Division Multiple Access) :



در این روش دسترسی کاربران به پهنای باند سرویس محدود نمی شود بلکه زمان دسترسی دسته بندی می شود .

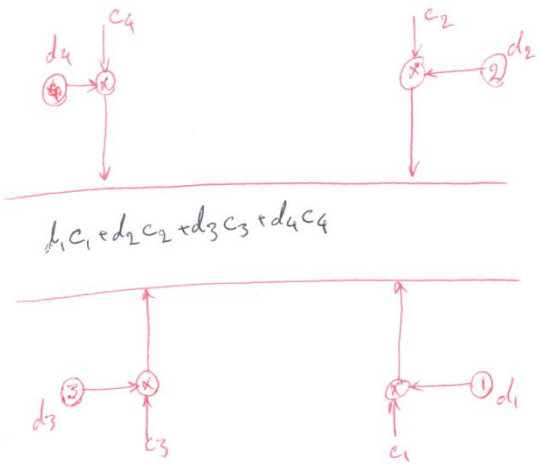
ویژگی مهم آن سرعت بالای انتقال اطلاعات است زیرا هر کاربر پهنای باند بسیار بیشتری در اختیار دارد .

مشکل اصلی در *TDMA* همزمان سازی (سنکرون سازی) بازه های زمانی است .

کاربردها : نسل دوم تلفن های همراه (*GSM*) – می توان گفت در نسل چهارم و نیز در وایمکس نیز از *TDMA* اتفاده می شود .

3 1 - دسترسی چندگانه با تقسیم Code (CDMA : Code Division Multiple Access) :

در این تکنیک که یکی از روشهای باند گسترده محسوب می شود پهنای باند فرکانسی و استفاده زمانی بین کاربران مشترک است . اما به هر کاربر کدی اختصاص داده می شود که بر سایر کدهای دیگر کاربران متعامد است .



$$C_i * C_j = 0 \quad if \quad i \neq j$$

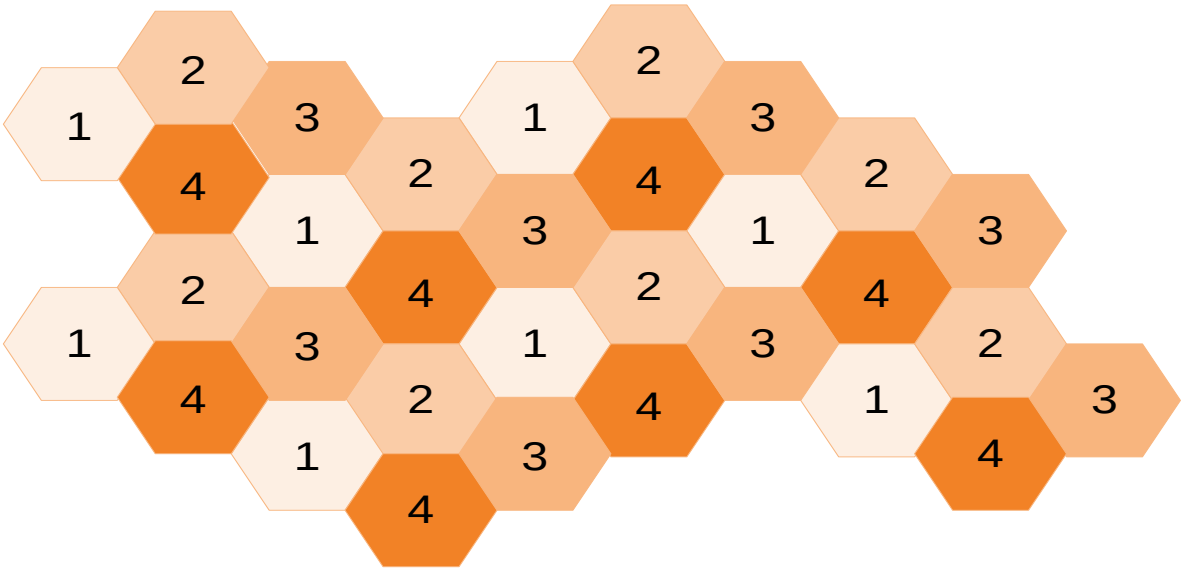
به عنوان مثال اگر کاربر 4 بخواهد با کاربر یک ارتباط برقرار کند ، کافی است رشته دریافتی را در کد کلوبر 1 ضرب کند :

$$(d_1C_1 + d_2C_2 + d_3C_3 + d_4C_4)C_1 = d_1C_1C_1 + d_2C_2C_1 + d_3C_3C_1 + d_4C_4C_1 = d_1$$

یادآوری : در FDMA کل باند فرکانسی بین سلولهای شبکه تقسیم می شوند .

خوشه (کلاستر Cluster) : تعدادی سلول که کل باند فرکانسی بین آنها تقسیم می شود .

اصل باز استفاده از فرکانس (Frequency Reuse) : برای استفاده مطلوبتر از فرکانس ، کل فرکانس های شبکه می تواند در هر خوشه تکرا ر شود .



نکته مهم در استفاده مجدد فرکانس این است که هر دو سلول هم فرکانس در دو خوشه مجاور باید به اندازه کافی از هم فاصله داشته باشند .

جهت انتقال سیگنال :

- یک طرفه (Simplex Duplex)
- نیمه دو طرفه ((TDD) Hulf Duplex)
- دوطرفه کامل ((FDD) Full Duplex)

- تقسیم فرکانسی جهت انتقال ((FDD (Frequency Division Duplexing) : یعنی کانال دو طرفه در دو باند مجزا ارسال و دریافت را انجام دهد .
- تقسیم زمانی جهت انتقال ((TDD (Time Division Duplexing) : یعنی کانال دو طرفه در دو لحظه متفاوت ارسال و دریافت را انجام می دهد .

مثال (FDMA) : فرض کنید یک اپراتور تلفن همراه می خواهد پهنای باند 33 MHz را به روش FDMA/FDD در یک شهر پیاده سازی کند . اگر برای هر ارتباط یک طرفه ، یک کانال 25 KHz نیاز باشد تعداد کانال های مکالمه دو طرفه مورد نیاز برای هر سلول در مدل های زیر را بررسی کنید ؟

الف) مدل استفاده فرکانسی 4 سلولی

ب) مدل استفاده فرکانسی 7 سلولی

ج) مدل استفاده فرکانسی 12 سلولی

همچنین فرض کنید برای انتقال هر سیگنال کنترلی یک کانال با پهنای باند معادل کانال صوتی نیاز باشد ، محاسبات فوق را تکرار کنید . فرض کنید کل پهنای باند سیگنال های کنترلی 1MHz باشد ؟

حل : هر مکالمه نیاز به پهنای باند $2 * 25\ KHz = 50\ KHz$ دارد .

الف)

محدوده فرکانسی هر سلول : $\frac{33\ MHz}{4} = 8.25\ MHz$ $\rightarrow$ مکالمه (کاربر) : $\frac{8.25\ MHz}{50\ KHz} = \frac{8.25 * 10^6}{50 * 10^3} = 165$

ب)

محدوده فرکانسی هر سلول : $\frac{33\ MHz}{7} = 4.71\ MHz$ $\rightarrow$ مکالمه (کاربر) : $\frac{4.71\ MHz}{50\ KHz} = \frac{4.71 * 10^6}{50 * 10^3} \cong 94$

ج)

محدوده فرکانسی هر سلول : $\frac{33\ MHz}{12} = 2.75\ MHz$ $\rightarrow$ مکالمه (کاربر) : $\frac{2.75\ MHz}{50\ KHz} = \frac{2.75 * 10^6}{50 * 10^3} \cong 55$

نتیجه می شود با افزایش تعداد سلول های هر خوشه ظرفیت سلول (تعداد کاربران) کاهش می یابد .

از طرفی با کوچک کردن خوشه ها فاصله دو سلول هم فرکانس نیز کاهش یافته و احتمال تداخل فرکانس بالا می رود.

$\frac{1\ MHz}{50\ KHz} = \frac{1 * 10^6}{50 * 10^3} = 20 \rightarrow$ مکالمه کنترلی هر سلول عبارتند از : $\frac{20}{4} = 5$ ، $\frac{20}{7} \cong 3$ ، $\frac{20}{12} \cong 1$

$$33 - 1 = 32\ MHz$$

$$\frac{32\ MHz}{4} = 8\ MHz \rightarrow \text{ تعداد مکالمه : } \frac{8 * 10^6}{50 * 10^3} = 160$$

$$\frac{32\ MHz}{7} = 4.5\ MHz \rightarrow \text{ تعداد مکالمه : } \frac{4.5 * 10^6}{50 * 10^3} = 90$$

$$\frac{32\ MHz}{12} = 2.6\ MHz \rightarrow \text{ تعداد مکالمه : } \frac{2.6 * 10^6}{50 * 10^3} = 52$$