بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات

بررسی و شبیه سازی روش های کور و نیمه کور در تخمین کانال های مخابراتی MIMO

زاهد عزیزی

استادراهنما:

دکتر حمید فرخی

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادرم:

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

تشکر و قدردانی:

لازم می بینم مراتب قدردانی و سپاس خود را از آن دسته عزیزانی که طی مراحل مختلف پژوهش و نگارش این رساله مرا یاری نموده اند ابراز نمایم:

از جناب آقای دکتر حمید فرخی استاد راهنمای محترم که با ارائه ی راهنمایی های ارزنده علمی و اخلاقی، روشنگر این دوره از زندگی من بوده اند، کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر حسن فرسی، استاد مشاورم که با ارائه ی نقطه نظرات سودمند سهم بسزایی در بهبود کیفی مطالب ایفا نمودند، کمال امتنان و سپاس را دارم.

بر خود لازم می دانم که از تمام اساتید ارجمند گروه مهندسی مخابرات دانشگاه بیرجند که تمام تلاش خود را صرف تعلیم و تربیت دانشجویان این رشته می نمایند، قدردانی کنم.

در پایان، از تک تک اعضاء خانواده ام که مرا از هر لحاظ در انجام هر چه بهتر این پایان نامه یاری و پشتیبانی نمودند، سپاسگذاری می نمایم.

زاهد عزیزی

زمستان ۱۳۹۰

چکیده

به منظور بازیابی سیگنال ارسالی در گیرنده، دانش اطلاعات دقیق حالت کانال ضروری است. معمولاً تخمین کانال به وسیله‌ی ارسال دنباله‌های آموزشی که برای گیرنده و فرستنده معلوم هستند، انجام می-شود. اما حتی اگر کانال به آرامی تغییر کند دنباله‌های آموزشی باید متناوبا به منظور به روز رسانی تخمین‌های کانال، ارسال شوند. از طرف دیگر، کانال را می‌توان با استفاده از ویژگی‌های آماری سیگنال ارسالی، شناسایی کرد که به این روش‌ها، روش‌های کور گفته می‌شود. در این رساله روش‌های تخمین کور در کانال‌های مخابراتی MIMO را مورد بررسی قرار داده و الگوریتم زیر فضا را برای سیستم‌های MIMO-OFDM شبیه سازی می کنیم و در نهایت عملکرد این الگوریتم را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

کلید واژه : تخمین کانال، بیتهای آموزشی، تخمین کور، کانال MIMO.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست شکل‌ها ..... د

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- مخابرات بیسیم ۱

۱-۲-۱- به سوی سیستم های موبایل نسل چهارم ۲

۱-۲-۲- تسهیم تقسیم فرکانسی متعامد ۴

۱-۲-۲-۱- مزیت ها و معایب اصلی OFDM ۵

۱-۲-۳- MIMO-OFDM ۶

۱-۳- کانال های مخابراتی بیسیم ۷

۱-۴- چرا از تخمین کانال استفاده می کنیم؟ ۸

۱-۵- تکنیک های تخمین کانال ۹

۱-۶- تکنیک های کور در مقابل دنباله های آموزشی ۹

فصل ۲- پدیده ی محوشدگی و معرفی سیستم MIMO ۱۴

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- پدیده ی محوشدگی و انواع آن ۱۴

۲-۲-۱- انواع محوشدگی ۱۶

۲-۳- محوشدگی در سیستم های چند آنتنی ۱۷

۲-۳-۱- سیستم های چند ورودی چند خروجی ۱۷

۲-۳-۲- مدل سازی محوشدگی در کانال های MIMO ۱۸

فصل ۳- مدل سیستم MIMO-OFDM ۲۰

۳-۱- مقدمه ۲۰

۳-۲- کانال محوشدگی چند مسیری ۲۱

۳-۳- تسهیم تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) ۲۳

۳-۳-۱- مقدمه ۲۳

۳-۳-۲- اصول OFDM ۲۴
۳-۳-۳- مدل سیستم OFDM براساس FFT ۲۶
۳-۴- مدل سیستم MIMO-OFDM ۳۲
۳-۴-۱- مفاهیم اساسی ۳۲
۳-۴-۲- مدل ماتریسی ۳۲
فصل ۴- روش های شناسایی کور چندکاناله ی خطی براساس آمارگان مرتبه ی دوم ۳۹
۴-۱- مقدمه ۳۹
۴-۲- مدل کانال چندگانه ی گسسته برای شناسایی کانال ۴۰
۴-۲-۱- مدل باند پایه ی خطی ۴۰
۴-۲-۲- چندگانگی کانال حاصل از نمونه برداری ۴۱
۴-۳- آمارگان مرتبه ی دوم خروجی کانال ۴۳
۴-۴- الگوریتم SIMO حوزه ی زمانی TXK ۴۵
۴-۵- دو روش SIMO در شناسایی کور کانال ۴۸
۴-۵-۱- الگوریتم زیرفضا ۴۸
۴-۵-۲- الگوریتم انطباق زیر کانال ۵۱
۴-۶- بهره گیری از اطلاعات جزئی سیستم ۵۴
۴-۶-۱- مقدمه ۵۴
۴-۶-۲- اطلاعات جزئی درباره ی کانال مرکب ۵۴
۴-۶-۲-۱- روش زیر فضای چند مسیری ۵۵
۴-۶-۲-۲- انطباق زیر کانال چند مسیری ۵۶
۴-۶-۳- تحلیل عملکرد ۵۶
فصل ۵- تخمین کور کانال براساس زیرفضا در سیستم های MIMO-OFDM ۵۹
۵-۱- مقدمه ۵۹
۵-۲- مدل سیستم و مفروضات اساسی ۶۲
۵-۳- بررسی عملکرد ۶۸
۵-۴- تخمین کور کانال زیرفضا برای سیستم های Zero-padded MIMO-OFDM ۷۱
۵-۴-۱- Zero-padded OFDM ۷۱
۵-۴-۲- Zero Padded MIMO-OFDM ۷۲
۵-۴-۳- الگوریتم تخمین ۷۳

۵-۵- تخمین کور کانال زیرفضا برای سیستم های MIMO-OFDM براساس حامل های مجازی ۷۵
۵-۶- مقایسه و بحث ۷۸
فصل ۶- نتیجه گیری و مسیر پیش رو ۸۰
۶-۱- نتیجه گیری ۸۰
۶-۲- مسیر پیش رو ۸۰
ضمیمه أ -اثبات رابطه ی (۴-۳۲) ۸۲
ضمیمه ب -رابطه ی فضاهای حاصل از ضرب ماتریسی ۸۳
ضمیمه ج - تجزیه ی مقدار منفرد ۸۴
فهرست مراجع ۸۵
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۸۸
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۹۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: یک کانال چند ورودی چند خروجی ۲
شکل ۱-۲: سیستم های مخابراتی بیسیم کنونی و آتی ۳
شکل ۱-۳: همپوشانی طیفی در OFDM ۵
شکل ۱-۴: انتشار چند مسیری در کانال مخابراتی بیسیم ۸
شکل ۱-۵: دسته بندی تخمین زننده های کور کانال ۱۰
شکل ۱-۶: بلوک دیاگرام سیستم مخابراتی همراه با تخمین کانال و آشکارسازی ۱۲
شکل ۲-۱: تقسیم بندی انواع محوشدگی[۲۲] ۱۵
شکل ۲-۲: یک سیستم MIMO ۱۸
شکل ۳-۱: دیاگرام محوشدگی چند مسیری ۲۱
شکل ۳-۲: مدل کانال گسسته در زمان TDL ۲۲
شکل ۳-۳: مدولاسیون OFDM ۲۵
شکل ۳-۴: شکل پالس و پیشوند چرخشی در سمبل OFDM ۲۶
شکل ۳-۵: طیف توان OFDM با طول پنجره بندیهای متفاوت ۲۷
شکل ۳-۶: بلوک دیاگرام یک سیستم OFDM ۲۸
شکل ۳-۷: یک طرح ساده از فرستنده ی MIMO-OFDM ۳۳
شکل ۳-۸: یک طرح ساده از گیرنده ی MIMO-OFDM ۳۳
شکل ۳-۹: دیاگرام بلوکی یک سیستم MIMO-OFDM ۳۴
شکل ۴-۱:سیستم خطی SIMO با q زیر کانال ۴۳
شکل ۴-۲: انطباق زیر کانال در یک سیستم SIMO ۵۲
شکل ۴-۳: خطای میانگین مربعی نرمالیزه در روش های مختلف با سمبل های داده ی با طول ۲۵۶ [۳۶] ۵۷
شکل ۴-۴: خطای میانگین مربعی نرمالیزه در MSSM برای طول داده ی متفاوت [۳۶] ۵۸
شکل ۵-۱: خطای تخمین ضرایب کانال بر حسب SNR ۶۹
شکل ۵-۲ خطای تخمین ضرایب کانال برحسب تعداد بلوک های به کار رفته برای محاسبه ی ماتریس خودبستگی ۷۰

شکل ۵-۳: خطای تخمین ضرایب کانال بر حسب SNR در سیستم ZP-MIMO-OFDM ۷۴
شکل ۵-۴: خطای تخمین ضرایب کانال برحسب تعداد بلوک های به کار رفته برای محاسبه ی ماتریس خودبستگی ۷۴
شکل ۵-۵: خطای تخمین کانال بر حسب SNR در سیستمهای MIMO-OFDM با تغییر تعداد حامل های مجازی ۷۶
شکل ۵-۶: خطای تخمین کانال بر حسب SNR در سیستم های MIMO-OFDM با تغییر طول پیشوند چرخشی ۷۷
شکل ۵-۷: قسمت حقیقی ضرایب کانال واقعی و تخمینی ۷۷
شکل ۵-۸: قسمت موهومی ضرایب کانال واقعی و تخمینی ۷۸
شکل ۵-۹: خطای تخمین کانال برحسب SNR برای تعداد بلوک های متوالی متفاوت، با CP=7..... ۷۹

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

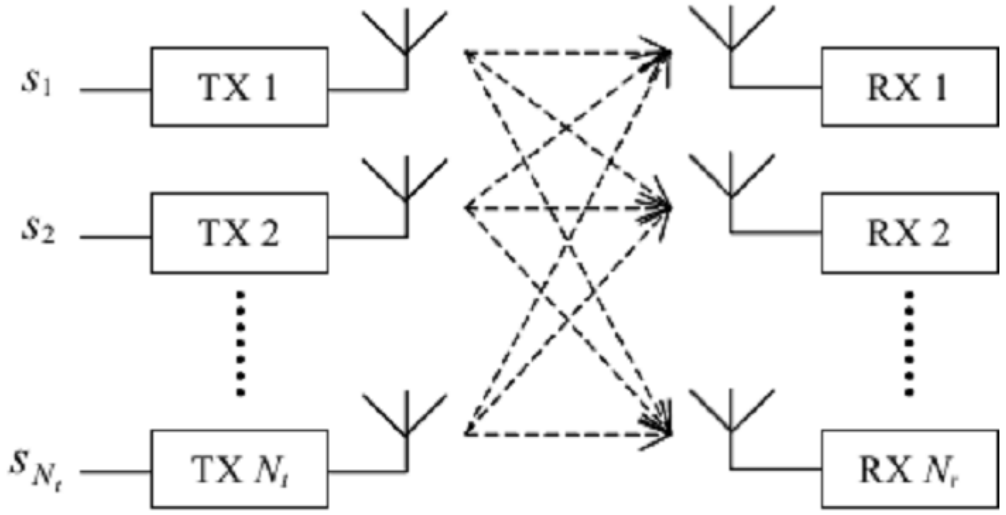
در جهان مدرن امروزی که ما زندگی می‌کنیم، ارتباطات به اشکال مختلف، تبدیل به بخشی جدایی ناپذیر از زندگی ما شده است. ما با یکدیگر از طریق تلفن(ثابت و همراه)، رادیو و تلویزیون، اینترنت و ... در ارتباط هستیم. صرف نظر از نوع سیستم‌های ارتباطی مورد استفاده، سه قسمت عمده‌ی سیستم‌های ارتباطی برای همه یکسان است. این قسمت‌ها عبارتند از فرستنده، کانال و گیرنده. فرستنده و گیرنده هر دو می توانند ثابت و یا سیار باشد، و بوسیله کانال از هم جدا می‌شوند. کانال می‌تواند سیمی یا بی سیم باشد. صرف نظر از نوع کانال، تاثیر آنها بر سیگنال ارسالی از فرستنده به گیرنده مشابه است. این اثرات عبارتند از اعوجاج سیگنال ارسالی به صورت تضعیف، تداخل با سیگنال‌های ارسالی دیگر موجود در کانال و یا نسخه‌های تاخیر یافته خود آن سیگنال، و جمع شدن با نویز کانال. بنابراین گیرنده کار مهم تخمین و بازسازی دقیق اطلاعات سیگنال اصلی را برعهده دارد. برای انجام این کار مهم، تکنیک های بسیاری برای پردازش موثر سیگنال‌ها در گیرنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک‌ها عبارتند از، روش‌های جبرانسازی بر اساس تخمین طبیعت متغیر با زمان کانال، تکنیک‌های تصحیح خطا به منظور بهبود روش‌های دریافت اطلاعات از طریق کانال‌های بی سیم، و تکنیک‌های هماهنگ سازی در هر دو حوزه‌ی زمان و فرکانس.

۱–۲– مخابرات بیسیم

ارتباطات بی سیم یکی از فعال ترین حوزه‌های توسعه فن آوری و یک شاخه‌ی در حال رشد سریع در حوزه‌ی وسیع‌تر سیستم‌های ارتباطی است. به آن بی سیم می‌گوییم زیرا از کانال‌های بی سیم به جای کانال سیمی استفاده می‌کند. این رشد سریع با پیشرفت‌های تکنولوژی زمان ما همراه شده است. شایان ذکر است که ارتباطات راه دور در قرن ۲۱ام به طور فزاینده‌ای با تکیه بر ارتباطات بی سیم انجام می‌شود. در نتیجه، تقاضا برای افزایش ظرفیت و نرخ داده‌ی بیشتر در سیستم‌های بی سیم در حال حاضر، در حال رشد سریع می‌باشد.

همچنین سیستم‌های ارتباطی بی سیم به طور مداوم با چالش‌های گوناگون مواجه هستند. برخی از این چالش‌ها عبارتند از کمبود طیف فرکانس رادیویی در دسترس، و محیط بی سیم فضا زمانی متغیر و پیچیده و غیره. علاوه بر این، این سیستم با چالش افزایش تقاضا برای نرخ داده‌ی بالاتر، کیفیت خدمات

بهتر، و ظرفیت بالاتر شبکه نیز مواجه است. در نتیجه، یک گذر از فن آوری آنتنی تک ورودی تک خروجی(SISO)[1] به تکنولوژی آنتنی چند ورودی چند خروجی(MIMO)[2]، در سیستم های ارتباطی بی سیم لازم است. شکل ۱-۱ یک مدل کانال چند ورودی چند خروجی را نشان می‌دهد.



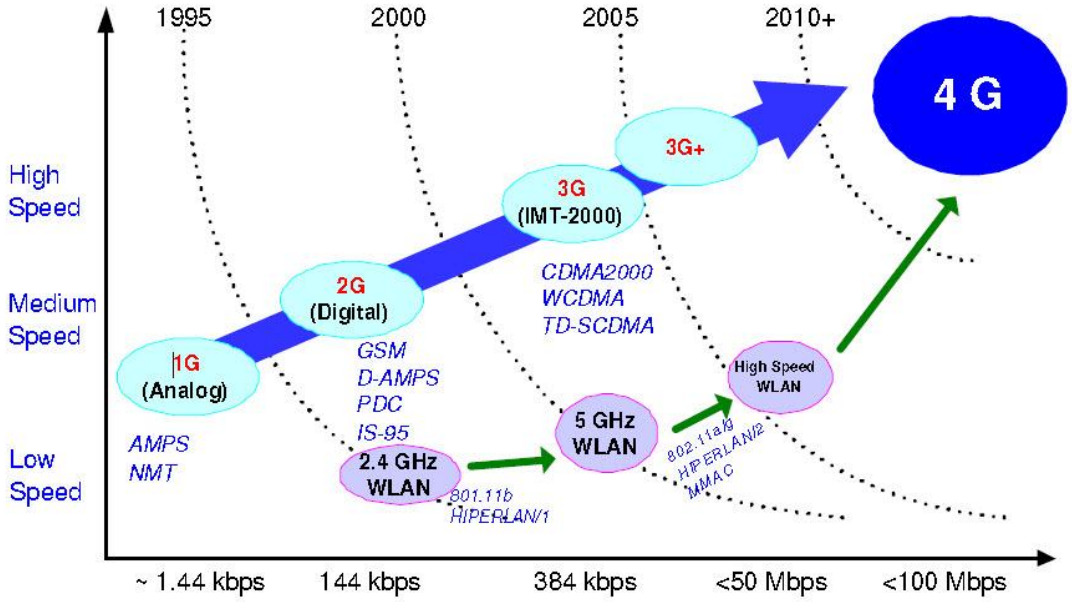
شکل ۱-۱: یک کانال چند ورودی چند خروجی

۱-۲-۱- به سوی سیستم های موبایل نسل چهارم

سیستم‌های مخابراتی بیسیم معمولاً به صورت نسل‌های متفاوت برحسب خدماتی که ارائه می‌دهند، دسته بندی می‌شوند. شکل ۱-۲ سیر تحولی این سیستم‌ها را نشان می‌دهد. نسل اول (1G) شامل سیستم‌های دستیابی چندگانه‌ی تقسیم فرکانسی (FDMA)[3] از قبیل NMT [۱] و AMPS [۲] می‌باشد. نسل دوم (2G) شامل اولین سیستم‌های مخابراتی دیجیتال سیار از قبیل GSM براساس دستیابی چندگانه‌ی تقسیم زمانی (TDMA)[4] [۳]، D-AMPS [۱]، PDC [۲] و سیستم IS-95 براساس دستیابی چندگانه‌ی تقسیم کد (CDMA)[5] [۴]، می‌باشد. در سال ۱۹۹۹ اتحادیه‌ی ارتباطات بین المللی (ITU)[6] یک استاندارد صنعتی برای نسل سوم (3G) سیستم‌های ارتباطی سیار تصویب کرد. این استاندارد IMT-2000 نام دارد و سعی در مهیا کردن نرخ داده‌ی بالاتر نسبت به نسل موجود یعنی نسل دوم، داشت.

[1] Single-Input Single-Output
[2] Multiple-Input Multiple-Output
[3] Frequency Division Multiple Access
[4] Time Division Multiple Access
[5] Code Division Multiple Access
[6] International Telecommunication Union

سیستم‌های 2G معمولاً برای خدمات مربوط به انتقال صدا طراحی شده‌اند، اما سیستم‌های 3G خدمات زیادی شامل دسترسی به اینترنت و ارتباط صوتی و تصویری را مهیا می‌کنند.



شکل ۱-۲: سیستم های مخابراتی بیسیم کنونی و آتی

هم زمان با توسعه‌ی سیستم‌های نسل سوم، علاقه‌ی روزافزونی به شبکه‌های نواحی محلی بیسیم (WLAN) با نرخ داده‌ی بالا، وجود داشت. سیستم‌های WLAN ناحیه‌ی تحت پوشش بسیار کمتری نسبت به سیستم‌های 3G دارند، اما آنها نرخ داده‌ی بسیار بالاتری را پشتیبانی می‌کنند. از آغاز دهه‌ی ۱۹۹۰ سیستم‌های WLAN با باندهای فرکانسی 900 MHz، 2.4 GHz و باندهای آزاد 5 GHz و با فناوری‌های متفاوت، در بازار موجود بودند [۵]. در ژوئن ۱۹۹۷ مؤسسه‌ی مهندسان برق و الکترونیک (IEEE)[1] یک استاندارد قابل تعمیم بین المللی با نام IEEE 802.11 برای شبکه‌های WLAN تعریف کرد [۳۴]. در سال ۱۹۹۸، استاندارد خود را به IEEE 802.11b که نرخ داده‌ی بالاتری دارد، ارتقا داد. در این حین مؤسسه‌ی استانداردهای ارتباطی اروپا (ETSI)[2] نیز استاندارد اروپایی WLAN خود را با نام HIPERLAN/1 که نرخ داده‌ی بین 1Mbps تا 20Mbps را پشتیبانی می‌کرد، ارائه داد. البته برخلاف IEEE 802.11 هیچ فرآورده‌ی تجاری‌ای که از HIPERLAN/1 استفاده کند، ساخته نشد.

به دلیل علاقه روزافزون به نرخ داده‌ی بالاتر، در سال ۲۰۰۰ موسسه‌ی IEEE استاندارد جدید خود با نام IEEE 802.11a را که براساس سیستم تسهیم تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM)[3] در باند فرکانسی

[1] Institute of Electrical and Electronics Engineers
[2] European Telecommunication Standards Institute
[3] Orthogonal Frequency Division Multiplexing

5GHz عمل می‌کند، معرفی کرد. این استاندارد نرخ داده‌ی بین 6Mbps تا 54Mbps را پشتیبانی می‌کند. برای دستیابی به این نرخ داده‌های بالا در باند فرکانسی 2.4GHz، این موسسه استاندارد جدیدی به نام IEEE 802.11g در سال ۲۰۰۳ ارائه داد. هم زمان با این استانداردها، استانداردهای دیگری برای سیستم‌های WLAN در اروپا به نام HIPERLAN/2 و در ژاپن به نام MMAC ارائه گردیدند که از سیستم‌های OFDM بهره می‌گیرند.

در حین گسترش سیستم‌های نسل سوم، فعالیت‌های تحقیقاتی در رابطه با سیستم‌های نسل ۴ آغاز شده بود [۶]-[۷]. به دلیل تقاضا برای ترافیک داده‌ی بالا به صورت بیسیم، هدف از توسعه نسل‌های آینده‌ی مخابرات بیسیم باید نرخ بیت و ظرفیت سیستمی بالاتر باشد. نهایتا سیستم‌های نسل ۴ طوری طراحی شده‌اند که شامل خدمات باند وسیع از قبیل HDTV (4-20Mbps) و کاربردهای مربوط به شبکه‌های کامپیوتری (1-100Mbps) نیز باشند. بنابراین سیستم‌های نسل ۴ می‌توانند به جای سیستم‌های WLAN نیز به کار روند. در واقع هدف اصلی آنها ترکیب سیستم‌های WLAN با نرخ داده‌ی بالا و سیستم‌های سلولی با نواحی تحت پوشش وسیع می‌باشد. از طرف دیگر هزینه‌های خدمات، تا حد امکان نسبت به سیستم‌های نسل سوم پایین آورده شده است و بازده طیفی در سیستم‌های جدید بهبود یافته است.

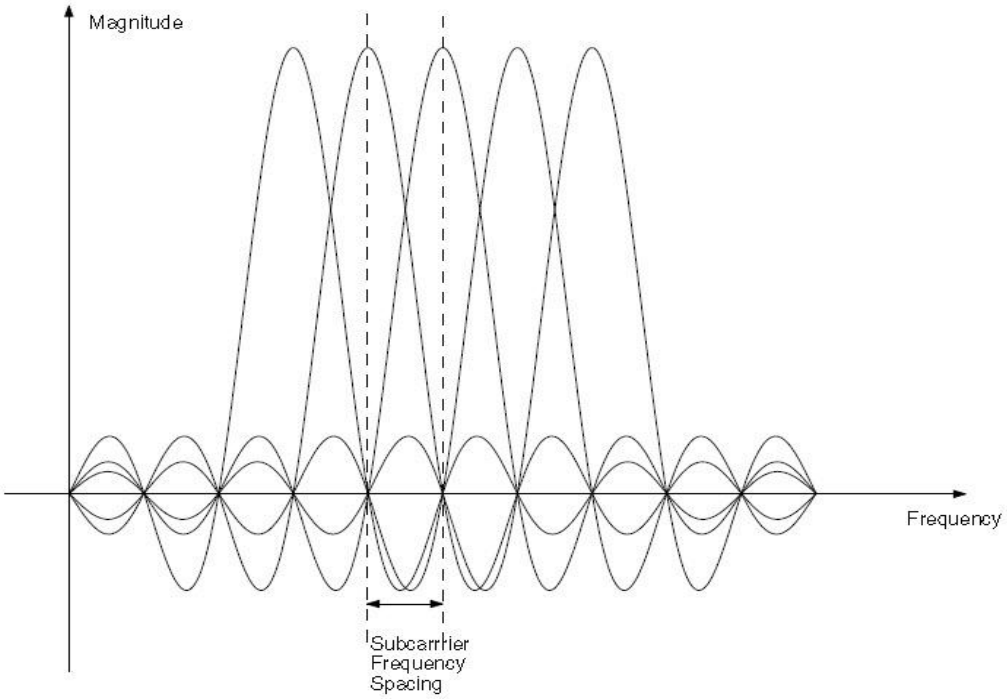
۱-۲-۲- تسهیم تقسیم فرکانسی متعامد

انتشار چند مسیری، یکی از مهمترین مسائل در طراحی سیستم‌های مخابراتی باند وسیع با نرخ داده‌ی بالا می‌باشد. نسخه‌های چندگانه از سیگنال ارسالی در گیرنده، با تأخیرها و تضعیف‌های متفاوت ناشی از انعکاس از اشیاء و مانع‌های مختلف در محیط، دریافت می‌شوند. بنابراین اگر یک رشته از داده‌ها با نرخ بالا ارسال شود، چندین سمبل از این رشته با یکدیگر تداخل می‌کنند و لذا بازیابی آنها دشوار خواهد بود. این پدیده تداخل بین سمبلی (ISI)[1] نامیده می‌شود. راه حل استاندارد برای حل مشکل ISI، طراحی یک فیلتر خطی در گیرنده است که عمل متعادل سازی را انجام می‌دهد.

سیستم‌های تسهیم تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) می‌توانند عمل متعادل سازی در گیرنده را بسیار آسان کنند. در OFDM هر رشته‌ی داده‌ی سری با نرخ بالا به چندین رشته‌ی داده‌ی موازی با نرخ کمتر تبدیل می‌شود و این رشته‌های موازی روی یک مجموعه از زیر حامل‌ها ارسال می‌گردند. با انتخاب یک مجموعه از زیر حامل‌های متعامد، بازده طیفی سیستم افزایش یافته و با وجود هم پوشانی طیفی (شکل ۱-۳)، تداخل بین حاملی نیز از بین می‌رود. به منظور کاهش ISI در گیرنده، طول زمانی سمبل را

[1] Inter Symbol Interference

از طول پاسخ ضربه‌ی کانال بیشتر انتخاب می‌کنند. بنابراین پهنای باند زیر حامل در مقایسه با پهنای باند کوهیرنت کانال، کوچک خواهد بود. لذا اثر کانال به صورت یک تضعیف و اعوجاج در فاز روی سمبل‌های زیر حامل ظاهر می‌شود (محوشدگی تخت)[1] بنابراین متعادل سازی در گیرنده بسیار آسان خواهد بود [۲]. لذا این سیستم‌ها از نظر مقاومت در برابر کانال‌های فرکانس گزین و مخصوصا در ارسال اطلاعات با نرخ داده‌ی بالا جذابیت خاصی دارند [۸]. در عمل OFDM در سیستم‌هایی از قبیل پخش صوتی دیجیتال (DAB)، پخش ویدیویی دیجیتال (DVB) اروپا و سیستم‌های HIPERLAN نیز استفاده شده است [۹]، [۱۰] و [۱۱]. به علاوه OFDM در ترکیب با سیستم‌های چند ورودی چند خروجی (MIMO) به عنوان یک انتخاب بسیار مناسب در سیستم‌های نسل چهارم درنظر گرفته شده است [۱۲].



شکل ۱-۳: همپوشانی طیفی در OFDM

۱-۲-۲-۱- مزیت ها و معایب اصلی OFDM

۱- استفاده بهینه از پهنای باند به دلیل همپوشانی بین زیر حامل‌ها

۲- کانال با محوشدگی فرکانس گزین[2] به کانال با محوشدگی تخت روی هر زیر حامل تبدیل می‌شود.

[1] Flat Fading
[2] Frequency Selective Fading

۳- طول زمانی سمبل افزایش یافته بنابراین حساسیت سیستم به گسترش تأخیر (delay spread) کاهش می یابد.

۴- تقویت کننده‌های توان در گیرنده باید غیرخطی باشند، زیرا OFDM یک مدولاسیون ترکیبی فرکانس- دامنه می‌باشد.

۵- OFDM نسبت به آفست فرکانسی حاصل از بی‌ثباتی موج حاصل و اثر دوپلر ناشی از حرکت دستگاه موبایل، حساسیت زیادی دارد.

۱-۲-۳- MIMO-OFDM

تحقیقات انجام شده در اوایل دهه۹۰ در رابطه با تئوری اطلاعات، بیانگر این امر است که با به کار بردن چند آنتن در گیرنده و فرستنده، بازده طیفی سیستم‌ها بویژه در محیط‌های با پراکندگی زیاد، بهبود می‌یابد. این مورد برای کانال‌های بیسیم باند باریک [۱۳] و باند وسیع [۱۴] نشان داده شده است. چند ورودی- چند خروجی (MIMO) به طور اساسی به دو گروه تقسیم می‌شود: کدینگ فضا- زمانی (STC)[1] [۱۵]-[۱۶] و تسهیم تقسیم فضایی (SDM)[2] [۱۳]، [۱۴] و [۱۷]. طرح STC عملکرد سیستم ارتباطی بیسیم را با ارسال اشکال مختلف از یک رشته‌ی داده (با استفاده از کدینگ) روی شاخه‌های مختلف ارسال، بهبود می‌بخشد. در حالیکه SDM با ارسال رشته های داده‌ی مستقل روی شاخه‌های متفاوت ارسال، به طور همزمان و در یک فرکانس حامل یکسان، عملکرد سیستم را بهبود می بخشد.

بالاترین بهره‌ی بازده طیفی زمانی حاصل می‌شود که کانال های بین هر آنتن فرستنده و هر آنتن گیرنده از هم مستقل باشند. در عمل، این مورد در محیط‌های با پراکندگی زیاد بدون خط دید مستقیم (LOS) بین فرستنده و گیرنده، حاصل می‌شود. در کل، فناوری MIMO را می‌توان به صورت حالت کلی از سیستم‌های تک ورودی - تک خروجی (SISO)، تک ورودی - چند خروجی (SIMO) یا چندگانگی[3] دریافت و چند ورودی – تک خروجی (MISO) یا چندگانگی ارسال، در نظر گرفت.

استانداردهای IEEE 802.11 a/b/g برای محیط‌های درون ساختمان (Indoor) که احتمال عدم وجود خط دید مستقیم در آنها زیاد است، طراحی شده‌اند [۱۸]. بنابراین ترکیب سیستم‌های WLAN با فناوری MIMO می تواند ما را قادر به ساخت سیستم‌های با نرخ ارسال بالا سازد.

---

[1] Space Time Coding
[2] Space Division Multiplexing
[3] Diversity

۱-۳- کانال های مخابراتی بیسیم

قبل از اینکه به مسئله‌ی پیش بینی و بررسی ویژگی‌های قابل مشاهده‌ی کانال بپردازیم، ابتدا باید بگوییم منظورمان از یک کانال چیست؟ در کلی‌ترین حالت یک کانال هر چیزی بین مبدأ و مقصد یک سیگنال رادیویی است. که این محیط شامل فضای آزاد، فیبر نوری، موجبر و ... است که سیگنال از میان آن انتشار می‌یابد. در اینجا کلمه‌ی کانال به این محیط فیزیکی برمیگردد. البته منظور ما بیشتر فضای آزاد است چون در محیط های دیگر کانال ثابت بوده و تخمین آن از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشد.

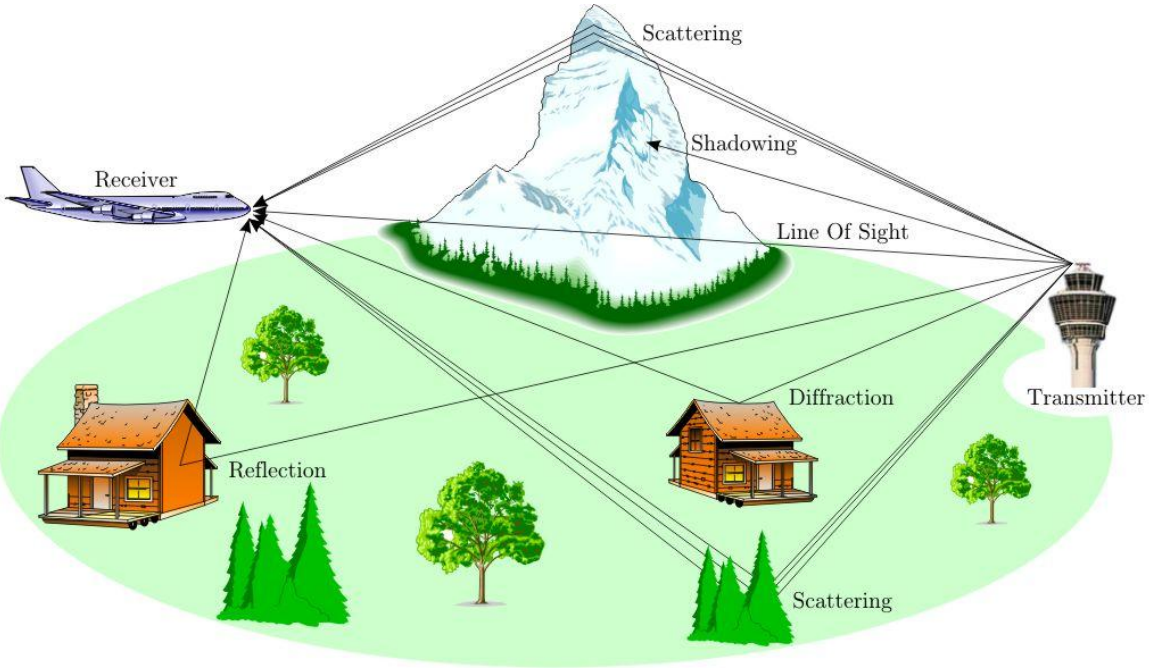
یک ویژگی لاینفک هر کانال فیزیکی این است که سیگنال ورودی را به طرق مختلف از قبیل تداخل بین سمبلی(ISI)[1]، افزودن نویز حرارتی، ایجاد اعوجاج در فاز و فرکانس، دچار اغتشاش می‌کند. کانال‌های فیزیکی معمولا متغیر با زمان هستند و از پدیده‌ی چند مسیری رنج می‌برند.

اثرات نامطلوب کانال‌های ارتباطی بی سیم روی سیگنال ارسالی نتیجه‌ی خصوصیات فیزیکی کانال است. سیگنال‌های ارسالی با محیط به شیوه‌ای بسیار پیچیده برهم کنش دارند. در کانال بین فرستنده و گیرنده، همیشه بازتاب از موانع بزرگ، پراش امواج الکترومغناطیسی در اطراف موانع و همچنین پراکندگی سیگنال وجود دارد. اثرات کلی این فعل و انفعالات منجر به ایجاد نسخه‌های بسیاری از سیگنال، با تضعیف‌ها، اعوجاج‌ها، تاخیرها و تغییر فازهای مختلف می‌شود. این سیگنال‌های چند مسیری می‌توانند با یکدیگر تداخل سازنده یا مخرب داشته باشند. در حالتی که تداخل مخرب رخ می‌دهد، از توان سیگنال دریافتی می‌تواند به میزان قابل توجهی کاسته شود. این پدیده محوشدگی نامیده می‌شود.

در صورت تداخل مخرب شدید، می‌گوییم کانال در فید عمیق قرار دارد و ممکن است در نهایت به قطع موقت ارتباط در نتیجه‌ی افت شدید در نسبت سیگنال به نویز(SNR) منجر شود. در واقع، دو نوع از محوشدگی در کانالهای ارتباطی بی سیم وجود دارد که شامل محوشدگی در مقیاس بزرگ و محوشدگی در مقیاس کوچک هستند. محوشدگی در مقیاس بزرگ مربوط به تضعیف توان متوسط سیگنال یا اتلاف توان در حالت حرکت در نواحی بزرگ است. محوشدگی در مقیاس کوچک حاصل از تغییرات چشمگیر در دامنه و فاز سیگنال ارسالی است، که این نیز عمدتا می‌تواند ناشی از تغییرات اندک در فاصله‌ی فضایی بین گیرنده و فرستنده باشد. اگر درمحوشدگی مقیاس کوچک، هیچ خط دید مستقیمی از فرستنده به گیرنده نداشته باشیم، این محوشدگی، محوشدگی ریلی نامیده می شود زیرا پوش سیگنال دریافتی را می توان با تابع چگالی احتمال (pdf)[2] ریلی توصیف کرد.

[1] Inter-Symbol Interference
[2] Probability Density Function

شیفت داپلر یک خاصیت کانال‌های ارتباطی بی سیم است. شیفت داپلر در نتیجه‌ی حرکت نسبی بین فرستنده و گیرنده و همچنین هر گونه حرکت اشیاء دیگر در کانال بی سیم ایجاد می‌شود. این همچنین به دلیل طبیعت متغیر با زمان کانال بی سیم است. شکل ۱-۴ یک نوع کانال ارتباطی بی سیم با اثر چندمسیری را نشان می دهد.



شکل ۱-۴: انتشار چند مسیری در کانال مخابراتی بیسیم

۱-۴- چرا از تخمین کانال استفاده می کنیم؟

همان طور که در بخش قبل ذکر شد، انتشار چند مسیری از مهمترین مشکلات در سیستم‌های مخابراتی بیسیم می‌باشد. به منظور بازیابی سیگنال ارسالی در گیرنده، دانش اطلاعات دقیق حالت کانال ضروری است. حذف اثر کانال، متعادل سازی نام دارد. ساخت متعادل ساز به طور مستقیم و بدون استفاده از تخمین‌گر کانال نیز ممکن می‌باشد، همچنین می‌توان ابتدا کانال را تخمین زد و سپس اثر کانال را با متعادل سازی حذف کرد. الگوریتم‌های تخمین کانال به گیرنده امکان می‌دهند تا پاسخ ضربه-ی کانال را برای تشریح رفتار آن تقریب بزند. دانش رفتار کانال در سیستم‌های رادیویی مدرن به خوبی به کار برده می‌شود. جبران سازهای وفقی از تخمین کانال، برای غلبه بر آثار تداخل بین سمبلی استفاده می‌کنند. تکنیک‌های چندگانگی از تخمین‌های کانال، برای پیاده‌سازی یک فیلتر منطبق، استفاده می-کنند به طوری که گیرنده به طور بهینه به جای سیگنال ارسالی با سیگنال دریافتی انطباق داشته باشد.

آشکارسازهای ماکزیمم همانندی از تخمین‌های کانال برای کمینه کردن احتمال خطا استفاده می-کنند. یکی دیگر از مزایای مهم تخمین کانال این است که پیاده‌سازی دمدولاسیون کوهیرنت ممکن می-شود. دمدولاسیون کوهیرنت، نیاز به اطلاع از فاز سیگنال دارد که این امر می‌تواند با استفاده از تکنیک-های تخمین کانال میسّر گردد.

۱–۵– تکنیک های تخمین کانال

تخمین کانال خوب عبارت است از روشی برای تعیین پاسخ ضربه و یا پاسخ فرکانسی کانال به گونه‌ای که خطای تخمین حداقل شود. در عمل، پیچیدگی‌های روش تخمین نیز مورد توجه است و به کار گیری تخمین‌گر با اجرای ساده‌تر ترجیح داده می‌شود. تخمین‌گر کانال یک بلوک مهم در مرحله‌ی پردازش سیگنال در گیرنده‌ها و سیستم‌های مخابراتی امروزی و آینده است. الگوریتم‌های تخمین کانال به سه دسته تقسیم می‌شوند.

۱- روش‌های تخمین کانال براساس دنباله‌های آموزشی[۱]

۲- روش‌های تخمین کانال کور[۲]

۳- روش‌های تخمین کانال نیمه کور[۳]

در بخش بعد بیشتر به روش های براساس بیت‌های آموزشی و روش‌های کور و نیمه کور می‌پردازیم و سعی میکنیم این سه روش اصلی را با هم مقایسه کنیم.

۱–۶– تکنیک های کور در مقابل دنباله های آموزشی

در روش اول، تخمین کانال از طریق ارسال جملات آموزشی معلوم انجام می‌شود. در اغلب کارهای انجام گرفته در این خصوص فرض می‌شود که کانال دارای محوشدگی بلوکی است، به این معنی که کانال در طول هر بلوک از داده‌ی ارسالی تقریباً ثابت است. در عمل کانال‌های MIMO با استفاده از رشته‌ی آموزشی موجود در ابتدای بلوک، تخمین زده می‌شوند و نتیجه برای آشکارسازی داده در بخش باقیمانده-ی بلوک به کار می‌رود. شیوه‌های تخمین کانال مبتنی بر آموزش مذکور در گیرنده، برای کانال‌های با محوشدگی شبه ایستا و یا کانال‌های با تغییرات کُند مناسب است. در کانال‌های با تغییرات تُند، جملات آموزشی را در طول هر بلوک ارسالی پخش می‌کنند[۱۹]. یک روش مفید، استفاده از مدل بسط پایه[۴] در

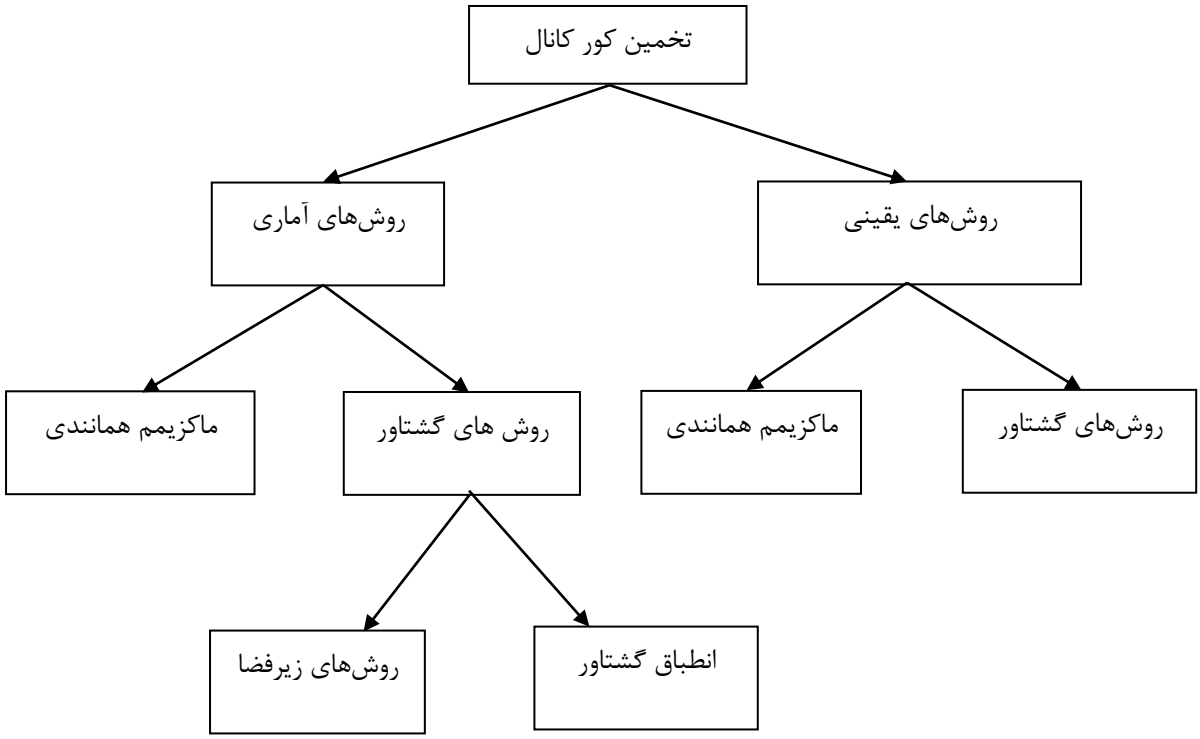
[1] Pilot-assisted (training-based) channel estimation methods

[2] Blind channel estimation methods

[3] Semi-Blind channel estimation methods

[4] basis expansion models

این نوع کانال‌هاست[۲۰]. به طور مثال، در این روش کانال زمان گزین-فرکانس گزین به کانال فرکانس گزین تبدیل می‌شود.



شکل ۱-۵: دسته بندی تخمین زننده های کور کانال

تخمین‌گر کانال از نوع کور از اطلاعات نهفته در خواص آماری داده‌ی ارسالی استفاده می‌کند. در این تخمین‌گر، مشخصه‌ی کانال فقط از طریق داده‌ی دریافتی در گیرنده استخراج شده و رشته‌ی آموزشی به کار نمی‌رود. تخمین کور کانال معمولاً با استفاده از آمارگان مرتبه‌ی دوم و یا بالاتر رشته‌ی اطلاعات دریافتی در گیرنده انجام می‌شود. در برخی کارها تخمین کور کانال بر اساس الگوریتم ماکزیمم همانندی (ML)[۱] نیز انجام می‌شود. شکل ۱-۵ یک دسته بندی ار روش‌های کور تخمین کانال ارائه می‌دهد.

در حالت کلی، روش های تخمین کور کانال شامل روش های آماری و یقینی بوده که هر کدام نیز به روش‌های گشتاور[۲] و ML قابل تقسیم هستند. یکی از روش های تخمین کور کانال، فرض الفبای محدود منبع داده‌ها در فرستنده است. اما اگر تعداد الفبا زیاد باشد، این روش درگیر پیچیدگی محاسباتی بالایی می‌شود. روش دیگر تخمین کور کانال، استفاده از منابع رنگی است که بر اساس آمارگان مرتبه‌ی دوم داده‌های دریافتی انجام شده و فرض می شود آمارگان مرتبه‌ی دوم منابع سیگنال ارسالی معلوم باشد.

[1] Maximum Likelihood
[2] Moment