

دانشگاه گیلان
دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های تخمین کانال در سیستم‌های مخابراتی چندکاربری
چند ورودی چند خروجی مبتنی بر ویولت

از:

فرج‌اله قرائی

استادان راهنما:

دکتر غلامرضا باقرسلیمی

مهندس بهمن زنج

اسفند ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق

گرایش الکترونیک

**ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های تخمین کانال در سیستم‌های مخابراتی چندکاربری
چند ورودی چند خروجی مبتنی بر ویولت**

از:

فرج‌اله قرائی

استادان راهنما:

دکتر غلامرضا باقرسلیمی

مهندس بهمن زنج

اسفند ۱۳۹۱

تقدیم به :

مادر فداکار و همسر مهربان و دختر عزیزم

تشکر و تقدیر

لازم میدانم از تمامی کسانی که مرا در این پژوهش یاری نموده‌اند و به‌خصوص از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر باقرسلیمی و جناب آقای مهندس بهمن زنج به سبب مساعدت‌های بی‌دریغ و زحمات بی‌وقفه ایشان مراتب قدردانی را ابراز نمایم. از اینکه در تمامی مراحل پروژه وقت و انرژی خود را جهت انجام این کار صرف نموده‌اند تشکر و سپاس فراوان دارم.

فهرست مطالب

چ	فهرست جدول‌ها	.....
ح	فهرست شکل‌ها	.....
ذ	فهرست علائم اختصاری	.....
ز	چکیده فارسی	.....
ژ	چکیده انگلیسی	.....

فصل ۱ مقدمه

۱-۱	سیستم‌های مخابراتی چندکاربری و چند ورودی چند خروجی	..... ۲
۲-۱	کانال بی‌سیم و محوشوندگی	..... ۳
۱-۲-۱	محوشوندگی مقیاس بزرگ	..... ۴
۲-۲-۱	محوشوندگی مقیاس کوچک	..... ۴
۳-۱	همسان‌ساز کانال	..... ۶
۴-۱	اهداف و ساختار پایان‌نامه	..... ۷

فصل ۲ سیستم‌های مخابراتی چند ورودی چند خروجی با مالتی‌پلکس تقسیم فرکانسی متعامد

(MIMO-OFDM)

۱-۲	مقدمه	..... ۹
۲-۲	مالتی‌پلکس با تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM)	..... ۹
۱-۲-۲	مدولاسیون و دمدولاسیون OFDM	..... ۹
۲-۲-۲	تأثیر کانال چندمسیره روی سمبل‌های OFDM	..... ۱۲
۳-۲-۲	دنباله چرخشی	..... ۱۳

- ۳-۲ - سیستم‌های مخابراتی چند ورودی چند خروجی (MIMO) ۱۴
- ۳-۲-۱ - کد الموتی ۱۵
- ۳-۲-۲ - ترکیب حداکثر نسبت و آشکارساز حداکثر تشابه ۱۷
- ۳-۲-۳ - روش‌های مالتی پلکس فضائی ۱۸
- ۴-۲ - مدل و ساختار سیستم‌های مخابراتی چند ورودی چند خروجی با مالتی پلکس تقسیم فرکانسی متعامد
 (MIMO-OFDM) ۱۹

فصل ۳ ویولت

- ۳-۱ - مقدمه ۲۵
- ۳-۲ - آنالیز چندرزولوشنه ۲۵
- ۳-۳ - تبدیل ویولت پیوسته ۲۵
- ۳-۴ - تبدیل ویولت گسسته ۲۹

فصل ۴ تخمین کانال

- ۴-۱ - مقدمه ۳۲
- ۴-۲ - روش‌های تخمین کانال ۳۲
- ۴-۲-۱ - تخمین کانال مبتنی بر ارسال دنباله آموزشی ۳۲
- ۴-۲-۱-۱ - آرایش دنباله آموزشی از نوع بلاکی ۳۳
- ۴-۲-۱-۲ - آرایش دنباله آموزشی از نوع شانهای ۳۳
- ۴-۲-۱-۳ - آرایش دنباله آموزشی از نوع مشبک ۳۴
- ۴-۲-۲ - تخمین کانال خود بازیاب ۳۵
- ۴-۲-۳ - تخمین کانال شبه خود بازیاب ۳۵

- ۳-۴- تخمین حداقل مربعات (LS) ۳۵
- ۴-۴- متوسط مجذور خطا در تخمین LS ۳۶
- ۵-۴- تخمین LS در سیستم‌های OFDM ۳۶
- ۶-۴- تخمین LS در سیستم‌های MIMO-OFDM ۳۷

فصل ۵ بهبود توزیع چگالی طیف توان در سیستم‌های چندکاربری با استفاده از بانک فیلتر

- ۱-۵- کاربُرد بانک فیلتر در مخابرات چند کاربری ۴۰
- ۲-۵- نمایش بانک فیلتری سیستم‌های OFDM ۴۲
- ۳-۵- بررسی تأثیر روش پنجره‌گذاری در سیستم‌های OFDM ۴۴

فصل ۶ بهبود عملکرد روش‌های تخمین LS کانال در سیستم‌های مخابراتی MIMO-OFDM

- ۱-۶- مقایسه عملکرد تخمین‌های LS و MMSE کانال ۵۱
- ۲-۶- ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های تخمین LS کانال مبتنی بر تبدیل فوریه ۵۶
- ۳-۶- ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های تخمین LS کانال در سیستم‌های مخابراتی چندکاربری چند ورودی چند خروجی مبتنی بر ویولت ۵۹

فصل ۷ نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده

- مراجع ۶۶

فهرست جدول‌ها

۴۵	جدول (۱-۵) مشخصات سیستم
۵۳	جدول (۱-۶) مشخصات سیستم
۶۲	جدول (۲-۶) مشخصات سیستم MIMO-OFDM

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) انواع محوشوندگی ۳
- شکل (۲-۱) نمودار رخ‌نمای شدت چند مسیره و تابع همبستگی فاصله فرکانسی ۴
- شکل (۳-۱) نمودار طیف توان داپلر و تابع همبستگی فاصله زمانی ۵
- شکل (۴-۱) همسان‌ساز کانال ۶
- شکل (۱-۲) مدولاسیون و دمدولاسیون OFDM ۱۰
- شکل (۲-۲) ساختار فرستنده و گیرنده OFDM ۱۲
- شکل (۳-۲) تأثیر کانال چند مسیره روی سیگنال OFDM بدون CP ۱۳
- شکل (۴-۲) تأثیر کانال چند مسیره روی سیگنال OFDM با CP ۱۴
- شکل (۵-۲) ساختار کدگذار الموتی ۱۵
- شکل (۶-۲) ساختار گیرنده در کدگذار الموتی ۱۷
- شکل (۷-۲) مدل سیستم MIMO-OFDM ۲۰
- شکل (۱-۳) دو نمونه سیگنال شامل مخلوطی از فرکانس‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰ هرترتز و تبدیل فوریه آنها. الف) مخلوط کسینوسی شامل تمام فرکانس‌ها در تمام زمان‌ها. ب) مخلوط کسینوسی به نحوی که هر فرکانس فقط در یک بازه زمانی به‌خصوص حضور دارد. پ) تبدیل فوریه سیگنال الف. ت) تبدیل فوریه سیگنال ب ۲۷
- شکل (۲-۳) نمایش سه بُعدی تبدیل ویولت پیوسته سیگنال‌های نشان داده شده در شکل (۱-۳) با استفاده از ویولت مادر db8. الف) تبدیل ویولت سیگنال ایستا. ب) تبدیل ویولت سیگنال نایستا ۲۷
- شکل (۳-۳) نمایش سه بُعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان-کوتاه سیگنال ایستای نشان داده شده در شکل (۱-۳) الف) با استفاده از الف) پنجره ۳۲ نقطه‌ای ب) با استفاده از پنجره ۱۲۸ نقطه‌ای ۲۸
- شکل (۴-۳) نمایش سه بُعدی و کانتور برای تبدیل فوریه زمان-کوتاه سیگنال نایستای نشان داده شده در شکل (۱-۳) ب) با استفاده از الف) پنجره ۳۲ نقطه‌ای ب) با استفاده از پنجره ۱۲۸ نقطه‌ای ۲۸
- شکل (۵-۳) نمایش نحوه محاسبه تبدیل ویولت سه مرحله‌ای با استفاده از ایده بانک فیلتر برای سیگنال دلخواه ۳۰

- شکل (۱-۴) آرایش دنباله آموزشی به صورت بلوکی ۳۳
- شکل (۲-۴) آرایش دنباله آموزشی به صورت شانه‌ای ۳۴
- شکل (۳-۴) آرایش دنباله آموزشی به صورت مشبک ۳۵
- شکل (۱-۵) فرستنده و گیرنده بانک فیلتری ۴۰
- شکل (۲-۵) فرستنده و گیرنده بانک فیلتری ۴۱
- شکل (۳-۵) باند محافظ ۴۲
- شکل (۴-۵) نمایش بانک فیلتری سیستم‌های OFDM ۴۳
- شکل (۵-۵) الف) پاسخ فرکانسی فیلتر نمونه اصلی ($F_0(z)$ ب) پاسخ فرکانسی فیلترهای فرستنده در سیستم‌های OFDM ۴۳
- شکل (۶-۵) نمونه‌ای از فرستنده و گیرنده OFDM با فیلتر اضافی $P(z)$ در فرستنده ۴۴
- شکل (۷-۵) سیستم OFDM پنجره‌گذاری شده ۴۵
- شکل (۸-۵) الف) مقایسه عملکرد پنجره RC با مقادیر β متفاوت از نظر PSD ب) زوم در فرکانس بالا ۴۷
- شکل (۹-۵) مقایسه عملکرد پنجره RC با مقادیر β متفاوت از نظر BER ۴۷
- شکل (۱۰-۵) الف) مقایسه عملکرد پنجره RC با پنجره پارزن از نظر PSD ب) زوم در فرکانس بالا ۴۸
- شکل (۱۱-۵) مقایسه عملکرد پنجره RC با پنجره پارزن از نظر BER ۴۸
- شکل (۱۲-۵) الف) مقایسه تأثیر تعداد زیرکانال متفاوت بر عملکرد سیستم OFDM با پنجره پارزن از نظر PSD ب) زوم در فرکانس بالا ۴۹
- شکل (۱۳-۵) مقایسه تأثیر تعداد زیرکانال متفاوت بر عملکرد سیستم OFDM با پنجره پارزن از نظر BER ۴۹
- شکل (۱-۶) تخمین MMSE کانال ۵۱
- شکل (۲-۶) سیستم OFDM با تخمین کانال در گیرنده ۵۲
- شکل (۳-۶) مقایسه کانال واقعی با کانال تخمین زده شده با روش LS ۵۴

- شکل(۶-۴) مقایسه کانال واقعی با کانال تخمین زده شده با روش MMSE ۵۴
- شکل(۶-۵) مقایسه عملکرد تخمین LS و MMSE کانال از نظر BER ۵۵
- شکل(۶-۶) مقایسه عملکرد تخمین LS و MMSE کانال از نظر MSE ۵۵
- شکل(۶-۷) بهبود تخمین LS کانال با استفاده از DFT ۵۶
- شکل(۶-۸) مقایسه عملکرد تخمین LS ، MMSE و DFT-based LS کانال از نظر BER ۵۷
- شکل(۶-۹) مقایسه کانال واقعی با کانال تخمین زده شده با روش DFT-based LS ۵۸
- شکل(۶-۱۰) الگوریتم حذف نویز با استفاده از تبدیل ویولت ۵۹
- شکل(۶-۱۱) بهبود تخمین LS کانال با استفاده از DWT ۶۰
- شکل(۶-۱۲) مقایسه عملکرد تخمین کانال LS ، DFT-based LS و DWT-based LS db10 از نظر BER در سیستم SISO ... ۶۱
- شکل(۶-۱۳) مقایسه عملکرد تخمین کانال LS ، DFT-based LS و DWT-based LS از نظر BER در سیستم MIMO (2×2) ۶۳

فهرست علائم اختصاری

ACI	.....	Adjacent Channel Interference
AWGN	.....	Additive White Gaussian Noise
BER	.....	Bit Error Rate
CP	.....	Cyclic Prefix
CSI	.....	Channel State Information
DAB	.....	Digital Audio Broadcasting
DFT	.....	Discrete Fourier Transform
DWT	.....	Discrete Wavelet Transform
FB	.....	Filter Bank
FDM	.....	Frequency Division Multiplexing
FEQ	.....	Frequency-domain Equalizer
FFT	.....	Fast Fourier Transform
FIR	.....	Finite Impulse Response
HDSL	.....	High data rate Digital Subscriber Line
HF	.....	High Frequency
HPA	.....	High Power Amplifier
IDFT	.....	Inverse Discrete Fourier Transform
IEEE	.....	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFFT	.....	Inverse Fast Fourier Transform
ISI	.....	Intersymbol Interference
LAN	.....	Local Area Network
LOS	.....	Line of Sight
LS	.....	Least Square
MIMO	.....	Multi-Input multi-Output
ML	.....	Maximum Likelihood

MMSE	.....	Minimum Mean Square Error
MRC	.....	Maximum Ratio Combining
MSE	.....	Mean Square Error
OFDM	.....	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSIC	.....	Ordered Successive Interference Cancellation
OSTBC	.....	Orthogonal Space-Time Block Code
PR	.....	Perfect Reconstruction
PSD	.....	Power Spectrum Distribution
QAM	.....	Quadrature Amplitude Modulation
RC	.....	Raised Cosine
SD	.....	Sphere Detection
SDM	.....	Spatial Division Multiplexing
SISO	.....	Single Input Single Output
SNR	.....	Signal to Noise Ratio
STBC	.....	Space-Time Block Code
TDM	.....	Time Division Multiplexing
ZF	.....	Zero Forcing

چکیده:

ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های تخمین کانال در سیستم‌های مخابراتی چندکاربری چند ورودی چند خروجی مبتنی بر ویولت
فرج اله قرائی

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های فراوانی روی کاربرد تبدیل ویولت در سیستم‌های چندکاربری و همچنین جایگزینی بانک فیلتر به جای تبدیل فوریه در این گونه سیستم‌ها صورت گرفته است. نتایج پژوهش‌ها برتری کیفی سیستم‌های چندکاربری مبتنی بر بانک فیلتر (FBMC) را به دلیل محدودیت طیفی کانال‌های فرعی نسبت به سیستم‌های چندکاربری مبتنی بر تبدیل فوریه (-DFT OFDM) به ویژه در شرایطی که تعداد زیرحامل‌ها کم باشد نشان می‌دهد.

تخمین کانال و همسان‌سازی در سیستم‌های چندکاربری یکی از مهمترین قسمت‌های گیرنده می‌باشد. در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی برای بهبود عملکرد تخمین کانال در سیستم‌های چندکاربری صورت گرفته است. دو تخمین رایج که بر اساس ارسال دنباله آموزشی کار می‌کنند عبارتند از: تخمین حداقل میانگین مجذور خطا (MMSE) و تخمین حداقل مجذور (LS). کلیه تحقیقات انجام شده برتری MMSE را نسبت به LS از نظر میزان خطای بیت (BER) و میانگین مجذور خطا (MSE) نشان می‌دهند. اما پیاده‌سازی ساده تخمین LS نسبت به تخمین MMSE باعث شده که برای بهبود عملکرد تخمین LS تحقیقات زیادی صورت گیرد. یکی از مشکلات اصلی تخمین LS عدم در نظر گرفتن متغیر نویز در تخمین است. بنابراین در شرایط وجود نویز با توان بالا این تخمین دارای کارایی کمتری می‌باشد. اغلب تحقیقات انجام شده مبتنی بر حذف نویز با استفاده از تبدیل فوریه در سیستم‌های چندکاربری است.

در این پایان‌نامه ابتدا با بررسی سیستم‌های چندکاربری مبتنی بر بانک فیلتر روشی برای بهبود عملکرد توزیع چگالی طیف توان در سیستم‌های مذکور ارائه می‌دهیم. سپس با توجه به قابلیت بالای تبدیل ویولت در حذف نویز، از آن برای بهبود عملکرد تخمین کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM استفاده کرده و نشان می‌دهیم که تخمین LS کانال مبتنی بر DWT عملکرد بهتری از نظر BER نسبت به تخمین LS کانال مبتنی بر DFT دارد.

واژه‌های کلیدی :

تخمین کانال، چند کاریری، سیستم‌های چند ورودی چند خروجی، بانک فیلتر، تبدیل ویولت، آستانه‌گذاری.

Abstract :

Performance Evaluation and Improvement of Channel Estimation Techniques in Wavelet-Based Multi-carrier Multiple Input - Multiple Output (MIMO) Communication Systems

Farajollah Gharaei

In recent years, a number of researches have been carried out on the application of wavelet transform in multicarrier systems by replacing Fourier transform with filter bank. The results show that multicarrier systems based on filter banks (FBMC) have better performance compared to multicarrier systems based on Fourier transform (DFT-OFDM), especially for a small number of subcarrier.

Channel estimation and equalization are the most important functions of the receiver. In recent years, several researches were performed to improve the performance of channel estimation in multicarrier systems. Pilot-aided channel estimation algorithms are based on: minimum mean square error (MMSE) estimation and least square (LS) estimation. As shown in literature MMSE channel estimation has better performance than the LS channel estimation in viewpoint of bit error rate (BER) and mean square error (MSE). The simpler implementation of LS in comparison to MMSE led to extensive efforts to improve the performance of the LS estimates. One main problem in LS estimation is neglecting the noise in estimation process. Thus, in the presence of high noise power, LS channel estimation is less efficient. Most research in this area is based on the removal of noise by using the Fourier transform in multicarrier systems.

In this thesis, first by investigating multicarrier systems based on filter bank, we offer an approach to improving the performance of power spectral density (PSD) in multicarrier systems. Then according to the feature of discrete wavelet transform (DWT) to remove noise, we use it to improve the performance of channel estimation in MIMO-OFDM systems. It is shown that LS channel estimation based on DWT improves the BER performance compared to DFT-based multicarrier systems.

Keywords: Channel estimation, Multicarrier, Multiple-input multiple-output systems, Filter bank, Wavelet transform, Thresholding.

فصل ۱

مقدمه

فصل ۱ مقدمه

۱-۱ سیستم‌های مخابراتی چند کاربری و چند ورودی چند خروجی

ایده پایه‌ای مدولاسیون چند کاربری، تقسیم رشته بیت ارسالی به رشته‌های کوچکتر و ارسال آنها بوسیله زیرحامل‌ها می‌باشد. نوعاً زیر کانال‌ها تحت شرایط ایده‌آلی انتشار متعامد هستند که در این صورت مدولاسیون چند کاربری با تقسیم فرکانسی متعامد^۱ (OFDM) نامیده می‌شود. نرخ داده در هر یک از زیر حامل‌ها خیلی کمتر از نرخ داده کلی و پهنای باند آنها بسیار کمتر از پهنای باند کلی سیستم است. این امر باعث می‌شود که هر یک از زیر کانال‌ها در حوزه فرکانس تحت تأثیر بخش کوچکی از کانال باشند. بنابراین کانال برای هر یک از زیر حامل‌ها به صورت صاف بوده و همسان‌سازی برای آنها بسیار راحت می‌گردد [۱]، [۲]. در سال‌های گذشته کاربردهای متنوعی برای مدولاسیون چند کاربری ارائه شده است، اگرچه این مدولاسیون تکنیک جدیدی نیست و اولین بار در اواخر ۱۹۵۰ و اوایل ۱۹۶۰ برای رادیوی فرکانس بالا^۲ (HF) نظامی به کار برده شده است. در بیست سال گذشته مدولاسیون چند کاربری در کاربردهایی نظیر پخش رادیوی دیجیتال^۳ (DAB) در اروپا، خطوط پُر سرعت مشترک^۴ (HDSL) و شبکه‌های بی‌سیم^۵ LAN (IEEE 802.11a) به کار گرفته شده است [۳]، [۴].

استفاده از چند آنتن در طرف گیرنده یک روش استاندارد برای دستیابی به چندگانگی فضایی جهت مقابله با محوشوندگی، بدون گسترش پهنای باند ارسالی است. چندگانگی فضایی با استفاده از چند آنتن در طرف فرستنده نیز قابل حصول است. در فصل ۲ نشان خواهیم داد که با دو آنتن در فرستنده و دو آنتن در گیرنده می‌توان به چندگانگی مرتبه چهار دست یافت. یکی دیگر از کاربردهای استفاده از چند آنتن در فرستنده این است که با استفاده از آن می‌توان چندین کانال فضایی ایجاد کرد و در نتیجه ظرفیت لازم برای افزایش نرخ داده‌ی یک سیستم مخابراتی بی‌سیم را فراهم نمود. این روش را مالتی‌پلکس فضایی گویند [۱]، [۳].

اغلب تحقیقات انجام شده روی سیستم‌های چند ورودی چند خروجی^۶ (MIMO) با فرض صاف بودن پاسخ فرکانسی کانال‌ها انجام شده است. وجود کانال‌های چند مسیره در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی انگیزه اصلی ترکیب آنها با سیستم‌های چند کاربری می‌باشد. ترکیب این دو روش توانایی دستیابی به نرخ بالای ارسال اطلاعات را مقدور می‌سازد. از سال ۲۰۰۳ به بعد از این سیستم‌ها در استانداردهای مربوط به نسل چهار تلفن همراه استفاده شده است [۵]، [۶]. در فصل ۲ بطور مفصل ساختار این سیستم‌ها را شرح خواهیم داد. با توجه به اهمیت درک مفهوم کانال بی‌سیم در سیستم‌های مخابراتی، در ادامه این فصل مختصراً به شرح کانال‌های بی‌سیم و همسان‌سازی در سیستم‌های مخابراتی می‌پردازیم و سپس در بخش آخر انگیزه و اهداف این پایان‌نامه و ساختار آن را شرح خواهیم داد.

^۱. Orthogonal frequency division multiplexing

^۲. High frequency

^۳. Digital audio broadcasting

^۴. High data rate digital subscriber line

^۵. Local area network

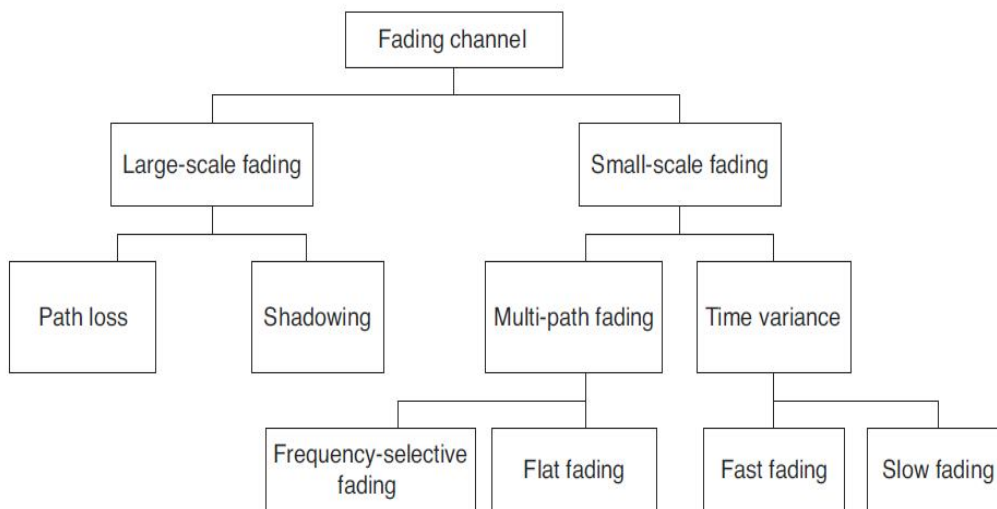
^۶. Multi-input multi-output

۲-۱- کانال بی سیم و محوشوندگی

عملکرد سیستم‌های بی سیم تحت تأثیر شرایط کانال قرار دارد. بر عکس کانال‌های باسیم، در کانال‌های بی سیم مشخصات کانال قابل پیش‌بینی و پایدار نیست. لذا تحلیل دقیق سیستم‌های بی سیم مشکل می‌باشد. امروزه به دلیل درخواست زیاد برای دسترسی بی سیم به شبکه‌های دیتا و اینترنت، تحقیقات زیادی روی این سیستم‌ها صورت می‌گیرد. درک درست از کانال‌های بی سیم مقدمه تحلیل سیستم‌های بی سیم می‌باشد. رفتار متفاوت کانال بی سیم در زمان‌ها و فرکانس‌های مختلف باعث ایجاد پدیده محوشوندگی^۱ می‌شود. این بخش به تشریح پدیده محوشوندگی اختصاص دارد.

محوشوندگی به همراه نویز باعث خراب شدن سیگنال ارسالی می‌شود. این پدیده می‌تواند به دلیل وجود موانع بزرگ در مسیر سیگنال به وجود آید. در این حالت به آن محوشوندگی سایه^۲ گویند دلیل دیگر، وجود چند مسیر بین فرستنده و گیرنده می‌باشد. که در این حالت به آن محوشوندگی چند مسیره^۳ گویند [۱].

همان‌گونه که در شکل (۱-۱) مشاهده می‌شود پدیده محوشوندگی را می‌توان به دو دسته بزرگ با عناوین محوشوندگی مقیاس بزرگ^۴ و محوشوندگی مقیاس کوچک^۵ تقسیم کرد. تفاوت این دو دسته در تغییر سیگنال متناسب با فاصله فرستنده از گیرنده می‌باشد. در محوشوندگی مقیاس بزرگ تغییرات سیگنال در فاصله‌های زیاد رخ می‌دهد. اما در محوشوندگی مقیاس کوچک عکس این مطلب صادق است [۳]. در ادامه جزئیات بیشتری از این دو دسته را شرح می‌دهیم.



شکل (۱-۱) انواع محوشوندگی

^۱. Fading

^۲. Shadowing

^۳. Multi-Path fading

^۴. Large-Scale fading

^۵. Small-Scale fading

۱-۲-۱- محوشوندگی مقیاس بزرگ

این نوع محوشوندگی به دو دلیل زیر رخ می‌دهد [۳]:

۱- افت مسیر^۱: هرچه فاصله گیرنده و فرستنده دورتر شود به دلیل پخش سیگنال در فضا توان کمتری از سیگنال ارسالی به گیرنده می‌رسد.

۲- سایه: وجود موانع بزرگ مانند ساختمان‌ها، تپه‌ها، گیاهان و غیره باعث کاهش قدرت سیگنال دریافتی توسط گیرنده می‌شود. تأثیر سایه روی سیگنال دریافتی به صورت یک فرآیند تصادفی بوده که از تابع چگالی احتمال Log-Normal پیروی می‌کند.

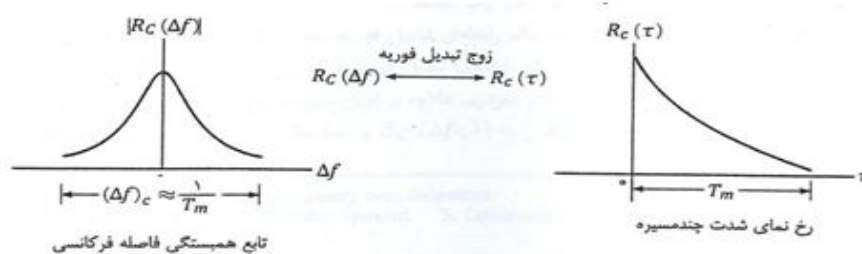
۱-۲-۲- محوشوندگی مقیاس کوچک

این نوع محوشوندگی به دو دلیل زیر رخ می‌دهد [۱]، [۳]:

۱- چند مسیره: به دلیل وجود چند مسیر بین فرستنده و گیرنده چند نسخه از سیگنال ارسالی با تأخیرهای مختلف به گیرنده رسیده که متناسب با تأثیر افزایشی یا کاهشی آنها روی هم قدرت سیگنال دریافتی در گیرنده را افزایش یا کاهش می‌دهد. این تأثیر به صورت یک فرآیند تصادفی بوده که اندازه آن در صورت وجود دید مستقیم^۲ (LOS) از تابع چگالی احتمال رایسی و در صورت عدم وجود دید مستقیم از تابع چگالی احتمال رایلی پیروی می‌کند.

شکل (۱-۲) رخ‌نمای شدت چند مسیره و تبدیل فوریه آن را نشان می‌دهد. رخ‌نمای شدت چند مسیره، قدرت سیگنال دریافتی در گیرنده را بر حسب زمان تأخیر آن را نشان می‌دهد. در اینجا فرض شده است که دورترین مسیر دارای زمان تأخیر T_m است. T_m را گسترش چند مسیره کانال گویند. تبدیل فوریه از رخ‌نمای شدت چند مسیره، تابع همبستگی فاصله فرکانسی کانال را می‌دهد. این تابع نشان دهنده رفتار کانال در فرکانس‌های مختلف می‌باشد. با توجه به خاصیت تبدیل فوریه می‌توان گفت که گسترش چند مسیره کانال (T_m) با پهنای باند هم‌دوسی کانال $(\Delta f)_c$ رابطه عکس دارد یعنی:

$$(\Delta f)_c \approx 1/T_m \quad (1-1)$$



شکل (۱-۲) نمودار رخ‌نمای شدت چند مسیره و تابع همبستگی فاصله فرکانسی

^۱ Path loss

^۲ Line of sight