بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم تحقیقات و فناوری
مؤسسه آموزش عالی سجاد

پایان نامه کارشناسی ارشد برق - مخابرات سیستم

آنالیز مدل‌های کانالهای ازرمق‌افتادگی تک‌کاربره تک آنتی و ظرفیت آنها

تهیه و تنظیم :

ویدا فضیلت

استاد راهنما:

دکتر هدتنی

بهمن ماه90

تقدیم به

پدر، مادر عزیزم

که نیکبختی فرزندان عقل و منطق را پیشه خود نموده و جز رضای الهی و پیشرفت و سعادت جامعه، هدفی ندارند.

.

.

.

و در نهایت می خواستم بگویم و آن

نمی توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر برزبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف

استاد خویش آیم تنگا که هرچه گویم و سرایم، کم گفته ام

چکیده

در این پایان نامه کانالهای ازرمق‌افتادگی مرکب را که در آن پدیده سایه و ازرمق‌افتادگی چندمسیره همزمان با هم اتفاق می‌افتد مورد بررسی قرار می‌دهیم. توزیع‌های احتمالاتی ناکاگامی، رایلی، رایس به خوبی می‌توانند ازرمق‌افتادگی چند مسیره را مدل کنند و پدیده سایه را نیز عموما با توزیع نرمال لگاریتمی مدل می‌کنند. تلاش‌هایی در مدل کردن همزمان ازرمق‌افتادگی و سایه با استفاده از توزیع رایلی- نرمال لگاریتمی یا توزیع سوزکی صورت گرفته است ولی با استفاده از چنین توزیع‌هایی، نمی‌توان عبارت شکل بسته‌ای از تابع چگالی احتمال سیگنال دریافتی بدست آورد و از این رو محاسبه معیارهایی چون نسبت خطای بیت و احتمال وقفه و ظرفیت وقفه را مشکل می‌سازد. به عنوان جایگزینی برای مدل نرمال لگاریتمی، استفاده از توزیع گاما برای مدل کردن ازرمق‌افتادگی مقیاس بزرگ پیشنهاد شده است. نتایج عددی و همینطور شبیه سازی‌هایی که در این پایان‌نامه صورت گرفته است نشان می‌دهد که این توزیع به خوبی می‌تواند توزیع نرمال لگاریتمی را تقریب بزند. اگر از توزیع گاما در مدل کردن توزیع ناکاگامی‌استفاده کنیم می‌توانیم به یک عبارت شکل بسته برای تابع چگالی احتمال ازرمق‌افتادگی مرکب که به مدل تعمیم یافته K شناخته شده است دست یابیم. با این حال، بیشتر مشتقاتی که از PDF تعمیم یافته-K استفاده می‌کنند کم و بیش با پیچیدگی‌های محاسباتی و تحلیلی روبرو هستند.با توجه به این موضوع، در این پایان نامه، با استناد به نوشته‌های موجود، تقریبی از PDF تعمیم یافته-K نیز با استفاده از PDF گاما معرفی شده است که برای تقریب از روش تطبیق ممان استفاده می‌کند. به موجب آن می‌توان شکل نرم‌تری از یک عبارت ریاضی در نوشته ها معرفی کرد که از تطبیق اولین دو ممان مثبت بدست می‌آید و می‌تواند بر محدودیت‌های تحلیلی و یا نتایج عددی ناشی از تطبیق ممان مرتبه بالاتر غلبه کند. از این تقریب‌ها، در ارائه عبارات شکل بسته‌ای برای معیارهای مهمی چون ظرفیت وقفه، احتمال وقفه و نسبت خطای بیت استفاده می شود که در تحلیل عملکرد سیستم‌های مخابراتی بکار می رود. نتایج شبیه سازی انجام شده در این پایان نامه صحت و تقریب خوب این روشهای تقریب زننده را تایید می‌کند.

کلمات کلیدی : ازرمق افتادگی، سایه، ازرمق افتادگی مرکب، توزیع نرمال لگاریتمی، توزیع گاما، تطبیق ممان، ظرفیت وقفه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ..... I X

مقدمه ..... I X

فصل دوم ..... X I I I

معرفی کانال ازرمق‌افتادگی ..... X I I I

2-1- مقدمه XIV

2-2- مفاهیم اولیه XIV

2-3- ازرمق افتادگی مقیاس بزرگ یا بلند مدت XV

2-4-ازرمق افتادگی مقیاس کوچک یا کوتاه مدت XVI

2-5- انتشار چند مسیره XVI

2-6- ازرمق افتادگی رایلی و رایس XVII

2-7- مدل سازی کانال بی‌سیم XVII

2-8 - توزیع های احتمالاتی XIX

2-8-1- توزیع رایس XIX

2-8-2 توزیع رایلی XX

2-8-3 توزیع ناکاگامی XX

فصل سوم ..... X X I

کاربردPDF گاما در مدل کردن ازرمق افتادگی سایه ..... X X I

3-1 مقدمه XXII

3-2 واقعیات تئوری XXII

3-3 مقایسه PDF نرمال لگاریتمیو تقریب گاما XXIII

4-3 کاربردهای PDF گاما XXVIII

1-4-3 جایگزینی با PDF رایلی - نرمال لگاریتمی XXVIII

2-4-3 جایگزینی برای PDF ناکاگامی-نرمال لگاریتمی XXIX

3-4-3جایگزینی برایPDF های نرمال لگاریتمی-نرمال لگاریتمی,نرمال لگاریتمی-گاما XXIX

فصل چهارم XXX

کانالهای ازرمق افتادگی مرکب XXX

1-4 مقدمه XXXI

2-4 مدل سازی کانال ازرمق افتادگی مرکب XXXI

3-4 تابع چگالی احتمال برای SNR در کانال از رمق افتادگی ناکاگامی-m سایه شده گاما..... XXXV

4-4- تابع چگالی احتمال برای نسبت سیگنال به تداخل XXXV

5-4- تقریب PDF متغیر تصادفی تعمیم یافته – k با استفاده از روش تطبیق ممان XXXVII

6-4-روش تطبیق ممان با استفاده از تعدیل پارامتر..... XLIX

7-4- تقریب PDF مجموع متغیرهای تصادفی تعمیم یافته- K مستقل LI

8-4- کاربردها..... LIV

1-8-4- احتمال وقفه..... LIV

2-8-4- ظرفیت ظرفیت کانالهای ازرمق افتاده LV

3-8-4- ظرفیت وقفه کانالهای تک ورودی تک خروجی..... LV

3-8-4- نسبت خطای بیت LVI

4-8-4- ظرفیت ارگودیک کانالهای تک ورودی چند خروجی(SIMO) LVI

فصل پنجم..... LX

نتیجه گیری و پیشنهادات LX

5-1-نتیجه گیری LXI

5-2- پیشنهادات LXI

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل 3-1: مقایسه PDF نرمال لگاریتمیبا PDF گاما به ازای $ms = 7.5$ و $\sigma dB = 0.3569dB$. XXV

شکل 3-2: مقایسه PDF نرمال لگاریتمیبا PDF گاما به ازای $ms = 2.5$ و $\sigma dB = 0.58715dB$ XXV

شکل 3-3: مقایسه PDF نرمال لگاریتمیبا PDF گاما به ازای $ms = 1.5$ و $\sigma dB = 0.73682dB$

..... XXVI

شکل 3-4: مقایسه PDF نرمال لگاریتمیبا PDF گاما به ازای $ms = 1.1$ و $\sigma dB = 0.81741dB$

..... XXVI

شکل 3-5:مقایسه PDF نرمال لگاریتمیبا PDF گاما به ازای $ms = 0.9$ و $\sigma dB = 0.88648dB$

..... XXVII

شکل 3-6: مقایسه PDF نرمال لگاریتمیبا PDF گاما به ازای $ms = 0.5$ و $\sigma dB = 1.0707dB$

..... XXVII

شکل 4-1 : تابع چگالی احتمال $p(\mu c/\Omega s)$ برای $m = 1$ و $ms = 0.6,1,2,5,15,\infty$ XXXIV

شکل 4-2 : تابع چگالی احتمال $p(\mu c/\Omega s)$ برای $ms = 0.6$ و مقادیر متغیر m XXXIV

شکل 4-3 : تابع چگالی احتمال $f(\rho\rho 0)$ برای $m = 2$ و $ms = 1,1.2,2,5,15,\infty$ XXXV

شکل 4-4 : تابع چگالی احتمال $g(\Lambda/(\rho 0\rho 01)$ برای m=1 و $m1 = 0.9$= و به ازای $ms = ms1 =$

$1,2,10,\infty$ XXXVII

شکل 4-5 : کران پایینی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان به ازای $ms = 2.5$ و $mm = 2.5$ XLIII

شکل 4-6 : کران پایینی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 2.5$ و $mm = 2.5$ XLIII

شکل 4-7 : کران بالایی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته k و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 2.5$ و $mm = 2.5$ XLIV

شکل 4-8 : کران بالایی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته k و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 2.5$ و $mm = 2.5$ XLIV

شکل 4-9 : کران پایینی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 4$ و $mm = 7$ XLV

شکل 4-10 : کران پایینی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 4$ و $mm = 7$ XLV

شکل 4-11 : کران بالایی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 4$ و $mm = 7$ XLVI

شکل 4-12 : کران بالایی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 4$ و $mm = 7$ XLVI

شکل 4-13 : کران پایینی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 10$ و $mm = 10$ XLVII

شکل 4-14 : کران پایینی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 10$ و $mm = 10$ XLVII

شکل 4-15 : کران بالایی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 10$ و $mm = 10$ XLVIII

شکل 4-16 : کران بالایی CDF لگاریتمی- لگاریتمی متغیرهای تصادفی تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما با استفاده از روش تطبیق ممان $ms = 10$ و $mm = 10$ XLVIII

شکل 4-19 : نمودار تنظیم پارامتری که قدر مطلق بین توزیع تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما را حول همه CDF ها می نیمم می کند. L

شکل 4-20 : نمودار تنظیم پارامتری که قدر مطلق بین توزیع تعمیم یافته K و تقریب زننده گاما را در کران پایینی CDF می نیمم می کند. L

شکل 4-20 : نمودار ظرفیت ارگودیک کانال از رمق‌افتاده‌رایلی با و بدون سایه ..... L V I I I

شکل 4-21 : نمودار ظرفیت ارگودیک کانال ناکاگامی سایه شده با $mm = 2, ms = 1.0931$ به ازای N=1 و N=4 ..... L V I I I

فصل اول

مقدمه

مقدمه

کانال انتشار که بستر عبور سیگنال برای سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم محسوب می‌شود ماهیت متغیر با زمان دارد. این مشخصه هم از ماهیت ذاتی کانال انتشار، به دلیل تغییر لایه یونسفر نشات گرفته است و هم می‌تواند متاثر از تغییرات فرستنده گیرنده نسبت به هم باشد. موانع موجود طبیعی یا مصنوعی نیز در تغییر شرایط کانال انتشار، نسبت به زمان نیز تاثیر دارند. مشخصه تمامی این عوامل در تغییر پذیر کردن کانال، غیر قابل پیش بینی بودن آنهاست که به تبع آن رفتاری تصادفی به کانال می بخشد. این رفتار تصادفی که به بیان ساده‌تر کانال را تصادفی می‌کند مانند یک تابع تبدیل تاثیرش را بر روی ورودی های خود از جمله سیگنال‌های عبوری در کانال انتشار خواهد گذاشت و به دنبال آن پارامترهای یک سیگنال از جمله سطح توان سیگنال، پوش سیگنال، و یا فرکانس سیگنال در این کانال می-تواند دستخوش تغییراتی شود. توان دریافتی در گیرنده در یک سیستم بی‌سیم نه تنها با فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده ارتباط ندارد بلکه تحت تاثیر تغییرات کانال می‌توان به سه پدیده‌ی مختلف که عواملی جداگانه‌ای در بوجود آمدن آنها نقش دارند تقسیم بندی کرد. سه پدیده مذکور تلفات مسیر، سایه و ازرمق‌افتادگی هستند. میزان تلفات

مسیر به فاصله بین فرستنده و گیرنده بستگی دارد عوامل محیطی و تشعشات اتلافی فرستنده نیز در این افت توان، نقش دارد. موانع موجود بین فرستنده و گیرنده نیز عامل ایجاد پدیده سایه و اصطلاحاً سایه‌افتادگی بر روی سیگنال است. تعبیر سایه افتادگی از آنجا نشات می گیرد که گیرنده، فرستنده را در دید مستقیم خود نمی‌بیند و اصطلاحاً در مسیری غیر مستقیم، سیگنال به گیرنده می‌رسد و موانع موجود در مسیر، عامل این سایه روی سیگنال و مانع دید گیرنده خواهند بود که حاصل آن تضعیف سطح توان سیگنال خواهد بود. دور از ذهن نیست که پدیده سایه را در مخابرات بی‌سیم امری دائمی تلقی کنیم چرا که مخابره بی‌سیم سیگنالها بین فرستنده و گیرنده اصولا در مسافت‌های بلند معنا پیدا می‌کند و در این مسافتها، فراهم کردن بستری که گیرنده را مستقیما در مسیر فرستنده قرار دهد ساده نیست.با بررسی‌های تجربی و تحلیل نتایج عددی که از تاثیراتی که پدیده سایه بر روی سیگنال می‌گذارد بدست آمده است و با کمک گرفتن از توزیع احتمالاتی که در مدل کردن پدیده‌های طبیعی بکار می روند در نهایت پدیده سایه را با توزیع نرمال لگاریتمی مدل می‌کند. به این معنا که تغییرات ایجاد شده بر روی لگاریتم سیگنال، توزیع نرمال دارد و از این رو با توزیع نرمال لگاریتمی مدل می‌کنند. پدیده سومی که بر روی پارامترهای سیگنال در کانال تاثیر گذار است ازرمق‌افتادگی چند مسیره است که در اینجا نیز به مانند پدیده سایه موانع موجود در مسیر عامل ایجاد این پدیده در کانال هستند به گونه ای که در اثر این موانع ممکن است که سیگنال بر اثر برخورد با آنها، از مسیرهای مختلف به گیرنده برسد ولی بر خلاف سایه افتادگی این پدیده مستقل از فاصله بین فرستنده و گیرنده است. تعابیری چون ازرمق‌افتادگی مقیاس کوچک نیز برای این پدیده نیز بکار می رود. برخلاف پدیده سایه، ازرمق افتادگی را تنها با یک توزیع نمی‌توان مدل کرد و بسته به اینکه فرستنده و گیرنده در دید مستقیم هم باشند یا نباشند توزیع‌های مختلفی برای آن وجود دارد. توزیع رایس برای حالتی که فرستنده و گیرنده در دید مستقیم باشند و رایلی برای حالتی که در دید مستقیم نباشند توزیع‌های مناسب در مدل کردن ازرمق‌افتادگی چند مسیره است. این مباحث به طور اجمالی در فصل دوم بررسی خواهند شد. از آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت که در حالت دید مستقیم فرستنده و گیرنده، با اینکه با پدیده سایه مواجه نیستیم ولی سیگنال از مقوله ازرمق‌افتادگی در امان نیست و در دید غیر مستقیم نیز، هر دو پدیده بر روی سیگنال تاثیرگذار خواهند بود از این رو در کانال‌های بی‌سیم، پدیده ازرمق‌افتادگی چند مسیره و سایه، همزمان با هم اتفاق می‌افتد که در این صورت منجر به ایجاد پدیده‌ای به نام ازرمق‌افتادگی مرکب می‌شوند. در عین حال کار با مدلهای ازرمق‌افتادگی مرکبی که بر اساس توزیع نرمال لگاریتمی بیان می‌شوند، ساده نیست. به بیان دیگر از روی عبارت ریاضی توصیف کننده این توزیع، به سادگی نمی‌توان اقتباس‌های دیگری از آن رابطه بدست آورد و عبارات عموما شکل انتگرالی داشته و ساده پذیر نیستند. اصطلاحاً گفته می‌شود که این توزیع عبارت شکل بسته ای از PDF توان سیگنال دریافتی را به ما نمی‌دهد که به موجب آن نیز نمی‌توان عبارات تحلیلی بیشتری از این PDF را بدست آورد. برای یافتن جایگزینی برای این توزیع بدیهی است که بایستی توزیعی را بیابیم که در درجه اول بتواند رفتار نرمال لگاریتمی را مدل کند و به اصطلاح آن توزیع را به

خوبی تقریب بزند و البته شکل ساده‌تری نیز داشته باشد. از این رو به منظور مدل کردن متغیر تصادفی توان متوسط که متاثر از پدیده سایه ایجاد شده است ، توزیع گاما پیشنهاد شده است که می‌تواند ازرمق‌افتادگی سایه را بسیار نزدیک به توزیع نرمال لگاریتمی‌تقریب بزند. از این رو می‌توان گفت که از PDF ناکاگامی‌در مدل کردن ازرمق‌افتادگی چند مسیره و از PDF گاما هم در مدل کردن سایه، در مخابرات بی‌سیم استفاده می‌کنیم. در همین راستا در فصل سوم این دو توزیع را با هم مقایسه کرده و با شبیه سازی این دو توزیع به ازای پارامترهای مختلف دقت توزیع گاما را مورد بررسی قرار می‌دهیم و در نهایت کاربردهایی که توزیع گاما به عنوان جایگزین برای توزیع نرمال لگاریتمی، می‌تواند داشته باشد را به اجمال معرفی می‌کنیم. با فرض اینکه ازرمق‌افتادگی چند مسیره و سایه از هم مستقل باشند و با بهره‌گیری از این واقعیت که مربع یک متغیر تصادفی ناکاگامی، دارای توزیع گاما است یک عبارت شکل بسته برای PDF ازرمق‌افتادگی مرکب بدست می‌آید که این PDF را به نام PDF تعمیم یافته K یا با نام PDF گاما گاما نیز می‌شناسیم. با این حال، در یافتن بیشتر مشتقاتی که از PDF تعمیم یافته-K استفاده می‌کنند کم و بیش با پیچیدگی‌های محاسباتی و تحلیلی روبرو هستیم که این پیچیدگی‌ها هم، به علت توابع خاصی است که در آن محاسبات استفاده شده است. در فصل چهارم ، با استفاده از خانواده PDF گاما، تقریبی از PDF تعمیم یافته K، را به استناد از نوشته‌های موجود معرفی خواهیم کرد. به موجب آن می‌توان یک شکل نرم از یک عبارت ریاضی پیشنهاد داد که از تطبیق اولین دو ممان مثبت بدست می‌آید تا بر محدودیت‌های تحلیلی و یا نتایج عددی ناشی از تطبیق گشتاور مرتبه بالاتر غلبه کند. نتایج شبیه‌سازیهایی که در این قسمت انجام دادیم دقت این روش را در تقریب کانال ازرمق‌افتادگی مرکب نشان می‌دهد. مقادیر بهینه از پارامترهای سایه و ازرمق‌افتادگی چند مسیره در اینجا داده شده است. علاوه بر این، روشی که در این پایان نامه بررسی شده است قابلیت آن را دارد که به خوبی، توزیعی از مجموع متغیرهای تصادفی تعمیم یافته- K مستقل را با استفاده از توزیع گاما تقریب بزند که با استفاده از آن می‌توان برای معیارهای عملکرد سیستمهای بی‌سیم مخابراتی نظیر نسبت خطای بیت، ظرفیت ارگودیک کانال، احتمال وقفه و غیره عبارات شکل بسته‌ای برای محاسبه راحتتر آن بدست آورد که در انتها با شبیه سازی یک کانال مخابراتی بی-سیم ظرفیت ارگودیک اینگونه کانال‌ها را در حضور و عدم حضور سایه محاسبه می‌کنیم.

فصل دوم

معرفی کانال ازرمق‌افتادگی

2-1- مقدمه

در سیستمهای مخابراتی بی‌سیم، اطلاعات بر روی سیگنال حامل مدوله می‌شوند و سپس از طریق کانال ارسال می‌شوند. عوامل مخرب در کانال انتشار باعث بوجود آمدن اختلال در سیگنال می‌شوند. در صورتی که فقط نویز در کانال وجود داشته باشد در ساده ترین حالت با کانال گوسی روبرو هستیم ولی اختلال کانال می تواند ترکیبی از نویز جمع شونده، پدیده ازرمق افتادگی[1] ضرب شونده و اعوجاج ناشی از پراکندگی زمانی[2] باشد که از این بین، در این فصل تنها مروری کلی بر پدیده از رمق افتادگی خواهیم داشت. به این پدیده از آن جهت از رمق افتادگی گویند

1 Fading
[2] Time scattering

که سیگنال عبوری از کانال متاثر از چنین پدیده‌ای به طور کامل از بین نرفته بلکه تحت تاثیر عوامل غالبا محیطی، دامنه سیگنال تضعیف می‌شود. در بررسی پدیده ازرمق افتادگی با مفاهیم چون چند مسیرگی، مقیاس بزرگ، مقیاس کوچک و پدیده سایه روبرو هستیم که از این فصل استفاده کرده و این مفاهیم را به عنوان فصل باب فصل سوم که کانال های ازرمق افتادگی مرکب را که دو پدیده از رمق افتادگی چند مسیره و سایه را تواما با خود دارد را شرح می‌دهیم. جهت بررسی دقیقتر تاثیری که پدیده ازرمق افتادگی بر روی سیگنال موجود در محیط یا کانال انتشار می‌گذارد این پدیده را در تمامی‌ابعاد موجودش با توزیع‌هایی مدل می‌کنند که در این صورت مشخصات آماری که این توزیع‌ها دارد توصیف‌گر مشخصات کانال از رمق افتادگی خواهد بود. برای آشنا شدن با این مشخصات در ادامه این فصل به اجمال، بعضی از این توزیع‌ها مورد بررسی قرار خواهیم داد.

2-2- مفاهیم اولیه

مشخصات یک کانال بی‌سیم، به دلایلی چون وجود موانع و مسیرهای مختلف بین فرستنده و گیرنده، و همچنین سرعت نسبی فرستنده و گیرنده، با گذشت زمان تغییر می‌کند و این تغییرات از آن جهت که غیر قابل پیش بینی‌اند، کاملاً تصادفی هستند. تصادفی بودن کانال متعاقبا، تاثیرش را بر روی پارامترهایی از سیگنال مانند توان دریافتی سیگنال گیرنده خواهد گذاشت. توان دریافتی در گیرنده در یک سیستم بی‌سیم تنها با فاصله‌ی بین فرستنده و گیرنده ارتباط ندارد و تحت تاثیر تغییرات کانال می‌توان به سه پدیده‌ی مختلف که عواملی جداگانه‌ای در بوجود آمدن آنها نقش دارند تقسیم‌بندی کرد و در نهایت این پدیده ها بطور همزمان و بصورت جمع آثار، رفتار کانال بی‌سیم را تشکیل می‌دهند[1]. این پدیده ها شامل تلفات مسیر[3]، اثر سایه[4]، و اثر ازرمق افتادگی هستند.

تلفات مسیر، ناشی از اتلاف توان تشعشعی فرستنده است که این تلفات را بصورت تابعی از فاصله‌ی فرستنده و گیرنده مدل می‌کنند. و تاثیراتی که تلفات مسیر در توان سیگنال می‌گذارد در فواصلی در حدود 100 تا 1000 متر محسوس خواهد بود. تلفات مسیر در واقع متاثر از تلفات ذاتی در توان سیگنال وتأثیر محیط بر سیگنال می‌باشد ودر طراحی یک سیستم می‌توان آن را از روی مدل‌های انتشار بدست آورد که یک عامل بسیار مهم در تحلیل و طراحی سیستم‌های مخابراتی محسوب و در اثر عوامل مختلفی از جمله تلفات در فضای آزاد ایجاد می‌شود. تلفات یا افت مسیر به برجستگی‌های زمین بسته به نوع محیط (شهری یا روستایی، نوع پوشش گیاهی)، نوع محیط انتشار(آب و هوای خشک یا مرطوب)، مسافت بین فرستنده و گیرنده، ارتفاع و موقعیت آنتن‌ها، و عوامل دیگر وابسته می‌باشد. لازم به ذکر است که محاسبه‌ی مقدار تلفات مسیر تنها برای موارد ساده‌ای چون انتشار در فضای آزاد امکان پذیر است[2].

[3] Path loss
[4] Shadowing

پدیده دیگر اثر سایه است که به دلیل موانع موجود بین فرستنده و گیرنده پدید می‌آید و باعث تضعیف توان سیگنال می‌شود. تاثیراتی را که پدیده سایه در توان سیگنال می‌گذارد در فواصلی تا حدود 10 تا 100 متر برای فضای باز و کمتر از آن در فضاهای سرپوشیده قابل رؤیت هستند.

یکی از مسایلی که ارتباطات بی سیمی را جالب و چالش انگیز می کند که در ارتباطات خطوط سیمی قابل توجه و مهم نیست،پدیده ازرمق افتادگی می‌باشد.در حالی که طبق گفته ها ازرمق افتادگی به عنوان یک نویز خنثی شده مشاهده می شود،نتایج اخیر نشان می‌دهد که ازرمق افتادگی در حقیقت می‌تواند مفید و بهره‌مند هم باشد.

پدیده ازرمق افتادگی نیز،از بین رفتن توان سیگنال ارسالی درمسیر و یا زیاد شدن احتمال خطا است.پدیده ازرمق افتادگی عموماً متغیر با زمان است یعنی از یک فاصلهٔ زمانی تا فاصلهٔ زمانی دیگر تغییر می‌کند.

بر اساس اینکه ازرمق افتادگی مربوط به افت مسیر باشد و یا اینکه مربوط به اعوجاج چند مسیره باشد،به دو دسته کلی تقسیم می‌شود که عبارتند از:

- ازرمق افتادگی مقیاس بزرگ
- ازرمق افتادگی مقیاس کوچک

2-3- ازرمق افتادگی مقیاس بزرگ یا بلند مدت

موانع مختلف بین فرستنده و گیرنده، مانند ساختمانها، درختان، کوهها و. . . مانع از ارتباط مستقیم بین فرستنده و گیرنده می‌شوند و متوسط سطح سیگنال را تضعیف می‌کنند و پدیده‌ای تحت عنوان سایه‌افتادگی را بوجود می‌آورند. این پدیده باعث تغییراتی در سطح سیگنال می‌شود که وابسته به فاصله بین فرستنده و گیرنده است. مقدار متوسط این ازرمق افتادگی دارای توزیع نرمال لگاریتمی[5] است به عبارت دیگر لگاریتم سیگنال از رمق افتادگی دارای توزیع نرمال است. بر این اساس به این نوع ازرمق‌افتادگی، از رمق افتادگی نرمال لگاریتمی‌گفته می‌شود.

2-4-ازرمق افتادگی مقیاس کوچک یا کوتاه مدت

ازرمق افتادگی مقیاس کوچک ناشی از انتشار چند مسیره بوده و مستقل از فاصله بین فرستنده و گیرنده است از این رو به این نوع ازرمق‌افتادگی،ازرمق افتادگی چند مسیره نیز می‌گویند. امواج رادیویی ممکن است با برخورد به دیوارها، ساختمانها و. . . منعکس شوند. انعکاس از مسیرهای مختلف پدیده انتشار چند مسیره را بوجود می‌آورد یعنی سیگنال و انعکاسهای آن از مسیرهای مختلف به گیرنده می‌رسند. این سیگنالها چون مسیرها متفاوتی را طی می‌کنند، دچار تاخیرهای مختلفی نیز خواهند شد بنابراین برآیند سیگنالها می‌تواند تضعیف، تقویت یا صفر شود و در

[5] Lognormal

یک سیستم متغیر با زمان باعث نوسانات دامنه در گیرنده شود. به عبارت دیگر در کانالهای متغیر با زمان، در فواصل کوتاه، دامنه سیگنال می‌تواند افزایش یا کاهش یابد و این تغییرات تحت عنوان ازرمق افتادگی کوتاه مدت یا ازرمق افتادگی سریع نیز شناخته می‌شود. براساس اینکه گیرنده و فرستنده در دید مستقیم[6] باشند و یا نباشند و در نتیجه آن، شدت سیگنالهای رسیده به گیرنده از مسیرهای مختلف یکسان باشد و یا اینکه یکی از سیگنالها غالب باشد، تابع توزیع ازرمق افتادگی کوتاه مدت متفاوت خواهد بود و به دو دسته ازرمق افتادگی رایلی[7]و رایس[8] تقسیم می‌شود.
آنچه که بیان شد را اینگونه می‌توان خلاصه کرد که به تغییرات ناشی از افت مسیر و نیز اثر سایه، اثرات انتشاری "مقیاس بزرگ"[9] گویند. در مقابل این اثر، مفهوم "مقیاس کوچک"[10] معرفی شده است که در جابجایی‌های بسیار کوچک در حدود طول موج سیگنال، تغییراتی را در سطح توان سیگنال دریافتی در گیرنده ایجاد می‌کند. این تغییرات سریع در اثر ترکیب سازنده و یا مخرب مؤلفه‌های سیگنال رسیده از مسیرهای مختلف، ناشی شده است و همانطور که گفته شد به اثر چند مسیره بودن[11] شناخته شده‌اند.

2-5- انتشار چند مسیره[12]

در انتشار بی‌سیم معمولاً به علت وجود مسیرهایی غیر از دید مستقیم بین فرستنده و گیرنده، میان دو یا بیشتر ازدو سیگنال ارسالی که با تأخیر (هر چند جزئی) به گیرنده می‌رسند، تداخل[13] ایجاد می‌شود. این مؤلفه‌های غیر هم فاز از سیگنال اصلی (که به آنها موج های چند مسیره می‌گویند) می‌توانند اثرات مخرب و یا سازنده ای بر هم داشته باشند و در نتیجه ی این اثرات، نوسانات شدیدی در دامنه ی سیگنال دریافتی روی فواصل بسیار کوتاه زمانی و تغییرات مکانی (در حد طول موج سیگنال ارسالی) پدید می‌آید که به آن اصطلاحاً ازرمق افتادگی مقیاس کوچک می‌گویند. پدیده انتشار چند مسیره علاوه بر ایجاد تغییرات بسیار سریع در توان سیگنال دریافتی، موجب مدولاسیون تصادفی فرکانس در اثر حرکت نسبی فرستنده و گیرنده نسبت بهم و پدیده داپلرمی‌شود.

2-6- ازرمق افتادگی رایلی و رایس

مولفه‌ها در فاز و عمودی سیگنالهای منعکس شده دارای توزیع گوسی هستند، هنگامی‌که فرستنده وگیرنده در دید مستقیم نباشند، شدت سیگنالهای رسیده از مسیرهای مختلف تقریبا یکسان خواهد بود و قدرت میدان حاصل از این مولفه‌ها دارای توزیع رایلی است، یعنی ازرمق‌افتادگی سیگنال ناشی از اعوجاج چند مسیره، دارای توزیع رایلی

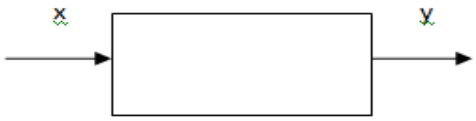
---

[6] Line of sight (LOS)
[7] Rayleigh
[8] Rician
[9] Large scale
[10] Small scale
[11] Multi path
[12] Multi path propagation
[13] Interference

خواهد بود، و در نتیجه تغییرات دامنه سیگنال از توزیع رایلی پیروی خواهد کرد که به این ازرمق‌افتادگی، ازرمق افتادگی رایلی گفته می‌شود.ازرمق‌افتادگی کامل سیگنال، ناشی از ازرمق‌افتادگی رایلی، در فواصلی که ضریب صحیحی از $\lambda/2$ هستند اتفاق می‌افتد. در این حالت سیگنال به طور کامل از بین می‌رود. در ازرمق افتادگی رایلی فرض می‌کنیم که دامنه سیگنالهای رسیده تقریبا یکسان باشد، این فرض هنگامی اتفاق می‌افتد که گیرنده، فرستنده را مستقیما نمی‌بیند اما این حالت در بسیاری از مواقع درست نیست. مخصوصا هنگامی‌که یک ارتباط مستقیم بین فرستنده و گیرنده برقرار باشد که در این حالت شدت مولفه اصلی که در مسیر دید فرستنده گیرنده است بیش از سایر مولفه‌ها است. در این حالت دامنه سیگنال ازرمق افتاده از توزیع رایس پیروی خواهد کرد. برای توزیع رایس پارامتری تحت عنوان فاکتور k[14] معرفی می‌شود که بیانگر شدت مولفه اصلی نسبت به سایر مولفه ها است. توزیع ناکاگامی برای مدلی عمومی‌تر بدست می‌دهد که با تغییر پارامترهای آن می‌توان به توزیع های رایلی و رایس نیزدست یافت. در ذیل خود این توزیع ها را از منظر آماری و تحلیلی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

2-7- مدل سازی کانال بی‌سیم

شکل ساده‌ای از یک کانال را اگر بصورت زیر در نظر بگیریم:



که در آن x ورودی کانال و y خروجی کانال می‌باشد.

حال در اینجا رابطه‌ای از یک مدل کانال بی سیم را بیان می کنیم :

$$y = hx + z \qquad (1\text{-}2)$$

که این رابطه به مدل خطی و بدون حافظه کانال معروف است

h به ضرایب ازرمق افتادگی معروف است.

در این مدل z نویز گوسی با مقدار متوسط صفر و واریانس σ^2 است $z \sim N(0, \sigma^2)$

در کانال بی سیم سیگنال از چندین مسیر به گیرنده می رسد.در هرکدام از این مسیرها برای سیگنال هم تأخیر ایجاد می شود و هم دامنه اش دریک عدد ضرب می شود.پس در واقع سیگنالی که به گیرنده می رسد جمع سیگنالهایی مثلاً سینوسی هستند که دامنه و فاز هر کدام از آنها متغیر تصادفی می باشد.

[14] k-factor

اگر این سیگنالها را بصورت فازوری نگاه کنیم و همچنین به سیگنال رسیده هم بصورت فازوری نگاه کنیم به این نتیجه می رسیم که فازور دریافتی جمع چندین فازور است که اندازه ی و زاویه جمع فازورها تصادفی می باشد.
یعنی اینکه اگر سیگنال ارسالی را بصورت زیر داشته باشیم

$$x(t) = x\cos(wt + \Phi) \quad (2\text{-}2)$$

$$\rightarrow \quad x = |x|e^{j\Phi} \quad (3\text{-}2)$$

به این ترتیب برای h خواهیم داشت :

$$h(t) = h\cos(wt + \theta) \quad (4\text{-}2)$$

$$\rightarrow \quad h = |h|e^{j\theta} \quad (5\text{-}2)$$

آنگاه خواهیم داشت :

$$hx = |hx|\, e^{j(\Phi+\theta)} = |h||x|e^{j(\Phi+\theta)} \quad (6\text{-}2)$$

با در نظر گرفتن مدل خطی متغیر با زمان می توان رابطه بین سیگنال رسیده و سیگنال ارسالی را نوشت :

$$y(m) = \sum_{l=0}^{\infty} x(m-l)h_l(m) \quad (7\text{-}2)$$

در بعضی از مدلها h_l را یک Tap در نظر می گیریم.در مخابرات UWB [15] تعداد Tap ها زیاد می باشد.
پس خلاصه اگر در مخابرات گوسی $y=x+N$ باشد،در مخابرات بی سیم $y=xh+N$ می شود که h :
یک فرآیند تصادفی است که می توان آن را ایستان به مفهوم وسیع در نظرگرفت.
و مخصوصاً در Block Fading که کانال بی سیمی است که فیدینگ در فاصله زمانی یک Block ثابت فرض می شود،در فاصله زمانی یک Block، h را یک متغیر تصادفی می گیریم و با توجه به توضیحات قبل،چون h جمع چند متغیر تصادفی است و بنا به قضیه حد مرکزی h را می توان متغیری گرفت که نرمال باشد.

$$h = h_r + jh_i \quad (8\text{-}2)$$

که h_r و h_i متغیرهای تصادفی گوسی با واریانس $\frac{1}{2}\sigma^2$ می باشند و h گوسی با واریانس σ^2 می باشد.در نتیجه :

$$|h| = \sqrt{h_r^2 + h_i^2} \quad (9\text{-}2)$$

که در این اینجا h توزیع رایلی دارد.و اگر $E(h_r$ و$h_i)$ مخالف صفر باشد به توزیع رایس می رسیم.و توزیع بهتر از این دو ،توزیع ناکاگامی می باشد.

2-8 - توزیع های احتمالاتی

[15] Ultra Wide Band

مشخصات فیدینگ بسته به این‌که فرستنده و گیرنده در دید مستقیم باشند یا خیر متفاوت خواهد بود. در حالت دید مستقیم سیگنال دریافتی دارای یک مؤلفه مشخص است و می‌تواند بخوبی توسط توزیع رایس مدل شود.سیگنال دریافتی در حالت دید غیرمستقیم می‌تواند توسط توزیع رایلی مدل شود. توزیع ناکاگامی برای مدلی عمومی تر بدست می دهد که با تغییر پارامترهای آن می توان به توزیع های رایلی و رایس دست یافت.

2-8-1- توزیع رایس

ازرمق افتادگی رایس، نوعی مدل آماری انتشار امواج رادیویی است و زمانی از آن استفاده می‌شود که سیگنال‌های دریافتی تفاوت انرژی زیادی با یکدیگر داشته باشند. این وضعیت زمانی رخ می‌دهد که یکی از مسیرها در دید مستقیم باشد یعنی گیرنده بتواند فرستنده را ببیند، که در این صورت سیگنال دریافتی از آن مسیر، بسیار قویتر از سیگنال مسیرهای دیگر است.

در ازرمق افتادگی رایس، بهره‌ی دامنه، توسط توزیع رایس توصیف می‌شود. هنگامی‌که سیگنال در مسیر دید مستقیم به گیرنده برسد، ازرمق افتادگی رایس، یک مدل بسیار مناسب برای ازرمق افتادگی های تصادفی است. توزیع رایس دارای تابع چگالی احتمال[16](PDF) به شکل زیراست:

$$P(h) = \frac{h}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{h^2+A^2}{2\sigma^2}\right)} I_0\left(\frac{Ah}{\sigma^2}\right) \qquad For \;\; A \geq 0 , h \geq 0 \qquad (10\text{-}2)$$

که در آن A پیک دامنه سیگنال، $I_0 = (.)$ تابع بسل اصلاح شده نوع اول و مرتبه صفر، h متغیر تصادفی و σ^2واریانس متغیر تصادفی می‌باشد. در بعضی از مواقع، توزیع رایس بر حسب پارامتر k توصیف می‌شود. همانطور که در بالا گفته شد k فاکتور رایس نامیده شده و به صورت زیرتعریف می‌شود:

$$k = \frac{\text{انرژی مسیر مستقیم}}{\text{انرژی سایر مسیر ها}} \sim \text{رایس}$$

$$k = 10\log\frac{A^2}{2\sigma^2}\, dB \qquad (11\text{-}2)$$

وقتی k به سمت صفر میل می‌کند، توزیع رایس به سمت توزیع رایلی میل می‌کند. از سوی دیگر، وقتی k به سمت بینهایت میل می‌کند کانال مانند یک کانال نویز گوسی سفید جمع شونده[17] عمل می‌کند.

2-8-2 توزیع رایلی

توزیع رایلی برای مدل کردن ازرمق افتادگی کانال در مراکز شهرهایی با انبوه ساختمانی بسیار زیاد که دید مستقیمی بین گیرنده و فرستنده وجود ندارد مفید بوده و به کار می‌رود. اگر سیگنال ارسالی پراکندگی زیادی داشته باشد،

[16] Probability densityfunction (PDF)
[17] Additive White Gaussian Noise(AWGN)