دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات

معرفی یک روش متعادل سازی (اکولایزیشن) بهینه و ارزیابی عملکرد آن در سیستم های MC-CDMA (نسل ۴)

مسعود مظلوم

استاد راهنما:

دکتر حمید فرخی

استاد مشاور:

دکتر ناصر ندا

پاییز ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم

این پایان نامه را از صمیم قلب به پدر و مادرم که همواره حامیان اصلی من در تمام مراحل زندگی ام بوده اند، تقدیم می نمایم.

تشکر و قدردانی

ابتدا می خواهم از استاد راهنمایم آقای دکتر فرخی به خاطر راهنمایی ها، تشویق ها و حمایت هایی که از اینجانب داشتند، صمیمانه تشکر و سپاسگزاری نمایم که اگر هدایت های ایشان در راه انجام این پایان نامه نبود مسلما پیشرفت اندکی هم در این پروژه حاصل نمی گشت. از استاد مشاور خود، آقای دکتر ندا هم که با ارائه ی مشاوره های بجا و به موقع به اینجانب سبب بهبود و پیشرفت سریعتر این پایان نامه شدند، تشکر ویژه ای دارم.

بر خود لازم می دانم که از تمامی اساتید ارجمندِ گروه برق- مخابرات دانشکده ی مهندسی دانشگاه بیرجند که تمام تلاش خود را صرف تعلیم و تربیت دانشجویان این رشته می نمایند، قدردانی نمایم.

در انتها هم از تک تک اعضاء خانواده ام که مرا از هر لحاظ در انجام هرچه بهتر این پایان نامه یاری و پشتیبانی نمودند، سپاسگزاری می نمایم.

چکیده

در سیستم های MC-CDMA که به عنوان نسل چهارم مخابرات سیار مطرح شده اند، استفاده از متعادل سازها به منظور جبران تعامد بین سیگنال های کاربران مختلف امری اجتناب ناپذیر است. از آنجا که تکنیک های متداول موجود در زمینه ی متعادل سازی (شامل MRC، EGC و ORC) قادر به جبران سازی تعامد سیگنال ها بطور کامل نیستند، در این پایان نامه تکنیک متعادل سازی جزئی (PE) که روش جدیدی در متعادل سازی است ارائه می گردد و توانایی آن در تطبیق با شرایط مختلف از قبیل تعداد کاربران فعال، تعداد زیرحامل ها و SNR مورد بررسی تحلیلی و شبیه سازی قرار می گیرد. در نهایت پس از بهینه سازیِ پارامتر متعادل ساز جزئی، نتایج حاصل از بهینه سازی همزمان دو مولفه ی تکنیک متعادل سازی جزئی، جهت رسیدن به نرخ خطای بیت (BER) مطلوب مورد بررسی قرار می گیرد. تکنیک متعادل سازی جزئی عملکرد بسیار مناسبی در حد تکنیک MMSEC دارد اما ضرایب این تکنیک به راحتی محاسبه می شوند و پیچیدگی محاسباتیِ تکنیک MMSEC را ندارد و از این لحاظ قابل مقایسه با تکنیک های متداول و ابتدایی متعادل سازی است و به راحتی می توان آن را در لینک رفت و در یک دستگاه موبایل پیاده سازی نمود.

کلید واژه‌ها: ارزیابی عملکرد، سیستم های MC-CDMA، کانال فیدینگ، متعادل ساز جزئی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول ها ..... ج
فهرست شکل ها ..... د
لیست کلمات مخفف ..... و
فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۲- هدف از ارائه ی تکنیک متعادل سازی جدید ۳
۱-۳- تاریخچه ۴
فصل ۲- مدلسازی فرستنده، کانال مخابراتی سیار و گیرنده ی سیستم MC-CDMA ۵
۲-۱- مقدمه ۵
۲-۲- فرستنده ۵
۲-۳- کانال ۷
۲-۳-۱- کانال AWGN ۷
۲-۳-۲- کانال با فیدینگ فرکانس گزین ۷
۲-۴- گیرنده ۱۶
فصل ۳- انواع تکنیک های متعادل سازی در سیستم های MC-CDMA ۱۸
۳-۱- مقدمه ۱۸
۳-۲- متعادل سازی های غیرخطی ۱۸
۳-۲-۱- تکنیک آشکارسازی بیشترین (حداکثر) شباهت (MLD) ۱۸
۳-۲-۲- تکنیک آشکارسازی تکراری (ID) ۱۹
۳-۳- متعادل سازی های خطی ۲۱
۳-۳-۱- تکنیک ترکیب حداکثر نسبت (MRC) ۲۱
۳-۳-۲- تکنیک ترکیب هم بهره (EGC) ۲۳
۳-۳-۳- تکنیک ترکیب ترمیم تعامد (ORC) ۲۴
۳-۳-۴- تکنیک ترکیب ترمیم تعامد آستانه (TORC) ۲۶
۳-۳-۵- تکنیک ترکیب مینیمم متوسط مربع خطا (MMSEC) ۲۶
فصل ۴- متعادل سازی جزئی در سیستم های MC-CDMA ۳۰

۴-۱- مقدمه ۳۰
۴-۲- متعادل سازی جزئی سیگنال های MC-CDMA ۳۰
۴-۲-۱- آشنایی با روش کار و فرضیات ۳۱
۴-۳- مدل میان باند سیستم MC-CDMA ۳۲
۴-۴- محاسبات آماری ۳۶
۴-۴-۱- عبارت تداخل ۳۷
۴-۴-۲- عبارت نویز ۳۸
۴-۴-۳- عبارت مطلوب ۳۹
۴-۴-۴- وجود استقلال میان عبارات ۳۹
۴-۵- بررسی احتمال خطای بیت (BEP) ۳۹
۴-۵-۱- انتخاب بهینه ی پارامتر متعادل سازی جزئی β ۴۱
۴-۵-۲- بهینه سازی همزمان β و SNR ۴۵

فصل ۵ - نتایج حاصل از شبیه سازی ها و تجزیه و تحلیل ها ۴۸
۵-۱- مقدمه ۴۸
۵-۲- نتایج شبیه سازی ها و تحلیل ها ۴۸
فصل ۶ - نتیجه گیری و مسیر پیشِ رو ۵۷
۶-۱- مقدمه ۵۷
۶-۲- نتیجه گیری ها ۵۷
۶-۳- مسیر پیشِ رو ۵۸
ضمیمه الف ۵۹
ضمیمه ب ۶۰
فهرست مراجع ۶۱
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۶۲

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: پارامترهای محیطی جهت تولید ضرایب کانال ۱۲

جدول ۲-۲: آفست های زیرمسیرها در AoD و AoA ۱۳

جدول ۴-۱: نمایش مقدار β بهینه برحسب SNR برای $M = N_u =$۶۴ ..... ۴۴

جدول ۴-۲: نمایش مقدار β بهینه برحسب SNR برای $M = N_u =$۱۰۲۴ ..... ۴۴

جدول ۴-۳: نمایش مقدار β بهینه برحسب ξ ۴۴

جدول ۴-۴: مقادیر عددی β^{opt} و SNR^{opt} بدست آمده با نرم افزار MATLAB ۴۶

جدول ۴-۵: حدود مقادیر بهینه ی β و SNR جهت نگاه داشتن

مقدار BEP بین دو مقدار ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۱ ..... ۴۶

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: بلوک دیاگرام فرستنده ی MC-CDMA..... ۶

شکل ۲-۲: مدل SCM کانال مخابراتی بیسیم..... ۱۱

شکل ۲-۳: نمایش قسمت های حقیقی و موهومی ضرایب کانال..... ۱۵

شکل ۲-۴: هیستوگرام قسمت حقیقی ضرایب کانال ۱۵

شکل ۲-۵: هیستوگرام قسمت موهومی ضرایب کانال ۱۵

شکل ۲-۶: بلوک دیاگرام گیرنده ی سیستم MC-CDMA به همراه کانال ۱۷

شکل ۳-۱: بلوک دیاگرام گیرنده ی MC-CDMA با آشکارسازی به روش تکرار..... ۲۰

شکل ۳-۲: نمودار احتمال خطای MRC برحسب SNR برای تعداد کاربران مختلف ۲۲

شکل ۳-۳: نمودار احتمال خطای EGC برحسب SNR برای تعداد کاربران مختلف ۲۳

شکل ۳-۴: نمودار احتمال خطای ORC برحسب SNR برای تعداد کاربران مختلف ۲۵

شکل ۳-۵: نمودار احتمال خطای MMSEC برحسب SNR برای تعداد کاربران مختلف ۲۷

شکل ۳-۶: نمودار احتمال خطا برحسب SNR برای تعداد ۶۴ کاربر فعال

با تکنیک های متعادل سازی مختلف ۲۹

شکل ۴-۱: بلوک دیاگرام فرستنده ی سیستم MC-CDMA در باند میانی ۳۳

شکل ۴-۲: شکل ۴-۲ بلوک دیاگرام گیرنده ی سیستم MC-CDMA در باند میانی ۳۵

شکل ۵-۱: احتمال خطا برای تکنیک های متعادل سازی مختلف به دو

صورت تحلیلی و شبیه سازی ۴۹

شکل ۵-۲: شکل ۵-۲ احتمال خطا به شکل تابعی از پارامتر β برای

۱۳/۵ dB و SNR=۱۰،۵dB با $N_u = M =$۱۰۲۴ ..... ۴۹

شکل ۵-۳: مقادیر β بهینه به شکل تابعی از SNR برای تعداد کاربران فعال

مختلف و M=۲۵۶ ..... ۵۰

شکل ۵-۴: احتمال خطا به شکل تابعی از پارامتر β برای ۱۵ dB و

$N_u = M =$۱۰۲۴ با SNR=۱۰،۵ dB ۵۱

شکل ۵-۵: بتای بهینه به شکل تابعی از تعداد کاربران فعال برای
M=۶۴ و چهار مقدار مختلف SNR ۵۲

شکل ۵-۶: مقایسه ی میزان احتمال خطا به شکل تابعی از تعداد کاربران فعال برای
تکنیک های متعادل سازی مختلف در M=۱۰۲۴ و SNR=۱۰ dB ۵۲

شکل ۵-۷: SNR مورد نیاز برای رسیدن به Pe=۰/۰۱ به صورت تابعی
از β برای دو حالت بار کامل و نیم بار ۵۳

شکل ۵-۸: تغییرات β بهینه تابعی از ξ (ترکیبی از مقادیر مختلف $\bar{\gamma}$، M و N_u) ۵۴

شکل ۵-۹: نمودار فضایی SNIR برحسب SNR و β و نمودار برشی
احتمال خطا، جهت یافتن مقادیر بهینه ی پارامترها..... ۵۵

شکل ۵-۱۰: میزان تغییرات SNIR برحسب SNR و β برای
۵ مقدار مختلف زیرحامل ها (M) ۵۶

لیست کلمات مخفف

AoA …… Angle of Arrival
AoD …… Angle of Departure
AWGN ……..Additive White Gaussian Noise
BEP ……..……Bit Error Probability
CE……..……Combining Equalization
CLT……..…… Central Limit Theorem
CP…….……Cyclic Prefix
CSI……...…Channel State Information
DL ……..……Downlink
DS…….…….. Direct Sequence
EGC…….…. Equal Gain Combining
ID…… ……..…..……Iterative Detection
ISI……. Inter Symbol Interference
IUI ……..……Inter User Interference
LLN ……..… Law of Large Numbers
LoS ……..…….....……Line Of Sight
MAI ……..…….. Multiple Access Interference
MC-CDMA ……Multi Carrier Code Devision Multiple Access
MIMO ……..……...Multiple Input-Multiple Output
MLD……..……..Maximum Likelihood Detection
MMSEC……...……Minimum Mean Square Error Combining
MRC……...…..…… Maximum Ratio Combining
MS……..Mobile Station
MUD ……..……Multi-User Detection
OFDM……..…… Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ORC……...…..…… Orthogonality Restoring Combining
Pdf ……Probability density function
PE……..….Partial Equalization
PIC ……..……..Parallel Interference Cancellation
PSD ……..…….Power Spectral Density
QoS ……..Quality of Service
SCM ……..……Spatial Channel Model
SIC …… Successive Interference Cancellation
SISO……...…… Single Input-Single Output
UL……..…….Uplink
ZF……. Zero Forcing

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

انطباق پذیری زیاد تکنولوژی های بیسیم با نیازهای روزافزون و متغیر کاربران، یکی از مهمترین انگیزه ها برای توسعه ی سیستم های دسترسی بیسیم بوده است. روش دسترسی چندگانه با تقسیم کدِ چند حامله[۱] (MC-CDMA) یک کاندیدا برای برآوردن احتیاجات و پاسخ به افزایش تقاضاها به تکنولوژی های دسترسی رادیویی سیار جهت کاربردهای صوتی، تصویری و داده ای با سرعت و کیفیت بالا است. این روش در حقیقت ترکیبی از سیستم های تقسیم فرکانسی متعامد[۲] (OFDM) و دسترسی چندگانه با تقسیم کد[۳] (CDMA) است و مزایای هر دو تکنیک را داراست. ارسال چندحامله ی OFDM اثر فیدینگ فرکانس گزین[۴] کانال را خنثی می نماید و پیچیدگی پردازش سیگنال را با استفاده از متعادل سازی در حوزه ی فرکانس، کاهش می دهد. از سوی دیگر تکنیک طیف گسترده ی CDMA، دسترسی چندگانه را با استفاده از کد گسترده ساز تخصیصی به هر کاربر میسر می سازد و تداخل ناشی از دسترسی چندگانه[۵] (MAI) را مینیمم می نماید. مزایای حاصل از مدولاسیون چندحامله از یک طرف و انعطاف پذیری که توسط تکنیک طیف گسترده ارائه می شود از طرف دیگر، باعث گردیده است که این سیستم ها جهت بکارگیری در مخابرات سیار نسل آینده یا نسل چهارم (4G) پیشنهاد شوند.

دو تکنیک مختلف گسترده سازی به اشکال MC-CDMA (یا OFDM-CDMA) با گسترده سازی در حوزه ی فرکانس و MC-DS-CDMA (منظور از DS رشته ی مستقیم[۶] است) با گسترده سازی در حوزه ی زمان، تعریف می شوند [۷]. در اینجا سیستم های MC-CDMA در نظر گرفته شده اند که در آنها داده ی کاربران مختلف با استفاده از رشته های کد متعامد در حوزه ی فرکانس گسترش می یابد. سیمبل داده ی هر کاربر بر روی تمام زیرحامل ها کپی می شود و هر کدام در یک چیپ از کد گسترده ساز تخصیص داده شده به همان کاربر ضرب می شوند. به شرط آنکه فیدینگ موجود بر روی هر زیرحامل از نوع تخت[۷] باشد، گسترش در حوزه ی فرکانس امکان بکارگیری تکنیک های ساده ی آشکارسازی (مثلا ضرب یک عدد مختلط در هر

۱. Multi Carrier Code Division Multiple Access
۲. Orthogonal Frequency Division Multiplexing
۳. Code Division Multiple Access
٤. Frequency-selective fading
٥. Multiple Access Interference
٦ . Direct Sequence
۷ . Flat Fading

زیرحامل) را فراهم می سازد. علاوه بر آن، به دلیل عدم نیاز به یکسان بودن طول کد گسترده ساز انتخاب شده با تعداد زیرحامل ها، ساختار MC-CDMA انعطاف پذیری زیادی را در طراحی سیستم بدست می دهد [۷ ,۱۵].

اشکال اصلی این تکنیک مخابراتی سیار وجود تداخلات دسترسی چندگانه (MAI) است که خود در حضور محیط انتشار چندمسیری[۱] به سبب از دست رفتن تعامد بین کدهای گسترده ساز دریافتی، روی می دهد. در سیستم های رایج MC-CDMA کاهش MAI در گیرنده با استفاده از آشکارسازی تک کاربره یا چندکاربره انجام می شود که در آن به کمک تکنیک های متعادل سازی[۲] مناسب در گیرنده یا فرستنده که به شکل مناسبی سیگنال های روی زیرحامل های مختلف را ترکیب نمایند، در عملکرد سیستم بهبود زیادی حاصل می شود. از طرفی با افزوده شدن نویز گوسی جمع شونده به سیستم، نرخ خطای بیت (BER) افزایش بیشتری نیز پیدا می کند و به همین جهت نیاز به استفاده از متعادل سازها در این سیستم ها امری اجتناب ناپذیر است.

تمرکز این پایان نامه بر روی لینک رفت[۳] در سیستم های MC-CDMA است. کاربرد کدهای متعامد والش- هادامارد (W-H) در یک سیستم همزمان (برای مثال لینک رفت یک سیستم سلولار) باعث از بین رفتن کامل MAI در کانال ایده آل می شود و در یک کانال واقعی، مقدار MAI را مینیمم می نماید. پس از مروری بر تکنیک های متعادل سازی اعم از خطی و غیرخطی، به معرفی ساده ترین و در عین حال به روزترین و کارآمدترین تکنیک متعادل سازی پرداخته می شود.

تکنیک های آشکارسازی غیرخطی شامل آشکارسازی بیشترین میزان شباهت[۴] (MLD) و آشکارسازی تکراری[۵] (ID) و تکنیک های خطی نیز شامل تکنیک های ترکیب نسبت حداکثر[۶] (MRC) ، ترکیب هم بهره[۷] بهره[۷] (EGC)، ترکیب ترمیم تعامد[۸] (ORC) یا صفر کننده[۹] (ZF) ، تکنیک ORC بهبود یافته یا ترکیب

۱ . Multipath
۲ . Equalization Techniques
۳ . Downlink
٤ . Maximum Likelihood Detection
٥ . Iterative Detection
٦ . Maximum Ratio Combining
۷ . Equal Gain Combining
۸ . Orthogonality Restoring Combining
۹ . Zero Forcing

ترمیم تعامد آستانه (TORC) و ترکیب مینیمم متوسط مربع خطا[1] (MMSEC) می باشند. تکنیک جدیدی که در این پایان نامه معرفی و به آن پرداخته می شود تکنیک موسوم به متعادل سازی جزئی[2] (PE) است.

می توان با ایجاد فیدبک بین فرستنده و گیرنده و دریافت اطلاعات کانال از این طریق، متعادل سازی را در فرستنده نیز انجام داد که به آن پیش- متعادل سازی[3] گفته می شود. پس- متعادل سازی[4] نیز فقط با پیاده سازی در گیرنده صورت می گیرد. تکنیک های متعادل سازی ترکیبی[5] (CE) با استفاده ی توام پیش متعادل سازی در فرستنده و پس متعادل سازی در گیرنده شکل می گیرند، اما در پیچیدگی سیستم افزایش چشمگیری ایجاد می نمایند [۷].

همچنین تکنیک های مبتنی بر تکرار بدین شکل عمل می نمایند که در چند مرحله و به دو شکل مختلف موازی یا سری، تداخلات باقی مانده ی ناشی از سایر کاربران را حذف می نمایند.

سازماندهی این پایان نامه بدین شکل است که فصل ۲ به ترسیم مدلی از سیستم MC-CDMA که در شبیه سازی های موجود در این پایان نامه مورد استفاده قرار گرفته است، پرداخته است. عملکرد تکنیک های متعادل سازی از دیدگاه خطی و غیرخطی بودن و همچنین مکان اجرای متعادل سازی (در فرستنده، گیرنده و یا هردو) در فصل ۳ به طور کلی مورد بررسی قرار می گیرند. در فصل ۴ تکنیک متعادل سازی جزئی و روابط احتمال خطا و بهینه سازی پارامتر آن در لینک رفت و در یک دستگاه موبایل[6] (MS) مورد بررسی جامع قرار می گیرند. نتایج حاصل از تحلیل و شبیه سازی با استفاده از نمودارها در فصل ۵ ارائه و توضیح داده خواهند شد. فصل ۶، نتیجه گیری از مطالب بیان شده و مسیر پیشِ رو را ارائه می نماید.

۱–۲– هدف از ارائه ی تکنیک متعادل سازی جدید

تکنیک های متعادل سازی غیرخطی به سبب داشتن پیچیدگی زیاد، قابل پیاده سازی در یک دستگاه موبایل نیستند پس در لینک رفتِ سیستم های MC-CDMA که کاهش اثر نویز و تداخلات دسترسی چندگانه درگیرنده ی یک دستگاه موبایل، باید صورت گیرد، تکنیک متعادل سازی انتخاب شده علاوه بر عملکرد مناسب از لحاظ BER باید دارای پیچیدگی کمی جهت پیاده سازی در گیرنده باشد. از این رو تکنیک متعادل سازی

۱. Minimum Mean Square Error Combining
۲. Partial Equalization
۳. Pre-equalization
٤. Post-equalization
٥. Combining Equalization
٦. Mobile Station

خطی جدیدی به نام متعادل سازی جزئی که عملکرد بهینه ای در حد تکنیک MMSEC دارد اما محاسبات ریاضی بسیار اندکی در حد تکنیک های متداول متعادل سازی (MRC، EGC و ORC) دارد، به طور کامل معرفی می شود.

در شرایط کاری مختلف از قبیل اینکه سیستم در لینک رفت عمل می نماید یا در لینک برگشت[۱]، تعداد کاربران فعال چه تعداد است و ... و با توجه به توانایی سیستم در اجرای تکنیکی از تکنیک های متعادل سازی که دارای پیچیدگی محاسباتی و میزان مینیمم نمودن BER متفاوت هستند، یکی از تکنیک های متعادل سازی انتخاب و پیاده سازی می شود. از میان تکنیک های خطی، تکنیک MMSEC از لحاظ BER بهترین عملکرد را دارد اما ایراد عمده ی آن، این است که علاوه بر ضرایب کانال نیاز به اطلاعاتی اضافی نظیر تعداد کاربران فعال و متوسط SNR دریافتی دارد که بر پیچیدگی ساخت ضرایب افزوده می گردد. در این تحقیق نشان خواهیم داد که تکنیک متعادل سازی جزئی تکنیک بهینه ای در شرایط مختلف کار سیستم MC-CDMA است.

۱-۳- تاریخچه

روش های دسترسی چندگانه با تقسیم کدِ چند حامله (MC-CDMA) برای ارائه سرویس های با نرخ بالای داده در کانال های فیدینگ از سال ۱۹۹۳ مطرح شده اند.

تکنیک های متعادل سازی ابتدا در سیستم های آنالوگ برای جلوگیری از ایجاد تداخل بین سیمبل های متوالی[۲] ISI در حوزه ی زمان بکارگرفته شدند و عملکرد مناسب این متعادل سازها که به تصحیح دامنه و فاز سیگنال های دریافتی منجر می شد، باعث استفاده از آنها در سیستم های دیجیتال بخصوص در حوزه ی فرکانس گردید. پس از تعریف متعادل سازها برای سیستم های نوین MC-CDMA تکنیک های مختلفی به این منظور ارائه شده اند و تکامل یافته اند که در ادامه ی بحث مورد بررسی کلی قرار می گیرند.

۱ . Uplink
۲ . Inter Symbol Interference

فصل ۲– مدلسازی فرستنده، کانال مخابراتی سیار و گیرنده ی سیستم MC-CDMA

۲–۱– مقدمه

در این فصل مدل کاملی از یک سیستم MC-CDMA به همراه کانال مخابراتی سیار مربوطه ارائه می گردد. سیستم MC-CDMA از ترکیب دو سیستم OFDM، جهت مقابله با اثر چندمسیرگی کانال، و CDMA، بمنظور جهت مقابله با تداخل سیمبل ها (ISI) و تداخل بین سیگنال کاربران مختلف تشکیل شده است. برای توضیح کامل تر به [۱] مراجعه شود.

۲–۲– فرستنده

شکل ۲-۱ مدل فرستنده ی MC-CDMA را نشان می دهد. رشته های بیت ورودی از طریق مدولاسیون BPSK برروی سیمبل های مدوله شده ی داده نگاشته می شوند. به تعداد M کپی از سیمبل های داده مدوله شده ی هرکاربر بدست می آید و هرکدام از کپی ها در چیپی از کد گسترده ساز مربوط به همان کاربر که از نوع والش- هادامارد (W-H) با تعامد کامل هستند، ضرب می شوند و با یکدیگر جمع می گردند. حال سیگنال ارسالی کاربران مختلف را داریم اما ارسال سیگنال کاربران مختلف در این سیستم به صورت یکجا صورت می گیرد پس سیگنال تمام کاربران با هم جمع می شوند. حال باید توسط بلوک عملگر IFFT کل سیگنال ارسالی که روی زیرحامل های فرکانسی مختلف قرار دارند به حوزه ی زمان برده شوند [۱]. باید توجه داشت که قبل از اعمال IFFT، با استفاده از بلوک سریال به موازی (S/P) مقادیر موجود بر روی هر زیرحامل فرکانسی را مشخص نمود. هنگام عبور سیگنال ارسالی از کانال در حوزه ی زمان ممکن است کانال دچار فیدهای عمیقی گردد و چندین سیمبل از داده های یک یا چند کاربر خراب شوند و آشکارسازی دچار مشکل گردد و در نتیجه BER به میزان قابل توجهی افزایش یابد. برای جلوگیری از این موضوع از یک بهم ریزنده[۱] ی سیمبل های داده استفاده می شود به طوریکه سیمبل های داده ی کاربران مختلف به شکل تصادفی اما با الگوریتمی مشخص، روی زیرحامل های فرکانسی موجود جابجا می شوند تا اگر اتفاق ذکر شده روی داد، خطا پخش شود و کل کاربران به میزان بسیار کمی دچار خطا شوند [۷]. جهت جلوگیری از تداخل سیمبل های OFDM متوالی

۱ . Interleaver

ارسال شده، پس از ساخته شدن هر سیمبل OFDM زمانی با عنوان زمان گارد[۱] یا پیشوند دوره ای[۲] به سیمبل OFDM اضافه می شود تا پس از عبور از کانال که سیمبل ها دچار تأخیر می شوند، سیمبل های متوالی OFDM دچار ISI نشوند.

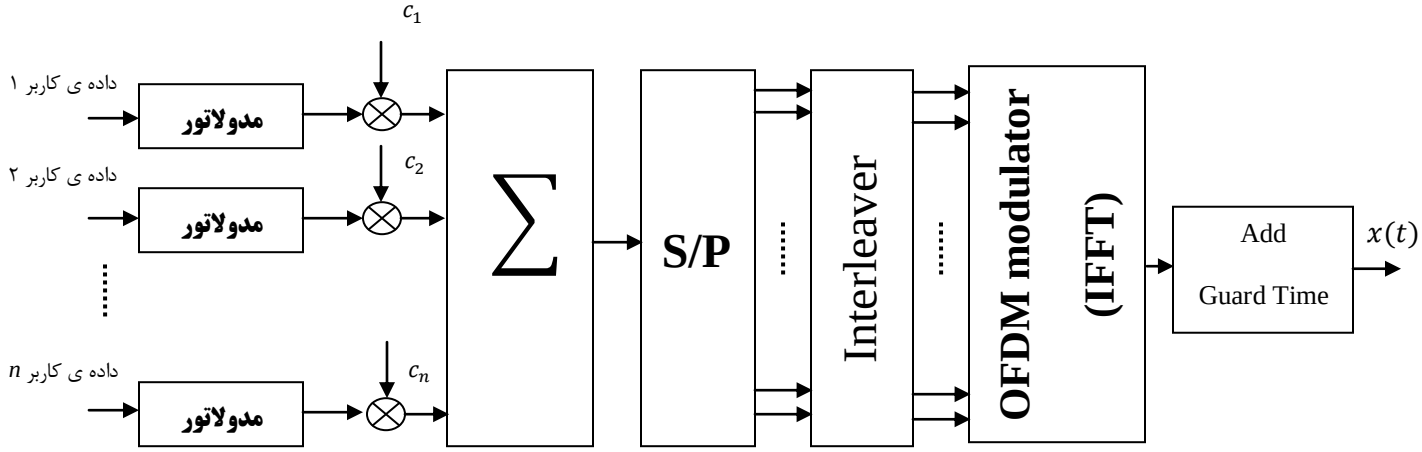
سیگنال ارسالی باند پایه ی MC-CDMA به شکل

$$x(t) = \sum_{m=0}^{M-1} S_{m,k} e^{j2\pi \frac{m}{T_s} t} , \quad KT \le t \le (K+1)T , \tag{۱-۲}$$

است که در آن

$$S_{m,k} = \sqrt{\frac{E_s}{MT}} \sum_{n=0}^{N_u-1} \sum_{K=-\infty}^{+\infty} c_{m,n} a_{n,k} , \quad 0 \le m \le M-1 , \tag{۲-۲}$$

E_s انرژی بیت داده، M تعداد زیرحامل ها، N_u تعداد کاربران فعال، $a_{n,k}$ سیمبل اطلاعات از کاربر n ام در طول K امین دوره ی تناوب و T زمان یک دوره ی تناوب سیمبل OFDM است که از اضافه شدن زمان گارد (T_g) به T_s حاصل می گردد [۱۱].



شکل۲-۱ بلوک دیاگرام فرستنده MC-CDMA

۱ . Guard Time
۲ . Cyclic Prefix

۲–۳– کانال

در این بخش مدل کانال بیسیم که در شبیه سازی ها مورد استفاده قرار گرفته است، بیان می شود [۸-۱۰].

۲–۳–۱– کانال AWGN

کانال نویز گوسی سفید جمع شونده[۱] (AWGN) ساده ترین مدل کانالی است که در اکثر سیستم های مخابراتی استفاده می شود. در این مدل تنها اختلالی که روی می دهد نویز خطی سفید جمع شونده با چگالی طیف توان ثابت و دامنه ای با توزیع گوسی می باشد. این طرح جهت مدلسازی اختلالات فیدینگ فرکانس گزین، تداخلات دسترسی چندگانه و غیرخطی بودن استفاده نمی شود. این کانال، مدل ریاضی ساده و در دسترسی برای بدست آوردن بینشی از رفتار سیستم قبل از درنظر گرفتن سایر پدیده ها می دهد. نویز گوسی با پهنای باند وسیع از منابع طبیعی متفاوت بدست می آید. همچنین نویز حرارتی در گیرنده را می تواند به عنوان یک فرآیند گوسی سفید جمع شونده درنظر گرفت. عوامل دیگری نیز برای معرفی نویز پهن باند گاوسی از قبیل نویز ساچمه ای[۲]، تابش جسم سیاه از روی زمین و سایر اجسام گرم و از منابع آسمانی مانند خورشید وجود دارند.

۲–۳–۲– کانال با فیدینگ فرکانس گزین

در کل کانال در حضور فیدینگ به فیدینگ مقیاس بزرگ و فیدینگ مقیاس کوچک تقسیم می شود که اغلب به شکل همزمان اتفاق می افتند [۱۶]. فیدینگ مقیاس بزرگ از اثر سایه کردن[۳] توسط عوارض زمین از قبیل ساختمان ها، کوه ها و شاخ و برگ درختان و متناسب با فاصله ی بین فرستنده و گیرنده نتیجه می شود. در مخابرات، فیدینگ مقیاس کوچک توسط فاصله تعیین نمی گردد. برای توصیف نوسانات سریع دامنه ها، فازها و یا تأخیرات چندمسیرگی سیگنال رادیویی روی بازه ی کوچکی از زمان یا مسافت پیموده شده مورد استفاده قرار می گیرد. تأخیرات چندمسیرگی به رابطه ی بین ماهیت سیگنال ارسالی و مشخصات کانال بستگی دارد. فیدینگ مقیاس کوچک از دو طریق توضیح داده می شود: گستره ی سیگنال و تغییرات زمانی. گستره ی تأخیرات چندمسیرگی منجر به پراکندگی زمانی و فیدینگ فرکانس گزین می شود در حالیکه گستره ی داپلر

۱ . Additive White Gaussian Noise
۲ . Shot Noise
۳ . Shadowing

منجر به پراکندگی فرکانسی و فیدینگ زمان گزین می شود. این دو مکانیزم انتشار مستقل از یکدیگر هستند [۱۶].

در این پایان نامه تمرکز برروی مدل کانال با فیدینگ فرکانس گزین است. پهنای باند کوهیرنت، پهنای باندی است که در طول آن تابع انتقال کانال ثابت می ماند. از آنجایی که پهنای باند هر زیرحامل در سیستم MC-CDMA خیلی کمتر از پهنای باند کوهیرنت است پس سیگنال ارسالی روی هر زیرحامل متحمل فیدینگ تخت می شود [۱۷, ۱۸].

کانال سیار برای محیط شهری با زمان گستره ی چندمسیرگی $T_m = ۱۰\mu s$ در نظر گرفته شده است [۴]. شیفت داپلر با طیف داپلر کلاسیک (طیف جیکس) مدل می شود. پهنای باند $B = ۱/۲۵\ \text{MHz}$ از دوره ی تناوب چیپ $T_c = ۰/۸\mu s$ بدست می آید. فرکانس حامل $f_0 = ۱\ \text{GHz}$برای ارسال درنظر گرفته می شود و فرکانس های داپلر تا $۲۰۰\ \text{Hz}$ در کانال رادیویی سیار محاسبه می شود. فاصله ی منتج زیرحامل ها $۲/۴۴\ \text{KHz}$ است از این رو زمان چیپ روی هر زیرحامل $T_s = ۴۰۹/۶\mu s$ است. جهت مقابله با تداخلات بین سیمبل های OFDM پی در پی زمان گاردی با مقدار $T_g = ۱۶\mu s$ انتخاب می شود. اگر تعداد بیت های داده ی برای هر کاربر ۸ تا و تعداد کاربران فعال $N_u = ۶۴$ باشند آنگاه تعداد کل زیرحامل های OFDM، $N_c = ۵۱۲$ می شود و برای کاهش همبستگی ضریب فیدینگ زیرحامل های مجاور، بلوک بهم ریزنده ی تصادفی ۶۴×۸ بکارگیری می شود [۴, ۵].

مدل سیستم بیسیمی که در این پایان نامه بیان می شود به این شکل است که تعدادِ n_{BS} آنتن در ایستگاه پایه (BS) و تعدادِ n_{MS} آنتن هم در دستگاه موبایل با آرایه ای خطی در هر طرف تنظیم شده است[۸-۱۰]. ضرایب مختلط کانال توصیف کننده ی لینک بین آنتن i ام از BS و آنتن j ام از MS به شکل h_{ij} بیان می شوند و H ماتریس کانال $n_{BS} \times n_{MS}$ است که با $H = (h_{ij})$ تعریف می شود که در آن رفتار زمانی مهم است، عبارات $h_{ij}(t)$ و $H(t)$ دلالت بر همین موضوع دارند. حال با توجه به شیوه ی مدل سازی پراکندگی[۱] های ایجاد شده از سیگنال ارسالی به صورت تک حلقه ای یا چند حلقه ای مانند آنچه در شکل ۲-۲ مشاهده می گردد، دو مدل اصلی مطابق [۸] به نام های SEP[۲] و SCM[۳] شکل گرفته اند.

۱ . Scattering
۲ . Symbol Error Probability
۳ . Spatial Channel Model

مدل کانال SEP یک مدل تک حلقه برای پراکندگی ها و رفتار گذرای آن توسط فرآیند جیکس[۱] توصیف می شود که در [۸] مورد مطالعه قرار گرفته است. برای تولید $H(t)$ در این مدل ابتدا باید ماتریس $U(t)$ را با ابعاد $n_{BS} \times n_{MS}$ و ورودی های مستقل متغیر با زمان گوسیِ تولید شده با مولد جیکس، تولید نمود. از این رو هر المان $U(t)$ متغیر مختلط گوسی با متوسط صفر و واریانس واحد است. پس طبق [۸] داریم

$$H(t) = R_{BS}^{\frac{1}{2}} U(t) R_{MS}^{\frac{1}{2}} \quad (۳-۲)$$

که در آن ضرایب کانال دارای ماتریس همبستگی R به شکل

$$R = \mathbb{E}(hh^*) = R_{BS} \otimes R_{UE} \quad (۴-۲)$$

هستند و h برداریست که از انباشته سازی ستون های ماتریس H حاصل می شود. در مجموع مدل SEP قادر به تولید کانال های همبسته ی زمانی و فضایی می باشد. سطح پیچیدگی SEP پایین است به طوریکه فقط نیازمند چندین مولد جیکس برای $U(t)$ و ضرب ماتریس ها در رابطه ی ۲-۳ دارد. این مدل به شکل کامل در [۸] بررسی شده است.

مدل کانال جدید و کامل تر بیسیم که به مدل SCM معروف است با توجه به [۸] مدلی دقیق از سیستم در محیط های مختلف است و بجای در نظرگرفتن تنها یک حلقه برای کل پراکندگی ها (مدل SEP)، N کلاستر برای پراکندگی ها در نظر می گیرد و در هر شبیه سازی، هم مشخصات آماری کلاستر و هم موقعیت آرایه دچار تغییر می شود. هر کلاستر مربوط به یک مسیر تجزیه پذیر است و در هر مسیر، زیرمسیرها پرتوهایی تجزیه ناپذیر هستند. طرح ساده ای از این مدل در شکل ۲-۲ آورده شده است. در این الگو $h_{s,u,n}(t)$ به عنوان ضرایب کانال برای کلاستر n ام، زمانی که $n = 1,2, \dots, N$ است، تعریف می شود. با برقراری ارتباط بین آنتن s امِ BS با آنتن u امِ MS این ضریب به شکل

$$h_{s,u,n}(t) = \sqrt{\frac{P_n}{M}} \sum_{m=1}^{M} \sqrt{G_{BS}(\theta_{n,m,AoD}) G_{MS}(\theta_{n,m,AoA})} \times \exp\left(j[\alpha(n,m,s,u) + \phi_{n,m} + 2\pi|v|.t.cos(\beta_{n,m})/\lambda]\right) \quad (۵-۲)$$

بدست می آید که پارامترهای موجود در آن عبارتند از

۱ . Jakes Process