دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه مخابرات

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات - سیستم

تخمین کانال در شبکه‌های بی‌سیم چندآنتنه با رله تقویت و ارسال

نگارش:

رقیه عبیری

استاد راهنما:

دکتر محمدجواد دهقانی

استاد مشاور:

دکتر رضا محسنی

آبان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تخمین کانال در شبکه‌های بی‌سیم چندآنتنه با رله تقویت و ارسال

پایان‌نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

نگارش:

رقیه عبیری

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر محمدجواد دهقانی دانشیار در رشته مهندسی برق مخابرات سیستم (استاد راهنما)

دکتر رضا محسنی استادیار در رشته مهندسی برق مخابرات سیستم (استاد مشاور)

دکتر محسن اسلامی استادیار در رشته مهندسی برق مخابرات سیستم (استاد داور)

دکتر جواد حقیقت استادیار در رشته مهندسی برق مخابرات سیستم (استاد داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب **رقیه عبیری** دانشجوی رشته **برق/ مخابرات** مقطع تحصیلی **کارشناسی ارشد** به شماره دانشجویی **۹۰۱۱۴۰۱۶**، تأیید می نماید کلیه نتایج این پایان نامه/رساله، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه/ رساله را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: رقیه عبیری

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد راهنما: دکتر محمد جواد دهقانی

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

لبخند درخشان خداوند

به روی تاریکی زندگی

مادرم،

پشتوانه خستگی ناپذیر لحظات

پدرم

و زهرا...

تشکر و قدردانی:

شکر شایان نثار ایزد منان که مرا در به پایان رساندن این پزوهش توفیق بخشید. از اساتید فرهیخته و فرزانه، آقایان دکتر محمد جواد دهقانی و دکتر رضا محسنی که با هدایت و حمایت کارساز و سازنده مرا یاری کردند، تقدیر و تشکر فراوان می‌نمایم.

چکیده

تخمین کانال در شبکه‌های بی‌سیم چندآنتنه با رله تقویت و ارسال

نگارش:
رقیه عبیری

رشد روزافزون تقاضا برای ارتباط بی‌سیم با نرخ داده بالا همراه با کیفیت مطلوب خدمات در طراحی شبکه‌های مخابراتی بی‌سیم به معرفی روش‌هایی چون استفاده از سیستم‌های چند ورودی-چند خروجی (MIMO) و مدولاسیون متعامد (OFDM) انجامید. سیستم‌های MIMO به دلیل اثر چشمگیر در افزایش ظرفیت سیستم‌های مخابراتی در عین عدم افزایش توان مصرفی با تکیه بر بهره‌گیری از بعد فضا، به سرعت رشد کردند. همچنین روش‌های به اشتراک گذاشتن منابع در تعریف مخابرات مشارکتی برای بهبود مصرف منابع ضمن افزایش احتمال پوشش و برد شبکه‌های مخابراتی معرفی شدند.

مهمترین روش مشارکتی، استفاده از عناصر واسط به شکل رله برای تقویت و ارسال مجدد سیگنال تضعیف شده مبدا به سمت مقصد است. جهت بهره‌گیری مناسب از مزایای این روش‌ها به اطلاعات کانال، حداقل در گره مقصد نیاز است که برای دستیابی به این اطلاعات الگوریتم‌های مختلف تخمین بکار می‌روند. با توجه به پیچیدگی قابل ملاحظه و مصرف بالای منابع در تخمین مرحله به مرحله، روشی مبتنی بر استفاده از تخمین کانال ناقص برای ارتباطات چندبخشی، پیشنهاد و ضمن بررسی روش‌های مختلف تخمین بر مبنای سیگنال نشانه، چالش‌های تخمین کانال دوبخشی در استفاده از رله تقویت و ارسال، عنوان و نهایتا روش تخمین کانال ناقص با مدل تاخیری مارکوف بررسی می‌شود.

شبیه‌سازی‌های انجام شده روی پارامترهای مختلف موثر در کارایی سیستم پیشنهادی، کاهش قابل ملاحظه در حجم محاسبات و فیدبک اطلاعات غیرمفید و افزایش کیفیت خدمات را در مقابل کاهش اندک دقت تخمین نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: تخمین کانال، MIMO، رله مخابراتی، تقویت و ارسال، سیگنال نشانه.

فهرست مطالب

۱. فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بررسی سیستم‌های MIMO ۴

۱-۲-۲- بهره آرایه‌ای ۵

۱-۲-۳- بهره گوناگونی فضایی ۵

۱-۲-۴- بهره تسهیم فضایی ۷

۱-۲-۵- کاهش تداخل ۷

۱-۳- رله مخابراتی ۸

۱-۴- هدف تحقیق و اهمیت آن ۱۱

۱-۵- مروری بر تحقیقات اخیر ۱۳

۱-۶- بخش‌های پایان‌نامه ۱۷

۲. فصل دوم: معرفی کانال مخابراتی و مدل سیستم ۱۸

۲-۱- مقدمه ۱۹

۲-۲- مدل کانال در باند پایه ۱۹

۲-۳- مدل کانال چندآنتنه ۲۲

۲-۳-۲- ظرفیت کانال چند ورودی- چند خروجی ۲۴

۲-۴- شبکه‌های بی‌سیم بر مبنای رله ۲۶

۲-۴-۲- رله تقویت و ارسال ۲۸

۲-۴-۳- رله رمزگشایی و ارسال ۳۰

۲-۵- نتیجه گیری ۳۲

۳. فصل سوم: بررسی الگوریتم‌های تخمین کانال ۳۳

۳-۱- مقدمه ۳۴

۳-۲- معیارهای تخمین کانال ۳۶

۳-۲-۱- الگوریتم غیر آماری تخمین مبتنی بر معیار LS ۳۶

۳-۲-۲- الگوریتم آماری تخمین مبتنی بر معیار MMSE ۳۷

۳-۲-۳- بررسی کران کرامر-رائو (CRLB) ۳۹

۳-۳- تخمین کانال چندآنتنه ۴۱

۳-۳-۱- تخمین کانال با معیار LS ۴۲

۳-۳-۲- ماتریس بهینه سیگنال‌های نشانه ۴۴

۳-۳-۳- تخمین کانال با معیار MMSE ۴۶
۳-۳-۴- تخمین کانال به روش RMMSE ۴۸
۳-۴- تخمین کانال دوبخشی (با عنصر واسط) ۴۹
۳-۴-۱- تخمین کانال در سیستم OFDM Relay ۵۰
۳-۴-۲- تخمین کانال در سیستم MIMO Relay (OST) ۵۶
۳-۴-۳- تخمین کانال در سیستم چندرله ای (OST) با STC ۶۳
۳-۴-۴- تخمین کانال در سیستم MIMO Relay (TST) ۶۸
۳-۵- نتیجه گیری ۷۲

۴. فصل چهارم: بررسی مدل پیشنهادی و نتایج شبیه‌سازی ۷۴
۴-۱- مقدمه ۷۵
۴-۲- بررسی تخمین کانال ناقص ۷۵
۴-۲-۱- مدل تاخیری ۷۶
۴-۲-۲- روش چندی کردن کانال ۷۷
۴-۳- بررسی تخمین کانال ناقص در مدل تاخیری ۷۸
۴-۳-۱- بررسی SNR در حضور خطای مارکوف ۸۹
۴-۳-۲- بررسی مقدار بهینه D برای کانال‌های متفاوت ۹۳
۴-۴- مقایسه روش‌های تخمین کانال در سیستم‌های MIMO ۹۶
۴-۵- مقایسه روش‌های تخمین کانال در سیستم‌های OFDM ۱۰۰
۴-۶- نتایج تخمین کانال در سیستم‌های MIMO چندرله‌ای با STC ۱۰۲
۴-۷- مقایسه نتایج تخمین کانال در سیستم‌های MIMO (OST) ۱۰۵
۴-۸- مقایسه نتایج تخمین کانال در سیستم‌های MIMO (TST) ۱۰۹
۴-۹- نتیجه‌گیری ۱۱۲

۵. فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها ۱۱۳
۵-۱- جمع‌بندی ۱۱۴
۵-۱-۱- مقایسه نتایج ۱۱۴
۵-۱-۲- نوآوری ۱۱۶
۵-۲- پیشنهادها ۱۱۸

مراجع ۱۲۱

پیوست‌ها ۱۲۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ : مقایسه مدل کلی سیستم MIMO و SISO ۴
شکل ۱-۲ : اثرات محیط و کانال چندمسیره ۶
شکل ۱-۳ : ساختار تسهیم فضایی در سیستم MIMO ۷
شکل ۱-۴ : وضعیت اتصال به رله ۸
شکل ۱-۵ : روش‌های استفاده از عناصر رله ۹
شکل ۱-۶ : مدل‌های مختلف کار رله ۱۱
شکل ۱-۷ : مدل ساده سیستم با سه گره ۱۲
شکل ۱-۸ : مدل چندآنتنه سیستم مبتنی بر رله ۱۳
شکل ۲-۱ : ظرفیت ارگودیک کانال‌های MIMO ۲۵
شکل ۲-۲ : شکل کلی ارتباطات رله ها ۲۷
شکل ۲-۳ : عملکرد رله تقویت و ارسال ۲۸
شکل ۲-۴ : مدل سیستم تک‌آنتنی با رله چندآنتنی یا چندرله‌ای ۲۹
شکل ۲-۵ : عملکرد رله رمزگشایی و ارسال ۳۱
شکل ۳-۱ : مقایسه تخمینگر با کمترین واریانس و کارا [۳۰] ۴۰
شکل ۳-۲ : دیاگرام کلی سیستم MIMO ۴۱
شکل ۳-۳ : ترکیب کانال فازهای اول و دوم ۵۰
شکل ۳-۴ الگوهای متفاوت ارسال سیگنال نشانه ۵۱
شکل ۳-۵ : دیاگرام کلی سیستم MIMO-relay ۶۹
شکل ۴-۱ : الگوی ارسال سیگنال نشانه و اطلاعات با مدلسازی تاخیری ۷۶
شکل ۴-۲ : مقایسه خطای تخمینگر LS در کانال ترکیبی با تعداد آنتن‌های متفاوت برحسب SNR ۸۰
شکل ۴-۳ : مقایسه خطای تخمینگر مارکوف در کانال ترکیبی با یک رله و فرستنده دوآنتنه تعداد تاخیر متفاوت برحسب SNR ۸۲
شکل ۴-۴ : مقایسه خطای تخمینگر مارکوف در کانال‌های با سرعت تغییرات متفاوت و توان نویز ۰.۱ برحسب تعداد تاخیر ۸۳
شکل ۴-۵ : مقایسه خطای تخمینگر مارکوف در کانال‌های با سرعت تغییرات متفاوت و توان نویز ۰.۰۱ برحسب تعداد تاخیر ۸۳

شکل ۴-۶ : مقایسه تابع پیچیدگی سیستم اول و تابع QOS متناظر نسبت به تعداد تاخیر.....۸۵
شکل ۴-۷ : مقایسه تابع پیچیدگی سیستم دوم و تابع QOS متناظر نسبت به تعداد تاخیر ۸۵
شکل ۴-۸ : مقایسه تابع پیچیدگی مدل تخمین مرحله‌ای و ناقص در سیستم SISO و مدولاسیون OFDM و تابع QOS متناظر نسبت به تعداد تاخیر.....۸۶
شکل ۴-۹ : مقایسه تابع پیچیدگی مدل تخمین مرحله‌ای و ناقص با مدلسازی PARAFAC و تابع QOS متناظر نسبت به تعداد تاخیر ۸۷
شکل ۴-۱۰ : مقایسه تابع پیچیدگی مدل تخمین مرحله ای و ناقص TST با معیار LS و تابع QOS متناظر نسبت به تعداد تاخیر.....۸۸
شکل ۴-۱۱ : مقایسه SNR موثر گیرنده در کانال های با سرعت تغییرات متفاوت برحسب تعداد تاخیر در حضور خطای مدلسازی مارکوف ۹۲
شکل ۴-۱۲ : مقایسه D_{th} برای تابع خطای مدلسازی مارکوف با درصدهای متفاوت افزایش خطای قابل قبول.....۹۴
شکل ۴-۱۳ : مقایسه D_{th} برای تابع SNR با مدلسازی مارکوف با درصدهای متفاوت کاهش SNR قابل قبول.....۹۵
شکل ۴-۱۴ : مقایسه عملکرد الگوریتم LS در سیستم چندآنتنه با N_r=3 و N_t متفاوت برحسب SNR.....۹۷
شکل ۴-۱۵ : مقایسه عملکرد الگوریتم SLS و LS-SLS در سیستم چندآنتنه با N_r=3 و N_t متفاوت برحسب SNR.....۹۷
شکل ۴-۱۶ : مقایسه عملکرد الگوریتم‌های یاد شده در دو سیستم چندآنتنه با $\varepsilon = 0.2$.....۹۹
شکل ۴-۱۷ : مقایسه عملکرد الگوریتم‌های یاد شده در دو سیستم چندآنتنه با $\varepsilon = 0.8$.....۹۹
شکل ۴-۱۸ : مقایسه کران BCRB برای کانال فاز اول و دوم در سیستم رله ای OFDM.....۱۰۱
شکل ۴-۱۹ : مقایسه خطای تخمین در به کارگیری الگوریتم تکراری ذکر شده در سیستم رله‌ای OFDM.....۱۰۱
شکل ۴-۲۰ : مقایسه خطای نرمالیزه در به کارگیری الگوریتمMMSE و LS در QOSTBC با پیش کدکننده تصادفی.....۱۰۳
شکل ۴-۲۱ : مقایسه خطای نرمالیزه در به کارگیری الگوریتمMMSE و LS در QOSTBC با پیش کدکننده بهینه ۱۰۳
شکل ۴-۲۲ : مقایسه خطای نرمالیزه در به کارگیری الگوریتمMMSE و LS در QOSTBC با پیش کدکننده بهینه ۱۰۴

شکل ۴-۲۳ : مقایسه خطای نرمالیزه در به کارگیری الگوریتمMMSE و LS در QOSTBC با پیش‌کدکننده بهینه با الگوهای پخش توان متفاوت.....۱۰۵
شکل ۴-۲۴ : مقایسه کران کرامر- رائو برای کانال فاز اول سیستم چندآنتنه رله‌ای برای توان نویز متفاوت در رله و مقصد.....۱۰۶
شکل ۴-۲۵ : مقایسه کران کرامر- رائو برای کانال فاز اول سیستم چندآنتنه رله‌ای نسبت به SNR در رله با فاکتورهای رایس متفاوت.....۱۰۷
شکل ۴-۲۶ : مقایسه کران کرامر- رائو برای کانال فاز دوم سیستم چندآنتنه رله‌ای برای توان نویز متفاوت در رله و مقصد.....۱۰۸
شکل ۴-۲۷ : مقایسه کران کرامر- رائو برای کانال فاز دوم سیستم چندآنتنه رله‌ای نسبت به SNR در رله با فاکتورهای رایس متفاوت.....۱۰۸
شکل ۴-۲۸ : مقایسه خطای تخمینگر TST برای سیستم MIMO رله‌ای.....۱۰۹
شکل ۴-۲۹ : مقایسه خطای تخمینگر BALS با TST با مقداردهی اولیه مناسب.....۱۱۰
شکل ۴-۳۰ : مقایسه خطای تخمینگر BALS با TST با مقداردهی اولیه نامناسب.....۱۱۱
شکل ث-۱ : مقایسه عملکرد الگوریتم LS در سیستم چندآنتنه با N_r=3 و N_t متفاوت بر حسب SNR.....۱۳۴
شکل ث-۲ : مقایسه عملکرد الگوریتم LS و LS-SLS در سیستم چندآنتنه با Nr=3 و Nt متفاوت بر حسب SNR.....۱۳۵
شکل ث-۳ : مقایسه عملکرد الگوریتم‌های یادشده در دو سیستم چندآنتنه با $\varepsilon = 0.2$.....۱۳۶
شکل ث-۴ : مقایسه عملکرد تخمینگرهای LS و MMSE با پیش‌کدکننده تصادفی و بهینه در سیستم چندرله‌ای با QOSTC.....۱۳۶
شکل ث-۵ : مقایسه خطای نرمالیزه در الگوریتم MMSE و LS در سیستم چندرله‌ای با پیش‌کدکننده بهینه.....۱۳۷
شکل ث-۶ : مقایسه خطای تخمین در به کار گیری الگوریتم MMSE و LS با QOSTBC با پیش‌کدکننده بهینه با الگوهای پخش توان متفاوت.....۱۳۸
شکل ث-۷ : مقایسه خطای تخمینگر BALS با TST و روش غیرتکراری MMSE.....۱۳۹
شکل ث-۸ : بررسی کران کرامر-رائو بیزی برای کانال فاز اول با K=1.....۱۳۹
شکل ث-۹ : بررسی کران کرامر-رائو بیزی برای کانال فاز دوم با K=1.....۱۴۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱ پارامترهای شبیه سازی‌های SNR برای سیستم‌های رله‌ای..... ۹۱
جدول ۴-۲ پارامترهای شبیه سازی های سیستم چندآنتنه ۹۶
جدول ۴-۳ پارامترهای شبیه سازی‌های سیستم رله‌ای OFDM..... ۱۰۰
جدول ۴-۴ پارامترهای شبیه سازی‌های سیستم رله‌ای با STC..... ۱۰۲
جدول ۴-۵ پارامترهای شبیه‌سازی های سیستم MIMO رله‌ای OST..... ۱۰۷
جدول ۴-۶ پارامترهای شبیه سازی‌های سیستم MIMO رله‌ای TST و مدل PARAFAC..... ۱۱۱
جدول ۵-۱ مقایسه عملکرد الگوریتم‌های ذکر شده..... ۱۱۵

فهرست نشانه‌های اختصاری

زمان	t
زمان گسسته	n
طول موج حامل	λ
نویز گیرنده	v
عملگر امید ریاضی	E
واریانس متغیر x	$\sigma_x{}^2$
ماتریس همبستگی x	$\mathbf{R}_x$
ماتریس کوواریانس x	$\mathbf{C}_x = Cov_x$
ماتریس همانی	$\mathbf{I}$
تابع متوسط مجذور خطا	J
تابع بسل مرتبه صفر	$J_0(.)$
عملگر ریاضی اندازه	$\|.\|_F^2$
عملگر مزدوج ترانهاده ماتریس $\mathbf{X}$	$\mathbf{X}^H$
عملگر ترانهاده ماتریس $\mathbf{X}$	$\mathbf{X}^T$
عملگر معکوس ماتریس $\mathbf{X}$	$\mathbf{X}^{-1}$
عملگر شبه‌معکوس ماتریس $\mathbf{X}$	$pinv(\mathbf{X})$
عملگر Trace ماتریس $\mathbf{X}$	$tr\{\mathbf{X}\}$
عملگر ماتریس قطری	$diag\{\mathbf{X}\}$
عملگر ماتریس قطری بلوکی	$blkdiag\{\mathbf{X}\}$
عملگر برداری کننده ماتریس $\mathbf{X}$	$vec(\mathbf{X})$
عملگر ضرب کرونیکر	$\otimes$
عملگر ضرب Khatri- Rao	$\lozenge$
عملگر ضرب Hadamard	$\overset{\times}{\bullet}$
عملگر کانولوشن خطی	$*$
عملگر ضرب-کانولوشن خطی	$\overline{\otimes}$

فهرست کلمات اختصاری

AF	Amplify and Forward
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BALS	Bilinear Alternating Least Square
BCRLB	Bayesian Cramer-Rao Lower Bound
BER	Bit Error Rate
BIM	Bayesian Information Matrix
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CF	Compress and Forward
CP	Cyclic Prefix
CRC	Cyclic Redundancy Check
CRLB	Cramer-Rao Lower Bound
DF	Decode and Forward
DFT	Descrete Fourier Transform
EF	Estimate and Forward
EM	Expectation Maximization
EVD	Eigen-Value Decomposition
FIM	Fisher Information Matrix
IDFT	Inverse Descrete Fourier Transform
LMMSE	Linear Minimum Mean Square Error
LOS	Line Of Sight
LS	Least Square
MAP	Maximum a Posteriori
MC-CDMA	MultiCarrier Code Division Multiple Access
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
ML	Maximum Liklihood
MMSE	Minimum Mean Square Error
MSE	Mean Square Error
MVU	Minimum Variance Unbiased
NLOS	None Line Of Sight
NMSE	Normalized Mean Square Error
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OST	One Stage Training
OWRN	One Way Relay Network
PAPR	Peak to Average Power Ratio

PARAFAC	Parallel Factor
QOS	Quality of Service
QOSTBC	Quasi Orthogonal Space Time Block Coding
RMMSE	Relaxed Minimum Mean Square Error
SIMO	Single Input Multiple Output
SISO	Single Input Single Output
SLS	Scaled Least Square
SNR	Signal to Noise Ratio
STC	Space Time Coding
SVD	Singular Value Decomposition
TST	Two Stage Training
TWRN	Two Way Relay Network
WSN	Wireless Sensor Network
WSS	Wide Sense Stationary
ZF	Zero Forcing

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

با توجه به افزایش گسترده تقاضا برای دسترسی به مخابرات بی‌سیم با نرخ انتقال بالا و کیفیت خدمات[1] (QOS) بهینه در سال‌های اخیر و همین‌طور محدودیت منابع موجود مثل توان و پهنای باند و حتی محدودیت‌های سخت‌افزاری، افزایش ظرفیت و اطمینان‌پذیری[2] شبکه‌های مخابراتی به یکی از مهمترین چالش‌های مخابرات نسل جدید تبدیل شده است. در راستای پاسخ به این نیازها، استفاده از روش‌هایی مثل مدولاسیون متعامد[3](OFDM)، سیستم‌های چند ورودی-چندخروجی[4] (MIMO)، استفاده از کدهای متعامد چندحاملی[5](MC-CDMA) و ... پیشنهاد شد و به سرعت از طرف شرکت‌های سازنده مورد استقبال قرار گرفت. در استانداردهای نسل‌های جدید مخابرات بی‌سیم استفاده از این روش‌ها لحاظ شده و شرکت‌های سازنده قطعات و دستگاه‌های مخابراتی این روش‌ها را پشتیبانی می‌کنند [۱, ۲].

سیستم‌های چندآنتنه با استفاده از بعد فضا علاوه بر ابعاد زمان و فرکانس برای ارسال اطلاعات، بدون افزایش توان آنتن و پهنای باند، در افزایش ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم نقش بسزایی دارند [۳]. زیرا افزایش توان در سیستم های تک-ورودی تک-خروجی به منظور افزایش نرخ توان سیگنال به نویز نه تنها پرهزینه بوده بلکه با محدودیت‌هایی نظیر خطرات زیست‌محیطی و ماکزیمم توان قابل‌تحمل در فرستنده و گیرنده‌های خطی روبروست. همینطور افزایش پهنای باند علاوه بر هزینه بسیار، کاهش قابل ملاحظه برد را به دنبال خواهد داشت. در مدولاسیون متعامد با استفاده بهینه از پهنای باند، کارایی سیستم افزوده می‌شود و ترکیب این روش با کد متعامد اثر بسیار مطلوبی در کاهش تداخل در شبکه‌های سلولی و در نتیجه نرخ خطای بیت خواهد داشت. علاوه بر روش‌های یاد شده که معمولا در مبدا و مقصد انتقال داده به کار گرفته می‌شوند، استفاده از اجزای اضافه مثل فمتوسل، رله مخابراتی و ... که به صورت واسط

[1] Quality of Service (QOS)

[2] Reliability

[3] Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

[4] Multiple Input-Multiple Output (MIMO)

[5] Multi Carrier-Code Division Multiple Access (MC-CDMA)