بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه یزد

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق (مخابرات)

مهندسی برق - مخابرات

تحلیل آشکارسازی سمبول در سیستمهای چند ورودی چند خروجی

استاد راهنما: دکتر علی اکبر تدین تفت

استاد مشاور: دکتر محمد رضا تابان

پژوهش و نگارش: مهدی عباسی

اسفندماه۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج، مطالعات و ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه/ رساله متعلق به دانشگاه یزد است و هر گونه استفاده علمی و عملی از این پایان نامه/ رساله برای تولید دانش فنی ، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس و ارایه مقاله در سمینارها و مجلات علمی از این پایاین نامه/ رساله منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم به پدر و مادرم که بخشی از وجودم هستند و دیگر عزیزانم...

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس خداوند بلند مرتبه را که همواره با قدرت بی‌پایان و لطف بیکرانش از بهترین و رضایت‌بخش‌ترین راهها در همه مراحل زندگی به یاریم می‌شتابد.

لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر علی اکبر تدین که راهنمایی‌ها و شکیبایی ایشان مرا در به انجام رساندن این پایان‌نامه یاری رساند و جناب آقای دکتر محمد رضا تابان که زحمت مشاوره این کار را تقبل نمودند تشکر و قدردانی کنم.

از دوستان عزیزم که حضورشان مایه دلگرمی، شادی و نشاط من است، سپاسگزارم.

در پایان از مرکز تحقیقات مخابرات ایران که حمایت از این پروژه را بر عهده گرفتند تشکر و سپاس دارم.

چکیده

در این پایان‌نامه دو الگوریتم اصلاحی، یکی جهت بهبود عملکرد آشکارسازهای خطی و کاهش مشبکه و یکی در جهت بهبود عملکرد آشکارساز کدگشای کروی ارایه کردیم. در سیستم‌های چند ورودی چند خروجی (MIMO) کاهش پیچیدگی در بلوک آشکارساز بسیار مورد توجه است. آشکار ساز بهینه برای آشکارسازهای MIMO، آشکارساز بیشترین درست نمایی (ML) فرض می‌شود. در ابتدا چندین روش زیر بهینه مثل روش‌های ZF و کاهش مشبکه مورد بررسی قرار گرفته است. این روش‌ها اگر چه نرخ خطای سمبل بالاتر از ML دارند اما برای پیاده‌سازی، ساختاری ساده دارند. دلیل عملکرد پایین آن‌ها شرایط بد ماتریس کانال است که سبب تقویت و همبسته شدن نویز دریافتی می‌گردد، در صورتی که برای آشکارساز MIMO فرض بر این است که نویز مستقل و نا همبسته است. بنابراین در این پایان‌نامه ابتدا با یک الگوریتم پیشنهادی که می‌توان آن‌را یک الگوریتم پس پردازشی دانست اثر تقویت و ناهمبسته شدن نویز راکمتر کردیم. این الگوریتم در حول بردار آشکارسازی شده توسط الگوریتم ZF و کاهش مشبکه جستجو را انجام داده و بردار بهتری که به جواب ML نزدیک‌تر است را پیدا می‌کند. در ادامه علاوه بر الگوریتم‌های زیر بهینه، الگوریتم‌های بهینه مثل کدگشای کروی و آشکارسازی هندسی مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از نتایج روش آشکارسازی هندسی پیچیدگی محاسباتی روش کدگشای کروی را که بر حسب متوسط تعداد گره‌های دیده شده توسط الگوریتم است پایین آورده‌شده است. در شبیه سازی‌های انجام شده نشان دادیم که الگوریتم پیشنهادی باعث کاهش قابل توجهی در متوسط تعداد گره‌های دیده شده توسط الگوریتم می‌شود. از زیر روش‌های کدگشای کروی، الگوریتم کدگشای کروی k-best است که به دلیل ویژگی‌های خاص خود برای پیاده سازی عملی مناسب است. ما نتایج آشکارسازی هندسی را به کدگشای کروی k-best نیز تعمیم دادیم و الگوریتمی برای کدگشای کروی k-best ارایه کردیم که پیچیدگی پایین‌تری نسبت به k-best معمولی دارد و در عین حال نرخ خطای یکسانی دارد. در آخر، اثر مرتب کردن ستون‌ها را نیز بر عملکرد آشکار سازی مورد بررسی قرار دادیم.

واژه‌های کلیدی : سیستم‌های چندورودی چندخروجی، بیشترین درستنمایی، آشکارساز خطی، الگوریتم زیربهینه، کاهش مشبکه، کدگشای کروی، آشکارساز هندسی، کدگشای کروی k-best

فهرست مندرجات

۱ مقدمه **۱**

۲ آشکارسازهای MIMO **۵**

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۱-۱ چندگانگی در سیستم MIMO ۵

۲-۱-۲ تسهیم فضایی ۷

۲-۲ فرمول‌بندی مسأله ۸

۲-۳ آشکارساز بهینه ۹

۲-۴ آشکارسازهای خطی ۱۰

۲-۴-۱ آشکارساز ZF ۱۱

۲-۴-۲ آشکارساز MMSE ۱۲

۲-۵ آشکارسازهای حذف تداخل پی‌درپی ۱۳

۲-۶ آشکارسازی به روش کاهش مشبکه ۱۸

۲-۶-۱ الگوریتم کاهشی مینکاوسکی ۲۲

۲-۶-۲ الگوریتم کاهش اندازه ۲۲

۲-۶-۳ الگوریتم کاهشی گوس ۲۳

۲-۶-۴ الگوریتم کاهشی LLL ۲۴

۳ الگوریتم‌های کدگشای کروی و آشکارسازی هندسی **۲۹**

۳-۱ الگوریتم کدگشای کروی (SD) ۲۹

۳-۱-۱ روش رمزگشایی کردن کره ۳۱

۳-۱-۲ پیش پردازش و مرتب سازی ۳۸

۳-۲ روش کدگشای کرویk-best ۴۰

۳-۳ آشکارسازی هندسی ۴۲

۴ الگوریتم‌های پیشنهادی ۵۳

۴-۱ بهبود آشکارسازهای خطی و آشکارسازهای مبتنی بر کاهش مشبکه ۵۳

۴-۱-۱ الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازهای خطی ۵۳

۴-۱-۲ الگوریتم پیشنهادی برای کاهش مشبکه ۵۹

۴-۲ کاهش محاسباتی روش کدگشای کروی ۶۳

۴-۳ مرتب‌سازی ستون‌ها در روش کدگشای کروی ۶۹

۴-۴ به‌کارگیری نتایج روش آشکارسازی هندسی در روش کدگشای کروی k-best ۷۱

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۷۵

مراجع ۷۸

لیست اشکال

(۲-۱) یک سیستم با چند آنتن فرستنده و یک آنتن گیرنده [۱۷] ۶
(۲-۲) روش انتخاب ترکیب [۱۷] ۷
(۲-۳) روش ترکیب با بیشترین نسبت [۱۷] ۷
(۲-۴) بلوک دیاگرام کلی یک سیستم MIMOبا تسهیم فضایی ۸
(۲-۵) بلوک دیاگرام کلی آشکارساز خطی برای یک سیستم MIMO ۱۰
(۲-۶) مقایسه بین دو آشکارساز خطی ZFو MMSE[۴۳] ۱۲
(۲-۷) مقایسه بین دو آشکارساز ZFو ZF-VBLAST ۱۴
(۲-۸) مقایسه بین دو آشکارساز VBLASTدر حالت مرتب شده و مرتب نشده [۱۷] ۱۶
(۲-۹) شبه کد الگوریتم ZF-QRDمرتب شده [۲۵] ۱۸
(۲-۱۰)بلوک دیاگرام کلی یک آشکارساز با استفاده از کاهش مشبکه [۱۵] ۱۹
(۲-۱۱)تغییر شکل مشبکه به دلیل ضرب در ماتریس T [۱۵] ۲۰
(۲-۱۲)مقایسه نرخ خطای سمبل مربوط به آشکارسازهای خطی با و بدون اعمال کاهش مشبکه ۲۶
(۲-۱۳)مقایسه نرخ خطای سمبل مربوط به آشکارسازهای خطی با اعمال کاهش مشبکه و اعمال الگوریتم حذف تداخل پی‌درپی ۲۶

(۳-۱) تعبیر هندسی مسأله کم‌ترین مربع خطا در حالت صحیح [۳۵] ۳۰
(۳-۲) مقایسه عملکرد دو آشکار ساز بر اساس حذف تداخل پی‌درپی (زیر بهینه) و آشکارساز بهینه [۳۵] ۳۰
(۳-۳) مقایسه جستجوی نقاط کل یک مشبکه و جستجوی نقاط داخل یک کره در حالت مشبکه دو بعدی [۴۲] ۳۱
(۳-۴) یک درخت برای سیستم MIMOبا ۴ آنتن ورودی و خروجی و مدولاسیون ۲ تایی [۵۰] ۳۳

(۳-۵) شکل یک درخت برای سیستم MIMOبا ۴ آنتن ورودی و خروجی و مدولاسیون ۲ تایی و $k = ۴$ در روش کدگشای کروی k-best [۵۰] ۴۲
(۳-۶) شکل سهموی متناظر با تابع تعریف شده در ۳-۲۳ برای یک سیستم MIMOبا $m = ۲$ ۴۴
(۳-۷) تصویر برش افقی سهموی تابع ۳-۲۳ بر روی فضای S1برای یک سیستم MIMOبا دو آنتن فرستنده و گیرنده و مدولاسیون 8-PAM. ۴۷
(۳-۸) شکل بیضی مثال ۱ در صفحه $S۱$ برای یک سیستم MIMOبا $m = ۲$ و مدولاسیون $PAM - ۸$ [۳۸] ۵۰
(۳-۹) تصویر فوق بیضی مثال ۲ بر فضای S1که معادل یک سیستم MIMOبا ۳ آنتن فرستنده و مدولاسیون 8-PAM[۳۸] ۵۰

(۴-۱) کانتورهای تابع چگالی احتمال بردار همسان‌سازی شده . در این شکل همچنین مرز تصمیم گیری MLو ZFبه ترتیب با نقطه چین و خط ممتد نشان داده شده است ۵۵
(۴-۲) بهبود نرخ خطای سمبل الگوریتم ZFبرای یک سیستم ۴×۴ MIMOکه برای حداکثر ۴ تکرار رسم شده است ۵۷
(۴-۳) بهبود نرخ خطای سمبل الگوریتم ZFبرای یک سیستم ۶×۶ MIMOکه برای حداکثر ۴ تکرار رسم شده است ۵۸
(۴-۴) بهبود نرخ خطای سمبل الگوریتم LRبرای یک سیستم ۴×۴ MIMOکه برای ۴ تکرار رسم شده است ۶۲
(۴-۵) بهبود نرخ خطای سمبل الگوریتم LRبرای یک سیستم ۶×۶ MIMOکه برای ۴ تکرار رسم شده است ۶۲
(۴-۶) نرخ خطای سمبل برای الگوریتم پیشنهادی ۱ برای یک سیستم ۴×۴MIMO ۶۶
(۴-۷) نرخ خطای سمبل برای الگوریتم پیشنهادی ۲ برای یک سیستم ۴×۴MIMO ۶۸
(۴-۸) نرخ خطای سمبل برای الگوریتم کدگشای کروی k-best برای یک سیستم ۴×۴MIMO ۷۳
(۴-۹) نرخ خطای سمبل برای الگوریتم کدگشای کروی k-best برای یک سیستم ۸×۸MIMO ۷۴

لیست جداول

(۲-۱) شبه کد الگوریتم ZFبه روش حذف تداخل پی‌درپی [۱۷] ۱۵

(۲-۲) شبه‌کد الگوریتم کاهش اندازه ۲۳

(۲-۳) شبه‌کد الگوریتم گوس ۲۴

(۲-۴) شبه‌کد الگوریتم کاهش LLL ۲۵

(۳-۱) مقایسه پیچیدگی دو روش آشکارسازی هندسی و جستجوی کامل ۵۱

(۴-۱) مقایسه پیچیدگی بر حسب متوسط تعداد گره‌های دیده شده متناظر یک سیستم MIMO۶ × ۶ برای الگوریتم ۱ . . . . . ۶۶

(۴-۲) مقایسه پیچیدگی بر حسب متوسط تعداد گره‌های دیده شده متناظر یک سیستم MIMO۶ × ۶ برای الگوریتم ۲ . . . . . ۶۷

(۴-۳) مقایسه پیچیدگی بر حسب متوسط تعداد گره‌های دیده شده برای یک سیستم MIMO۴ × ۴ با و بدون مرتب سازی ترتیب آشکارسازی ۷۱

(۴-۴) میانگین مقادیر k برای الگوریتم پیشنهادی در لایه‌های روش کدگشای کروی k-best برای سیستم MIMO۴ × ۴ و ۸ × ۸ . . . . . ۷۴

فصل ۱

مقدمه

با افزایش کاربردها و نیازها، تقاضا برای افزایش پهنای باند و همچنین نیاز به کیفیت بهتر ارتباط مخابراتی در سیستم‌های مخابرات بی سیم بالا می‌رود. نسل جدید مخابرات بی‌سیم همانند نسل‌های ۳ و ۴ بدین منظور پیشنهاد شدند[۱]. یکی از مهم‌ترین تکنیک‌هایی که در این سیستم‌ها استفاده می‌شود تکنیک چند ورودی چند خروجی[۲] (MIMO) است. در سیستم‌های MIMO بجای استفاده از یک آنتن گیرنده و یک آنتن فرستنده که در سیستم‌های تک ورودی تک خروجی[۳](SISO) کاربرد دارد از چندین آنتن فرستنده و گیرنده استفاده می‌کنند که بدین جهت به آن‌ها سیستم‌های چندآنتنه نیز اطلاق می‌گردد.

سیستم‌های MIMO قابلیت اطمینان داده[۴]همچنین استفاده بهینه از پهنای باند[۵] را افزایش می‌دهد[۱]،[۲]. این سیستم‌ها به دلیل استفاده از چند آنتن نرخ ارسال داده را نیز افزایش می‌دهند. افزایش نرخ داده توسط تسهیم فضایی[۶] [۳] و افزایش نرخ داده توسط کدهای مکان زمان[۷] انجام می‌گیرد [۴] . به دلیل این خاصیت‌های جذاب، توجه بسیار زیادی بر روی استفاده این سیستم‌ها هم در فرستنده و هم در گیرنده وجود دارد و تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است.

چند آنتنه بودن در یک گیرنده MIMO سبب پیچیدگی ساختار آن می‌شود. یکی از بلوک‌هایی که در گیرنده MIMO پیچیدگی زیادی دارد، بلوک آشکارساز MIMO است. آشکارساز بهینه

---

[1] Third and fourth generation
[2] Multiple-Input Multiple-Output
[3] Single-Input Single-Output
[4] Data reliability
[5] Band efficiency
[6] Spatial multiplexing
[7] Spac-time coding

برای این بلوک آشکارساز، آشکارساز حداکثر درستنمایی[1]ML است که با کمینه[2] کردن یک عبارت نرم اقلیدسی[3] بر روی مجموعه بردارهای ارسالی بدست می‌آید [۵] . سرراست‌ترین روش برای حل این مسأله بهینه‌سازی، جستجوی کامل است که با آزمایش کردن تمام اعضای مجموعه بردارهای ارسالی ممکن بدست می‌آید. توجه داریم که پیچیدگی این روش از درجه نمایی است که با افزایش تعداد آنتن‌ها به صورت نمایی با پایه اندازه مدولاسیون زیاد می‌شود [۶]. واضح است که این روش به دلیل پیچیدگی زیاد برای سیستم‌های عملی قابل پیاده‌سازی نیست. بنابراین باید به دنبال روش‌های دیگر که پیچیدگی کمتری دارند باشیم. معمولاً روش‌های با پیچیدگی کمتر که پیشنهاد شده‌اند دارای عملکردهای زیر بهینه[4] هستند و همیشه در طراحی این آشکارسازها یک بده بستان[5] بین عملکرد و پیچیدگی وجود دارد.

از یک منظر آشکارسازهای MIMO به دو نوع آشکارسازهای خطی و غیر خطی تقسیم بندی می‌شوند. آشکارسازهای خطی مثل Zero-Forcing (ZF) و Minimum Mean Square Error (MMSE) دارای ساختارهای ساده‌ای هستند؛ اما عملکرد آن‌ها بسیار کمتر از بهینه است. آشکارسازهای غیر خطی مثل آشکارسازهای بر اساس کاهش مشبکه[6] [۲۹] و آشکارسازهای حذف تداخل پی‌درپی[7] [۸] دارای ساختارهای پیچیده‌تری هستند؛ اما عملکرد آن‌ها مناسب‌تر و در پاره‌ای روش‌ها مانند کدگشای کروی[8] یا (SD) به عملکرد بهینه نیز می‌رسند [۹]. آشکار ساز SD به دلیل عملکرد بهینه توجه زیادی را به خود معطوف کرده است و نسخه‌های مختلفی از این الگوریتم که هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارند، ارائه شده است. الگوریتم SD در ابتدا توسط ریاضی‌دانان برای حل مسأله نزدیک‌ترین نقطه به یک بردار در یک مشبکه[9] ارائه شد. این مسأله معادل مسأله آشکارسازی ML در سیستم‌های MIMO است [۱۰] . در این آشکارساز جستجو در داخل یک کره محدود می‌شود. پس از آن فاست [10] و فینک[11] روشی را برای جستجوی نقاط داخل یک کره در روش SD پیشنهاد کردند [۱۱] . بعد از آن تا کنون تکنیک‌های مختلفی برای بهبود عملکرد الگوریتم و تعمیم آن برای کاربردهای خاص ارائه شده است.

یک دسته دیگر از روش‌های آشکارسازی MIMO با عنوان آشکارسازی هندسی[12] وجود دارند.

---

[1] Maximum likelihood
[2] Minimum
[3] Euclidean norm
[4] Sub-optimum
[5] Trade-off
[6] Lattice reduction aided detection (LR)
[7] Successive interfierence cancellation (SIC)
[8] Sphere decoding
[9] Lattice
[10] Phost
[11] Fincke
[12] Geometrical detection

این سری از آشکارسازها ابتدا توسط آرتس[1] معرفی شده که در آن با اعمال یک الگوریتم پس پردازشی[2] اقدام به بهبود عملکرد آشکارسازهای خطی می‌کند [۱۲]. پس از آن ساموئل[3] آن را به منظومه‌های [4] بزرگ‌تر تعمیم داد [۱۳]. در سال ۲۰۰۹ شائو[5] یک روش آشکارسازی هندسی را ارائه کرد که بر اساس شکل هندسی تابع هدف، آشکارسازی ML انجام می‌شود. در این آشکارساز جستجو در یک بیضوی[6] محدود می‌شود که سبب کاهش پیچیدگی نسبت به آشکارساز جستجوی کامل می‌شود.

همان‌طور که قبلاً نیز گفتیم آشکارسازهای خطی داری عملکرد پایین‌تری نسبت به ML هستند. برای بهبود عملکرد آن‌ها روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها را که به آن اشاره کردیم آشکارسازهای کاهش مشبکه هستند. در این آشکارساز سعی می‌شود با اعمال یک الگوریتم پیش‌پردازشی بر روی ماتریس کانال که با نام کاهش مشبکه مشهور است خروجی سیستم بهبود پیدا کند [۱۵]. الگوریتم‌های کاهشی مختلفی در منابع آمده است که از مشهورترین آن‌ها الگوریتم LLL[7] است [۱۶]. الگوریتم کاهشی مشهور دیگر الگوریتم کاهشی سیسن[8] است که عملکرد بهتری نسبت به LLL دارد؛ اما پیچیدگی آن بیشتر است. الگوریتم‌های بر اساس کاهش مشبکه برای کانال‌های با محوشدگی آرام[9] مناسب هستند زیرا عمل پیش‌پردازش بر روی ماتریس کانال انجام می‌شود که فقط در صورت تغییر کانال نیاز به محاسبه مجدد آن است. در این پایان‌نامه برای آشکارسازهای خطی و کاهش مشبکه یک الگوریتم پس‌پردازشی را ارایه می‌کنیم که سبب بهبود نرخ خطای بیت در این الگوریتم می‌گردد. سپس روشی اصلاحی را در الگوریتم کدگشای کروی ارائه خواهیم کرد که سبب کاهش پیچیدگی محاسباتی الگوریتم کدگشای کروی بدون از دست دادن نرخ خطای سمبل می‌گردد.

ساختار این پایان‌نامه به شرح زیر است:

در فصل دوم ابتدا مقدمه‌ای در مورد سیستم‌های MIMO آورده شده است. سپس مسأله آشکارسازی در سیستم‌های MIMO بیان شده و در ادامه ساختار آشکارسازهای خطی و دو نوع آشکارساز غیر خطی، مرور شده است. در فصل سوم روش آشکارساز مشهور کدگشای کروی مرور شده است و در ادامه آشکارساز هندسی بررسی گردیده است. در فصل چهارم الگوریتم‌های پیشنهادی آورده شده است. در این فصل ابتدا با استفاده از نتایج فصل دوم الگوریتمی هم برای

[1] Artés
[2] Post processing
[3] Samuel
[4] constellation
[5] Shao
[6] Hyper-ellipsoid
[7] Lenstra, Lenstra Lovás
[8] Seysen
[9] Slow fading

روش ZF و هم روش کاهش مشبکه ارایه شده است که سبب بهبود نرخ خطای سمبول این دو آشکارساز می‌گردد. در ادامه این فصل با استفاده از نتایج فصل سوم روشی برای کاهش پیچیدگی الگوریتم کدگشای کروی ارایه شده و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. در آخر، در فصل پنجم نتایج بدست آمده در پایان‌نامه مرور شده و چند پیشنهاد نیز در آخر فصل ارایه شده است.

فصل ۲

آشکارسازهای MIMO

۲-۱ مقدمه

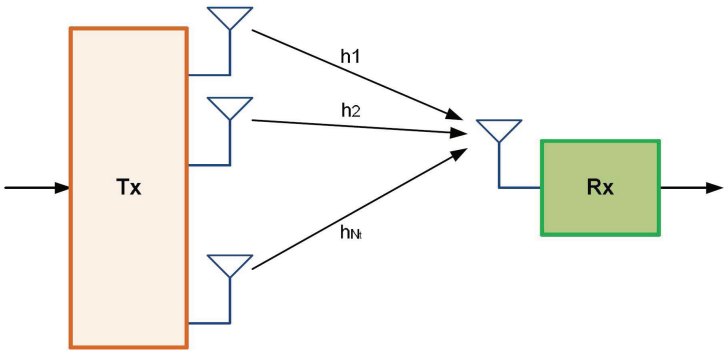
همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد سیستم‌های MIMO هم استفاده بهتر از باند فرکانسی و هم قابلیت اعتماد سیستم را بدون نیاز به پهنای باند اضافی بالا می‌برد. در سیستم‌های SISO، ظرفیت سیستم می‌تواند با اختصاص پهنای باند بیشتر بالا رود، اما به دلیل محدودیت طیف فرکانسی، این کار قابل انجام نیست. تحقیقات اخیر نشان داده است که تسهیم فضایی می‌تواند ظرفیت سیستم را بدون نیاز به پهنای باند اضافی افزایش دهد. بنابراین بجای اینکه در هر لحظه یک سمبل از یک آنتن فرستاده شود m سمبل از m آنتن فرستنده در یک زمان معین و در یک فرکانس فرستاده می‌شود. بنابراین ظرفیت سیستم به نسبت m بالا می‌رود. به صورت کلی دو تکنیک در سیستم‌های MIMO بکار می‌رود، چندگانگی[1] و تسهیم فضایی. تکنیک چندگانگی مقدار سیگنال به نویز را بیشتر می‌کند که قابلیت اعتماد سیستم را بالا می‌برد و روش‌های تسهیم فضایی ظرفیت کانال را بدون نیاز به پهنای باند اضافی بالا می‌برد. در این پایان‌نامه ما توجه خود را بر روی تسهیم فضایی و روش‌های آشکارسازی آن به دلیل افزایش روز افزون نیاز به سرعت انتقال داده در سیستم‌های جدید مخابراتی مثل مخابرات نسل ۴، معطوف می‌کنیم.

۲-۱-۱ چندگانگی در سیستم MIMO

چندگانگی در سیستم‌های MIMO این است که در مخابره داده بجای ارسال و دریافت داده توسط یک آنتن، داده از چند آنتن فرستاده شود یا از چند آنتن گرفته شود. داده اگر از چند

[1] Diversity

آنتن ارسال شود به آن چندگانگی ارسال[1] و اگر از چند آنتن در گیرنده سیگنال دریافت شود به آن چندگانگی دریافت[2] گویند. کلاً این روش باعث می‌شود که نسبت سیگنال به نویز[3] (SNR) بالا رفته و در نتیجه خطای کلی سیستم پایین بیاید که به معنای افزایش قابلیت اعتماد سیستم است[۱]. در روش چندگانگی ارسال چون یک سمبل از چندین آنتن ارسال می‌شود اگر احیاناً سمبل یکی از آنتن‌ها محو شود با استفاده از سمبل آنتن‌های دیگر می‌توان عمل دریافت آن سمبل را انجام داد و بنابراین قابلیت اعتماد سیستم بالا می‌رود. یک مثال مشهور از چندگانگی



شکل (۲-۱): یک سیستم با چند آنتن فرستنده و یک آنتن گیرنده [۱۷]

کد الموتی[4] [۴] و کدهای عمود بر هم معرفی شده توسط تارخ است [۱۸]. در شکل (۲-۱) یک سیستم با N_t آنتن فرستنده و یک آنتن گیرنده نشان داده شده است. چندگانگی دریافت، دریافت یک سمبل توسط چند آنتن در یک زمان است. این امر در صورتی میسر است که سیگنال‌های دریافتی مستقل از یکدیگر باشند. در این صورت احتمال اینکه سمبل ارسالی در هر چند آنتن محو شود کمتر می‌گردد. برای استفاده از این روش لازم است که ما سیگنال‌های مستقل گرفته شده را به صورت مناسب با هم تلفیق کنیم. چندین روش تلفیق مختلف وجود دارد که به عنوان مثال می‌توان به روش‌های ترکیب انتخاب[5] و ترکیب با بیشترین نسبت[6] را نام برد. در روش اول که روش ساده‌ای است، SNR دریافتی توسط هر آنتن تخمین زده شده و سیگنال آنتن با بزرگترین SNR انتخاب می‌گردد و سیگنال مربوط به آن برای آشکارسازی پردازش می‌شود. شکل این روش در (۲-۲) نشان داده شده است. در روش دوم سیگنال دریافتی از همه آنتن‌ها را با هم ترکیب می‌کنیم تا SNR را بیشینه[7] کنیم [۱۹]. این کار به‌وسیله ضرب کردن خروجی هر آنتن در یک ضریب مختلط و جمع کل آن‌ها به منظور افزایش SNR انجام می‌شود. این روش در شکل

[1] Transmit diversity
[2] Received diversity
[3] Signal to noise ratio
[4] Alamouti
[5] Selection combination
[6] Maximal ratio combination
[7] Maximum