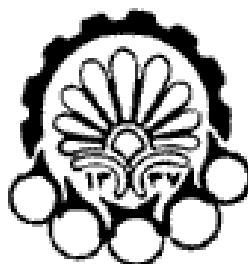


باسمه تعالی



دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مخابرات سیستم

مدولاسیون و فقی در سیستم های MIMO در شبکه های بدون

سیم IP

نگارش:

آزاده جعفری

استاد راهنما:

دکتر عباس محمدی

بهمن ۱۳۸۵

تقديم به همسر عزيزم

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم،
که دلگرمی های صمیمانه شان
همواره پشتوانه من بوده است.

سپاسگذاری

این پروژه با پشتیبانی مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران (ITRC) انجام گردیده است.

همچنین لازم می دانم از استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر محمدی، برای راهنمایی ها و کمک های موثر علمی

شان تشکر کنم.

چکیده

سیستمی که تکنیک مدولاسیون وفقی و فناوری MIMO را با هم ترکیب کند، قادر به ارسال داده با نرخ بالا و بازده طیف بهینه می باشد. بعلاوه، طراحی بین لایه ای مدولاسیون وفقی در سیستم های MIMO، یک مسئله مطرح در شبکه های بدون سیم مدرن می باشد. در این پایان نامه، دو الگوریتم بین لایه ای برای مدولاسیون وفقی در سیستم های MIMO پیشنهاد می شود. در الگوریتم اول مدولاسیون وفقی در لایه فیزیکی با پروتکل ARQ در لایه data-link به گونه ای ترکیب می شود تا متوسط بازده طیف سیستم ماکزیمم شود. در این الگوریتم ماکزیمم تعداد ارسال دوباره در هر زیرکانال نیز تعیین می شود. در الگوریتم دوم، اثر صف محدود و افتادن packet ها در لایه data-link به همراه مدولاسیون وفقی در لایه فیزیکی در نظر گرفته می شود و متوسط احتمال خطای packet در کانال به گونه ای تعیین می شود تا خروجی سیستم ماکزیمم و نرخ از دست رفتن packet ها می نیمم شود. در طراحی هر دو الگوریتم، کانال MIMO به تعدادی کانال مستقل و غیر تداخلی SISO تبدیل می شود، سپس تابع چگالی احتمال نسبت سیگنال به نویز (SNR)، در این زیرکانال ها محاسبه شده و تقریب زده می شود. در نهایت با نتایج عددی دقت و کارایی این دو روش مورد بحث قرار می گیرد.

کلمات کلیدی: مدولاسیون وفقی، طراحی بین لایه ای، سیستم های MIMO، پروتکل ARQ.

فهرست

- ۱- مقدمه ۱
- ۱-۱- معرفی مسئله ۱
- ۲-۱- مروری بر فعالیتهای تحقیقاتی ۴
- ۳-۱- هدف پروژه ۵
- ۴-۱- نظم پایان نامه ۶
- ۲- مدولاسیون وفقی ۸
- ۱-۲- مدل سیستم وفقی ۹
- ۲-۲- پارامترهای مختلف وفقی ۱۱
- ۱-۲-۲- تکنیک های وفقی با نرخ متغیر ۱۱
- ۲-۲-۲- تکنیک های وفقی با توان متغیر ۱۲
- ۳-۲-۲- تکنیک های وفقی با احتمال خطای متغیر ۱۶
- ۴-۲-۲- تکنیک های وفقی با کدینگ متغیر ۱۶
- ۳-۲- الگوریتم های مختلف مدولاسیون وفقی ۱۷
- ۱-۳-۲- نرخ پیوسته با محدودیت متوسط BER ۱۹
- ۲-۳-۲- نرخ پیوسته با محدودیت BER لحظه ای ۲۰
- ۳-۳-۲- نرخ گسسته با محدودیت متوسط BER ۲۲
- ۴-۳-۲- نرخ گسسته و محدودیت BER لحظه ای ۲۳

- ۲۴..... ۲-۳-۵- توان ارسالی ثابت با محدودیت BER لحظه ای
- ۲۶..... ۲-۳-۶- بررسی نتایج عددی
- ۳۰..... ۲-۴- جمع بندی
- ۳۱..... ۳- سیستم های MIMO
- ۳۳..... ۳-۱- مدل سیستم MIMO
- ۳۴..... ۳-۲- تجزیه کانال MIMO به کانال های SISO
- ۳۶..... ۳-۳- ظرفیت کانال های MIMO
- ۳۶..... ۳-۳-۱- ظرفیت کانال های MIMO استاتیک
- ۳۸..... ۳-۳-۱-۱- کانال ناشناخته برای فرستنده
- ۳۸..... ۳-۳-۱-۲- کانال شناخته شده برای فرستنده
- ۳۹..... ۳-۳-۲- ظرفیت ارگادیک کانال MIMO متغیر با زمان
- ۴۲..... ۳-۴- توزیع مقادیر ویژه ماتریس HH^H
- ۴۲..... ۳-۴-۱- استفاده از تابع توزیع مشترک مقادیر ویژه منظم
- ۴۵..... ۳-۴-۲- استفاده از تابع توزیع مشترک مقادیر ویژه نامنظم
- ۴۶..... ۳-۵- جمع بندی
- ۴۷..... ۴- مدولاسیون و فقی در سیستم های MIMO
- ۴۹..... ۴-۱- تکنیک های اصلی مدولاسیون و فقی در کانال های MIMO
- ۵۰..... ۴-۱-۱- ماکزیمم کردن بازده طیف در یک BER مشخص
- ۵۳..... ۴-۱-۲- مینیمم کردن BER کل در یک بازده طیف مشخص
- ۵۵..... ۴-۲- یک الگوریتم و فقی برای سیستم های MIMO
- ۵۷..... ۴-۲-۱- تخصیص نرخ ارسال و نرخ توان (VRVP)
- ۶۰..... ۴-۲-۲- تخصیص نرخ ارسال با توان ثابت (VR)

- ۶۱..... ۳-۲-۴- نتایج عددی
- ۶۴..... ۳-۴- الگوریتم وفقی پیشنهادی برای سیستم های MIMO
- ۶۶..... ۱-۳-۴- مدل سیستم
- ۶۷..... ۲-۳-۴- محاسبه و تقریب PER
- ۷۱..... ۳-۳-۴- مدولاسیون وفقی پیشنهادی
- ۷۳..... ۴-۳-۴- نتایج عددی
- ۷۶..... ۴-۴- جمع بندی
- ۷۸..... ۵- طراحی بین لایه ای مدولاسیون وفقی در سیستم MIMO
- ۷۹..... ۱-۵- مدولاسیون وفقی ترکیب شده با ARQ
- ۸۰..... ۱-۱-۵- مدل سیستم
- ۸۲..... ۲-۱-۵- مدولاسیون وفقی به همراه ARQ
- ۸۴..... ۳-۱-۵- آنالیز کارایی سیستم وفقی به همراه ARQ
- ۸۵..... ۴-۱-۵- نتایج شبیه سازی
- ۹۳..... ۲-۵- مدولاسیون وفقی با صف محدود
- ۹۴..... ۱-۲-۵- مدل سیستم
- ۹۵..... ۲-۲-۵- مدولاسیون وفقی و کارایی سیستم
- ۹۷..... ۳-۲-۵- مدل FSMC برای کانال MIMO
- ۱۰۲..... ۴-۲-۵- آنالیز صف
- ۱۰۲..... ۱-۴-۲-۵- فرآیند ورود به صف
- ۱۰۲..... ۲-۴-۲-۵- فرآیند سرویس دهی صف
- ۱۰۳..... ۳-۴-۲-۵- تحلیل حالت صف
- ۱۰۶..... ۵-۲-۵- محاسبه احتمال packet dropping و کارایی سیستم

- ۱۰۷..... (ASE) محاسبه متوسط بازده طیف
- ۱۰۹..... طراحی بین لایه ای
- ۱۱۱..... نتایج عددی
- ۱۱۷..... جمع بندی
- ۱۱۸..... نتیجه گیری
- ۱۱۸..... جمع بندی
- ۱۲۰..... پیشنهاد هایی برای گسترش کار
- ۱۲۱..... پیوست
- ۱۳۱..... مراجع

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲- مدل سیستم مخابراتی با مدولاسیون افقی ۱۰
- شکل ۲-۲- تخصیص توان اپتیمم: water-filling ۱۵
- شکل ۳-۲- بازده طیف برای MQAM افقی (تخصیص نرخ و توان با هم) ۲۷
- شکل ۴-۲- تخصیص اپتیمم توان ($S(\gamma)/\bar{S}$) برای MQAM افقی ($\bar{\gamma} = 30, \overline{BER} = 10^{-3}$) ۲۸
- شکل ۵-۲: $BER(\gamma)$ برای MQAM افقی ($\bar{\gamma} = 30, \overline{BER} = 10^{-3}$) ۲۸
- شکل ۶-۲- نرخ اپتیمم ($R(\gamma)$) برای MQAM افقی ($\bar{\gamma} = 30, \overline{BER} = 10^{-3}$) ۲۹
- شکل ۷-۲- بازده طیف برای MQAM افقی با توان ارسالی ثابت و $BER = 10^{-3}$ ۳۰
- شکل ۱-۳: سیستم MIMO با چندین آنتن در فرستنده و گیرنده ۳۲
- شکل ۲-۳- spatial multiplexing در سیستم های MIMO ۳۲
- شکل ۳-۳- تجزیه به مقادیر تکین (SVD) ۳۵
- شکل ۴-۳- ظرفیت ارگادیک برای کانال MIMO با تعداد مختلف آنتن در گیرنده و فرستنده و عدم وجود CSI در فرستنده ۴۰

شکل ۳-۵- ظرفیت ارگادیک برای کانال MIMO ، (4,4)، با وجود CSI در فرستنده و عدم وجود CSI در فرستنده (تفاوت در ظرفیت ارگادیک با افزایش SNR کم می شود) ۴۱.....

شکل ۴-۱- قانون کنترل توان در (۴-۱۶) بعنوان تابعی از گین کانال، مقدار ماکزیمم تابع در $x = be$ اتفاق می افتد و برابر با $(be)^{-1}$ می باشد ۵۵.....

شکل ۴-۲- ASE برای مدولاسیون وقتی MQAM ، VR و VRVP، در سیستم (2,2) MIMO ۶۲.....

شکل ۴-۳- ASE برای مدولاسیون وقتی MQAM ، VR و VRVP، در سیستم (4,2) MIMO ۶۳.....

شکل ۴-۴- ASE برای مدولاسیون وقتی MQAM ، VR و VRVP، در سیستم (4,4) MIMO ۶۳.....

شکل ۴-۵- ASE برای مدولاسیون وقتی MQAM ، VR و VRVP، در سیستم (8,4) MIMO ۶۴.....

شکل ۴-۶- مدل سیستم MIMO با مدولاسیون وقتی ۶۶.....

شکل ۴-۷- PER در برای مود های مختلف مدولاسیون TM1 ۷۰.....

شکل ۴-۸- PER در برای مود های مختلف مدولاسیون TM2 ۷۱.....

شکل ۴-۹- متوسط بازده طیف برای سیستم (2,2) MIMO ۷۴.....

شکل ۴-۱۰- متوسط بازده طیف برای سیستم (3,2) MIMO ۷۵.....

شکل ۴-۱۱- متوسط بازده طیف برای سیستم (3,3) MIMO ۷۵.....

شکل ۴-۱۲- متوسط بازده طیف برای سیستم MIMO (4,4)..... ۷۶

شکل ۵-۱- مدل سیستم MIMO با مدولاسیون وقتی و ARQ..... ۸۰

شکل ۵-۲: ساختار فریم و packet..... ۸۱

شکل ۵-۳- متوسط بازده طیف (ASE) برای سیستم MIMO (2,2) با مدولاسیون
TM1..... ۸۶

شکل ۵-۴- متوسط بازده طیف (ASE) برای سیستم MIMO (2,2) با مدولاسیون
TM2..... ۸۶

شکل ۵-۵- ASE در ترکیبات مختلف Rt_1 و Rt_2 ($RT_{MIMO} = (Rt_1, Rt_2)$) برای SNR
های مختلف در سیستم MIMO (2,2) با مدولاسیون TM1..... ۸۸

شکل ۵-۶- متوسط بازده طیف (ASE) برای سیستم MIMO (4,2) با مدولاسیون
TM1..... ۸۹

شکل ۵-۷: ASE در ترکیبات مختلف Rt_1 و Rt_2 ($RT_{MIMO} = (Rt_1, Rt_2)$) برای SNR
های مختلف در سیستم MIMO (4,2) با مدولاسیون TM1..... ۹۰

شکل ۵-۸- متوسط بازده طیف (ASE) برای سیستم MIMO (3,3) با مدولاسیون
TM1..... ۹۱

شکل ۵-۹- ASE در ترکیبات مختلف Rt_1 و Rt_2 و Rt_3 ($RT_{MIMO} = (Rt_1, Rt_2, Rt_3)$)
برای SNR های مختلف در سیستم MIMO (3,3) با مدولاسیون TM1..... ۹۲

شکل ۵-۱۰- مدل FSMC کانال SISO (یک زیر کانال)..... ۹۸

شکل ۵-۱۱: حالت‌های کانال MIMO بر اساس حالت‌های زیر کانال ها (state1 حالت
زیر کانال اول و state2 حالت زیر کانال دوم را نمایش می دهد)..... ۱۰۱

شکل ۵-۱۲- عبور از حالت ۲ به ۳ در کانال MIMO..... ۱۰۱

شکل ۵-۱۳- حالت صف در زمانهای مختلف ۱۰۴

شکل ۵-۱۴- ساختار و عملکرد مدولاتور وفقی MQAM با طراحی بین لایه ای ۱۱۰

شکل ۵-۱۵: نمودار P_d بر حسب P_0 برای گروه اول $((2,2), (3,2), (3,3))$ ۱۱۲

شکل ۵-۱۶: نمودار P_d بر حسب P_0 برای گروه اول $((4,3), (4,4))$ ۱۱۳

شکل ۵-۱۷: نمودار ξ بر حسب P_0 برای گروه اول $((2,2), (3,2), (3,3))$ ۱۱۳

شکل ۵-۱۸: نمودار ξ بر حسب P_0 برای گروه اول $((4,3), (4,4))$ ۱۱۴

شکل ۵-۱۹: نمودار ASE بر حسب SNR برای گروه اول ۱۱۴

شکل ۵-۲۰: نمودار P_d بر حسب P_0 برای گروه دوم ۱۱۵

شکل ۵-۲۱: نمودار ξ بر حسب P_0 برای گروه دوم ۱۱۶

شکل ۵-۲۲: نمودار ASE بر حسب SNR برای گروه دوم ۱۱۶

شکل پ-۱: نتایج حاصل از صف بندی، محور افقی \hat{r}_b را نشان می دهد و محور عمودی

نمایانگر اندازه صف می باشد ۱۲۹

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- معرفی مسئله

افزایش درخواست برای سرویسهای مختلف بدون سیم (صوت، دیتا و multimedia) نیاز به شبکه هایی با سرعت، ظرفیت و کیفیت بالاتر را آشکار می کند. بعلاوه سیستم های ارتباطی مختلف از جمله ماهواره ها با نرخ بیت^۱ کم و پوشش جهانی، شبکه های سلولی، شبکه های محلی و شخصی با نرخ بیت بالا و رنج کم، همگی سهم خود را از طیف فرکانسی محدود می خواهند. بنابراین تکنولوژی های جدید برای بهبود بازده طیف^۲ سیستم های بدون سیم به خصوص در کاربردهای باند پهن^۳ مورد نیاز هستند. از جمله این تکنیکها می توان از آنتن های

^۱ bit rate

^۲ spectral efficiency

^۳ broadband

هوشمند^۴، و به طور خاص تکنولوژی MIMO^۵، مدولاسیون کد شده با چند کاریر^۶، مدولاسیون وفقی و کدینگ نام برد. با ترکیب هوشمندانه این فناوری ها می توان سیستمی با بازده طیف بسیار بهتر و سرعت بالاتر داشت.

ایده اساسی در مدولاسیون وفقی تخمین کانال در گیرنده و فیدبک این تخمین به فرستنده می باشد، بنابراین فرستنده قادر است، شیوه ارسال خود را با تغییرات کانال فیدینگ تطبیق دهد. به بیان دیگر پارامترهای ارسال باید به گونه ای با تغییرات کانال وفق داده شوند، که کیفیت ارسال بهبود یابد. این پارامترها شامل درجه مدولاسیون و کدینگ، توان ارسال، فاکتورهای پراکندگی^۷، عرض باند سیگنالینگ و ... می شوند. سیستم های غیر وفقی برای بدترین حالت کانال طراحی شده اند که در کانال های فیدینگ باعث ارسال غیر بهینه با بازده کم می شود. مثلاً فیدینگ رایلی می تواند باعث کاهش توان سیگنال تا ۳۰ dB شود، بنابراین طراحی برای بدترین وضعیت کانال، باعث استفاده بسیار غیربهینه از این کانال می شود. تطبیق ارسال با فیدینگ کانال موجب افزایش خروجی متوسط^۸، کاهش توان ارسال مورد نیاز و کاهش احتمال خطای بیت، BER^۹، می شود. به این ترتیب که در وضعیت خوب کانال ارسال با سرعت بالا و توان کم صورت می گیرد و وقتی شرایط کانال تضعیف می شود، سرعت اطلاعات کم و توان ارسال زیاد می شود.

از سوی دیگر، به تازگی نشان داده شده است که استفاده از چندین آنتن در فرستنده و گیرنده (MIMO)، قادر به افزایشی قابل توجه در ظرفیت و بازده طیف در فیدینگ چند مسیره می باشد. ظرفیت کانال MIMO گوسی اولین بار توسط Fochini [1] و Telatar [2] بررسی شده است. مطالعات گسترده و فراوانی به جنبه های مختلف سیستم های MIMO در سالهای اخیر

⁴ Smart antennas

⁵ Multiple-Input Multiple-Output

⁶ coded multicarrier modulation

⁷ spreading factors

⁸ average throughput

⁹ Bit Error Rate

اختصاص یافته است. تفاوت اصلی بین یک سیستم بدون سیم¹⁰ SISO و یک سیستم MIMO با n_t آنتن فرستنده و n_r آنتن گیرنده، عمل تناظر از یک دنباله سمبل های دیتا به n_t دنباله از سمبل های دیتا در فرستنده و عمل عکس متناظر با آن در گیرنده می باشد. مسئله اصلی در سیستم های MIMO این است که این بلوک ها چگونه باید طراحی شوند، تا کارایی سیستم را بهینه کنند. این بهبود کارایی شامل افزایش نرخ بیت، افزایش امنیت¹¹ ارسال، و کاهش پیچیدگی سیستم می شود.

سیستمی که از هر دو تکنولوژی MIMO و مدولاسیون و فقی استفاده کند، می تواند بازده طیف بسیار خوب و ارسال اطلاعات با سرعت بالا داشته باشد. در این حالت فرستنده و گیرنده باید ساختار و فقی داشته باشند.

یک فاکتور مهم در طراحی سیستم های MIMO و فقی، شناخته شدن کانال توسط گیرنده و فرستنده می باشد. اگر کانال لحظه ای برای فرستنده و گیرنده شناخته شده باشد، می گوییم اطلاعات حالت کانال، CSI¹²، در آنها فراهم است. در این حالت احتیاج به تخمین دقیق کانال در گیرنده و فیدبک کامل آن به فرستنده داریم.

در این پروژه ابتدا یک مدولاسیون و فقی برمبنای PER¹³ برای کانال های MIMO معرفی می شود. به بیان دیگر این مدولاسیون و فقی به گونه ای طراحی می شود که در یک متوسط PER مشخص، متوسط بازده طیف (ASE^{14}) ماکزیمم شود.

بیشتر کارهایی که تاکنون در زمینه مدولاسیون و فقی انجام گرفته، فقط مربوط به لایه فیزیکی¹⁵ می باشد و لایه های بالاتر در نظر گرفته نشده اند. در این پروژه دو طراحی بین لایه

¹⁰ Single-Input Single-Output

¹¹ reliability

¹² Channel State Information

¹³ Packet Error Rate

¹⁴ Average Spectral Efficiency

¹⁵ Physical layer

ای^{۱۶} نیز برای مدولاسیون وفقی در سیستم های MIMO معرفی می شود. در الگوریتم اول، سیستمی وفقی با ARQ^{۱۷} در لایه data-link طراحی می شود و در الگوریتم دوم، اثر صف محدود^{۱۸} و overflow در لایه data-link، به همراه مدولاسیون وفقی در لایه فیزیکی در نظر گرفته می شود. ترافیک مورد بررسی در این دو الگوریتم بر مبنای packet می باشد و حالت های خاصی از ترافیک IP برای آن در نظر گرفته شده است. بعلاوه الگوریتم دوم، مدولاسیون وفقی با صف محدود، برای ترافیک IP با مدل دقیق تر نیز طراحی شده است.

۱-۲- مروری بر فعالیت های تحقیقاتی

مدولاسیون وفقی برای اولین بار در انتهای دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰ بررسی شد [3,4]. در [3] یک طرح تطبیق توان پیشنهاد شد، که موجب افزایش توان ارسالی، افزایش تداخل، و محدودیت هایی روی خطی بودن تقویت کننده های فرستنده و گیرنده می شد. در [4] یک طرح برای تنظیم نرخ دیتای یک سیستم مخابراتی پیشنهاد شد. اما علاقه به سیستم های وفقی بدلیل محدودیت های سخت افزاری، تکنیک های ضعیف تخمین کانال در گیرنده و فیدبک ضعیف بین فرستنده و گیرنده، عمر کمی داشت.

با پیشرفت تکنولوژی که منجر به برطرف شدن این نقایص شد، روش های جدید مدولاسیون وفقی برای سیستم های بدون سیم پیشنهاد شد. همانطور که در بخش قبل اشاره کردیم هدف اصلی از مدولاسیون وفقی، ارسال اطلاعات با ASE نزدیک به ظرفیت کانال با BER قابل قبول می باشد. ظرفیت کانال یا به بیان دیگر ماکزیمم ASE در یک سیستم مخابراتی، با داشتن CSI کامل در [5] بررسی شده است. از آن پس مقالات و تحقیقات فراوانی در زمینه

¹⁶ Cross layer design

¹⁷ Automatic Repeat Request

¹⁸ Finite-queue

مدولاسیون وفقی در سیستم های SISO، انجام شد [6, 7, 8]. طراحی مدولاسیون وفقی با پارامترهای ترافیکی و استفاده از مفاهیم عرض باند موثر در [9,10] پیشنهاد شده است.

امروزه طراحی بین لایه ای موضوع مطرحی، برای تحقیق و بررسی است. پیدا کردن روش هایی که اثر لایه های مختلف را با هم در نظر بگیرد و الگوریتمی ایتیمم ارائه دهد، از مسائل مورد علاقه محققین می باشد. طراحی بین لایه برای مدولاسیون وفقی در سیستم های SISO، که اثر لایه های data-link و MAC¹⁹ را در نظر می گیرد، در [11,12,13] بررسی شده است.

از جمله موضوعات دیگری که امروزه بسیار مورد توجه محققین است، سیستم های MIMO می باشد. اولین کارها در زمینه MIMO که خبر از افزایش بسیار قابل توجهی در بازده طیف سیستم های چندین آنتنی می داد، در [1,2] و همچنین [14,15] مطرح شده اند. تکنیک های MIMO بسیار گسترده اند و حجم وسیعی از تحقیقات دهه اخیر به آن اختصاص یافته است. ما در اینجا فقط مقالاتی را مطرح می کنیم که به پیشبرد این پروژه کمک کرده اند [16] و [17, 18, 19].

سیستمی که هر دو تکنیک بالا، یعنی مدولاسیون وفقی و MIMO، را با هم ترکیب کند، بسیار مورد توجه می باشد. مدولاسیون وفقی در سیستم های MIMO در مقالات متعددی بررسی شده است، که می توانیم از [20, 21, 22, 23] نام ببریم. طراحی بین لایه ای در سیستم های MIMO هنوز مبحث بسیار جدیدی است و جنبه های مختلفی برای کار دارد، در [24] و [25] دو طراحی بین لایه ای برای MIMO پیشنهاد شده است.

۱-۳- هدف پروژه

همانطور که گفته شد، اکثر کارهایی که در زمینه مدولاسیون وفقی در سیستم های

¹⁹ Medium Access Control

MIMO انجام شده اند، فقط لایه فیزیکی را در نظر داشته اند و اثر لایه های بالاتر را در نظر نگرفته اند. لایه های بالاتر در کارایی سیستم بسیار تاثیر دارند و صرفنظر از آنها در طراحی الگوریتم های افقی باعث افت کارایی سیستم می شود. در این پروژه ما دو الگوریتم بین لایه ای برای سیستم های MIMO پیشنهاد می دهیم، که اثر ARQ و صف محدود در لایه data-link را در نظر می گیرند. بدین ترتیب می توانیم سیستمی بهینه طراحی کنیم.

برای رسیدن به الگوریتم بین لایه ای ما کانال MIMO را به زیر کانال های SISO تجزیه می کنیم و سپس تابع چگالی احتمال SNR^{20} را در این زیر کانال ها بدست آورده و آن را تقریب می زنیم. این تقریب باعث می شود، طراحی مدولاسیون افقی در سیستم های MIMO تا حد خوبی ساده شود.

بعلاوه، در الگوریتم افقی دوم که یک طراحی بین لایه ای برای مدولاسیون افقی با صف محدود می باشد، یک مدل FSMC برای کانال MIMO پیشنهاد می دهیم که در محاسبات صف بسیار کارا است.

ما با شبیه سازی و نتایج عددی خود نشان می دهیم، که این سیستم های افقی با الگوریتم بین لایه ای بازده ای بهتر نسبت به سیستم های سنتی دارند.

۱-۴- نظم پایان نامه

ابتدا در فصل دوم روش های کلی مدولاسیون افقی برای سیستم های SISO را بیان می کنیم. سپس در فصل سوم، سیستم های MIMO و خصوصیات کلی آنها را بیان می کنیم و ظرفیت آنها را بدست می آوریم. همچنین روش تجزیه به مقادیر تکین (SVD^{21}) را برای کانال

²⁰ Signal-to-Noise Ratio

²¹ Singular Value Decomposition

MIMO توضیح داده و تابع چگالی احتمال این مقادیر تکین را بدست آورده و آنها را با تابع گاما تقریب می‌زنیم.

فصل چهارم روش‌های اصلی مدولاسیون و فقی در کانال‌های MIMO را بررسی می‌کند و نتایج تحقیقات قبلی بیان می‌شود. سپس یک الگوریتم و فقی برای MIMO بر مبنای PER پیشنهاد می‌دهیم و نتایج آن را با نتایج قبلی مقایسه می‌کنیم.

در فصل پنجم، دو الگوریتم و فقی با طراحی بین لایه‌ای برای کانال‌های MIMO مطرح می‌کنیم. همچنین در این فصل مدل مناسبی برای مدل کردن ترافیک IP ارائه می‌دهیم. در ادامه الگوریتم بین لایه‌ای دوم را برای این مدل ترافیک IP نیز بررسی می‌کنیم و نتایج را با هم مقایسه می‌کنیم.

در نهایت در فصل پایانی پیشنهادهایی برای گسترش کار و تعمیم الگوریتم‌های و فقی بین لایه‌ای ارائه می‌دهیم. انتهای این فصل به جمع بندی و نتیجه گیری اختصاص خواهد داشت.