دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته
مهندسی مخابرات، گرایش سیستم

عنوان:

بررسی اثر تخمین کانال بر ظرفیت کاربری کانال‌های چندکاربره

استاد راهنما:

دکتر هنگامه کشاورز

استاد مشاور:

دکتر حمیدرضا امین‌داور

تحقیق و نگارش:

علی اسلامی

(این پایان‌نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره‌منده شده است)

مهر ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان بررسی اثر تخمین کانال بر ظرفیت کاربری کانال‌های چندکاربره قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات گرایش سیستم توسط دانشجو علی اسلامی با راهنمایی استاد پایان نامه سرکار خانم دکتر هنگامه کشاورز تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

علی اسلامی

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر هنگامه کشاورز		
استاد مشاور:	دکتر حمیدرضا امین‌داور		
داور ۱:	دکتر مهری مهرجو		
داور ۲:	دکتر فرحناز مهنا		

نماینده تحصیلات تکمیلی:

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب علی اسلامی تعهد می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.
کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: علی اسلامی
امضاء

تقدیم به همه آنهایی که

می خواهند بیشتر بدانند

خدایا...[1]

به من زیستنی عطا کن که در لحظه مرگ، بر بی‌ثمری لحظه‌ای که برای زیستن گذشته است، حسرت نخورم و مُردنی عطا کن که بر بیهودگیش، سوگوار نباشم. بگذار تا آن را، خود انتخاب کنم، اما آنچنان که تو دوست می‌داری.

تو می‌دانی و همه می‌دانند که شکنجه دیدن بخاطر تو، زندانی کشیدن بخاطر تو و رنج بردن به پای تو تنها لذت بزرگ زندگی من است، از شادی توست که من در دل می‌خندم، از امید رهایی توست که برق امید در چشمان خسته‌ام می‌درخشد و از خوشبختی توست که هوای پاک سعادت را در ریه‌هایم احساس می‌کنم. نمی‌توانم خوب حرف بزنم. نیروی شگفتی را که در زیر کلمات ساده و جمله‌های ضعیف و افتاده، پنهان کرده‌ام دریاب، دریاب.

تو می‌دانی و همه می‌دانند که زندگی از تحمیل لبخندی بر لبان من، از آوردن برق امیدی در نگاه من، از برانگیختن موج شعفی در دل من، عاجز است.

تو، چگونه زیستن را به من بیاموز، چگونه مردن را خود خواهم آموخت.

به من توفیق تلاش در شکست، صبر در نومیدی، رفتن بی‌همراه، جهاد بی‌سلاح، کار بی‌پاداش، فداکاری در سکوت، دین بی‌دنیا، مذهب بی‌عوام، عظمت بی‌نام، خدمت بی‌نان، ایمان بی‌ریا، خوبی بی‌نمود، گستاخی بی‌خامی، قناعت بی‌غرور، عشق بی‌هوس، تنهایی در انبوه جمعیت، و دوست داشتن بی‌آنکه دوست بداند، روزی کن.

اگر تنهاترین تنهاشوم، باز خدا هست

او جانشین همه نداشتن‌هاست...

---

[1] مناجاتی از دکتر علی شریعتی.

سپاس‌گزاری

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را زیور عقل آراست.خداوند جان آفرین را به وسعت بی‌کران عظمتش سپاس می‌گویم که توانم داد تا برگ دیگری از دفتر زندگی را با بهروزی ورق زده و به لطف بی‌پایان یگانه‌اش در آستانه راه دیگری باشم.

در آغاز وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ استاد راهنمای خود، سرکار خانم دکتر کشاورز، صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که قطعاً بدون راهنمایی‌های ارزنده ایشان، این مجموعه به انجام نمی‌رسید.جای آن دارد تا خالصانه‌ترین مراتب قدردانی خود را نسبت به الطاف ایشان به پاس رهنمودهای ارزنده‌شان تقدیم دارم.

از جناب آقای دکتر امین‌داور که زحمت مطالعه و مشاوره این پایان‌نامه را تقبل فرمودند کمال امتنان را دارم.

همچنین، بوسه می‌زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهربانی، پدر و مادر عزیزم و بعد از خدا، ستایش می‌کنم وجود مقدس‌شان را و تشکر می‌کنم از خانواده عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان، که در این سردترین روزگاران، بهترین پشتیبان من بودند.

از تمام جامعه‌ی معلمین و فرهیختگان که نقش مهمی در ترویج فرهنگ، ادب و رشد علمی علاقه‌مندان به فرهنگ و دانش را دارند تقدیر می‌نمایم و جای دارد که از تمام کسانی که مطالب آموزنده‌ای در زمینه‌های مختلف اعم از درسی و غیر درسی به من آموختند مراتب تشکر را داشته باشم.

در آخر از پدیدآورندگان بسته XePersian که این پایان‌نامه با استفاده از بسته آماده گردید و نیز کلیه دوستانی که در سایت وزین www.parsilatex.com به راهنمایی کاربران TEX می‌پردازند قدردانی نمایم.

علی اسلامی

مهر ۱۳۹۱

چکیده

قبلاً نشان داده شده است که در کانال‌های چندکاربره با شرط حداقل نرخ ارسالی، برای کانال‌های پخش با فرض محوشوندگی رایلی، رایس و ناکاگامی برای گیرنده‌های مختلف، ظرفیت کاربری (یا به عبارتی حداکثر تعداد کاربرانی که می‌توانند بطور همزمان فعال باشند) بصورت لگاریتمی دوگانه مقیاس‌بندی می‌شود بعبارتی برای توزیع‌های فوق بترتیب بصورت $\ln(P\ln n)/R_{\min}$، $\ln(۲P\ln n)/R_{\min}$ و $\ln(\frac{\Omega}{m}P\ln n)/R_{\min}$ مقیاس‌بندی می‌شوند، که n تعداد کل کاربران، P توان ارسالی، $R_{\min}$ حداقل نرخ دریافتی برای هر گیرنده فعال و Ω, m پارامترهای توزیع ناکاگامی تعریف می‌گردند. همچنین برای کانال‌های با دسترسی چندگانه ظرفیت کاربری باتوجه به اینکه مقیاس‌بندی ظرفیت کاربری یک فرم بسته ندارد، اگرچه این رابطه با الگوریتم ذکر شده در پایان‌نامه قابل محاسبه است و دیده می‌شود که بصورت لگاریتمی دوگانه مقیاس‌بندی می‌گردد و یا به عبارت دیگر بترتیب بصورت $\ln(P\nu(n)\ln n)/R_{\min}$ ، $\ln(۲P\nu(n)\ln n)/R_{\min}$ و $\ln(\frac{\Omega}{m}P\nu(n)\ln n)/R_{\min}$ برای محوشوندگی‌های فوق مقیاس‌بندی می‌شوند، که $\nu(n)$ ظرفیت کاربری کانال می‌باشد. هر چند برای دست‌یابی به نتایج فوق، این فرض شده است که گیرنده‌ها و فرستنده‌ها اطلاعات کانال را بطور کامل می‌دانند. در شرایط عملی، سیستم‌ها به اطلاعات واقعی دسترسی ندارند و تنها اطلاعات کانال تخمین‌زده را می‌دانند.

از آنجایی که تخمین کانال به دلیل اختلاف مقادیر واقعی و مقادیر تخمین‌زده، سبب تغییر وضعیت آماری بهره کانال می‌گردد، لذا تأثیر تخمین کانال بر روی عملکردهای مختلف سیستم‌های مخابرات یکی از موضوعاتی است که نظر بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است.

در این پایان‌نامه، تأثیر تخمین کانال روی ظرفیت کاربری کانال‌های چندکاربره با شرط حداقل نرخ ارسالی بررسی شده است. برای کانال‌های پخش برای گیرنده‌های مختلف با فرض محوشوندگی رایلی و رایس بصورت $\ln(\frac{\hat{\sigma}_h^۲}{\sigma^۲}P\ln n)/R_{\min}$ و برای کانال‌های با دسترسی چندگانه $\ln(\frac{\hat{\sigma}_h^۲}{\sigma^۲}P\nu(n)\ln n)/R_{\min}$ و با فرض محوشوندگی ناکاگامی برای کانال‌های پخش بصورت $\ln(\frac{\hat{\Omega}}{\hat{m}\sigma^۲}P\nu(n)\ln n)/R_{\min}$ و برای کانال‌های با دسترسی چندگانه بصورت $\ln(\frac{\hat{\Omega}}{\hat{m}\sigma^۲}P\ln n)/R_{\min}$ مقیاس‌بندی می‌شوند که $\hat{\sigma}_h^۲, \hat{\Omega}, \hat{m}$ پارامترهای تخمین‌زده کانال و $\sigma^۲$ واریانس نویز می‌باشند. از آنجایی که مدل سیگنال دریافتی خطی است، نشان داده شده است که قوانین مقیاس‌بندی بدون تغییر باقی می‌مانند و همچنان بصورت لگاریتمی دوگانه مقیاس‌بندی می‌شوند و تنها در یک ضریب ثابت که به تخمین‌گر کانال وابسته است، تفاوت می‌کنند.

کلمات کلیدی: قوانین مقیاس‌بندی، ظرفیت کاربری، تخمین کانال، کانال‌های محوشونده، کانال‌های پخش، کانال‌های با دسترسی چندگانه و تخصیص توان.

نشانه‌های استاندارد

نشانه	تعریف
$f(n) = o(g(n))$	$\lim_{n\to\infty} \frac{f(n)}{g(n)} = ۰$
$f(n) = O(g(n))$	$\liminf_{n\to\infty} \frac{f(n)}{g(n)} > ۰$
$f(n) = \Omega(g(n))$	$\limsup_{n\to\infty} \frac{f(n)}{g(n)} < \infty$
$f(n) \sim g(n)$	$\lim_{n\to\infty} \frac{f(n)}{g(n)} = ۱$
$\mathbf{۱}_{[A]}(\cdot)$	تابع نشانگر برای پیشامد A
$\mathbb{P}(A)$	احتمال پیشامد A
$\mathbf{F}(x)$	تابع توزیع تجمعی متغیر تصادفی x
$\mathbf{E}(x)$	امید ریاضی متغیر تصادفی x
$Var(x)$	واریانس متغیر تصادفی x
$\lfloor \cdot \rfloor$	جزء صحیح
${}_۱F_۱(\cdot,\cdot;\cdot;\cdot)$	تابع فوق هندسی
$\Gamma(\cdot)$	تابع گاما
$\gamma(\cdot,\cdot)$	تابع گاما ناقص پایینی
$\Gamma(\cdot,\cdot)$	تابع گاما ناقص بالایی

فهرست مطالب

لیست تصاویر ۱

۱ مقدمه ۲

۱.۱ نواحی ظرفیت کانال‌های چندکاربره . . . ۲

۲.۱ کانال‌های چندکاربره با شرط نرخ دریافتی . . . ۴

۱.۲.۱ کانال‌های پخش با حداقل نرخ دریافتی . . . ۵

۲.۲.۱ ناحیه ظرفیت حداقل نرخ دریافتی . . . ۵

۳.۱ ظرفیت کاربری . . . ۶

۱.۳.۱ قوانین مقیاس‌بندی . . . ۶

۴.۱ تعریف مسئله و انگیزه تحقیق . . . ۷

۵.۱ رئوس مطالب پایان‌نامه . . . ۷

۲ ظرفیت کاربری ۸

۱.۲ کانال‌های پخش . . . ۸

۱.۱.۲ مروری بر کارهای گذشته . . . ۸

۲.۱.۲ مدل سیستم . . . ۱۱

۳.۱.۲ تخصیص توان . . . ۱۲

۴.۱.۲ بررسی مجانبی . . . ۱۴

۲.۲ کانال‌های با دسترسی چندگانه . . . ۱۸

۱.۲.۲ مروری بر کارهای گذشته . . . ۱۸

۲.۲.۲ مدل سیستم . . . ۱۹

۳.۲.۲ سیاست زمان‌بندی . . . ۲۰

۴.۲.۲ بررسی مجانبی . . . ۲۱

۳ تخمین‌گرهای کانال **۲۴**
۱.۳ مروری بر کارهای گذشته ۲۴
۲.۳ تخمین بهره کانال ۲۵
۱.۲.۳ تخمین‌گر میانگین مجذور مربعات خطا ۲۵
۲.۲.۳ تخمین‌گر مستقیم تپ کانال ۲۵
۳.۳ کانال محو شونده رایلی ۲۶
۴.۳ کانال محو شونده رایس ۲۶
۱.۴.۳ تخمین‌گر بیشترین درستی ۲۶
۲.۴.۳ تخمین‌گر بر پایه ممان‌ها ۲۷
۵.۳ کانال محو شونده ناکاگامی ۲۸
۱.۵.۳ تخمین‌گر برپایه ممان‌ها ۲۸
۲.۵.۳ تخمین‌گر بر پایه بیشترین درستی ۳۰

۴ اثر تخمین کانال در ظرفیت کاربری کانال‌های پخش محو شونده **۳۱**
۱.۴ مدل سیستم ۳۱
۲.۴ کانال محوشونده رایلی ۳۲
۳.۴ کانال محوشونده رایس ۳۵
۴.۴ کانال محو شونده ناکاگامی ۴۰
۵.۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها ۴۲

۵ اثر تخمین کانال در ظرفیت کاربری کانال‌های با دسترسی چندگانه محو شونده **۴۸**
۱.۵ مدل سیستم ۴۸
۲.۵ کانال محو شونده رایلی ۴۹
۳.۵ کانال محو شونده رایس ۵۲
۴.۵ کانال محو شونده ناکاگامی ۵۵
۵.۵ نتایج شبیه‌سازی‌ها ۵۷

۶ جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات **۶۰**
۱.۶ نتیجه‌گیری ۶۰
۲.۶ پیشنهادات جهت ادامه کار ۶۱

۳.۶ مقاله ارسالی پیرامون پایان‌نامه ۶۲

مراجع **۶۳**

لیست تصاویر

۱.۱ نواحی ظرفیت حداقل نرخ دریافتی ، قطع صفر و ارگادیک برای حداقل نرخ دریافتی کم (آ) و حداقل نرخ دریافتی بزرگ (ب) [۱۰] ۶

۱.۲ کانال پخش محو شونده[۴] ۱۱

۲.۲ کانال با دسترسی چندگانه محو شونده[۴] ۲۰

۱.۴ تعداد گیرنده‌های فعال بهینه به تعدادکل کاربران برای کانال‌های پخش با توزیع رایلی و $\hat{\sigma}_h^۲/\sigma_h^۲ =$ ۰/۵, ۲ و $R_{\min} = ۵۰ Kbps$، (آ) توان ارسالی بصورت خطی افزایشی: $P = n$ یا معادل $SNR = ۱۰ \log_{۱۰} n\, dB$ (ب) توان ارسالی ثابت و برابر $P = ۱۰^۴$ یا معادل $SNR = ۴۰\, dB$. ۴۳

۲.۴ تعداد گیرنده‌های فعال به تمام کاربران برای توزیع رایلی $R_{\min} = ۵۰, ۱۰۰ Kbps$. ۴۴

۳.۴ تعداد گیرنده‌های فعال بهینه به تعدادکل کاربران برای کانال‌های پخش با $\hat{\sigma}_h^۲/\sigma_h^۲ = ۱$ و $R_{\min} = ۵۰ Kbps$، توان ارسالی بصورت ثابت $SNR = ۲۰, ۴۰\, dB$ (آ) توزیع رایلی (ب) توزیع رایس. ۴۵

۴.۴ تعداد گیرنده‌های فعال بهینه به تعداد کل کاربران برای کانال‌های پخش با توزیع رایس و توان ارسالی بصورت خطی افزایشی $\hat{\sigma}_h^۲/\sigma_h^۲ =$ ۰/۵, ۲ و $R_{\min} = ۵۰ Kbps$، (آ) $\hat{\mu} =$ ۰/۸ (ب) $\hat{\mu} = ۲$. ۴۶

۵.۴ هیستوگرام تعداد گیرنده‌های فعال برای توزیع رایلی $\hat{\sigma}_h^۲/\sigma_h^۲ =$ ۰/۵, ۱, ۲. . . . . ۴۷

۱.۵ تعداد فرستنده‌های فعال بهینه به تعدادکل فرستنده‌ها برای کانال‌های با دسترسی چندگانه و $\hat{\sigma}_h^۲/\sigma_h^۲ =$ ۰/۵, ۲ و $SNR = ۲۰\, dB$، (آ) توزیع رایلی (ب) توزیع رایس. ۵۸

۲.۵ هیستوگرام تعداد فرستنده‌های فعال برای توزیع رایلی $\hat{\sigma}_h^۲/\sigma_h^۲ =$ ۰/۵, ۱, ۲. . . . . ۵۹

فصل ۱

مقدمه

امروزه مخابرات بی‌سیم در زندگی روزمره ما نقش مهمی ایفا می‌کند، با توجه به اینکه موضوع مخابرات بی‌سیم از دهه ۱۹۶۰ مورد مطالعه قرار گرفته است، هنوز دو موضوع مهم در مخابرات بی‌سیم سبب چالش‌ها و علاقه‌مندی‌هایی شده است. اول از همه، ماهیت متغیر بودن با زمان کانال که به علت محوشوندگی مقیاس کوچک و مقیاس بزرگ [۱] یکی از مهمترین مشکلات در طراحی سیستم‌های مخابرات بی‌سیم است، دوم اینکه برخلاف مخابرات سیمی که فرستنده و گیرنده ایزوله شده‌اند، فرض شده که در فرستنده و گیرنده، ارتباطی نقطه به نقطه [۲] دارند، اما در مخابرات بی‌سیم، کاربران از تداخل ایجاد شده، توسط همه کاربران فعال برای انتقال اطلاعات رنج می‌برند. تلاش بسیاری برای بهبود عملکرد سیستم‌های مخابرات بی‌سیم در حضور محوشدگی [۳] و تداخل [۴] انجام شده و این زمینه هنوز خیلی از محققین را جذب خود کرده است.

این فصل شامل مفاهیم پیش‌زمینه‌ای است که در این پایان‌نامه بکار برده شده‌اند. اول از همه شامل، دو نظریه ظرفیت شانون تعریف شده اند و ناحیه ظرفیت برای هر یک از کانال‌های پخش محوشونده [۵] و کانال‌های با دسترسی چندگانه [۶] بازبینی شده‌اند، سپس ناحیه ظرفیت کانال‌های پخش محوشونده با شرط نرخ ارسالی [۷] مشخص گردیده است.

۱.۱ نواحی ظرفیت کانال‌های چندکاربره

ظرفیت شانونِ تک کاربره در کانال تغییر ناپذیر با زمان، بصورت حداکثر اطلاعات متقابل [۸] بین ورودی و خروجی کانال تعریف می‌شود. در تئوری ظرفیت شانون نشان داده شده وقتی بخواهیم اطلاعات با بیشترین نرخ داده با احتمال خطای

[۱] small-scale and large-scale fading
[۲] point-to-point link
[۳] fading
[۴] interference
[۵] broadcast fading
[۶] multiple-access
[۷] rate-constrained
[۸] mutual information

بسیار ناچیز ارسال شود بایست اطلاعات ما از حداکثر اطلاعات متقابل کمتر باشد. ظرفیت کانال برای وقتی که کانال تغییر پذیر با زمان است، بسته به اینکه سیستم چه چیز راجع به حالت کانال یا توزیع آن در گیرنده یا فرستنده می‌داند و نیز آیا ظرفیت، براساس متوسط گیری نرخ ارسالی در طی تمامی حالت‌ها یا توزیع‌ها یا حفظ یک نرخ ثابت (یا حداقل نرخ ارسالی) اندازه‌گیری شده است یا خیر، تعاریف متعددی برای ظرفیت وجود دارد. بخصوص، وقتی بهره کانال لحظه‌ای که اطلاعات کانال (CSI) [۹] نامیده می‌شود، کاملاً برای فرستنده و گیرنده شناخته شده باشد، فرستنده می‌تواند یک راهکار انتقال وفقی مطابق با حالت لحظه‌ای کانال [۱۰] داشته باشد. در این نمونه، ظرفیت شانون (ظرفیت ارگادیک) متوسط گیری از حداکثر اطلاعات متقابل در طی تمام حالات کانال می‌باشد. ظرفیت ارگادیک معمولاً با استفاده از طرح‌های انتقال وفقی [۱۱] (که توان و نرخ ارسال اطلاعات، وابسته به تغییرات حالت کانال تغییر می‌کند) بدست می‌آید. سایر تعاریف ظرفیت برای کانال‌های تغییر پذیر با زمان با اطلاعات کامل کانال در گیرنده و فرستنده، شامل ظرفیت قطع و ظرفیت حداقل نرخ ارسالی می‌باشد. این ظرفیت‌ها به یک نرخ ارسال داده ثابت در تمام حالت‌های غیرقطع [۱۲] نیاز دارند، که این نمی‌تواند وابسته به تغییرات کانال باشد (بجز در حالت‌های قطع، که هیچ اطلاعاتی ارسال نمی‌گردد). میانگین نرخ ارسالی وابسته به ظرفیت قطع یا ظرفیت حداقل نرخ، معمولاً از ظرفیت ارگادیک به علت شرایط اضافه شده به این تعاریف، کوچکتر است [۱۱].

کانال مخابراتی تصادفی h را در نظر بگیرید، ظرفیت کانال بصورت زیر تعریف می‌شود

$$C(h) = \max_{f_X(x)} I(X;Y)$$

که

$$I(X;Y) = \sum_{x\in X}\sum_{y\in Y} f_{X,Y}(x,y)\log\left(\frac{f_{X,Y}(x,y)}{f_X(x)f_Y(y)}\right)$$

به اطلاعات متقابل بین سیگنال دریافتی Y و سیگنال ارسالی X اشاره دارد، $f_X(x), f_Y(y)$ بیانگر تابع چگالی احتمال (pdf) [۱۳] سیگنال ارسالی و دریافتی و $f_{X,Y}(x,y)$ تابع چگالی توأم سیگنال دریافتی و ارسالی می‌باشند. ظرفیت کانال یک تابع از بهره کانال بصورت تصادفی باشد، تعریف ریاضی ظرفیت ارگادیک و ظرفیت قطع بصورت زیر است:

تعریف ۱.۱.۱. ظرفیت قطع با نرخ داده R به x مرتبط است، که x بیانگر درصد قطع می‌باشد. یعنی

$$\mathbb{P}(R > C(h)) \le x\%$$

ظرفیت قطع صفر، به ظرفیت قطع با $x = 0$ اشاره دارد.

تعریف ۲.۱.۱. ظرفیت ارگادیک داده می‌شود با

$$C = \mathbf{E}\left(C(h)\right)$$

[۹] channel state information
[۱۰] instantaneous channel state
[۱۱] adaptive transmission policy
[۱۲] nonoutage
[۱۳] probability density function

در کانال‌های چندکاربره، ظرفیت بصورت اسکالر نیست و ما با ناحیه ظرفیت سر و کار داریم.

در [۵]، ناحیه ظرفیت ارگادیک کانال‌های با دسترسی چندگانه با نویز گوسی مشخص شده است. در [۵]، نشان داده شده که هر نقطه از مرز ناحیه می‌تواند با رمزگشایی پی‌درپی [۱۴] حاصل شود. همچنین تخصیص توان و نرخ ارسالی بهینه در هر وضعیت محو شوندگی می‌تواند بسادگی از روش آزمندی [۱۵] بدست آید. در [۶]، ناحیه ظرفیت ارگادیک کانال پخش محو شونده Mکاربره با فرض اینکه فرستنده و گیرنده‌ها اطلاعات کانال را داشته باشند، برای تقسیم رمز [۱۶] (CD)، تقسیم زمان [۱۷] (TD) و تقسیم فرکانس [۱۸] (FD) بدست آورده شده است. در [۶] نشان داده شده با استفاده از تخصیص منابع پویا [۱۹] ، TD, FD و CD و بدون رمزگشایی پی‌درپی ناحیه ظرفیت ارگادیک مشابه دارند، از طرفی CD بهینه، ناحیه بزرگتری دارد. طرح تخصیص بهینه منابع برای تکنیک‌های مختلف اشتراک طیف [۲۰] بدست آورده شده است. یک طرح بهینه ساده همچنین در [۶] برای TD و CD بدون رمزگشایی پی‌درپی ارائه شده است که نتایج آن در ناحیه نرخ ارسالی، کاملاً نزدیک ناحیه ظرفیت ارگادیک است.

در [۷]، با فرض اینکه گیرنده‌ها و فرستنده CSI کامل را داشته باشند، ناحیه ظرفیت قطع کانال‌های پخش آمده است. این ناحیه ظرفیت و سیاست تخصیص منابع بهینه برای CD بدست آمده و برای TDو FD بدون رمزگشایی پی‌درپی آورده شده است. در [۷] نشان داده شده که در سیستم‌های پخش Mکاربره، ناحیه ظرفیت قطع از حاصل ناحیه احتمال قطع برای یک بردار نرخ ارسالی داده شده بدست می‌آید. در [۸]، با فرض CSI کامل در گیرنده‌ها و فرستنده، ناحیه ظرفیت قطع Mکاربره برای کانال با دسترسی چندگانه محو شونده بدست آورده شده است. یک راهکار رمزگشایی پی‌درپی و یک طرح تخصیص توان با شرط توان متوسط و نرخ ارسالی مورد نیاز هر کاربر، در [۸] پیشنهاد گردیده است که نقاطی روی مرز ناحیه احتمال قطع بدست می‌آورد.

۲.۱ کانال‌های چندکاربره با شرط نرخ دریافتی

امروزه با پیدایش سرویس‌های چندرسانه‌ای [۲۱] ، عرصه را برای تجارت و نیز فعالیت‌های مختلف از طریق صدا و ویدئو با مخابرات بی‌سیم باز نموده است. سازمان‌های فناوری اطلاعات برای پشتیبانی این کاربردها، بایست یک شبکه بی‌سیم با سرویس‌های چندرسانه‌ای را طراحی نمایند. در واقع سازمان‌های بهداشت و بعضی صنایع برای کاربردهای خاص از صدا و ویدئو استفاده می‌نمایند. در سازمان بهداشت به عنوان مثال ارتباط بین اعضای بیمارستان، پزشکان و پرستاران، همچنین اشتراک فایل‌های عکسی نظیر عکس‌های رادیولوژی و MRI [۲۲] بین اعضای بیمارستان از طریق سرویس‌های

[۱۴] successive decoding
[۱۵] greedy manner
[۱۶] code division
[۱۷] time division
[۱۸] frequency division
[۱۹] dynamic resource allocation
[۲۰] spectrum-sharing
[۲۱] multimedia
[۲۲] Magnetic Resonance Imaging

چندرسانه‌ای می‌باشد. در صنایع نیز برای همکاری کارگران در محیط کارخانه، کاربرد فشار-گفتن [۲۳] بسیار مورد توجه قرار گرفته است. وقتی که صدا و ویدئو به شبکه‌های بی‌سیم اضافه می‌شود، تعداد مشکلات نیز افزایش می‌یابد. زیرا صدا و تصویر حساس به دوره عکس‌العمل [۲۴] هستند، آن‌ها نیاز به سطح اولویت، قابلیت پیش‌بینی و قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به سایر کاربردهای اطلاعاتی دارند. از بین رفتن بسته داده [۲۵] مشابه که تأثیر مهمی روی فایل‌های اطلاعاتی نخواهد گذاشت می‌تواند تماس صوتی یا جریان ویدئویی را گسسته کند [۱۳]. از این‌رو تمام کاربران برای ارسال یا دریافت اطلاعات به نرخ ارسالی یا دریافتی بالاتر از سطح آستانه نیاز دارند. در این قسمت کانال‌های پخش به عنوان مثال ساده از سیستم‌های بی‌سیم چندکاربره انتخاب شده و چند جنبه فنی برای پشتیبانی از حداقل نرخ دریافتی در این سیستم‌ها معرفی شده است.

۱.۲.۱ کانال‌های پخش با حداقل نرخ دریافتی

برای سیستم‌های حساس به تأخیر ، ظرفیت ارگادیک و ظرفیت قطع هیچ‌کدام بهینه نیستند زیرا این مطلوب نیست که کاربران برای دوره طولانی غیر فعال باشند. در [۱۰] نشان داده شده، ظرفیت ارگادیک برای کاربران در تمام وضعیت‌های محو شدگی در کانال‌های پخش بیشتر است زیرا کاربران به یک حداقل نرخ دریافتی نیاز دارند.

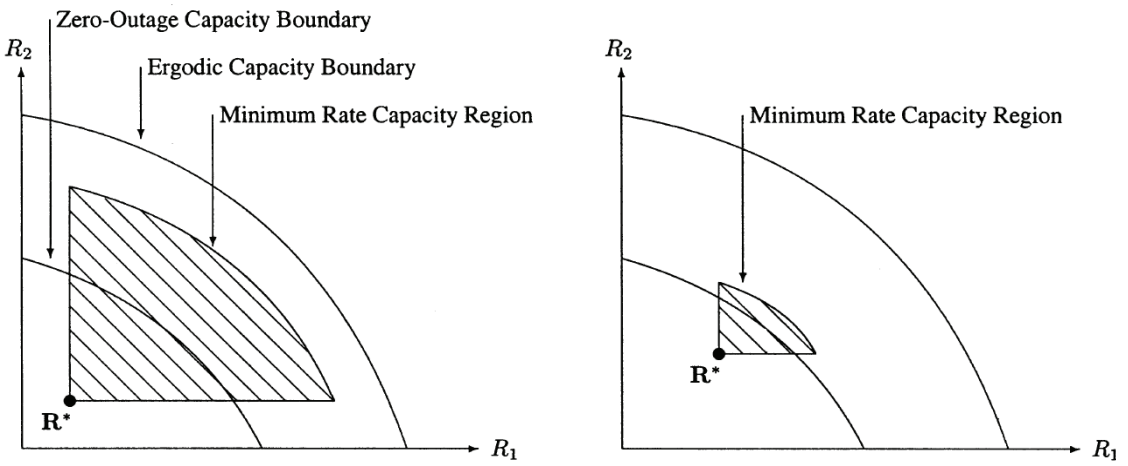
در کانال پخش با شرط نرخ دریافتی، تمام گیرنده‌ها بایست یک حداقل نرخ دریافتی را داشته باشند. از این‌رو مقداری از توان ارسالی جهت حفظ حداقل نرخ دریافتی در تمام وضعیت‌های محو شدگی استفاده شده است، در حالی که توان باقیمانده برای حداکثر کردن متوسط مجموع نرخ دریافتی استفاده می‌شود. در این نمونه کاربران هرگز بصورت کامل قطع نمی‌گردند زیرا به حداقل نرخ دریافتی نیاز دارند. بطوری که مقدار توان تخصیص داده شده به هر کاربر بستگی به تغییرات کانالش دارد. کاربرانی که شرایط کانال خوبی دارند، توان بیشتری دریافت می‌کنند و قادرند با نرخ بالاتری ارسال نمایند، این در حالی است که گیرنده‌هایی که شرایط کانال ضعیف تری را تجربه می‌کنند توان کمتری تخصیص داده می‌شود.

۲.۲.۱ ناحیه ظرفیت حداقل نرخ دریافتی

ناحیه ظرفیت حداقل نرخ دریافتی اساساً ترکیب نواحی ظرفیت ارگادیک و ظرفیت قطع صفر (یعنی احتمال قطع برابر صفر باشد) است. در ناحیه ظرفیت حداقل نرخ دریافتی یک کسر از توان ارسالی برای حفظ حداقل نرخ دریافتی در تمام حالات محو شوندگی استفاده شده است، در حالی که توان باقیمانده برای افزایش نرخ دریافتی بالاتر از حداقل نرخ دریافتی استفاده می‌شود. وقتی که حداقل نرخ دریافتی در تمام حالات محو شوندگی بایست حفظ گردد، بردار حداقل نرخ دریافتی بایست داخل ناحیه ظرفیت قطع صفر باشد[۱۰].

شکل ۱.۱ ارتباط با دو بردار حداقل نرخ دریافتی را نشان می‌دهد. که $\mathbf{R}^* = (R_1^*, R_2^*)$ شرط حداقل نرخ دریافتی

[۲۳] Push-To-Talk
[۲۴] latency-sensitive
[۲۵] packet loss



شکل ۱.۱: نواحی ظرفیت حداقل نرخ دریافتی ، قطع صفر و ارگادیک برای حداقل نرخ دریافتی کم (آ) و حداقل نرخ دریافتی بزرگ (ب) [۱۰]

را تعریف می‌کند. این دیده می‌شود که با افزایش شرط حداقل نرخ دریافتی، مجموعه نرخ‌های قابل دسترسی کوچکتر می‌شود زیرا یک کسر زیادی از توان ارسالی برای حفظ حداقل نرخ دریافتی برای تمام گیرنده‌ها نیاز است. اگر شرط حداقل نرخ دریافتی برای تمام گیرنده‌ها صفر باشد، ناحیه حداقل ظرفیت نرخ دریافتی مشابه ناحیه ظرفیت ارگادیک می‌شود. همانطور که شکل ۱.۱ نشان می‌دهد، بردار حداقل نرخ دریافتی در ناحیه ظرفیت قطع صفر قرار گرفته است، درنتیجه این در تمام حالات محو شوندگی با احتمال یک قابل دست‌یابی است[۱۰].

۳.۱ ظرفیت کاربری

تعریف ۱.۳.۱. ظرفیت کاربری به حداکثر تعداد کاربران که می‌توانند بطور همزمان می‌توانند فعال باشند گفته می‌شود، که برای کانال‌های پخش به حداکثر تعداد گیرنده‌های فعال و برای کانال‌های با دسترسی چندگانه به حداکثر تعداد فرستنده‌های فعال اشاره دارد.

۱.۳.۱ قوانین مقیاس‌بندی

در تئوری‌های اطلاعات گاهی به دلیل پیچیدگی محاسبات بالا و نداشتن یک فرم بسته برای بیان مسئله از **قوانین مقیاس‌بندی** [۲۶] استفاده می‌شود که بصورت مجانبی آنالیز می‌شوند (به عبارتی وقتی $n \to \infty$)، که کاربرد زیادی در محاسبه ظرفیت کاربری شبکه‌های کامپیوتری دارد.

تعریف ۲.۳.۱. قانونی که بیان می‌کند، دو کمیت با هم متناسب هستند، که با یک مرتبه قطعی معتبر [۲۷] شناخته می‌شود

[۲۶] scaling laws
[۲۷] valid at certain orders

و برای محاسبه یک کمیت بر اساس مرتبه مقدار کمیت دیگر، استفاده می‌گردد[۱۲].

۴.۱ تعریف مسئله و انگیزه تحقیق

در کانال‌های بی‌سیم باتوجه به پویایی بهره کانال، و از طرفی سیستم‌های ویدئویی، صوتی و سایر سیستم‌های حساس به تأخیر نیاز به حفظ حداقل نرخ دریافتی $R_{\min} > ۰$ می‌باشند، این مسئله با اجرای طرح تخصیص توان بهینه در [۱، ۲، ۳، ۴] بیان شده و تحلیل گردیده است. از آنجایی که می‌دانیم، سیستم‌های مخابراتی به CSI واقعی کانال دسترسی ندارند و بایست با تخمین‌گرهای مختلف به وضعیت کانال دست‌یابند و این سبب تغییر وضعیت آماری مسئله می‌گردد. بسیاری از محققین نقش تخمین کانال را بر روی عملکردهای مختلف سیستم‌های مخابراتی بررسی می‌نمایند، ما بر آن شدیم تا در این پایان‌نامه نقش تخمین کانال را بر ظرفیت کاربری کانال‌های پخش [۲۸] و کانال‌های با دسترسی چندگانه [۲۹] (و یا بعبارتی کانال‌های چند کاربره [۳۰]) مورد بررسی قرار دهیم.

۵.۱ رئوس مطالب پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل شش فصل می‌باشد که فصل اول شامل بیان انگیزه، اهداف، تعاریف و مفاهیم کلی راجع به مطالب این پایان‌نامه می‌باشد. در فصل دوم به بیان کارهای صورت گرفته راجع به ظرفیت کاربری پرداخته و دسته‌بندی روابط حاکم بر ظرفیت کاربری کانال‌های پخش و کانال‌های با دسترسی‌چندگانه با محوشدگی‌های رایلی [۳۱] ، رایس [۳۲] و ناکاگامی [۳۳] پرداخته شده است. در فصل سوم به کارهای صورت گرفته در مورد تخمین‌گرهای کانال با محوشدگی فوق با حالت‌های کانال‌های نویزی و غیر نویزی توضیح داده شده است و نیز روابط لازم جهت استفاده از تخمین‌گرهای کانال با محوشدگی رایلی از محوشدگی رایس و ناکاگامی بیان شده است. در فصل چهارم و پنجم با علم به کارهای قبل که در فصول قبل بیان گردیده‌اند، اثر تخمین کانال را روی ظرفیت کاربری تحقیق شده و روابطی با خطای ناشی از خطای تخمین کانال در مورد کانال‌های پخش و کانال‌های با دسترسی چندگانه بیان گردیده است. و در نهایت در فصل ششم یک نتیجه‌گیری کلی و پیشنهاداتی جهت ادامه کار بیان شده است.

[۲۸] broadcast channels
[۲۹] multiple-access channels
[۳۰] multi-user channels
[۳۱] Rayleigh
[۳۲] Rician
[۳۳] Nakagami

فصل ۲

ظرفیت کاربری

۱.۲ کانال‌های پخش

در سیستم پخش که یک فرستنده بخش‌های مختلفی از کل توان ارسالی‌اش با توجه به وضعیت کانال به گیرنده‌های مختلف اختصاص می‌دهد، در اینجا یک تقابل [۱] بین تروپوت کلی [۲] و حداقل نرخ قابل دریافت برای تمام گیرنده‌ها وجود دارد. به طوریکه برای افزایش تروپوت کلی، بهتر است که به گیرنده‌های با وضعیت بهتر، توان بیشتری اختصاص داده شود، در حالی که برای افزایش حداقل نرخ ارسالی بایست به کانال‌های با وضعیت بدتر، توان بیشتری اختصاص دهیم. در [۱، ۲] یک طرح تخصیص توان برای ماکزیمم کردن تعداد گیرنده‌های فعال (یا به عبارت دیگر ظرفیت کاربری) برای کانال‌های پخش که بتوانند حداقل نرخ دریافتی $R_{\min} > ۰$ را داشته باشند بیان شده است.برای مدل‌های رایج کانال به نام‌های رایلی، رایس و ناکاگامی درنظر گرفته شده است و ظرفیت کاربری برای این مدل‌ها بررسی شده است.

۱.۱.۲ مروری بر کارهای گذشته

در یک محیط متغیر، که وضعیت کانال در حال تغییر است، از یک طرح تخصیص توان فرصت طلب [۳] برای افزایش تروپوت کلی بهره بگیریم که میانگین نرخ دریافتی برای هر گیرنده حفظ شود. ایده اصلی وفق دادن تخصیص توان به تغییرات وضعیت کانال می‌باشد. نرخ دریافتی برای یک گیرنده وقتی که وضعیت کانالش بهتر شود، افزایش می‌یابد، پس نرخ‌های بالاتر با توان کمتر قابل دست‌یابی است. اگرچه در کاربردهای حساس به تأخیر [۴] این شاید برای گیرنده‌ای که زمان نسبتاً طولانی صبر کند قبل از اینکه نرخ دریافتی‌اش افزایش یابد، قابل پذیرش نباشد. اساساً این موضوع یک تقابل بین ظرفیت ارگادیک و ظرفیت قطع می‌باشد، برای هریک از این موضوعات مطالعات بیشتری در [۶، ۷، ۱۰] در زمینه کانال‌های پخش ارائه شده است.

---

[۱] trade-off
[۲] total throughput
[۳] opportunistic power allocation schemes
[۴] delay-sensitive

در کانال پخش با شرط نرخ دریافتی، تمام گیرنده‌ها بایست یک حداقل نرخ را حفظ کنند. ایده کانال‌های پخش با حداقل نرخ دریافتی ابتدا در [۱۰] ارائه شده است و ناحیه ظرفیت و طرح تخصیص توان بهینه برای یک بلوک کانال پخش محوشونده [۵] با حداقل نرخ دریافتی بدست آورده شده است. بقیه مقالاتی که با آنتن تکی [۶] یا آنتن چندگانه [۷] در کانال‌های پخش با شرط نرخ ارسالی سروکار داشتند به شرح زیر می‌باشد: در [۱۴] راهکار انتقال بهینه برای آنتن‌های چندگانه کانال‌های پخش گوسی مطالعه شده است که هر کاربر به یک نرخ دریافتی خاص نیاز دارد. یک الگوریتم برای تکمیل نرخ دریافتی لازم برای تمام گیرنده‌ها بیان شده است و ضریب حداقل نرخ دریافتی (که بصورت خارج قسمت نرخ دریافتی قابل دسترس بر نرخ دریافتی‌ای که هر کاربر نیاز دارد تعریف می‌شود) را حداکثر می‌کند. در [۱۵] ، یک توان توأم [۸] و طرح تخصیص نرخ دریافتی برای سرویس اطلاعات بی‌سیم ارسال داده از ایستگاه پایه به طرف ایستگاه سیار [۹] در شبکه‌های CDMA [۱۰] پیشنهاد شده است. هدف این است که وقتی بهره‌وری [۱۱] هر کاربر را حداکثر می‌کنیم بهره‌وری کلی را حداکثر کنیم. الگوریتم تخصیص توزیع شده بر پایه قیمت‌گذاری پویا [۱۲] بیان شده است. الگوریتم از سه پروسه ترکیب شده: انتخاب کاربر، تخصیص توان و تخصیص نرخ دریافتی. علاوه بر این، مدل و الگوریتم بهینه حداقل نرخ دریافتی مشروط کاربرانی که کیفیت سرویس (QoS) [۱۳] برای کاربران سیار فراهم کند را در نظر می‌گیرد. در [۱۶] ، تخصیص منابع پویا (DRA) [۱۴] برای بهبود تروپوت کلی با گرفتن منافع تغییرات کانال از جمله کاربران در یک سیستم با حامل‌های چندگانه [۱۵] توسعه داده است. برای کاربردهای عملی، این مهم است که الگوریتم DRA هم منصف و هم کارا [۱۶] باشد. در [۱۶] ، الگوریتم تخصیص منابع در حالات کارایی و انصاف محاسبه شده است، یک الگوریتم زمان‌بندی جدید (MRR) که کیفیت سرویس را فراهم می‌کند، را ارائه داده است. الگوریتم MRR برای کاربران تکی که به حداقل نرخ ارسالی نیاز دارند در زمانی که کارایی و انصاف برای کل سیستم ماکزیمم می‌شود، طراحی شده است. در [۱۷] ، یک حل بهینه برای مسئله تخصیص پهنای باند و توان کاربران برای انتقال ارسال داده از ایستگاه پایه به طرف ایستگاه سیار در سیستم‌های بی‌سیم وقتی که چندین کاربر بتوانند برای انتقال همزمان برنامه‌ریزی شوند، ارائه شده است. فرمول مربوطه، حداقل و حداکثر نرخ ارسالی برای شرط هر کاربر و حداکثر نرخ بر واحد شرط پهنای باند را شامل می‌شود. وقتی تنها شرط حداکثر نرخ بر واحد پهنای باند ارائه شود، [۱۷] نشان می‌دهد که برای بهینه بودن بیشتر از دو کاربر همزمان می‌توانند برنامه‌ریزی شوند. در [۱۸] ، یک روش که پیچیدگی محاسبات کمی دارد برای پخش سریع با شرط حداقل

[۵] block fading broadcast channel
[۶] single-antenna
[۷] multi-antenna
[۸] joint power
[۹] downlink
[۱۰] Code Division Multiple Access
[۱۱] utility
[۱۲] dynamic pricing
[۱۳] Quality of Service
[۱۴] Dynamic Resource Allocation
[۱۵] multi-carrier system
[۱۶] fair and efficient