بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده برق و کامپیوتر

گروه مخابرات

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق - مخابرات (سیستم)

کاهش تداخل در شبکه‌های فمتوسل مبتنی بر اصول شناختی

استاد راهنما:

دکتر زلفا زینل‌پور یزدی

استاد مشاور:

دکتر علی‌اکبر تدین تفت

پژوهش و نگارش:

احسان کلینی

اسفندماه ۱۳۹۲

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنان که مهر آسمانی‌شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه

بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما.

ره‌آوردی گران سنگ‌تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم،

باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

سپاس‌گزاری...

خدایا تو را سپاس که مرا در دایره امکان نهادی و نقش علم را بر دفتر اندیشه‌ام کشیدی و چشمه‌سار زلال دانش و معرفتت را ارزانی‌ام داشتی تا در برهوت نادانی سیرابگر وجودم باشد.

در ابتدا از اولین و بزرگ‌ترین معلمان زندگیم، **پدر و مادر بزرگوارم** که مرا به جان پروردند و امید رسیدن به افق‌های روشن را در دلم شکوفا ساختند، از صمیم قلب تشکر می‌کنم.

بر خود لازم می‌دانم به پاس زحمات استاد راهنمای گرامی‌ام، **سرکار خانم دکتر زلفا زینل‌پور یزدی** که با سعه‌ی صدر و دقت نظرشان باعث هرچه پربار شدن این پایان‌نامه شدند، نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم.

هم‌چنین از استاد مشاور گرامی‌ام، **جناب آقای دکتر علی‌اکبر تدین تفت** که با نظرات و رهنمودهای ارزشمند خود مرا یاری نمودند، سپاس‌گزارم.

در پایان از سایر دوستان و بزرگوارانی که در به‌ثمر رسیدن این پایان‌نامه مرا یاری کردند تشکر می‌کنم و آرزوی سلامتی و بهروزی برای همگان دارم.

چکیده

نیاز روزافزون کاربران برای دسترسی به نرخ‌های ارسال بالا از سوی کاربران ماکروسل، این شبکه را با افزایش ترافیک مواجه ساخته است. فمتوسل با بهبود دادن ظرفیت و پوشش محیط‌های داخلی، به نظر می‌رسد تنها راه‌کار بلند مدت برای حل مساله‌ی ترافیک در شبکه‌ی موبایل می‌باشد. از آن‌جایی که فمتوسل در طیف فرکانسی ماکروسل کار می‌کند، موجب پیدایش تداخل‌های جدیدی در شبکه شده و چنان‌چه مدیریتی بر روی آن صورت نگیرد نه تنها به حل مشکلات ماکروسل کمک نمی‌کند بلکه کارایی آن را کاهش می‌دهد. در این پایان‌نامه جهت بهبود عملکرد شبکه‌های دولایه مبتنی بر فمتوسل، تداخل را با استفاده از روش پویش مشارکتی طیف کاهش داده‌ایم. به این منظور، در ابتدا احتمال خاموشی کاربر ماکروسل که از ایستگاه پایه‌ی فمتوسل‌های مجاورش سیگنال تداخل دریافت می‌کند در حالتی که تک تک فمتوسل‌ها به‌طور مستقل از یکدیگر به پویش طیف می‌پردازند، به‌طور دقیق محاسبه شده و سپس همین احتمال خاموشی را در حالتی که فمتوسل‌ها به‌طور مشارکتی طیف را پویش می‌کنند محاسبه گردیده است. نتایج نشان می‌دهند استفاده از روش پویش مشارکتی تاثیر چشمگیری در کاهش احتمال خاموشی کاربر ماکروسل داشته است.

واژه‌های کلیدی : شبکه‌های دولایه، شبکه‌های رادیوشناختی، ایستگاه پایه‌ی فمتوسل، ارتباط دانلینک، تداخل بین لایه‌ای، احتمال خاموشی، آشکارساز انرژی، روش پویش مشارکتی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب . . . . . آ

لیست تصاویر . . . . . پ

لیست جداول . . . . . ث

۱ پیشگفتار ۱

۱.۱ مقدمه ۲

۲.۱ آنتن‌های توزیع شده ۴

۳.۱ میکروسل ۵

۴.۱ پیکوسل ۶

۵.۱ فمتوسل ۶

۶.۱ سابقه‌ی تحقیقات ۱۱

۷.۱ ساختار پایان‌نامه ۲۰

۲ پویش طیف؛ راه‌کاری برای حل مسأله‌ی تداخل **۲۱**

۱.۲ مقدمه ۲۲

۲.۲ انواع سناریوهای تداخل ۲۲

۳.۲ شبکه‌های رادیوشناختی ۲۵

۴.۲ روش‌های مختلف پویش طیف ۳۰

۱.۴.۲ فیلتر منطبق ۳۰

۲.۴.۲ آشکارساز ویژگی ۳۱

۳.۴.۲ آشکارساز انرژی ۳۲

۵.۲ پویش مشارکتی طیف ۳۲

۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل در صورت مجهز بودن ایستگاه‌های پایه‌ی فمتوسل به تکنیک رادیوشناختی ۳۷

۱.۳ مقدمه ۳۸

۲.۳ مدل سیستم ۳۸

۳.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل با روش پویش غیرمشارکتی طیف ۴۰

۴.۳ نتایج عددی روش غیر مشارکتی ۵۰

۵.۳ پویش مشارکتی طیف ۵۶

۶.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل در روش پویش مشارکتی طیف ۵۸

۷.۳ نتایج عددی روش مشارکتی ۶۲

۴ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۷

۱.۴ نتیجه‌گیری ۶۸

۲.۴ پیشنهادات ۶۹

پیوست الف ۷۱

پیوست ب ۷۷

پیوست پ ۸۱

پیوست ت ۸۵

کتاب‌نامه ۸۹

لیست تصاویر

۱.۱ افزایش ترافیک در شبکه‌های موبایل و پیش‌بینی آن تا چند سال آینده ۳

۲.۱ ساختار آنتن‌های توزیع شده[۱] ۵

۳.۱ ساختار میکروسل[۱] ۵

۴.۱ ساختار پیکوسل و فمتوسل ۷

۵.۱ ترافیک شبکه‌های ماکروسل قبل و بعد از پیدایش فمتوسل[۷] ۹

۱.۲ انواع تداخل‌های موجود دراثر گسترش شبکه‌های فمتوسل ۲۳

۲.۲ تداخل بین‌لایه‌ای در حالت فراسو ۲۴

۳.۲ تداخل بین‌لایه‌ای در حالت فروسو ۲۴

۴.۲ توزیع توان در فرکانس‌های مختلف[۳۹] ۲۶

۵.۲ مراحل یک دوره‌ی شناخت در یک سیستم رادیوشناختی[۴۳] ۲۷

۶.۲ معماری شبکه‌ی رادیوشناختی[۴۳] ۲۹

۷.۲ عدم قطعیت گیرنده، سایه‌افکنی و محوشدگی چند مسیری[۴۴] ۳۳

۸.۲ دسته‌بندی پویش مشارکتی طیف: (الف) مرکزی، ب) توزیعی، ج) همکاری رله‌ای[۴۴] . . . ۳۴

۹.۲ یک فریم دسترسی به کانال برای پویش طیف مشارکتی مرکزی ۳۵

۱.۳ تداخل دریافتی کاربر ماکروسل در ارتباط فروسو ۳۹

۲.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل در $\lambda_f = .0001$ ۵۱

۳.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل در $\lambda_f = .001$ ۵۲

۴.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل در $\lambda_f = .01$ ۵۲

۵.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب چگالی پراکندگی فمتوسل‌های فعال ۵۳

۶.۳ تغییرات احتمال خاموشی بر حسب سطح آستانه با افزایش توان FAP ۵۴

۷.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب زمان پویش طیف α ۵۵

۸.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب توان ارسالی FAP با تغییر سطح آستانه ۵۵
۹.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل که در فاصله‌ی دوری از ایستگاه پایه‌ی خود قرار دارد با افزایش توان FAP ۶۳
۱۰.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل که در فاصله‌ی دوری از ایستگاه پایه‌ی خود قرار دارد با تغییر توان FAP و سطح آستانه ۶۳
۱۱.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب افزایش چگالی پراکندگی فمتوسل‌های فعال و با تغییر R_c در $th = 0.1$ و $P_{FAP} = 21dbm$ ۶۴
۱۲.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب افزایش چگالی پراکندگی فمتوسل‌های فعال و با تغییر R_c در $th = 0.01$ و $P_{FAP} = 10dbm$ ۶۴
۱۳.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب افزایش سطح آستانه با تغییر P_{FAP} ۶۵
۱۴.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب افزایش سطح آستانه با تغییر R_c ۶۵
۱۵.۳ احتمال خاموشی کاربر ماکروسل بر حسب افزایش زمان پویش طیف با تغییر P_{FAP} . . . ۶۶

لیست جداول

۱.۳ مقادیر عددی به‌کار رفته در شبیه‌سازی ۵۰

۱-ب چندجمله‌ای‌های متعامد، تابع وزن متناظر و بازه‌ی انتگرال‌گیری متناظر ۷۸

۲-ت علائم و اختصارات ۸۶

فصل اول

پیشگفتار

۱.۱ مقدمه

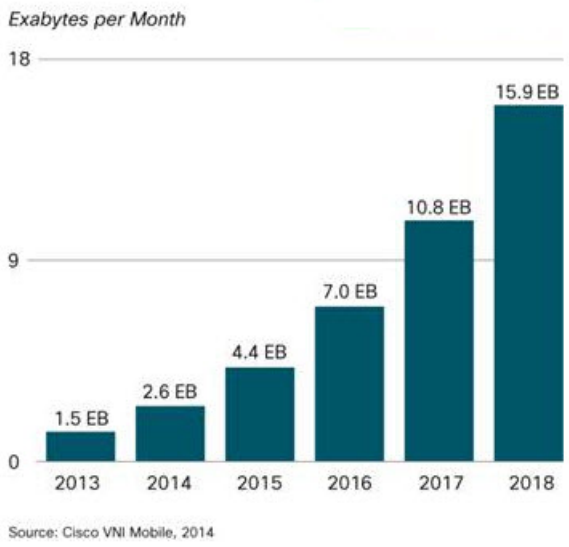
در حالی که شبکه‌ی ارتباطی نسل ۳ با پهنای باند چند مگابیت بر ثانیه مدت زیادی نیست که راه اندازی شده، خبر می‌رسد با افزایش شدید مصرف پهنای باند، روزهای اینترنت بی‌سیم نامحدود به پایان خود نزدیک می‌شود. شبکه‌های موبایل هم‌اینک نشانه‌های بحران را بروز می‌دهند. برای مثال تلفن شما درون جمعیت بزرگی مثل استادیوم موقتا از کار می‌افتد و در شهرهای بزرگ تماس داخل شهری سخت‌تر خواهد شد. البته منبع این مشکل، تلفن‌های هوشمند هستند که با حجم بالای تقاضا برای صفحات اینترنتی، پست‌های الکترونیکی و دانلود فایل‌های ویدیویی، باری بیش از ظرفیت بر شبکه‌ی موبایل وارد می‌کنند. اگر رشد تقاضا برای این دستگاه‌ها به همین ترتیب پیش رود، تا چند سال آینده شبکه‌های موبایل از کار خواهند افتاد.

دولت‌های اروپا و آمریکا در حال حاضر پهنای باند ۵ مگاهرتزی از طیف فرکانس را به هر اپراتور اختصاص داده‌اند. این تکه‌های ۵ مگاهرتزی مانند خطوط بزرگراهی هستند که داده‌ها را در هر دو سو منتقل می‌کنند. مانند هر جاده‌ی دیگری، این بزرگراه‌ها هم از عهده‌ی حد مشخصی از ترافیک برمی‌آیند. فناوری‌های نسل سوم کنونی می‌توانند در هر ثانیه به‌ازای هر هرتز از طیف در اختیار اپراتور، یک بیت داده را منتقل کنند. این بدان معنی است که برج مخابراتی اپراتوری که یک زوج از این بازه‌های ۵ مگاهرتزی را در اختیار دارد، در هر ثانیه تنها قادر به ارسال ۵ مگابیت اطلاعات است که با ارسال تعداد کمی از ویدیوهای با کیفیت بالا، تمام این بازه‌ها پر می‌شود.

همان‌طور که از شکل ۱.۱ نیز مشهود است، در سال‌های اخیر ترافیک در شبکه‌ی موبایل با رشد بسیار زیادی مواجه بوده است که همان‌طور که بیان شد، هندست‌های هوشمند یکی از مهم‌ترین عوامل در این زمینه هستند. این دستگاه‌ها با این‌که ۱۳ درصد کل هندست‌ها را تشکیل می‌دهند، ۷۸ درصد ترافیک ایستگاه‌های پایه را به خود اختصاص می‌دهند. هر هندست اپل [۱] که بیشترین مصرف خدمات اطلاعات را به خود اختصاص داده است، به‌طور میانگین ۸۵ مگابایت در ماه اطلاعات تبادل می‌کند. با افزایش استقبال مشترکین از هندست‌های هوشمند، ترافیک شبکه‌های ارتباطات سیار به دلیل استفاده‌ی این تجهیزات از خدمات اطلاعات به سرعت در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود ترافیک شبکه‌ی موبایل در سال

---

[۱] Apple



شکل ۱.۱: افزایش ترافیک در شبکه‌های موبایل و پیش‌بینی آن تا چند سال آینده

۲۰۱۸، نسبت به سال ۲۰۱۳، ۱۰.۶ برابر شود. افزایش بی‌حد و حصر مصرف اطلاعات از یک سو و ظرفیت محدود ایستگاه‌های پایه از سوی دیگر، اپراتورها را در سال‌های آینده با چالش اساسی روبه‌رو می‌کند. ارایه‌ی کاربردها و خدماتی چون شبکه‌های اجتماعی، وضعیت آب و هوا، پرداخت سیار، پست الکترونیک سیار و شبکه‌های ویدیویی و رسانه‌ای مختص تلفن همراه فعالیت ایستگاه‌های پایه را به شدت افزایش می‌دهد. هر سیگنال ارسالی برای دریافت آخرین به‌روزرسانی مربوط به خدمات اطلاعات می‌تواند فعالیت ایستگاه پایه را تا چندین برابر خدمات صوتی افزایش دهد. از این‌رو تولیدکنندگان تجهیزات به فکر ارایه‌ی راه‌حل‌های مختلفی افتاده‌اند که بتوانند این افزایش ترافیک را مدیریت کنند.

در مدت ۱۰۴ سال گذشته ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم به‌ازای گذشت هر ۳۰ ماه دو برابر شده است. این اظهار نظر که توسط مارتین کوپر مطرح شده، به معنای تقریبا یک میلیون برابر افزایش ظرفیت از سال ۱۹۵۷ تا زمان کنونی است. پارامترهای مختلفی بر افزایش ظرفیت شبکه‌های بی‌سیم تاثیر داشته‌اند که میزان تاثیر آن‌ها عبارت است از [۱]:

۱. ۵ برابر بهبود در اثر تقسیم این طیف به قسمت‌های کوچک‌تر،

۲. ۵ برابر بهبود در اثر طراحی روش‌های بهتر مدولاسیون و کدینگ،

۳. ۱۶۰۰ برابر بهبود در اثر کاهش اندازه‌ی سلول‌ها و در نتیجه کاهش فاصله فرستنده-گیرنده‌ها.

تاثیر چشم‌گیر کم کردن ابعاد سلول‌ها (۱۶۰۰ برابر از ۱۰۰۰۰۰۰ برابر افزایش ظرفیت) بر افزایش ظرفیت و بار ترافیکی زیاد موجود در محیط‌های داخلی، محققان را به فکر ایجاد تکنولوژی ارزان انداخت که علاوه بر کاهش ابعاد سلولی و استفاده‌ی مجدد مکانی بیشتر از طیف، دارای پوشش[۲] بهتری در محیط‌های داخلی باشند، چرا که بیش از ۵۰ درصد مکالمات تلفنی و بیش از ۷۰ درصد مبادلات داده در شبکه‌های بدون سیم از محیط‌های داخلی[۳]شروع می‌شود [۲]. البته لازم به ذکر است که در حالت کلی کم کردن ابعاد سلول‌ها با توجه به نیاز به استفاده از ایستگاه‌های پایه (BS)[۴]در هر سلول بسیار هزینه‌بر است. در نتیجه مهم‌ترین مشکل موجود بر سر راه این کاهش دایمی اندازه‌ی سلول‌ها، هزینه‌ی زیاد آن است. لذا ساختارهای مختلفی با کاهش ابعاد سلول، سعی در جهت افزایش ظرفیت و ایجاد پوشش مناسب برای محیط‌های مذکور داشته‌اند، از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به ساختارهای آنتن‌های توزیع شده[۵]، میکروسل[۶] ، پیکوسل[۷] و فمتوسل اشاره کرد[۳] که در ادامه مختصراً به معرفی هر کدام می‌پردازیم.

۲.۱ آنتن‌های توزیع شده

در ساختار آنتن‌های توزیع شده علاوه بر BS، چندین آنتن کوچک‌تر که توسط خطوط پشتیبان بهBS وصل هستند نیز وجود دارد[۴] . در حالتی که این آنتن‌ها نباشند، کاربر درون سلول برای برقراری ارتباط از BS درون سلول استفاده می‌کند، اما وجود این آنتن‌ها باعث می‌شود که کاربر داخل سلول به‌جای برقراری ارتباط با BS، آنتنی را انتخاب کند که به آن نزدیک‌تر است یا کانال ارتباطی آن کاربر تا آنتن مورد نظر از وضعیت بهتری برخوردار است. در نتیجه با استفاده از ساختار آنتن‌های توزیع شده علاوه بر ایجاد پوشش بهتر (چرا که به‌جای یک آنتن از چندین آنتن استفاده شده است که در سطح سلول توزیع شده‌اند)، ظرفیت شبکه هم، به دلیل انتخاب بهترین کانال توسط هر کاربر در هر لحظه افزایش می‌یابد. از

---

[۲] Coverage

[۳] Indoor

[۴] Base Station

[۵] Distributed Antennas

[۶] Microcell

[۷] Picocell