دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان:

بررسی و تحلیل سیستم‌های Massive MIMO

استاد راهنما:

دکتر محمد مصطفوی

نگارش:

امیر حسین داغستانی

تابستان 1397

تاییده‌ی صحت اطلاعات و نتایج

اینجانب امیرحسین داغستانی به شمارهٔ دانشجویی ۹۳۴۴۳۲۰۳ دانشجوي رشتهٔ مهندسی برق گرایش مخابرات مقطع تحصیلی کارشناسی تأیید می نمایم که کلیهٔ نتایج این پایاننامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه زنجان است و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه زنجان مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص، اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذي صلاح (اعم از اداري و قضایی)، به عهدهٔ اینجانب خواهد بود و دانشگاه زنجان هیچگونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضا و تاریخ:

چکیده

گسترش دستگاه‌های بی سیم و رشد نمایی ترافیک تبادل اطلاعات کاربران و در نتیجه نیاز به داشتن پهنای باند بیشتر، چالش‌هایی را در صنعت بی سیم برای پشتیبانی از نرخ داده‌ی بالا[1] و افزایش کیفیت سرویس[2] ایجاد نموده است. برای پشت سر گذاشتن این چالش‌ها نیاز داریم که ظرفیت شبکه‌های خود را به طور چشم گیری افزایش دهیم. یکی از روش‌های پیشنهادی نسل پنجم از ارتباطات، مایمو حجیم[3] بوده است. ما در این پایان نامه سعی داریم با ارائه‌ی رویکردی جدید، حجم محاسبات پیش کدینگ‌های معرفی شده در مورد مایمو حجیم را کاهش دهیم و سیستم‌های چالاک‌تری را نسبت به گذشته، معرفی کنیم.

[1] Data Rates
[2] Quality of Service (QoS)
[3] Massive MIMO

فهرست مطالب

۱ مقدمه ۱

۱.۱ سیر تکامل تکنولوژی بی سیم ۱

۱.۱.۱ 1G ۲

۲.۱.۱ 2G ۳

۳.۱.۱ 2.5G ۳

۴.۱.۱ 3G ۴

۵.۱.۱ 3.75G ۴

۶.۱.۱ 4G ۴

۲.۱ 5G: نسل پنجم ارتباطات ۵

۳.۱ معماری نسل پنجم ۷

۴.۱ مرور گذشته، نگاه به آینده ۹

۲ مایمو حجیم ۱۱

۱.۲ مایمو چیست؟ ۱۲

۲.۲ مایمو چندکاربره ۱۳

۳.۲ مایمو حجیم ۱۴

۱.۳.۲ TDD: دو طرفه ساز زمانی ۱۷

۱.۱.۳.۲ آلودگی پایلوت ۱۷

۲.۱.۳.۲ هم پاسخی زمانی ۱۸

۲.۳.۲ FDD: دو طرفه ساز فرکانسی ۱۹

۱.۲.۳.۲ کانال فیدبک ۱۹
۲.۲.۳.۲ هم پاسخی فرکانسی ۲۰
۳.۲.۳.۲ سر ریز پایلوت در تخمین کانال ۲۰
۳.۳.۲ FDD در برابر TDD ۲۰

۳ پیش کدینگ ۲۲
۱.۳ مفهوم پیش کدینگ ۲۲
۲.۳ مدل کانال ۲۳
۳.۳ مخابره از ایستگاه به کاربر ۲۴
۱.۳.۳ MF: فیلتر منطبق ۲۵
۲.۳.۳ ZF: تحمیل صفر ۲۶
۳.۳.۳ RZF: تحمیل صفر تعدیل شده ۲۶
۴.۳.۳ TPE: Truncated Polynomial Expansion ۲۷
۵.۳.۳ Phased ZF (PZF) ۲۸

۴ الگوریتم پیشنهادی: رویکردی سریع ۳۰
۱.۴ معرفی الگوریتم پیشنهادی ۳۰
۲.۴ شبیه سازی ۳۴
۳.۴ جمع بندی ۳۵
۴.۴ پیشنهادات ۳۵

فهرست تصاویر

۱.۱ سیر تکامل تکنولوژی‌های بی سیم [۸] ۲

۲.۱ وسایل ارتباطی نسل اول ۳

۳.۱ چالش‌ها، ساختمان و طراحی‌های پایه‌ای نسل پنجم [۸] ۶

۴.۱ معماری نسل پنجم بی سیم [۸] ۹

۵.۱ سیر تکامل مخابرات بی سیم [۸] ۱۰

۱.۲ سیستم‌های مختلف تک و چند ورودی - خروجی ۱۳

۲.۲ سیستم مایمو چندکاربره ۱۴

۳.۲ سیستم مایمو حجیم ۱۶

۴.۲ آلودگی پایلوت در مایمو حجیم [۲] ۱۸

۵.۲ کانال فیدبک در FDD [۲] ۱۹

۱.۳ پیش کدینگ در مایمو ۲۳

۲.۳ Sum Rate قابل دسترسی در پیش کدینگ (J = 2,4) TPE و پیش کدینگ RZF ارائه شده (K = 128, M = 512) ۲۷

۱.۴ مقایسه در L = 0 و L = 1 . . . . . ۳۵

۲.۴ مقایسه در L = 0 و L = 5 . . . . . ۳۶

۳.۴ شبیه سازی برای L = 5 . . . . . ۳۷

فهرست جداول

۱.۱ چالش‌های ارتباطات ۵

۲.۱ مشخصات استانداردهای معرفی شده [؟] ۷

۱.۲ مقایسه FDD و TDD ۲۱

۱.۳ مزایا و معایب پیش کدینگ‌های معرفی شده ۲۹

فصل ۱

مقدمه

در هر نسل از ارتباطات، برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده و پشت سر گذاشتن چالش‌های پیش رو، شبکه‌های مخابراتی باید در جنبه‌های مختلفی پیشرفت کنند. تکنولوژی‌های معرفی شده در سال‌های اخیر همانند تکنولوژی‌های اچ اس پی ای[۱] و ال تی ای[۲] به عنوان نمونه‌هایی از این دسته تکنولوژی‌ها، در سال‌های اخیر مطرح بوده‌اند.

از دهه ۷۰ میلادی ارتباطات بی سیم، از گونه‌ی ارتباطات صوتی آنالوگ به تدریج پیشرفت کرده و پس از پشت سر گذاشتن چند دهه، به تکنولوژی‌های مدرن امروزی با قابلیت ارائه کیفیت بالا و سرویس‌هایی با نرخ داده چند مگابیت بر ثانیه، تبدیل شده‌اند. این بهبودها در صنعت ارتباطات و ظهور گوشی‌ها و تبلت‌های هوشمند در دهه گذشته، بستر کاربردهای فراوانی را برای کاربران به وجود آورده‌اند که در نتیجه‌ی آن ترافیک تبادل داده به شکل نمایی افزایش یافته است. در سال‌های اخیر نیز با به وجود آمدن مفهوم اینترنت اشیا پیش بینی می‌شود که روند این رشد هر چه بیشتر از گذشته باشد. حال ما نیازمند آنیم که برای پوشش نیاز کاربران، ظرفیت و کیفیت شبکه‌های مخابراتی را هر چه بیشتر بهبود بخشیم. در ادامه برای آشنایی بیشتر، اشاره‌ای به تاریخچه سیر تکامل ارتباطات خواهیم داشت.

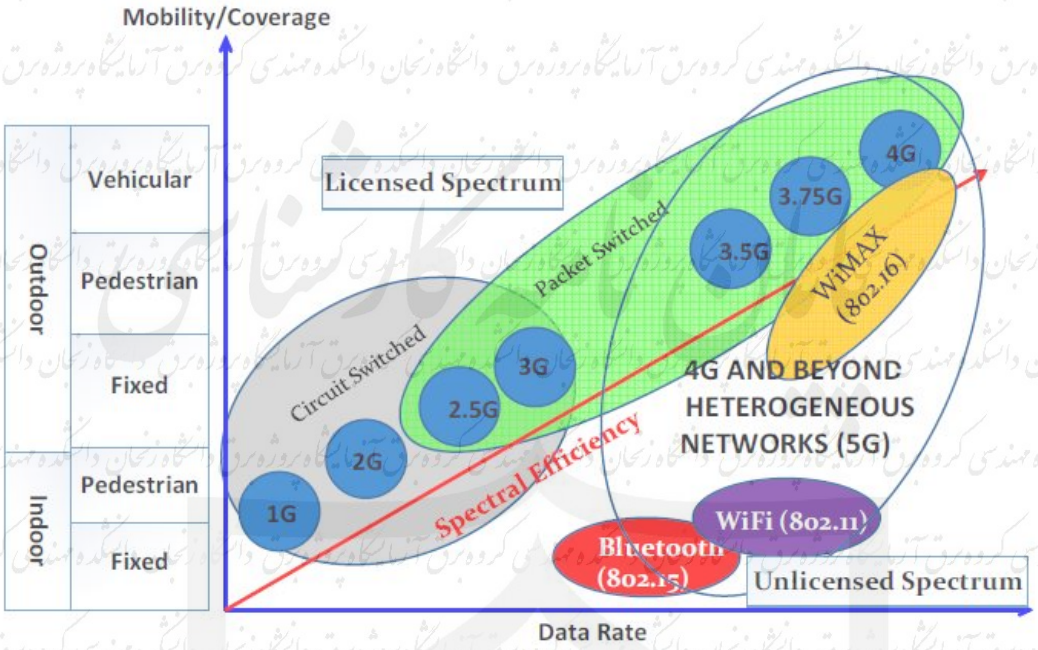
۱.۱ سیر تکامل تکنولوژی بی سیم

مارکونی[۳]، مخترع ایتالیایی، مسیر توسعه شبکه‌های وایرلس کنونی را با انتقال حرف 'S' در مسافت ۳ کیلومتر به صورت کد مورس سه نقطه‌ای و به کمک امواج الکترومغناطیسی، آغاز نمود. پس از

---

[1] HSPA
[2] LTE
[3] G. Marconi

این دستاورد و با گذشت زمان، ارتباطات بی سیم نقش مهمی در جامعه ایفا کردند.



شکل ۱.۱: سیر تکامل تکنولوژی‌های بی سیم [۸]

شکل ۱.۱ روند توسعه تکنولوژی وایرلس بر حسب نرخ داده[۴]، پوشش[۵]، بهره‌ی طیفی[۶] و قابلیت جابجایی[۷] را بیان می کند. با پیشرفت تکنولوژی وایرلس همه این فاکتورها نیز پیشرفت خواهند کرد. همچنین این شکل نشان می‌دهد که در تکنولوژی‌های 1G و 2G از سوئیچ مداری[۸] استفاده می‌شود در حالی که در تکنولوژی‌های 2.5G و 3G هم از سوئیچ مداری و هم از سوئیچ بسته ای[۹] استفاده می‌شود و تکنولوژی‌های بعد از 3.5G تا تکنولوژی‌های کنونی از سوئیچ بسته‌ای استفاده می کنند. برای درک بهتر مسئله، مروری کوتاه بر سرگذشت پیدایش و تکامل این گونه از تکنولوژی‌ها خواهیم داشت.

۱.۱.۱ 1G

نسل اول ارتباطات در دهه‌ی ۸۰ میلادی بنا شد. در آن زمان نرخ داده‌ای مبتنی بر ۴.۲ کیلوبیت بر ثانیه داشت. بیشتر کاربران آن گوشی‌های همراه AMPS و NMT و TACS بودند. معایب فراوانی

[4] Data Rate
[5] Coverage
[6] Spectral Efficiency
[7] Mobility
[8] Cirucit Switching
[9] Packet Switching

از جمله ظرفیت کم و امنیت پایین داشتند به طوری که تماس‌های صوتی در برجک‌های رادیویی ذخیره و پخش می‌شدند که دسترسی نفر سوم به مکالمات میسر بود.[۸]

AMPS (آ) NMT (ب) TACS (ج)

شکل ۲.۱: وسایل ارتباطی نسل اول

۲.۱.۱ 2G

نسل دوم در اواخر دهه‌ی ۹۰ میلادی معرفی شد. در گوشی‌های همراه نسل دوم تکنولوژی دیجیتال استفاده می‌شد. GSM در همین نسل به کار گرفته شد که به طور مخصوص برای ارتباط صوتی استفاده می گردید و نرخ داده‌ای معادل ٦۴ کیلوبیت بر ثانیه داشت. باطری دستگاه‌های همراه نسل دوم طول عمر بیشتری داشتند زیرا که توان سیگنال‌های رادیویی مورد استفاده‌ی این نسل کم‌تر بود. سرویس‌های پیام کوتاه [۱۰] و نامه‌ی الکترونیکی ابتدا در این نسل بود که معرفی شدند. تکنولوژی عمده‌ی مورد استفاده‌ی نسل دوم، GSM و CDMA [۱۱] و IS-95 بودند [۸].

۳.۱.۱ 2.5G

استاندارد بین نسلی به نام 2.5G با استفاده از تلفیق نسل دوم و تکنولوژی GPRS [۱۲] پا به عرصه نهاد. در سیستم نسل ۲.۵ از همان چهارچوب [۱۳] نسل ۲ استفاده می‌شد ولی سوئیچ بسته‌ای را به همراه سوئیچ مداری مورد استفاده قرار می‌داد. نرخ داده در حدود ۱۴۴ کیلوبیت بر ثانیه بود. تکنولوژی‌های اصلی آن نیز GPRS و EDGE [۱۴] و CDMA بود [۸].

[10] Short Message Service (SMS)
[11] Code Division Multiple Access
[12] General Packet Radio Services
[13] Framework
[14] Enhanced Data Rate for GSM Evolution

۴.۱.۱ 3G

در اواخر سال ۲۰۰۰ میلادی نسل سوم از ارتباطات ظهور کرد. این نسل توانست نرخ انتقال داده را تا ۲ مگابیت بر ثانیه افزایش دهد. جدای از سرعت انتقال داده، همچنین قادر بود با بهبود روش‌های مرسوم، کیفیت سرویس را نیز در سطح خوبی نگه دارد. مشخصه‌های دیگر از جمله قابلیت رومینگ[۱۵] و بهبود تماس صوتی، نسل سوم را متمایز نمود.

اما مشکل عمده‌ی این نسل نسبت به نسل قبل این بود که دستگاه‌های این نسل به توان مصرفی بیشتری نسبت به اکثر مدل‌های نسل دوم نیاز داشتند و همچنین هزینه‌ی بیشتری را متحمل می‌شدند [۸].

۵.۱.۱ 3.75G

تکنولوژی ال تی ای و وایمکس[۱۶] تکنولوژی‌های آینده سرویس‌های موبایل خواهند بود. ال تی ای و وایمکس توانایی پشتیبانی از ظرفیت بالا در شبکه و ارائه سرویس به تعداد قابل توجهی از کاربران را دارند. سرعت انتقال دادهی بالا در این سرویسها آن‌ها را برای کاربردهایی همچون ویدیو، اشتراک مستقیم فایل[۱۷] و وب سرویس‌ها [۱۸]مناسب ساخته است [۸].

۶.۱.۱ 4G

از نسل چهارم همواره به عنوان نسل میراث دار و تکامل دهنده‌ی نسل‌های قبل همانند نسل‌های دوم و سوم یاد می‌شود. ۳ جی پی پی[۱۹] هم اکنون تکنولوژی ال تی ای پیشرفته و وایمکس را برای نسل چهارم استاندارد سازی می کند. نسل چهارم، ارتباطات در شبکه را با ارائه راه حلی مطمئن برپایه آی پی (IP) بهبود می بخشد.

در این نسل کاربردهایی همچون صدا، داده و مالتی مدیا در اختیار کاربران قرار گرفته که می توانند با سرعت انتقال دادهی بیشتر نسبت به نسل‌های قبل از این سرویس‌ها استفاده نمایند. کاربردهایی از نسل چهارم ارتباطات در ام ام اس[۲۰]، پخش ویدیو دیجیتال (DVB) [۲۱]، چت

[15] Roaming
[16] Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX)
[17] Peer to Peer File Sharing
[18] Web Service
[19] 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
[20] Multimedia Messaging Service (MMS)
[21] Digital Video Broadcasting (DVB)

ویدیویی و تلویزیون کیفیت بالا (HD TV) و موبایل TVها اشاره نمود [۸].

۲.۱ 5G: نسل پنجم ارتباطات

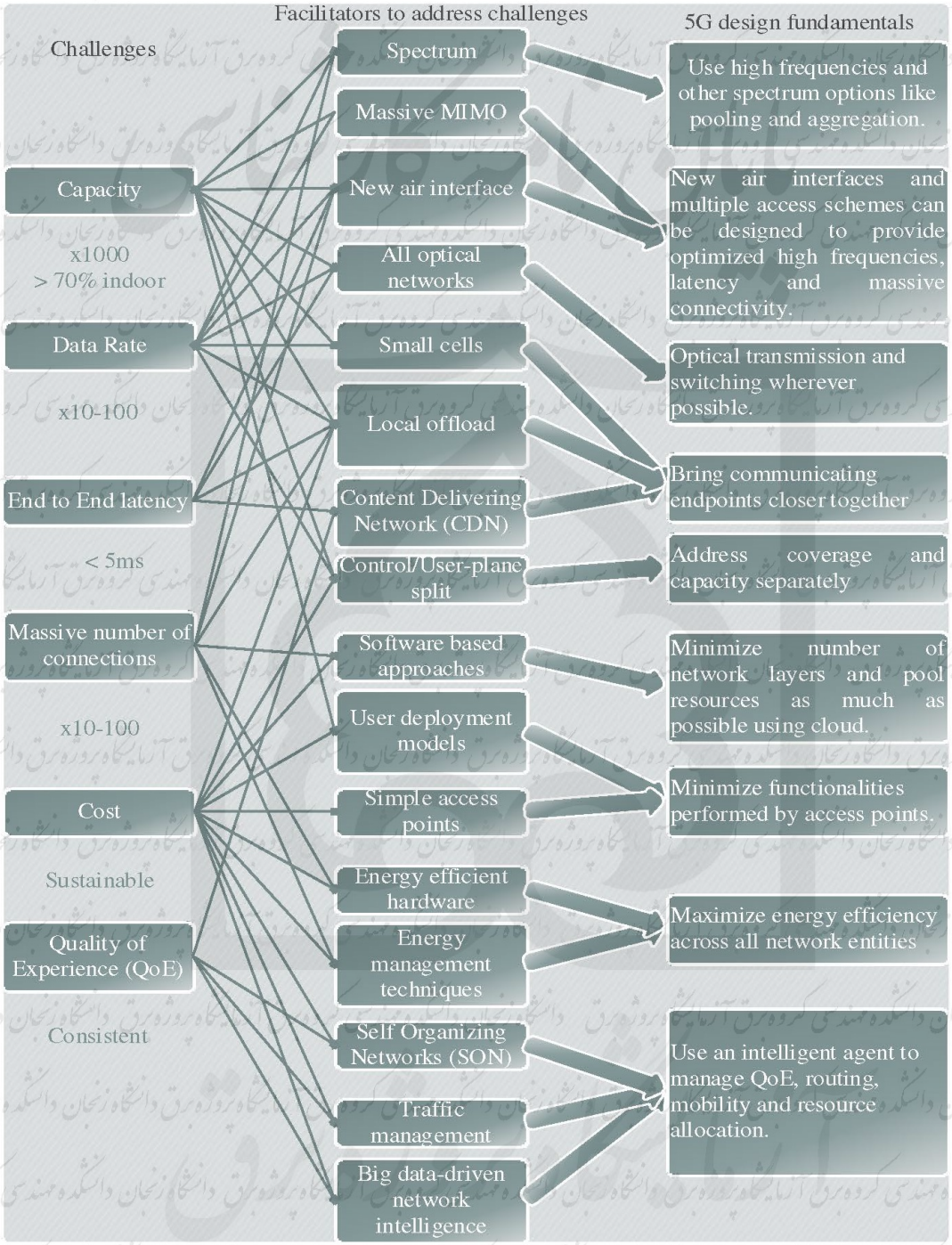
با افزایش تعداد کاربران، همانطور که پیش‌تر نیز به آن اشاره شد، نسل چهارم دیگر پاسخگوی نیازهای جدید به وجود آمده نخواهد بود. به همین علت باید شاهد ایجاد نسلی دیگر باشیم. در نسل پنجم، استانداردها و شیوه‌های متعددی ارائه و تحلیل شده‌اند و برخی از آن‌ها در زمینه‌های مختلف کاندید تکنولوژی پیشرو نسل پنجم بوده‌اند. از این تکنولوژی BDMA[۲۲] و FBMC[۲۳] به عنوان کاندیدهای مهم‌تر یاد شده است که البته با تحقیقات و آزمایش‌های بیشتر این تکنولوژی‌ها همواره در حال تغییر و جایگزینی هستند تا به بهینه‌ترین سیستم برسیم. ایده اصلی تکنیک BDMA با در نظر گرفتن ارتباط ایستگاه مخابراتی[۲۴] با کاربر قابل توضیح است. در این ارتباط، یک بیم متعامد به هر کاربر اختصاص می یابد و تکنیک BDMA بیم آنتن‌ها را -با توجه به مکان کاربران- به هر کاربر اطلاق می کند. در نتیجه بستر دسترسی متعددی به کاربران ایجاد می‌شود که ظرفیت شبکه را افزایش می‌دهد [۸].

ایده‌ی اصلی که ما را به سمت نسل پنجم سوق می‌دهد، شش چالش اصلی ارتباطات است که در نسل چهارم به طور کامل و بهینه مرتفع نگردید. این چالش‌ها در جدول ۱.۱ و تصویر ۳.۱ آمده‌اند.

جدول ۱.۱: چالش‌های ارتباطات

چالش‌ها	نرخ انتقال داده بالاتر
	افزایش ظرفیت شبکه
	کاهش تاخیر پایانه به پایانه
	قابلیت اتصال بالای دستگاه‌ها
	کاهش هزینه‌ها
	کیفیت سرویس پایدار

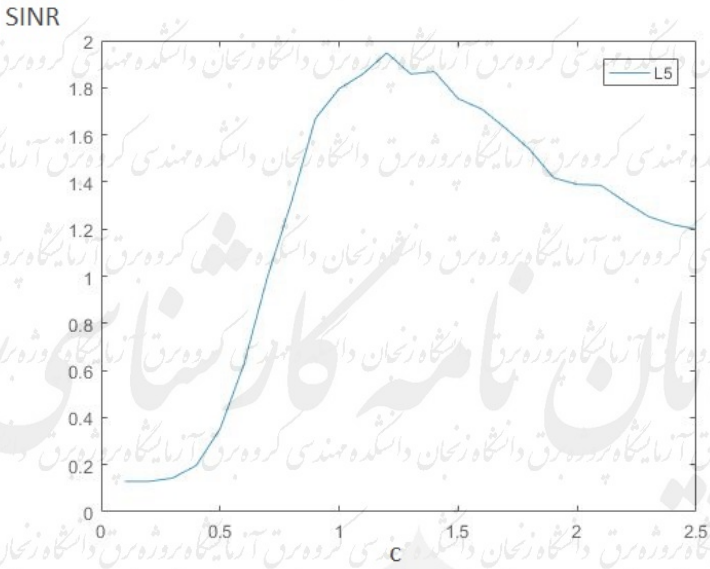
[22] Beam Division Multiple Access
[23] Filter Bank multi carrier
[24] Base Station



شکل ۳.۱: چالش‌ها، ساختمان و طراحی‌های پایه‌ای نسل پنجم [۸]

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.



شکل ۳.۴: شبیه سازی برای L = 5

۳.۴ جمع بندی

مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی عملکرد به مراتب بهتری نسبت به روش‌های قبلی دارد و SINR را در سیستم‌ها به طور چشم گیری افزایش می‌دهد. قابلیت تطبیق روش با سیستم‌ها و کانال‌های متفاوت نیز مورد اهمیت است، چرا که برای کانال‌های متفاوت می توان با تغییر c و L و پیدا کردن مقدار بهینه‌ی آن‌ها، بهینه‌ترین سیستم را مطابق کاربرد خود پیدا کرد.

۴.۴ پیشنهادات

چیزی که در این سیستم مهم است، پیدا کردن c و L بهینه است که حجم محاسبات را نیز افزایش ندهد. پیدا کردن رابطه‌ی بین c و L جزء مباحثی است که می توان بر روی آن کار کرد.

همچنین در سیستم‌هایی با تعداد کاربران خیلی زیاد، ما ناچار به افزایش L خواهیم بود، چرا که در Lهای بسیار کوچک تر از تعداد کاربران، بهبود خیلی چشم گیر نیست. پیدا کردن راه حلی برای این مسئله نیز می تواند جزء مباحث مورد تحقیق قرار گیرد.

نمایه

بهره طیفی، ۲
دو طرفه سازی، ۱۸
دی کامپوزیشن، ۳۲
سری نوئمان، ۳۲
قطری چیره، ۳۳
مایمو، ۱۳
مایمو حجیم، ۱۵
مایمو چند کاربره، ۱۴
نرخ داده، ۱
پیش کدینگ، ۲۳
کیفیت سرویس، ۴

مرجع‌ها

[1] Daniel C Araújo, André LF de Almeida, Johan Axnäs, and João CM Mota. Channel estimation for millimeter-wave very-large mimo systems. In *Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2014 Proceedings of the 22nd European*, pages 81–85. IEEE, 2014.

[2] Daniel C Araújo, Taras Maksymyuk, André LF de Almeida, Tarcisio Maciel, João CM Mota, and Minho Jo. Massive mimo: survey and future research topics. *Iet Communications*, 10(15):1938–1946, 2016.

[3] Ezio Biglieri, Robert Calderbank, Anthony Constantinides, Andrea Goldsmith, Arogyaswami Paulraj, and H Vincent Poor. *MIMO wireless communications*. Cambridge university press, 2007.

[4] Emil Björnson, Luca Sanguinetti, Jakob Hoydis, and Mérouane Debbah. Optimal design of energy-efficient multi-user mimo systems: Is massive mimo the answer? *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 14(6):3059–3075, 2015.

[5] Nusrat Fatema, Guang Hua, Yong Xiang, Dezhong Peng, and Iynkaran Natgunanathan. Massive mimo linear precoding: A survey. *IEEE Systems Journal*, (99):1–12, 2017.

[6] Jose Flordelis, Fredrik Rusek, Fredrik Tufvesson, Erik G Larsson, and Ove Edfors. Massive mimo performance—tdd versus fdd: What do measurements say? *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17(4):2247–2261, 2018.

[7] David Gesbert, Marios Kountouris, Robert W Heath, Chan-Byoung Chae, and T Salzer. From single user to multiuser communications: Shifting the mimo paradigm. *IEEE signal processing magazine*, 24(5):36–46, 2007.

[8] Akhil Gupta and Rakesh Kumar Jha. A survey of 5g network: Architecture and emerging technologies. *IEEE access*, 3:1206–1232, 2015.

[9] Florian Kaltenberger, Haiyong Jiang, Maxime Guillaud, and Raymond Knopp. Relative channel reciprocity calibration in mimo/tdd systems. In *Future Network and Mobile Summit, 2010*, pages 1–10. IEEE, 2010.

[10] B Keramati. An approach to the approximation of the inverse of a square matrix by he's homotopy perturbation method. *Italian journal of pure and applied mathematics*, 28:117–124, 2011.

[11] Rakhesh Singh Kshetrimayum. *Fundamentals of MIMO Wireless Communications*. Cambridge University Press, 2017.

[12] Erik G Larsson, Ove Edfors, Fredrik Tufvesson, and Thomas L Marzetta. Massive mimo for next generation wireless systems. *IEEE communications magazine*, 52(2):186–195, 2014.

[13] Thomas L Marzetta, Erik G Larsson, Hong Yang, and Hien Quoc Ngo. *Fundamentals of massive MIMO*. Cambridge University Press, 2016.

[14] Ahmed Hesham Mehana and Aria Nosratinia. Diversity of mimo linear precoding. *IEEE Trans. Information Theory*, 60(2):1019–1038, 2014.

[15] Chen Sun, Xiqi Gao, Shi Jin, Michail Matthaiou, Zhi Ding, and Chengshan Xiao. Beam division multiple access transmission for massive mimo communications. *IEEE Transactions on Communications*, 63(6):2170–2184, 2015.

[16] Howard H Yang, Giovanni Geraci, Tony QS Quek, and Jeffrey G Andrews. Cell-edge-aware precoding for downlink massive mimo cellular networks. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 65(13):3344–3358, 2017.

[17] Howard H Yang and Tony QS Quek. Massive mimo in small cell networks: Wireless backhaul. In *Massive MIMO Meets Small Cell*, pages 35–59. Springer, 2017.

[18] Jin Yun Yuan and Plamen Y Yalamov. A method for constructing diagonally dominant preconditioners based on jacobi rotations. *Applied mathematics and computation*, 174(1):74–80, 2006.

[19] Cheng Zhang, Yindi Jing, Yongming Huang, and Luxi Yang. Performance analysis for massive mimo downlink with low complexity approximate zero-forcing precoding. *IEEE Transactions on Communications*, 2018.