پنجمین کنفرانس ملی فناوری‌های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر
۳۰ شهریور ماه ۱۴۰۱ - اصفهان
ISC پایگاه استنادی علوم جهان اسلام ۰۱۲۲۰-۹۰۱۳۵

برش‌بندی شبکه آگاه از انرژی و گذردهی در شبکه‌های 5G با دسترسی ترکیبی

محدثه حافظی، دانشجو کارشناسی ارشد[۱]، m_hafezi@comp.iust.ac.ir

دکتر زینب موحدی، استادیار[۲]، zmovahedi@iust.ac.ir *

دکتر مهدی نوری، مدیر ارشد پروژه[۳]، همکار پژوهشی[۴]، mahdi.noori@mci.ir، mahdi.nouri@ee.sharif.edu

چکیده

در نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی (5G)، تخصیص منابع شبکه با بهره‌گیری از فناوری برش‌بندی متناسب با نیازمندی خدمات صورت می‌پذیرد. استفاده از برش‌بندی شبکه موجب ارائه خدمات متفاوت در یک زیرساخت ارتباطی مشترک از جانب اپراتورهای شبکه‌های مخابراتی شده و انعطاف‌پذیری شبکه را افزایش می‌دهد. به منظور تخصیص منابع هر برش، یکی از تکنیک‌های متداول دسترسی که در نسل‌های مختلف شبکه موبایل مورد استفاده قرار می‌گیرد، جداسازی منابع از طریق زمان، فرکانس یا کد است که با تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد (OMA) شناخته می‌شوند. در کنار این تکنیک دسترسی، در 5G تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) به منظور ایجاد قابلیت پشتیبانی از بیش از یک کاربر، از طریق تخصیص غیرمتعامد منابع با توجه به افزایش روزافزون تعداد کاربران و ترافیک آن‌ها و نیاز به افزایش بهره‌وری طیفی و پشتیبانی از اتصالات انبوه مطرح شده است. در این مقاله، با هدف افزایش بهره‌وری انرژی و گذردهی، از ترکیب OMA و NOMA در برش‌بندی شبکه استفاده شده است. به این منظور، مسئله برش‌بندی شبکه با هدف بهره‌وری همزمان انرژی و گذردهی در شبکه‌های نسل پنجم با دسترسی ترکیبی به صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندین هدفه مدل‌سازی شده و از طریق ابزار CVX مورد حل قرار می‌گیرد. نتایج به دست آمده از ارزیابی بیانگر تخصیص بهینه منابع و دستیابی به هدف مسئله است.

واژه‌های کلیدی: نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی، دسترسی چندگانه متعامد، دسترسی چندگانه غیرمتعامد، برش‌بندی شبکه، بهره‌وری توأمان انرژی و گذردهی

* نویسنده مسئول

[۱] دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

[۲] دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

[۳] مرکز تحقیق و توسعه شرکت ارتباطات سیار (همراه اول)، تهران، ایران.

[۴] دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

www.SID.ir

۱- مقدمه

یکی از ماموریت‌های نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی[۵] (5G) پشتیبانی از توسعه روزافزون تقاضا، مدیریت حجم انبوهی از داده‌ها و تخصیص بهینه منابع است [۱]. در این شبکه‌ها، برخلاف معماری شبکه‌های ارتباطی سابق، به منظور پشتیبانی از خدمات متفاوت از ساختاری یکسان استفاده نشده و از برش‌بندی شبکه[۶] بهره‌برداری می‌شود. برش‌بندی شبکه مبتنی بر مفاهیم مجازی‌سازی[۷] است که با ایده ایجاد فرم مجازی از یک موجودیت فیزیکی با روش‌های نرم‌افزاری شکل گرفته است. شبکه‌های پوششی[۸] که شکل اولیه برش‌بندی شبکه هستند، شامل گره‌هایی می‌باشند که از طریق پیوندهای مجازی به هم متصل شده و شبکه‌های مجازی را بر روی یک ساختار فیزیکی ارائه می‌دهند. در واقع، برش‌بندی با ایجاد شبکه‌های منطقی متعدد بر روی یک زیرساخت فیزیکی مشترک، سبب افزایش انعطاف‌پذیری و برآورده کردن نیازمندی‌ها و کیفیت خدمات[۹] مختلف مشتریان خواهد شد [۲].

استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد[۱۰] (OMA) در یک برش باعث می‌شود که منابع به صورت انحصاری به خدمات اختصاص یابد. در صورتی که با استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه غیرمتعامد[۱۱] (NOMA) ترافیک چندین خدمت، در منابع موجود دارای همپوشانی بوده که این امر موجب افزایش نرخ انتقال داده می‌گردد. همچنین، با استفاده از NOMA می‌توان از مزایایی همچون کنترل توان و بهبود بهره‌وری طیفی[۱۲] با استفاده از تنظیم توان[۱۳] بهره برد. به علاوه، چارچوب فرستنده – گیرنده مبتنی بر NOMA، پیاده‌سازی ارسال MIMO حجیم[۱۴] را تسهیل می‌کند.

در این مقاله، به جهت پشتیبانی از خدمات متنوع و نیازمندی‌های گوناگون کاربران، یک رویکرد ترکیبی دسترسی چندگانه استفاده می‌شود. در این رویکرد، اکوسیستم چند مستاجره[۱۵] 5G که در آن هر مستاجر[۱۶] شامل یک کاربر یا گروهی از کاربران است، به صورت ترکیبی از مفاهیم دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد استفاده می‌کند. در رویکرد ترکیبی، ارائه اتصالات گسترده و فرآهم آوردن الزامات انواع خدمات همچون خدمات نیازمند تاخیر کم، قابلیت تطبیق داشته و انعطاف‌پذیری بالایی را فراهم می‌آورد. همچنین، با توجه به برخورداری از مزایای هر دو تکنیک OMA و NOMA، کارآمدی استفاده از طیف رادیویی بالا می‌رود.

از دیگر ماموریت‌های 5G افزایش نرخ داده در عین کاهش مصرف انرژی است. بر همین اساس، افزایش بهره‌وری انرژی[۱۷] به عنوان هدفی مهم در مسئله تخصیص بهینه منابع شبکه در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس، در این مقاله بیشینه کردن گذردهی[۱۸] و بهره‌وری انرژی بصورت توأمان به عنوان اهداف رویکرد پیشنهادی در نظر گرفته شده‌اند. از آنجایی که بیشینه کردن یکی از این اهداف سبب کاهش دیگری می‌شود، مسئله چندهدفه[۱۹] پیچیده بوده و نیازمند برقراری مصالحه میان اهداف می‌باشد. به این منظور، مسئله به صورت دو زیر مسئله مربوط به OMA و NOMA تقسیم شده است و با استفاده از حل‌کننده[۲۰] CVX مورد حل قرار می‌گیرد.

ادامه این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم، به بررسی کارهای انجام شده در زمینه تخصیص منابع و برش‌بندی شبکه می‌پردازیم. در بخش سوم، ضمن معرفی مدل سیستم پیشنهادی، مسئله برش‌بندی آگاه از انرژی و گذردهی بصورت توأمان را در شبکه 5G

---

[5] 5th Generation of communication networks
[6] Network Slicing
[7] Virtualization
[8] Overlay Networks
[9] Quality of Service
[10] Orthogonal Multiple Access
[11] Non-Orthogonal Multiple Access
[12] Spectrum Efficiency
[13] Power adjusment
[14] Massive Multiple Input Multiple Output
[15] Multi-tenant
[16] Tenant
[17] Energy Efficiency
[18] Throughput
[19] Multi-Objective Problem
[20] Solver

www.SID.ir

ترکیبی مبتنی بر دسترسی چندگانه متعامد و غیر متعامد مدلسازی می‌نماییم. در بخش چهارم، مدل‌سازی ارائه‌شده برای مسئله را حل نموده و نتایج ارزیابی روش را نمایش می‌دهیم. در نهایت، در بخش آخر نتیجه‌گیری مقاله و پیشنهاداتی برای کارهای آینده را مطرح می‌کنیم.

۲- کارهای پیشین

در این بخش به منظور آشنایی با روش‌های تخصیص منابع و برش‌بندی شبکه به بررسی کارهای اخیر موجود در این حوزه می‌پردازیم.

در کار [۳] مسئله تخصیص بهینه منابع برش شبکه با هدف بیشینه کردن گذردهی و بهره‌وری انرژی در نظر گرفته شده است. در این کار برش‌بندی شبکه با جداسازی فیزیکی از طریق زمان یا فرکانس به صورت متعامد حاصل شده و ۴ ترکیب متفاوت از پهنای‌باند و تخصیص توان را شامل می‌شود. در ترکیب اول که پهنای‌باند و توان به صورت ایستا تخصیص می‌یابد تاکید به دستیابی به الزامات کیفیت خدمات بوده و مصالحه‌ای میان اهداف برقرار نمی‌شود. در ترکیب دوم تکنیک‌های TDMA[۲۱] و FDMA[۲۲] برای دستیابی به الزامات کیفیت خدمات ترکیب شده و کاربران با تعداد معینی از منابع فرکانس با میانگین توان انتقال ثابت برنامه‌ریزی می‌شوند. ترکیب سوم از رویکرد انطباق ظرفیت استفاده می‌کند که از حداکثر پهنای‌باند استفاده شده تعداد سیگنال‌های مرجع را تغییر نمی‌دهد. ترکیب چهارم نیز به عنوان رویکرد تطبیق پهنای‌باند متناسب با ترافیک عبوری توصیف شده است. در نهایت برش شبکه مدل‌سازی شده و مسئله بهینه‌سازی تخصیص منابع چندین هدفه مورد حل قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که در این کار از تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد استفاده نشده است.

در کار [۴] یک الگوریتم تخصیص منابع با توجه به اطلاعات وضعیت کانال برای یک سیستم دسترسی چندگانه غیر متعامد فروسو ارائه شده است. این الگوریتم با حل یک مسئله بهینه سازی از نظر انتخاب کاربر، تخصیص حامل فرعی و تخصیص توان برای به حداکثر رساندن مجموع ظرفیت مورد انتظار، توسعه یافته است که به شیوه‌ای تکراری عمل می‌کند و شامل دو بخش در هر تکرار است: ۱) انتخاب کاربر. ۲) انتساب حامل فرعی و تخصیص توان. لازم به ذکر است که در این کار برش‌بندی شبکه و همچنین ترکیب استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد و مزایای استفاده از آن‌ها مورد توجه قرار نگرفته است.

در کار [۵] مسئله تخصیص منبع شبکه ناهمگن NOMA در نظر گرفته شده /برای چند کاربر با سرعت‌های مختلف است که یک مسئله غیر محدب به دلیل گروه بندی مشترک کاربران و تخصیص توان در بین کاربران است. بنابراین، نویسندگان مسئله را به سه زیر مسئله فرعی، یعنی گروه بندی کاربر، جفت شدن کاربر و تخصیص توان بین کاربران جدا کرده‌اند. هدف، به حداکثر رساندن نرخ انتقال سیستم در حالی که کیفیت سرویس (QOS) را برای کاربران برآورده می‌کند. به منظور حل مسئله از الگوریتم تقریب محدب متوالی[۲۳] (SCA) برای به دست آوردن یک راه حل بهینه استفاده می‌شود. در این کار نیز، همچون کار [۴] برش‌بندی شبکه و همچنین ترکیب استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد استفاده نشده است.

در کار [۶] از ترکیب مفاهیم NOMA و OFDMA استفاده می‌شود. با بهره‌مندی از مزایای ترکیب دو تکنیک شامل پشتیبانی از خدمات متنوع، کارآمدتر بودن طیف نسبت به OMA، حساسیت کمتر به تداخل نسبت به NOMA و همچنین نیاز به پیچیدگی کمتری برای لغو تداخل متوالی[۲۴] (SIC) نسبت به NOMA، مسئله بهینه‌سازی تخصیص منابع این کار به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط[۲۵] فرمول می‌شود. در این مسئله خوشه‌بندی کابران نیز در کنار تخصیص توان در سیستم ترکیبی در نظر گرفته شده است. به منظور حل مسئله از یک الگوریتم تخصیص با عنوان Opt-RA[۲۶] استفاده شده است که با تبدیل مسئله غیرمحدب[۲۷] از طریق تقریب سری تیلور از شدت پیچیدگی مسئله کاسته شده و در تعداد تکرار کمتری به همگرایی می‌رسد. بنابراین الگوریتم حل اکتشافی بوده و به عنوان یک گزینه برای پیاده‌سازی‌های عملی مورد کاربرد است. پیاده‌سازی‌ها و تجزیه و تحلیل عملکرد این الگوریتم حاکی از آن است که در مقایسه با

[21] Time Division Multiple Access
[22] Frequency Division Multiple Access
[23] Successive Convex Approximation Algorithm
[24] Successive Interference Cancellation
[25] Mixed integer non-linear programming
[26] Optimal Resource Allocation
[27] Non-Convex

www.SID.ir

روش‌های مورد مقایسه دارای بهبود در هدف مسئله یعنی بیشینه کردن بهره‌وری انرژی می‌باشد. در این کار برش‌بندی شبکه و مزایای استفاده از آن مورد توجه قرار نگرفته است.

در کار [۷] تنها از دسترسی چندگانه غیرمتعامد استفاده شده است. این تکنیک هم بهره‌وری طیفی و هم انعطاف‌پذیری تخصیص منابع رادیویی را بهبود می‌بخشد. مسئله اصلی در این کار بهینه‌سازی تخصیص توان به منظور بهبود بهره‌وری انرژی برای سیستم‌های فروسو[۲۸] منطبق بر NOMA است. به این منظور یک رویکرد تخصیص توان با پیچیدگی کم به ازای هر کاربر پیشنهاد شده است که توان بهینه را تعیین می‌کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این کار بیانگر این است که دسترسی چندگانه غیرمتعامد در مقایسه با متعامد بهبود در بهره‌وری انرژی را ارائه می‌دهد. در این کار نیز از مزایای برش‌بندی شبکه استفاده نشده و همچنین ترکیب استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد برای افزایش بهره‌وری انرژی مورد توجه قرار نگرفته است.

در کار [۸] نیز همانند کار [۷] از تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد برای بهبود بهره‌وری طیفی استفاده شده است. بهره‌وری انرژی نیز به عنوان هدف مسئله و مورد تاکید در ارتباطات رادیویی سبز برای این سیستم در نظر گرفته شده است. این مسئله به صورت یک مسئله بهینه‌سازی غیرمحدب فرمول می‌شود که ایده اصلی آن حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی با در نظر گرفتن بهره‌وری طیفی و در عین حال تضمین کیفیت خدمات است. تحلیل نتایج شبیه‌سازی مسئله از کارآمدی طرح پیشنهادی برای تخصیص انعطاف‌پذیر منابع حکایت می‌کند. پیچیدگی این مسئله در منطبق نبودن و تعارض بهره‌وری انرژی و بهره‌وری طیفی با یکدیگر بوده که آن را نیازمند تخصیص پیشنهادی در این کار می‌کند. در این کار نیز همچون کار قبلی از مزایای برش‌بندی شبکه استفاده نشده و همچنین ترکیب استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد برای افزایش بهره‌وری انرژی مورد توجه قرار نگرفته است.

در کار [۹] به منظور بهبود بهره‌وری انرژی از تکنیک دسترسی چندگانه غیرمتعامد استفاده می‌شود. این کار بر طراحی پیوند فروسو مبتنی بر NOMA تاکید داشته و ابتدا تخصیص توان روی چندین کاربر در یک خوشه مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، با به دست آمدن تخصیص بهینه توان برای هر کاربر، یک استراتژی تخصیص توان جدید در میان چندین خوشه برای رسیدن به هدف مسئله یعنی بیشینه کردن بهره‌وری انرژی کل سیستم پیشنهاد می‌شود. زیر مسئله اولیه در این کار غیرمحدب بوده و از روش تقریب محدب متوالی برای یافتن حل بهینه آن استفاده می‌شود. در این کار نیز همچون کارهای قبلی از مزایای برش‌بندی شبکه استفاده نشده و همچنین ترکیب استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد برای افزایش بهره‌وری انرژی مورد توجه قرار نگرفته است.

بررسی کارهای مرتبط مشخص می‌کند که با وجود تحقیقات صورت‌گرفته در حوزه روش‌های تخصیص منابع و برش‌بندی شبکه توجه به ترکیب استفاده از تکنیک‌های دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد به منظور افزایش بهره‌وری انرژی به نسبت استفاده از یکی از این تکنیک‌ها، صورت نگرفته است و همچنین در غالب کارهای موجود برش‌بندی شبکه و ایجاد چندین شبکه پوشش مجازی بر یک زیرساخت فیزیکی مشترک به منظور پشتیبانی از خدمات متنوع مغفول مانده است. در یکی از کارهای مرتبط به مسئله برش‌بندی شبکه توجه شده که در آن تنها از تکنیک دسترسی چندگانه متعامد استفاده شده و این کار نیز از مزایای دسترسی چندگانه غیرمتعامد همچون کنترل توان، انتشار در جهت مشخص و بهبود بهره‌وری طیفی، بی‌بهره است. به همین منظور، در این مقاله به ارائه یک روش برش‌بندی شبکه با ترکیب تکنیک‌های دسترسی متعامد و غیرمتعامد می‌پردازیم.

۳- روش پیشنهادی برش‌بندی شبکه با ترکیب تکنیک‌های دسترسی متعامد و غیرمتعامد

همانطور که در بخش پیشین اشاره شد کارهای انجام‌شده در زمینه تخصیص منابع شبکه و برش‌بندی شبکه به ترکیب استفاده از دو تکنیک OMA و NOMA توجه نمی‌کنند و همچنین در صورت توجه در یکی از کارهای موجود در این حوزه از مزایای برش‌بندی شبکه بهره نجسته است. به منظور بهبود بهره‌وری انرژی، ارائه خدمات متنوع منطبق بر الزامات این نوع خدمات و استفاده از مزایای هر دو تکنیک OMA و NOMA در این بخش به ارائه یک روش برش‌بندی شبکه با ترکیب تکنیک‌های دسترسی متعامد و غیرمتعامد می‌پردازیم. در ادامه به تفصیل به معرفی روش پیشنهادی پرداخته و مدل سیستم و فرمول‌بندی مسئله شرح داده می‌شود.

[28] Downlink

www.SID.ir

۳-۱- مدل سیستم و مدلسازی مسئله

مدل سیستم شامل I برش می‌باشد که با مجموعه $S = \{S_1, \dots, S_i, \dots S_I\}$ مشخص می‌شود. این برش‌ها به صورت ترکیبی از تکنیک‌های OMA و NOMA استفاده می‌کنند. برای سیستم تعداد K کاربر تعریف شده که با مجموعه $K = \{1, \dots, K\}$ نمایش داده می‌شوند. چنانچه یک کاربر به زیرحامل[29] مربوط به OMA متصل باشد با k_o نمایش داده می‌شود و A_o مجموعه کاربران OMA است. چنانچه کاربر به زیرحامل مربوط به NOMA متصل باشد با k_n مشخص می‌گردد و A_n بیانگر مجموعه کاربران NOMA است. هدف مسئله بیشینه کردن گذردهی و بهره‌وری انرژی می‌باشد. در این راستا، ابتدا برای هر کاربر به تفکیک اتصال به زیرحامل OMA یا NOMA به ارائه فرمول‌های مربوطه پرداخته و سپس مسئله بهینه‌سازی کلی را برای نیل به اهداف ذکرشده در فوق فرموله می‌کنیم.

برای محاسبه نرخ انتقال کاربر در اتصال به زیرحامل OMA، مطابق فرمول شنون داریم:

$$R_{k_o}\left(b_{s_{k_o}}, p_{k_o}\right) = b_{s_{k_o}} \log\left(1 + \gamma_{k_o}\right) \quad (۱)$$

در این فرمول بالا $b_{s_{k_o}}$ مشخص‌کننده پهنای‌باند برش[30] مربوط به کاربری است که به زیرحامل OMA متصل بوده و این برش خود با اندیس s_{k_o} مشخص می‌شود. همچنین γ_{k_o} نسبت سیگنال به نویز[31] (SINR) است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma_{k_o} = \frac{p_{k_o} \left|h_{k_o}\, \omega_{k_o}\right|^2}{N_0 b_{s_{k_o}}} \quad (۲)$$

در فرمول فوق p_{k_o} توان انتقال کاربر OMA بوده و h_{k_o} بهره آنتن متصل به این کاربر می‌باشد. ω_{k_o} نیز بردار بیم‌دهی[32] یکتا کاربر است و همچنین N_0 نویز زیرحامل OMA می‌باشد. در ادامه تمامی موارد شرح داده‌شده در بالا برای کاربران متصل به زیرحامل NOMA قرار داده می‌شود. برای محاسبه نرخ انتقال کاربر در اتصال به زیرحامل NOMA، مطابق فرمول شنون داریم:

$$R_{k_n}\left(b_{s_{k_n}}, p_{k_n}\right) = b_{s_{k_n}} \log\left(1 + \gamma_{k_n}\right) \quad (۳)$$

در این فرمول بالا $b_{s_{k_n}}$ مشخص‌کننده پهنای‌باند برش مربوط به کاربری است که به زیرحامل NOMA متصل بوده و این برش خود با اندیس s_{k_n} مشخص می‌شود. همچنین γ_{k_n} نسبت سیگنال به نویز (SINR) است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma_{k_n} = \frac{p_{k_n} \left|h_{k_n}\, \omega_k\right|^2}{\left|h_{k_n}\right|^2 \sum_{j \in A_n, [k_n]} p_{j_n} + N_0 b_{s_{k_n}}} \quad (۴)$$

در فرمول فوق p_{k_n} توان انتقال کاربر NOMA بوده و h_{k_n} بهره آنتن متصل به این کاربر می‌باشد. ω_k نیز بردار بیم‌دهی یکتا کاربر است و همچنین N_0 نویز زیرحامل NOMA بوده و برای محاسبه تداخل تحمیل‌شده از سوی دیگر کاربران داریم:

$$A_n, [k_n] = \{\cup\, j \mid |hj_n| > \left|h_{k_n}\right|, \quad k, j \in A_n\}$$

به منظور فرمول کردن هدف مسئله یعنی بیشینه‌کردن بهره‌وری انرژی و گذردهی در ادامه با استفاده از تفکیک صورت‌گرفته در بالا، به ترتیب فرمول بهره‌وری انرژی کلی و گذردهی کلی برای سیستم برش‌بندی ترکیبی ما ارائه می‌شود:

---
[29] SubCarrier
[30] Slice
[31] Signal to Interference and Noise Ratio
[32] Beamforming

www.SID.ir

$$\mathrm{GEE}(\boldsymbol{b},\boldsymbol{p}) = \frac{\sum_{k_n=1}^{K_N} \mathrm{R_{kn}} + \sum_{k_o=1}^{K_O} \mathrm{R_{ko}}}{P_0 + \sum_{k=1}^{K} \phi_k p_k} \qquad (۵)$$

$$\mathrm{TP}(\boldsymbol{b},\boldsymbol{p}) \quad = \sum_{k_n=1}^{K_N} b_{s_{k_n}} \log\left(1+\gamma_{k_n}\right) + \sum_{k_o=1}^{K_o} b_{s_{k_o}} \log\left(1+\gamma_{k_o}\right) \qquad (۶)$$

که در فرمول (۵) P_{k_n} مصرف توان مدار و ϕ_{k_n} ضریب ناکارآمدی توان می‌باشد. با ارائه دو فرمول (۵-۶) مسئله بهینه‌سازی بیشینه‌کردن بهره‌وری انرژی و گذردهی سیستم برش‌بندی ترکیبی OMA و NOMA با تعیین پهنای‌باند و توان انتقال به صورت زیر فرمول می‌شود:

$$\max_{(b,p)\in D} [\mathrm{GEE}(b,p), \mathrm{TP}(b,p)] \qquad (۷)$$

s.t.

$$b \geq 0, \qquad p \geq 0 \qquad (۸)$$

$$\sum_{k\in\mathcal{S}_{i_o}} b_{i_o} + \sum_{k\in\mathcal{S}_{i_n}} b_{i_n} \leq B \qquad (۹)$$

$$\sum_{k\in A_n} p_{k_n} \leq P_n, \quad \sum_{k\in A_o} p_{k_o} \leq P_o \qquad (۱۰)$$

$$\mathrm{GEE}(b,p) \geq \mathrm{GEE}^{\star}, \ \mathrm{TP}(b,p) \geq \mathrm{TP}^{\star} \qquad (۱۱)$$

قیود این مسئله به شرح زیر است:
قید (۸-۱۰) مشخص کننده محدودیت های فیزیکی و محدودیت های منابع BS[۳۳] می‌باشد. قید (۱۱) تضمین کننده کیفیت سرویس ارائه دهنده[۳۴] برش شبکه است.

یک رویکرد برای حل مسئله چند هدفه تعریف شده در فرمول (۷)، به منظور تبدیل مسئله چند هدفه به بردار اسکالر، رویکرد سودمندی[۳۵] است که حداکثر شدن آن منجر به یک نقطه پارتو بهینه[۳۶] می‌شود و به صورت زیر فرموله می‌شود و برای حل آن از الگوریتم دینکل‌باخ[۳۷] استفاده شده است [۱۰]:

$$\max_{(\mathrm{t},b,p)\in D} \quad \mathrm{t} \qquad (۱۳)$$

s.t.

$$GEE(b,p) \geq \alpha \mathrm{t}, \qquad TP(b,p) \geq (1-\alpha)\mathrm{t} \qquad (۱۴)$$

[33] Base Station
[34] Provider
[35] Utility Profile
[36] Pareto Optimal
[37] Dinkelbach's algorithm

www.SID.ir

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

به منظور حل مدلسازی پیشنهادی و مقایسه آن با حل کار مرتبط (TENS) [۳] که در آن نیز برش‌بندی شبکه در مسئله لحاظ شده است، از نرم‌افزار MATLAB و حل‌کننده Mosek[۳۸] استفاده می‌کنیم. جواب به دست آمده از این ابزار، بهترین جواب تقریبی ممکن برای مسئله خواهد بود. طبق آنچه در قسمت مدل‌سازی شرح داده شد، هدف مسئله بیشینه‌کردن بهره‌وری انرژی و گذردهی کلی سیستم می‌باشد. بنابراین، جهت ارزیابی عملکرد مدل‌سازی پیشنهادی و مقایسه آن با کار مرتبط [۳] به مقایسه ارتباط بین بهره‌وری انرژی و گذردهی در پهنای باندهای متفاوت می‌پردازیم.

۴-۱- پارامترهای ارزیابی

جدول ۱ جهت معرفی پارامترهای ارزیابی ارائه شده است.

جدول ۱: پارامترهای ارزیابی

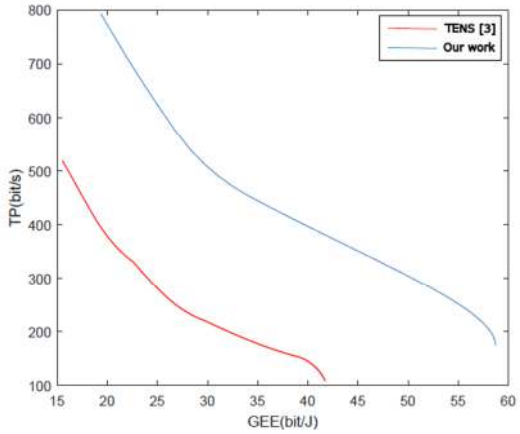
پارامتر ارزیابی	مقدار
تعداد کاربران OMA	۳
تعداد کاربران NOMA	۲
حداکثر پهنای باند	۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰
تعداد برش‌شبکه	۳
نویز گوسی	$۱۰^{-۲}$
مصرف توان مدار	۰٫۱ وات
ضریب ناکارآمدی توان	۴
حداکثر توان زیر حامل NOMA	۳۰ دسی‌بل
حداکثر توان زیر حامل OMA	۳۰ دسی‌بل

۴-۲- بررسی نتایج ارزیابی

در آزمایش‌های صورت گرفته در این قسمت مقدار پارامترهای ارزیابی مطابق با جدول۱ بوده است و مقدار حداکثر پهنای باند به ترتیس ۱۰۰ ، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز قرار داده شده است. در شکل ۱ نشان‌دهنده رابطه بهره‌وری انرژی و گذردهی کلی سیستم با در نظر گرفتن بیشینه پهنای باند برابر با ۱۰۰ هرتز است. قابل مشاهده است که بهره‌وری انرژی و گذردهی با یکدیگر در تعارض بوده و افزایش یکی کاهش دیگری را موجب می‌شود و روش پیشنهادی در مقایسه با کار مرتبط [۳] دارای بهبود می‌باشد که ناشی از لحاظ ترکیب استفاده از دو تکنیک OMA و NOMA بوده است.

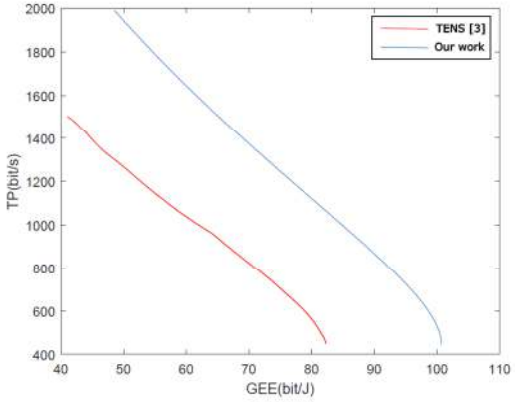
[38] Mosek CVX solver

www.SID.ir



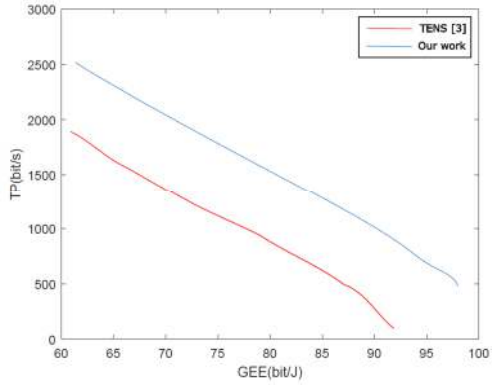
شکل ۱: استفاده از رویکرد سودمندی با پهنای باند ۱۰۰ هرتز

همچنین در شکل ۲ و شکل ۳ به بررسی تاثیر افزایش پهنای باند بر بهره‌وری انرژی و گذردهی میپردازیم. با توجه به افـزایش پهنای باند، بهره‌وری انرژی و گذردهی افزایش یافته‌اند.



شکل ۲: استفاده از رویکرد سودمندی با پهنای باند ۵۰۰ هرتز

چنانچه در شکل ۲ و شکل ۳ مشخص است، روش پیشنهادی دارای بهبود از لحاظ افزایش بهره‌وری انرژی و گـذردهی مـی‌باشـند. این بهبود، به موجب لحاظ ترکیب استفاده از دو تکنیک OMA و NOMA و بهره‌برداری از مزایای آن در جهت تخصیص بهینه منـابع بوده است.



شکل ۳: استفاده از رویکرد سودمندی با پهنای باند ۱۰۰۰ هرتز

www.SID.ir

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، مسئله برش‌بندی شبکه با تخصیص همزمان پهنای باند و توان در معماری ترکیبی مبتنی بر تکنیک دسترسی چندگانه متعامد و غیرمتعامد مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور، مسئله بهینه‌سازی چند هدفه با هدف به حداکثر رساندن بهره‌وری انرژی و گذردهی مدلسازی شده و با ابزار CVX مورد حل قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از ارزیابی‌ها نشان می‌دهد روش پیشنهادی، بهره‌وری همزمان انرژی و گذردهی را به نسبت روش مورد مقایسه به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد. به عنوان چشم‌انداز آتی در نظر داریم تا با بهره‌مندی از مزایای هوش مصنوعی، راه‌حلی برای حل این مسئله با استفاده از یادگیری ماشین ارائه دهیم.

سپاس‌گزاری

این پژوهش تحت شماره قرارداد RD-51-9911-0029 توسط مرکز تحقیق و توسعه شرکت ارتباطات سیار ایران (همراه اول) و جهت پیشرفت حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات مورد حمایت قرار گرفته است. بدینوسیله، از حمایت آن شرکت محترم در پیشبرد این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

[1] O. O. Erunkulu, A. M. Zungeru, C. K. Lebekwe, M. Mosalaosi and J. M. Chuma, "5G Mobile Communication Applications: A Survey and Comparison of Use Cases," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 97251-97295, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3093213.

[2] I. Afolabi, T. Taleb, K. Samdanis, A. Ksentini and H. Flinck, "Network Slicing and Softwarization: A Survey on Principles, Enabling Technologies, and Solutions," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 2429-2453, 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2815638.

[3] B. Matthiesen, O. Aydin and E. A. Jorswieck, "Throughput and Energy-Efficient Network Slicing," *2018 22nd International ITG Workshop on Smart Antennas*, pp. 1-6, 2018.

[4] C. -L. Wang, M. -H. Liu and Y. -C. Shen, "Proportional-Fairness Resource Allocation Based on Statistical Channel State Information for a Downlink Multicarrier NOMA System," *2021 15th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS),* pp. 1-7, 2021, doi: 10.1109/ICSPCS53099.2021.9660308.

[5] P. Wu, S. Li and Y. Shi, "Resource Allocation of Downlink Heterogeneous NOMA Network Based on Multi-user with Different Speeds," *2022 11th International Conference on Communications, Circuits and Systems (ICCCAS),* pp. 182-186, 2022, doi: 10.1109/ICCCAS55266.2022.9824604.

[6] J. Shi, W. Yu, Q. Ni, W. Liang, Z. Li and P. Xiao, "Energy Efficient Resource Allocation in Hybrid Non-Orthogonal Multiple Access Systems," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 67, no. 5, pp. 3496-3511, 2019, doi: 10.1109/TCOMM.2019.2893304.

[7] N. Glei and R. B. Chibani, "Energy-Efficient Resource Allocation for NOMA Systems," *2019 16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, pp. 648-651, 2019, doi: 10.1109/SSD.2019.8893212.

[8] N. Glei and R. Belgacem Chibani, "Power Allocation for Energy-Efficient Downlink NOMA Systems," *2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA),* pp. 611-613, 2019, doi: 10.1109/STA.2019.8717240.

[9] D. Hu, Y. Zhang, H. Cao, M. Zhou and L. Yang, "Energy-Efficient Transmission Design for Downlink Non-Orthogonal Multiple Access Network," *2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW),* pp. 1-2, 2019, doi: 10.1109/ICCE-TW46550.2019.8992018.

[10] J.-P. Crouzeix, J. A. Ferland, and S. Schaible, "An algorithm for generalized fractional programs," *J. Optim. Theory Appl*., vol. 47, no. 1, pp. 35–49, 1985.

www.SID.ir