Machine Translated by Google

مدل‌ها، روش‌ها و راه‌حل‌ها برای پخش چندگانه در سیستم‌های موج میلی‌متری و زیر تراهرتز 5G/6G

اولگا چوخنو، IEEE، دیمیتری مولچانوف، نادژدا چوخنو
عضو، IEEE، آندری ساموئیلوف، سارا پیزی
یوگنی کوچریاوی، IEEE، آنتونیو ایرا، آنتونلا مولینارو
و جوزپه آرانیتی، IEEE

چکیده -چندپخشی در شبکه‌های دسترسی بی‌سیم قابلیتی است که با بهره‌گیری از ارتباطات گروهی، به ...
برای کاهش میزان منابع مورد نیاز ضروری است
به کاربرانی که درخواست محتوای مشابه دارند، خدمت رسانی می‌کند. پشتیبانی از این
عملکرد در سیستم‌های مدرن 5G New Radio (NR) و سیستم‌های آینده 6G با فرکانس زیر تراهرتز
(sub-THz) با چالش‌های مهمی در رابطه با ... مواجه است.
برای استفاده از آرایه‌های آنتن عظیم که جهت‌یابی را تشکیل می‌دهند
الگوهای تابش، قابلیت چند پرتویی و استفاده از چندین
فناوری‌های دسترسی رادیویی (RAT) که پوشش و مشخصات فنی کاملاً متفاوتی دارند. در نتیجه،
بهینه
چندپخشی در این سیستم‌ها نیازمند راه‌حل‌های نوین است. هدف این مقاله ارائه یک بررسی جامع
از عملکرد است.
روش‌های بهینه‌سازی برای سیستم‌های 5G/6G mmWave/sub-THz و
چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط را مورد بحث قرار می‌دهیم. ما با این شروع می‌کنیم
بررسی سازوکارهای پروژه مشارکت نسل سوم (3GPP) برای پشتیبانی از چندپخشی در رابط رادیویی
NR و
رویکردهایی برای مدل‌سازی بخش رادیویی 5G/6G. سپس، راه‌حل‌های بهینه چندپخشی را برای
استقرارهای مختلف 5G NR نشان می‌دهیم.
و الگوهای آنتن، شامل آنتن‌های تک پرتو و چند پرتو
آرایه‌ها و استقرارهای RAT تکی و چندگانه. علاوه بر این، ما
بررسی قابلیت‌های پیشرفته جدید برای بهبود عملکرد چندپخشی در سیستم‌های 5G/6G، شامل
Reflective

نسخه خطی در ۹ فوریه ۲۰۲۳ دریافت شد؛ در ۳۱ ژوئیه ۲۰۲۳ اصلاح شد؛ پذیرفته شد
۱۰ سپتامبر ۲۰۲۳. تاریخ انتشار ۲۶ سپتامبر ۲۰۲۳؛ تاریخ
نسخه فعلی ۲۷ فوریه ۲۰۲۴. این کار تا حدی توسط [نامشخص] پشتیبانی شده است.
برنامه تحقیق و نوآوری افق ۲۰۲۰ اتحادیه اروپا
تحت حمایت مالی ماری اسکلودوسکا-کوری تحت توافقنامه ۸۱۳۲۷۸
(A-WEAR; http://www.a-wear.eu/)؛ تا حدودی توسط اتحادیه اروپا
تحت طرح ملی بهبود و تاب‌آوری ایتالیا (NRRP)
NextGenerationEU، مشارکت در «مخابرات آینده»
(برنامه «ری‌استارت») تحت عنوان کمک‌هزینه PE00000001؛ و تا حدودی توسط
آکادمی فنلاند از طریق پروژه‌های «روش‌های یادگیری ماشین»
و الگوریتم‌هایی برای دسترسی سلولی 6G تراهرتز (HARMONIOUS)
«فعال‌سازی ارتباطات تراهرتز موبایل برای شبکه‌های سلولی «6G
(اضطراری) و «الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای بهره‌وری انرژی»
و ارتباطات آگاه از کیفیت خدمات (QoS) در شبکه‌های ناهمگن 6G mmWave/sub-THz
«شبکه‌ها». (ML6GThz) (نویسنده مسئول: جوزپه آرانیتی.)

نادژدا چوخنو، دیمیتری مولچانوف، آنا گایداماکا،
آندری ساموئیلوف و یوگنی کوچریاوی از واحد ... هستند.
مهندسی برق، دانشگاه تامپره، ۳۳۰۱۴ تامپره، فنلاند (ایمیل:
nadezda.chukhno@tuni.fi; dmitri.moltchanov@tuni.fi; anna.gaydamaka@
tuni.fi؛ andrey.samuylov@tuni.fi؛ evgeny.kucheryavy@tuni.fi).
اولگا چوخنو با CNIT، دانشگاه مدیترانه رجیو کالابریا،
۸۹۱۲۴ رجیو کالابریا، ایتالیا، و همچنین با واحد مهندسی برق،
دانشگاه تامپره، ۳۳۰۱۴ تامپره، فنلاند (ایمیل: olga.chukhno@unirc.it).
سارا پیزی و جوزپه آرانیتی با CNIT، دانشگاه مدیترانه هستند
از رجیو کالابریا، 89124 رجیو کالابریا، ایتالیا (ایمیل: sara.pizzi@unirc.it;
araniti@unirc.it).
Antonella Molinaro با CNIT، دانشگاه مدیترانه است
رجیو کالابریا، ۸۹۱۲۴ رجیو کالابریا، ایتالیا، و همچنین با CNRS،
فرانسه CentraleSupelec، Université Paris-Saclay، 91190 Gif-sur-Yvette،
(ایمیل: antonella.molinaro@unirc.it).
آنتونیو ایرا از CNIT، دانشگاه کالابریا، واقع در 87036 آرکاواکاتا، ایتالیا است.
(ایمیل: antonio.iera@unical.it).

شناسه شیء دیجیتال 10.1109/COMST.2023.3319354

نویسندگان، سال ۲۰۲۳. این اثر تحت مجوز Creative Commons Attribution 4.0 منتشر شده است.
برای اطلاعات بیشتر، به https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ مراجعه کنید.

سطوح هوشمند، (RISs)، فناوری NR-sidelink و موبایل
بهبود لبه‌ها، در میان بسیاری موارد دیگر. در نهایت، ما طرح کلی را شرح می‌دهیم
چشم‌اندازهای چندپخشی در شبکه‌های نسل ششم آینده

واژه‌های کلیدی 5G، 6G، چندپخشی، رادیوی جدید، میلی‌متری
موج، تراهرتز، آنتن‌های چند پرتویی، بهینه‌سازی، چند-RAT.

مقدمه

برنامه‌های کاربردی، ORTHCOMING مانند واقعیت افزوده
(AR) و واقعیت مجازی، (VR) حضور از راه دور، ویدیوی 8/16K،
و موارد استفاده مختلف، نیاز به افزایش چشمگیر نرخ انتقال از طریق رابط هوایی دارند
[1]. افزایش قابل توجه نرخ
انتظار می‌رفت سرعت تا 20 گیگابیت بر ثانیه در هر ایستگاه پایه (BS) در 5G
سیستم‌هایی با استفاده از باند موج میلی‌متری (mmWave)
۲۴) تا ۵۲.۶ گیگاهرتز). در عین حال، برنامه‌هایی نیز در حال حاضر وجود دارد
برای استفاده از قسمت بالایی باند mmWave (52.6-100 گیگاهرتز)
و حتی باند زیر تراهرتز (۱۰۰) تا ۳۰۰ گیگاهرتز) برای شبکه سلولی ۶G
سیستم‌های [2]، که به طور بالقوه نرخ دسترسی را تا 100 افزایش می‌دهند
گیگابیت بر ثانیه به ازای هر دستگاه کاربر (UE).
چندپخشی یک ویژگی اساسی دسترسی بی‌سیم است
شبکه‌هایی که ضمن خدمت‌رسانی به کاربران، استفاده از منابع را بهبود می‌بخشند
درخواست محتوای یکسان [3]. در مقایسه با شبکه‌های سیمی،
در سیستم‌های بی‌سیم، چندپخشی به دلایل مختلف مختل می‌شود
شرایط انتشار تجربه شده توسط UE؛ این نیروها
BS از کمترین طرح مدولاسیون و کدگذاری استفاده کند
(MCS) برای گروه چندپخشی، در نتیجه کاهش کارایی چندپخشی [4]. این امر منجر به
فعالیت‌های تحقیقاتی مرتبط با
تشکیل بهینه گروه چندپخشی و بهره‌برداری از
مکانیسم‌های خارجی، مانند ارتباطات دستگاه به دستگاه (D2D) (برای جزئیات بیشتر به
[5]، [6]، [7]، [8]، [9] مراجعه کنید)،
که از پشتیبانی از قابلیت چندپخشی در همه موارد حمایت می‌کرد
نسل‌های قبلی سیستم‌های سلولی و راه را برای
مشخصات آن برای رادیو جدید 5G (NR) و رادیو 6G آینده
فناوری‌های دسترسی (TARها).

الف. چالش‌های چندپخشی در سیستم‌های 5G/6G

پشتیبانی از چندپخشی در 5G/6G mmWave/sub-THz
سیستم‌ها چالش‌های بیشتری را برای طراحان سیستم ایجاد می‌کنند.
اول، برای جبران محدود بودن دیافراگم مؤثر آنتن،
سیستمی که در باند mmWave/sub-THz کار می‌کند، باید از
آرایه‌های آنتن عظیم که در حالت شکل‌دهی پرتو عمل می‌کنند، [22].
[23]. این آرایه‌ها الگوهای تابشی بسیار جهت‌داری با چند درجه پهنای پرتو به سمت یک
UE مشخص ایجاد می‌کنند.

Machine Translated by Google

الگوریتم‌ها و با بهره‌گیری از قابلیت‌های پیشرفته ارائه شده توسط فناوری‌های سلولی مدرن، از جمله سطوح هوشمند بازتابنده (RISs)، قابلیت‌های D2D موج میلی‌متری و فناوری‌های آینده زیر تراهرتز (به عنوان مثال، NR-sidelink [38]).

علاوه بر این، بدیهی به نظر می‌رسد که با افزایش مورد انتظار در جهت‌گیری الگوهای تابش آنتن در سیستم‌های زیر تراهرتز، نیاز به پشتیبانی صریح از سرویس‌های چندپخشی باید به دقت ارزیابی شود تا تصمیم گرفته شود که آیا (و چگونه) در سیستم‌های 6G آینده پیاده‌سازی شود.

از آنجایی که تفاوت اصلی بین سیستم‌های 4G و شبکه‌های سلولی 5G/6G آینده، استفاده از آنتن‌های بسیار جهت‌دار است، در این مقاله، ما در مورد چگونگی پرداختن به چالش‌های فوق‌الذکر در سیستم‌های mmWave/sub-THz با فعال کردن قابلیت‌های چندپخشی قابل اعتماد بحث می‌کنیم. تمرکز اصلی این مطالعه (۱) خلاصه کردن تأثیر جهت‌دار بودن بر تخصیص بهینه منابع برای چندپخشی در سیستم‌های مدرن و آینده 5G/6G mmWave/sub-THz و (۲) ارائه مروری بر مفاهیم جدیدی است که ممکن است عملکرد چندپخشی را در سیستم‌هایی با آنتن‌های جهت‌دار بهبود بخشد. بنابراین، ما نه تنها نتایج به دست آمده تاکنون را بررسی می‌کنیم، بلکه اصول اولیه مدل‌ها و الگوریتم‌هایی را که بیشتر برای بهینه‌سازی عملکرد چندپخشی در این سیستم‌ها استفاده می‌شوند، نیز ترسیم می‌کنیم.

این به خوانندگان علاقه‌مند اجازه می‌دهد تا چارچوب‌های تحلیلی خود را برای پرداختن به نقاط سفید باقی‌مانده بسازند.
این سوالات در هیچ کار تحقیقاتی اخیر پوشش داده نشده‌اند.

ب. مقایسه با مطالعات قبلی

جدول 1 نشان می‌دهد که تحقیقات قبلی تا حدودی به مباحث کار ما می‌پردازند. مطالعات موجود در [21]، [20]، [19]، [18]، [17] مرتبط‌ترین مقالات مروری و آموزشی در مورد چندپخشی در سیستم‌های mmWave هستند. در حالی که کار [17] از نظر پوشش همه جنبه‌های جدول 1 شباهت‌هایی با تحقیق ما دارد ، لازم به ذکر است که تمرکز و موضوع [17] کاملاً متفاوت است. این کار به طبقه‌بندی استراتژی‌های پیش‌کدگذاری چندپخشی چندکاربره (MIMO) در سطح نماد و چندپخشی اختصاص دارد. به طور متفاوت، کار [18] به بررسی فرصت‌ها و فناوری‌هایی می‌پردازد که ارتباطات mmWave را در حضور کاربران تلفن همراه تسهیل و پشتیبانی می‌کنند و به چند کار مرتبط مرتبط با چندپخشی اشاره می‌کند. در راستای تحقیقات ما، کار [19] بر مدل‌سازی ریاضی برای ارزیابی اثربخشی الگوریتم‌های بهبود قابلیت اطمینان عملکرد برای سیستم‌های mmWave/Terahertz (THz) تمرکز دارد. با این حال، جنبه چندپخشی در آن مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته است. در [20]، این مطالعه به طور گسترده جنبه‌های حیاتی تلاقی mmWave و multicasting را بررسی می‌کند. این مطالعه به طور قانع‌کننده‌ای نشان می‌دهد که محدود کردن لینک‌های بی‌سیم به تک‌پخشی ممکن است منجر به نتایج نامطلوب شود. در نهایت، در یک مطالعه جدیدتر [21]، نویسندگان ترکیبی از پیشرفت‌های تکنولوژیکی و multicasting را برای رسیدگی به الزامات کاربردی شبکه‌های 6G بررسی می‌کنند. با این حال، نه [20] و نه [21] بخش‌های روش‌شناختی/مدل‌سازی را ارائه نمی‌دهند.

علاوه بر این، این مقالات به طور کافی جنبه‌هایی مانند جهت‌گیری انتقال، اعدادشناسی‌های مختلف، آنتن‌های چند پرتویی و سیستم‌های چند RAT را پوشش نمی‌دهند. مطالعه ما در پی پر کردن این شکاف و پرداختن به این مسائل حیاتی، حسابداری است.

اگر از یک سو، استفاده از این آنتن‌های بسیار جهت‌دار امکان افزایش چشمگیر نرخ داده تحویلی SBهای احتمالی mmWave/sub-THz را فراهم کند، از سوی دیگر، امکان سرویس‌دهی به تمام EUهایی که متعلق به یک جلسه چندپخشی یکسان هستند را از طریق یک انتقال واحد فراهم نمی‌کند [24]. بنابراین، انتخاب بهینه زیرگروه‌های چندپخشی و پهنای پرتو مربوطه برای سرویس‌دهی به آنها به یک کار چالش‌برانگیز تبدیل می‌شود.

دومین مسئله چالش برانگیز، مربوط به ظرفیت آرایه‌های آنتن فعلی برای تولید همزمان پرتوهای متعدد با پهنای پرتو نیم‌توان متغیر (HPBWs) است [26]. [25] این امر سطح جدیدی از انعطاف‌پذیری را در تشکیل گروه‌های چندپخشی و برنامه‌ریزی انتقال ایجاد می‌کند، به ویژه طراحی آنها را پیچیده می‌کند. هنگامی که چندین پرتو در دسترس هستند، عرض پرتوهای چندگانه که باید به طور همزمان جارو شوند، باید با در نظر گرفتن محدودیت کلی توان ارسال در هر آنتن فیزیکی، به طور مناسب تنظیم شود. این بدان معناست که برخلاف سیستم‌های تک‌پرتویی، توان باید به طور هوشمندانه بین چندین پرتو توزیع شود.

یک مسئله دیگر برای سیستم‌های mmWave/sub-THz، انسداد متقابل مسیرهای انتشار، از جمله انسداد ناشی از اشیاء بزرگ ساکن مانند ساختمان‌ها [28]، [27] و همچنین اشیاء کوچک متحرک مانند بدن انسان [30]، [29] است. هر دو نوع انسداد باعث تخریب قابل توجه توان سیگنال در UE می‌شوند و طرح MCS را که می‌تواند برای ارتباطات گروهی چندپخشی مورد استفاده قرار گیرد، خراب می‌کنند. علاوه بر این، انسداد بدن انسان نیز بسیار پویا است و منجر به تغییرات حالت در مقیاس‌های زیر ثانیه می‌شود، همانطور که در [31] نشان داده شده است.

تحرک کاربر همچنین طراحی RATهای mmWave/sub-THz را که با انتقال جهت‌دار گروهی کار می‌کنند، پیچیده می‌کند [32]. در مورد انتقال تک‌پخشی، الگوی تابش آنتن BS به سمت UE واحد جهت‌گیری می‌کند و تحرک UE در مقیاس کوچک تأثیر چشمگیری بر دریافت قابل اعتماد ندارد. برعکس، در ارتباطات چندپخشی، پرتوها بین EUها هدایت می‌شوند. در نتیجه، EUهای خاصی که در ابتدا در مرز ناحیه پوشش پرتو قرار دارند، ممکن است به دلیل حتی حرکات جزئی از آن خارج شوند.

علاوه بر این، تحرک کاربران چندپخشی به احتمال زیاد با جریان عابر پیاده بر اساس حرکت گروهی مطابقت دارد [36]، [35]، [34]، [33]. بنابراین، نیاز به استفاده از مدل‌هایی است که بتوانند حرکت را در سناریوهای با تراکم بالا با تعاملات کاربر بازتولید کنند.

با این حال، جنبه حیاتی دیگر مربوط به ماهیت غیرقابل اعتماد ارتباطات mmWave/sub-THz است. هنگام کار بر روی پرتوهای بسیار باریک در این باندها، علاوه بر انسداد، چرخش‌های سریع در مقیاس کوچک و جابجایی UE که توسط کاربر حمل می‌شود نیز ممکن است منجر به از دست رفتن همگام‌سازی پرتو و در نتیجه قطع برق شود. 3GPP عملکرد اتصال چندگانه را برای جلوگیری موثر از قطع برق پیش‌بینی کرده است. این به UE اجازه می‌دهد تا به طور همزمان از چندین لینک به SBهایی که متعلق به TARهای یکسان یا متفاوت هستند پشتیبانی کند [37]. در صورت وقوع قطع برق، UE مجاز است با تغییر به یکی از لینک‌های پشتیبان، نقطه اتصال شبکه خود را تغییر دهد. در نتیجه، ماهیت غیرقابل اعتماد لینک‌های mmWave/sub-THz به طور طبیعی سیستم‌های سلولی 5G/6G آینده را مجبور به ناهمگن شدن می‌کند. با توجه به اینکه TARهای مختلف ممکن است مشخصات پیاده‌سازی متفاوتی داشته باشند (مثلاً عددشناسی، پوشش)، استفاده بهینه از TARها برای خدمات چندپخشی به یک موضوع تحقیقاتی کلیدی تبدیل می‌شود.

برخی از چالش‌های ذکر شده در بالا را می‌توان با طراحی رویکردهای بهینه‌سازی جدید و روش‌های مرتبط کاهش داد.

Machine Translated by Google

جدول ۱
مقایسه با آثار قبلی

Reference	Multicasting	mmWave	5G	Mathematical Methodology	Main Focus
[7]	✓		✓		5G challenges in the view of effective management of multicast applications
[10]	✓				Survey on application layer multicast protocols
[11]	✓				Survey on multicast routing protocols for mobile ad-hoc networks
[12]	✓			✓	Survey on channel-aware multicast scheduling and resource allocation techniques
[13]	✓		✓		Survey on network architectures, communication protocols, transmission strategies, and optimization algorithms to improve the performance of multicast communications over mobile radio systems
[14]	✓		✓		Survey on techniques proposed for catering multicast services in cognitive radio networks
[15]	✓				Survey on analysis of multicasting over wireless access networks
[16]	✓			✓	Survey on one-hop and multi-hop wireless multi-rate multicasting
[17]	✓	✓	✓	✓	Survey on symbol-level and multicast precoding techniques
[18]	✓*	✓	✓		Survey on opportunities and technologies to support mobility in mmWave communications
[19]		✓	✓	✓	Tutorial on mathematical modeling for assessing performance reliability improvement algorithms for mmWave and THz systems
[20]	✓	✓	✓		Initial investigation of multicast transmissions using mmWave links
[21]	✓	✓	✓		Technological perspectives of 6G multicasting
Our work	✓	✓	✓	✓	Models, methods, solutions, and technologies for multicast scheduling in 5G/6G mmWave and sub-THz systems

* This survey's focus is not primarily on multicasting. However, the authors discuss few relevant works related to multicasting.

الف. تعاریف اصلی

[39] 3GPPرسماً یک سرویس چندپخشی را به عنوان "یک سرویس نقطه به چند نقطه تک جهته که در آن داده‌ها از یک منبع واحد به یک گروه چندپخشی در منطقه سرویس چندپخشی مرتبط منتقل می‌شوند" تعریف می‌کند. قبل از شروع سرویس، EUها باید در یک سرویس چندپخشی خاص مشترک شوند و به گروه چندپخشی بپیوندند. یک گروه اشتراک چندپخشی به عنوان مجموعه‌ای از EUها تعریف می‌شود که سرویس پخش چندرسانه‌ای و چندپخشی (MBMS)آنها در حالت چندپخشی فعال شده است. زیرمجموعه‌ای از EUهای متعلق به گروه اشتراک چندپخشی، یک گروه به اصطلاح چندپخشی را تشکیل می‌دهند. در نهایت، ما به جلسه چندپخشی به عنوان دریافت مداوم یک جلسه چندپخشی با مدت زمان محدود توسط EUها اشاره می‌کنیم .

یک سرویس چندپخشی واحد ممکن است یک یا چند جلسه چندپخشی متوالی را تضمین کند، اما می‌تواند در هر زمان فقط یک جلسه چندپخشی فعال داشته باشد. بنابراین، یک سرویس ممکن است شامل یک جلسه مداوم (مثلاً یک جریان چندرسانه‌ای) یا چندین جلسه چندپخشی متناوب در طول زمان (مثلاً پیام‌ها) باشد. برخلاف حالت پخش، فقط مشترکین یک سرویس چندپخشی خاص می‌توانند این سرویس را دریافت کنند. اپراتور شبکه عمومی موبایل زمینی (PLMN)، کاربر یا شخص ثالث ممکن است اشتراک را مدیریت کند. انتظار می‌رود داده‌های شارژ کاربر نهایی1 برای حالت چندپخشی در لایه سرویس انتقال MBMSتولید شود .[39]

ب. پشتیبانی از چندپخشی در 4G LTE

برای فعال کردن قابلیت‌های چندپخشی روی سیستم‌های سلولی، 3GPPدر سال 2005 MBMSرا معرفی کرد که از نظر طراحی، دو حالت عملیاتی دارد: پخش گسترده و چندپخشی.

بعدها، 3GPP Rel-9معماری تکامل‌یافته MBMS (eMBMS)را مشخص کرد که سپس به عامل توانمندساز خدمات مبتنی بر گروه در شبکه‌های سلولی LTEتبدیل شده است .[40]بخش RATمعماری MBMSشامل اجزای زیر است:

-امحاسبه‌ی داده‌های مربوط به رویه‌های امنیتی برای کاربر نهایی در MBMS
لایه خدمات کاربر، رجوع کنید به بند .[39] 7

برای جزئیات تخصیص منابع چندپخشی 5G/6Gدر موج میلی‌متری/زیر تراهرتز.

ج. ساختار و محتوای مقاله

ساختار مقاله به صورت گرافیکی در شکل 1ارائه شده است، در حالی که مباحث اصلی مورد بحث مربوط به تخصیص منابع چندپخشی، جزئیات طراحی و عملکرد سرویس در سیستم‌های 5G/6G mmWave/sub-THzدر جدول IIخلاصه شده است که خوانندگان می‌توانند برای پیمایش سریع در محتوای مقاله به آن مراجعه کنند.

در بخش دوم، تلاش‌های استانداردسازی فعلی /3GPPاتحادیه بین‌المللی مخابرات -بخش ارتباطات رادیویی (ITU-R)و فعالیت‌های دانشگاهی در جهت پشتیبانی از چندپخشی در سیستم‌های 5G NRو فراتر از آن را شرح می‌دهیم.

سپس، در بخش سوم، انواع چندپخشی، گزینه‌های استقرار و موارد استفاده را بررسی می‌کنیم. علاوه بر این، در بخش چهارم، رویکردهای مدل‌سازی ممکن برای اجزای سیستم که در کل مقاله به آنها پرداخته شده است را معرفی می‌کنیم. در بخش پنجم، چارچوب‌های بهینه‌سازی عملکرد متنوع را معرفی کرده و الگوریتم‌های مرتبط را شرح می‌دهیم. درس‌های آموخته شده و نکات اصلی، از جمله بهینه‌سازی تک/چند RAT، در بخش ششم مورد بحث قرار می‌گیرند . استفاده از مکانیسم‌های پیشرفته، مانند RISو فناوری‌های Term Evolution (LTE)/NR-sidelink، Long-در میان سایر موارد، برای بهبود عملکرد چندپخشی در بخش هفتم بررسی می‌شود. جهت‌گیری‌ها و نتیجه‌گیری‌های تحقیقات آینده در بخش پایانی ارائه شده است.

دوم. چندپخشی در سیستم‌های سلولی

پس از معرفی تعاریف رسمی، در این بخش، به بررسی چگونگی پشتیبانی از چندپخشی در نسل‌های قبلی سیستم‌های سلولی می‌پردازیم و سپس تلاش‌های استانداردسازی 3GPPدر نسخه‌های اخیر 5Gرا شرح می‌دهیم. سپس تفاوت‌های بین چندپخشی 4Gو 5Gرا ترسیم می‌کنیم. این بخش را با شرح پروژه‌های اصلی که چندپخشی 5G/6Gرا در دستور کار خود دارند، به پایان می‌رسانیم.

Machine Translated by Google

پارامترهای انتقال. eNodeBمسئول منابع است
رویه‌های تخصیص با بهره‌گیری از بازخورد کیفیت کانال از EUها که مرتباً از طریق کانال
کنترل ارسال می‌شوند.
شبکه اصلی در سیستم eMBMSشامل موارد زیر است: (i)قابلیت جابجایی
نهاد مدیریتی (MME)که علاوه بر احراز هویت و مجوزدهی، وظایف مدیریت تحرک را نیز انجام می‌دهد، (ii)درگاه
- MBMS (MBMS-GW)گره‌ای که مسئول است

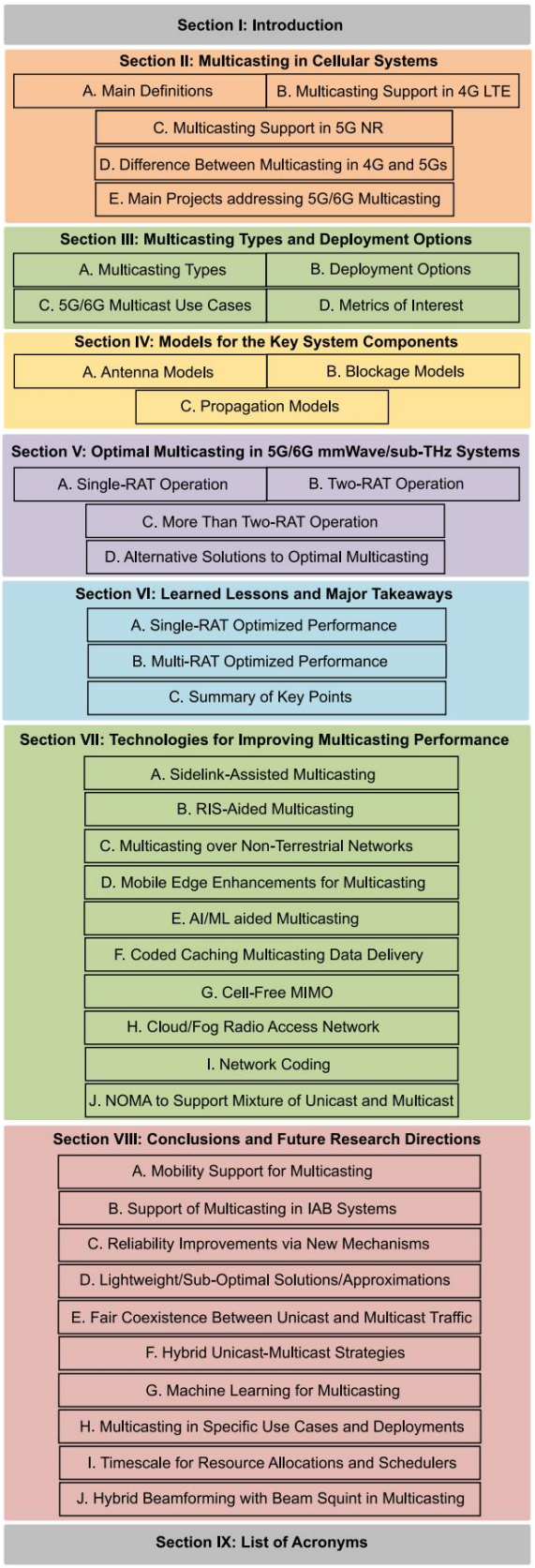
برای فرآیند انتقال بسته از شبکه اصلی به
eNodeBها، و (iii)مرکز خدمات پخش چندپخشی (BM-SC)که گروه‌های چندپخشی را
مدیریت می‌کند و همچنین پیاده‌سازی می‌کند
توابع تبلیغات خدماتی.
سیستم eMBMSاز دو مدل عملیاتی پشتیبانی می‌کند:
(i)شبکه تک فرکانسی پخش چندپخشی (MBSFN)
–سرویس MBMSروی شبکه تک فرکانسی و (ii)تک فرکانسی
حامل نقطه به چند نقطه MBSFN. (SC-PTM)این امکان را فراهم می‌کند
تحویل محتوای یکسان به خوشه سلول‌هایی که به آن تعلق دارند
به همان منطقه MBSFNبا استفاده از یک شبکه هماهنگ زمانی
انتقال از طریق همان مجموعه منابع. این قابلیت، انتشار همزمان محتوا را امکان‌پذیر می‌کند.

واحدهای UEواقع در چندین سلول در ناحیه MBSFN، که
احتمالاً چندین کپی از BSهای مختلف دریافت می‌کنند.
از طرف دیگر، SC-PTMاز انتقال چندپخشی از طریق ... پشتیبانی می‌کند.
تک سلولی.
ارائه خدمات چندپخشی MBMSبا ... آغاز می‌شود.
EUها مشترک سرویس می‌شوند و MBMSتبلیغات سرویس را انجام می‌دهد. سپس
EUها به جلسه می‌پیوندند و چندپخشی
جلسه با اعلان MBMSآغاز می‌شود. سپس انتشار محتوا برای مدت زمان جلسه
چندپخشی انجام می‌شود،
و پس از آن جلسه با خروج اعضای اتحادیه اروپا متوقف شد.
گروه چندپخشی. این سیستم امکان پیکربندی نرم را فراهم می‌کند،
یعنی، بسته به نیازهای سرویس چندپخشی، برخی از آنها
مراحل شرح داده شده را می‌توان تکرار کرد در حالی که برخی ممکن است در ... اجرا شوند
موازی همانطور که در [41]بحث شده است.

ج. پشتیبانی از چندپخشی در 5G NR

در 3GPP Rel-15/16، هیچ پشتیبانی برای عملکرد NRچندپخشی استاندارد نشده
است. با این حال، طبق برنامه‌های 3GPP،
ارائه خدمات چندپخشی در سیستم‌های سلولی 5G NR
مبتنی بر استفاده مجدد از قابلیت‌های NRتک‌پخشی باشد،
در نتیجه امکان تجاری‌سازی سریع‌تر چندپخشی را فراهم می‌کند
خدمات .[43]تغییرات مورد نیاز در سیستم 3GPP 5G
معماری که قابلیت‌های چندپخشی و پخش همگانی را تسهیل می‌کند،
بیشتر در [43] 3GPP Rel-17معرفی شده است.
در شکل ۲، سرویس‌های چندپخشی و پخش (MBS) 5G
معماری سیستم ارائه شده است. اجزای عملکردی جدید معرفی شده در هسته (5GC)
5Gبرای پشتیبانی از MBS،
با خطوط چین برجسته شده‌اند، به طور خلاصه در زیر توضیح داده شده‌اند:
•تابع مدیریت جلسه چندپخشی/پخش .(MB-SMF)این نهاد، چندپخشی و پخش را
هماهنگ می‌کند.
جلساتی که شامل کیفیت خدمات (QoS)نیز می‌شوند
به طور خاص، مسئول پیکربندی تابع صفحه کاربری چندپخشی/پخشی است.

(MB-UPF)با استفاده از سیاست‌های شبکه مشخص شده توسط
تابع کنترل سیاست .(PCF)
•MB-UPF. این نهاد به عنوان نقطه ورود به
سیستم و یک لنگر جلسه ارائه می‌دهد. همانطور که توضیح داده شد



شکل ۱. سازماندهی کاغذ.

eNodeBها، (i) یعنی ایستگاه‌های پایه LTE، که اتصال آخرین مایل را برای EUها فراهم
می‌کنند، و (ii)به اصطلاح MultiCell/Multicast
سیستم‌های نهاد هماهنگی ، (MCE)مسئول پیکربندی

Machine Translated by Google

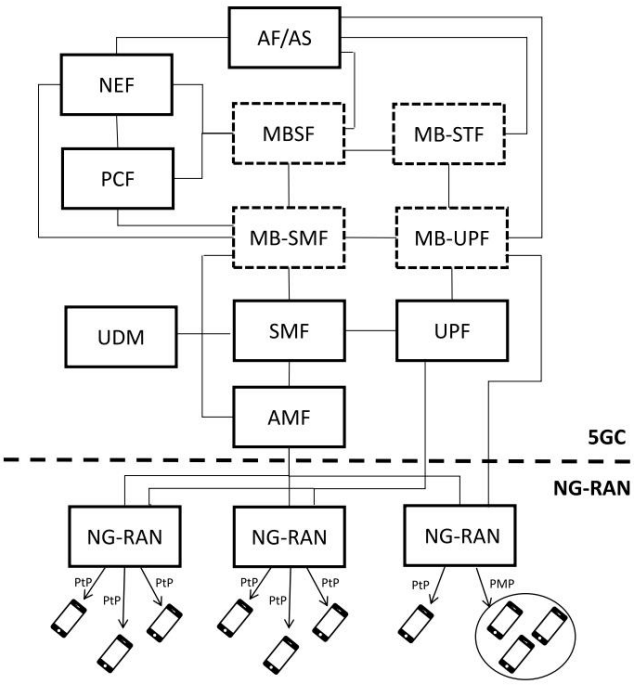
جدول دوم
مباحث اصلی مورد بحث مربوط به چندپخشی در سیستم‌های 5G/6Gبا آنتن‌های جهت‌دار

Multicast specifics	Details	Reference
Standardization 4G LTE	Support of multicasting in 4G LTE	Section II-B
Standardization 5G NR	Support of multicasting in 5G NR (Rel-17, Rel-18)	Section II-C
Research activities in multicast	Academic and industrial projects related to multicasting	Section II-E
Optimal multicast subgroup size	For small cell radii, a single beam for all the UEs is almost always utilized, while unicast service for each UE is only feasible for higher ones	Section VI-A
Optimal number of beams: single-RAT	For the practical ranges of cell size and considered number of UEs $(1-10)$, the optimal solution always utilizes no more than $2-3$ beams	Section VI-A
Optimal solution vs. heuristics	The gap between optimal and heuristic solutions grows with the number of UEs and the maximum number of supported beams by the antenna array and diminishes with the amount of available bandwidth	Section VI-A
ML optimal training set size	The accuracy of all the considered algorithms remains virtually unchanged when increasing the training sample size from $H_1 = 1000$ to higher values. This permits us to consider $H_1 = 1000$ as the lowest limit on the training set size for practical implementations	Section VI-A
Choice of ML algorithm for multicasting	Random Forest and Fine Trees show almost 100% accuracy in terms of resource utilization over all the considered distances. Recalling that relatively small computational complexity characterizes trees, one may regard them as the best candidate for subgroup formation	Section VI-A
ML-based solutions for multicasting	A single multicast subgroup is chosen for the $100-225$ m radius range. Then, for the range 275 m and beyond, only unicast transmissions are used to serve multicast UEs, whereas the considered multicast group formation solutions can be utilized for the radii around 250 m	Section VI-A
RAT regime switching	There is a clear turning point for small dual-mode BS densities when the system switches from the regime when mmWave resources are utilized for service to the case when μWave technology is exclusively utilized. This point is dictated by the mmWave blockage and propagation conditions	Section VI-B
Optimal number of beams: multi-RAT	The number of beams associated with optimal solution is upper limited by 3 for mmWave and by 2 for μWave technologies across all the considered densities of dual BS deployment. Moreover, in most cases, only one beam is utilized at μWave technology	Section VI-B
RAT selection	When μWave RAT is prioritized for multicast service, mmWave resources are not utilized at all. However, by utilizing weights for mmWave and μWave resources, the operator might achieve the desired balance by fitting its needs in a particular deployment	Section VI-B
Technologies for improving multicasting	Sidelink, air-to-ground communications, MEC, and ML, among other technologies and methods, may be used to further improve multicasting performance	Section VII

[تی]

و با عملکردهای مرسوم نسل‌های قبلی سیستم‌های سلولی، مانند LTE MBMS، تعامل دارد.

برای تعیین پارامترهای جلسه چندپخشی و انتقال MBS، این مؤلفه همچنین با عملکرد برنامه /(AF)سرور برنامه (AS)و MB-SMFهمکاری می‌کند. علاوه بر این، اگر از عملکرد انتقال سرویس پخش چندپخشی (MB-STF)برای تأمین جلسه چندپخشی استفاده شود، MBSFاز خدمات MB-STFاستفاده می‌کند.



شکل .2معماری MBSدر .[42] 5G NR

• MB-STF. این نهاد، زمانی که برای پیش‌بینی خدمات مورد نیاز باشد، یک تکیه‌گاه رسانه‌ای برای ترافیک چندپخشی فراهم می‌کند. به طور خاص، MB-STFبه برنامه‌های چندپخشی IP توابع بسته‌بندی ارائه می‌دهد که شامل تقسیم جریان، کنترل خطای برنامه و غیره می‌شود.

علاوه بر این، رفتار عملکردی چندین عنصر دیگر (مانند PCF، تابع نمایش شبکه AF، (NEF)، تابع مدیریت جلسه (SMF)، تابع صفحه کاربر (UPF)، تابع مدیریت دسترسی و تحرک (AMF)و تابع انتخاب برش شبکه ((NSSF)برای پشتیبانی از MBSبهبود یافته است.

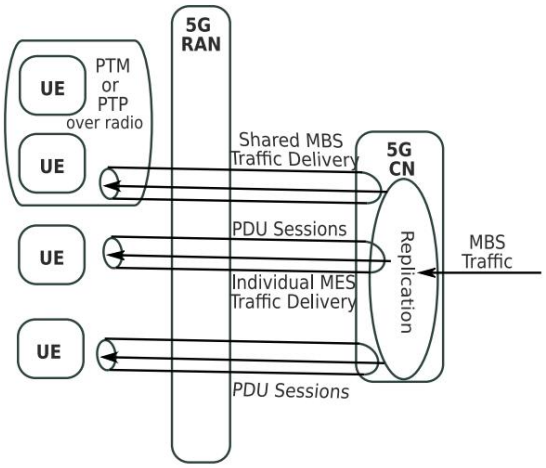
در TARهای نسل جدید، معماری سطح بالای MBSبرای 5Gفقط NRرا به عنوان یک فناوری دسترسی رادیویی (NG-RAN)می‌شناسد. فرض بر این است که عملکرد NRلایه فیزیکی، شامل کانال‌های سیگنالینگ و داده مرسوم (PDCCH، PDSCH)و همچنین شکل موج‌های مشخص شده در 3GPP Rel-15/16، برای تحویل واقعی داده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع، کاهش تأثیر کلی پشتیبانی از خدمات چندپخشی بر طراحی بخش رادیویی، هدف مشترک 3GPPاست. با این حال، هماهنگ و

در بالا، MB-UPFبا زیرسیستم MB-SMFبرای دریافت داده‌های MBSهمکاری می‌کند.
•تابع سرویس چندپخشی/پخش MBSF .(MBSF)پشتیبانی سرویس را برای زیرسیستم MBSفراهم می‌کند.

Machine Translated by Google

یک قابلیت بهینه‌سازی تحویل شبکه داخلی. این امر مستلزم جابجایی یکپارچه بین رژیم‌های انتقال PTP و PMP است. طبق الزام 3GPP، حالت ترکیبی باید تا حد امکان نزدیک به انتقال تک‌پخشی پیاده‌سازی شود تا گزینه‌های اضافی در RAN به حداقل برسد.

علاوه بر 3GPP Rel-17، MBMS همچنین پیشرفت‌هایی را برای بهبود بیشتر عملکرد سیستم‌های 5G معرفی می‌کند. این پیشرفت‌ها نه تنها بر ادغام یکپارچه خدمات پشتیبانی تمرکز دارند، بلکه هدف آنها تضمین اتصال بدون وقفه در شرایط استقرار و محیطی متنوع است. این امر در درجه اول از طریق توسعه‌های بیشتر در (i) پشتیبانی از EUهای با قابلیت کاهش‌یافته (RedCap)، (ii) استفاده از اتصال غیرزمینی برای بهبود انعطاف‌پذیری سیستم‌ها و گزینه‌های ارائه خدمات، و (iii) استفاده از باندهای mmWave بالاتر در محدوده 52 تا 100 گیگاهرتز برای افزایش توان عملیاتی حاصل می‌شود.



شکل 3. تصویرسازی روش‌های ارائه در 5G NR [43].

در 3GPP Rel-18، 5G-Advanced به تعریف ادامه خواهد داد که قابلیت‌های سیستم سلولی را برای خدمات پهن‌باند موبایل بیشتر افزایش می‌دهد [46]، که در نسخه‌های آینده نیز مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. مباحث مورد علاقه شامل MIMO پیشرفته، DL/UL، دسترسی یکپارچه موبایل و Backhaul (IAB)، تکرارکننده هوشمند، طراحی‌های مبتنی بر داده هوش مصنوعی /(AI) یادگیری ماشین (ML)، تحرک‌پذیری پیشرفته، دوپلکس تکامل‌یافته، واقعیت گسترده نامحدود، لینک جانبی گسترش‌یافته، ارتباطات پهپادها و ماهواره‌های گسترش‌یافته، تکامل [illegible] (RedCap) [illegible] NR [illegible] MBS [illegible] [46] [illegible] 5GC تحویل داده می‌شود، (ii) درخواست EUها برای پیوستن به یک جلسه MBS، (iii) ایجاد یک انتقال [illegible] MBS [illegible] MBS آزاد می‌شود و می‌تواند برای جلسه دیگری مورد استفاده قرار گیرد.

استفاده انعطاف‌پذیر از منابع برای پیاده‌سازی سرویس‌های تک‌پخشی و چندپخشی باید با استفاده از توابع استاندارد NR فراهم شود.

رادیویی NR خواهد بود. این امر مستلزم تغییراتی در توابع ارسال و قابلیت پیکربندی رابط رادیویی است.

از دیدگاه 5GC، دو روش تحویل تعریف شده است [43]، همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است. در هر دو مورد، فقط یک کپی از بسته داده به شبکه اصلی 5G (5G CN) تحویل داده می‌شود. سپس، این روش برای گزینه‌های تحویل MBS انفرادی و مشترک متفاوت است . در حالت اول، یک کپی محتوای جداگانه واحد داده پروتکل (PDU) به تمام EUهای شرکت‌کننده تحویل داده می‌شود. در عوض، وقتی از حالت اشتراکی استفاده می‌شود، ابتدا یک کپی محتوا به گره‌های RAN تحویل داده می‌شود و سپس این گره‌ها مسئول تحویل ترافیک داده به EUها هستند. از آنجایی که حالت اشتراکی به طور بالقوه امکان استفاده کارآمدتر از منابع رادیویی را فراهم می‌کند، ما بر روی این گزینه تمرکز می‌کنیم.

د. تفاوت بین چندپخشی در 4G و 5G

ضروری است که تفاوت بین چندپخشی LTE و 5G را از نظر حالت انتقال و مدیریت منابع رادیویی برجسته کنیم. برای هر دو فناوری، MCS برای گروه چندپخشی توسط عضو گروه چندپخشی با بدترین وضعیت کانال (یعنی پایین‌ترین شاخص کیفیت کانال (CQI) در بین موارد جمع‌آوری‌شده) تعیین می‌شود. با این حال، تفاوت اصلی این است که در سیستم‌های LTE، انتقال‌های همه‌جهته انجام می‌شود و زیرگروه‌بندی بر اساس MCS مورد نیاز انجام می‌شود (برای توضیح به شکل 4 مراجعه کنید). در این حالت، کاربرانی که به BS نزدیک‌تر هستند، تصاویر/فیلم‌هایی با کیفیت بهتر دریافت خواهند کرد. به طور متفاوت، 5G NR BS با انتقال‌های جهت‌دار عمل می‌کند، جایی که استراتژی‌های زیرگروه‌بندی معمولاً با هدف افزایش عملکرد سیستم‌ها انجام می‌شوند و در درجه اول به موقعیت کاربران چندپخشی متکی هستند. بنابراین، مدیریت منابع رادیویی برای 5G کاملاً متفاوت از LTE است. این بررسی دیگری از روش تحویل نقطه به چند نقطه (PMP) استفاده می‌کند. در حالت اول، بسته‌های داده مختلف به EUهای منفرد تحویل داده می‌شوند، در حالی که در حالت PMP، یک گروه چندپخشی متشکل از چندین UE یک نسخه واحد از بسته داده را دریافت می‌کند. شایان ذکر است که می‌توان از ترکیب مکانیسم‌های PMP و نقطه به نقطه (PTP) برای تحویل داده به EUها استفاده کرد.

در رابط رادیویی، دو مکانیسم تحویل برای گزینه تحویل MBS مشترک در دسترس است، به شکل 3 مراجعه کنید. آنها با یکدیگر تفاوت دارند زیرا یکی شامل استفاده از روش تحویل تک حامل نقطه به نقطه (SC-PTP) است در حالی که بر روی 5G و نسل‌های آینده شبکه‌های تلفن همراه تمرکز دارد.

ه. پروژه‌های اصلی که به چندپخشی 5G/6G می‌پردازند

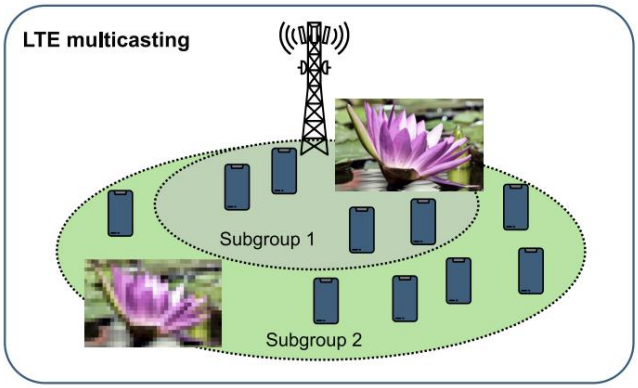
با توجه به پذیرش گسترده 5G در بازارهای عمودی متنوع و در عین حال، برای کمک به فعالیت‌های استانداردسازی در 3GPP و سایر نهادها با استفاده از نتایج آنها، چندین پروژه با مشارکت بازیگران صنعتی و تحقیقاتی با هدف بهبود روش‌های انتشار محتوا در 5G و آزمایش عملکرد آنها در محیط‌های عملیاتی واقعی در حال انجام است.

حالت ترکیبی تک‌پخشی/چندپخشی اخیراً در 3GPP Rel-17 برای سوئیچینگ پویا بین انتقال‌های PTP و PMP تعریف شده است [44]، [45]. به طور کلی، الزامات پخش/چندپخشی گسترده 5G را می‌توان با استقرار یک شبکه پخش اختصاصی مستقل یا با اتخاذ یک حالت عملیاتی ترکیبی تک‌پخشی/چندپخشی برآورده کرد. در حالت دوم، هدف، گنجاندن انتقال‌های PMP در RAN به صورت ...

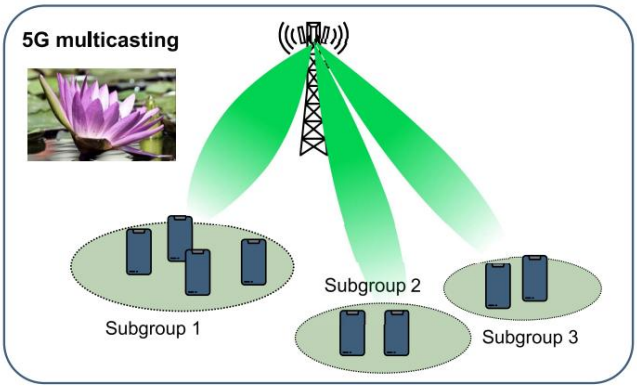
Machine Translated by Google

سرگرمی (سرویس پخش ترکیبی، پخش AR/VR، تولید زنده از راه دور)، و اطمینان از اینکه آنها با هم هماهنگ هستند.

این پروژه با در نظر گرفتن مسائل تجاری و فناوری، الزامات رسانه‌های آینده را تجزیه و تحلیل می‌کند. 5G-Xcast الزامات سطح بالا را برای لایه‌های انتقال و کاربرد و معماری‌های سیستم تعیین می‌کند. این پروژه دسترسی یکپارچه به اطلاعات و خدمات را در هر زمان، مکان و دستگاهی فراهم می‌کند. علاوه بر این، (i) 5G-Xcast رویکردی عملگرایانه را اتخاذ می‌کند که مشخصات دقیق، نمونه‌های اولیه اثبات مفهوم و نمایش‌ها را ارائه می‌دهد، (ii) با ابتکارات مهم فاز دوم 5G-PPP همکاری نزدیکی دارد و (iii) به 3GPP و سایر نهادهای استانداردسازی کمک می‌کند.



[49] FANTASTIC-5G یک پروژه اروپایی است که از یک معماری ماژولار برای ایجاد یک رابط هوایی چند سرویسی جدید در فرکانس‌های زیر 6گیگاهرتز استفاده می‌کند. ویژگی‌های مورد نظر برای تطبیق سیستم با ناهمگونی پیش‌بینی‌شده شامل سازگاری، مقیاس‌پذیری، تطبیق‌پذیری، کارایی و مقاوم بودن در برابر آینده است. این پروژه سرویس‌های زیر را در نظر می‌گیرد: پهنای باند موبایل (MBB)، ارتباطات ماشینی انبوه (MMC)، ارتباطات حیاتی ماموریت (MCC)، خدمات پخش/چندپخشی (BMS) و V2X.



شکل ۴. تفاوت بین چندپخشی در 4G و 5G.

علاوه بر این، اهداف آن عبارتند از: (۱) توسعه یک رابط هوایی برای فراهم کردن همزیستی درون باندی خدمات، انواع UE و ویژگی‌های ترافیک/انتقال بسیار متفاوت، (۲) فراهم کردن پوشش فراگیر و ظرفیت بالا، (۳) ایجاد راندمان بالا از نظر مصرف انرژی و منابع، (۴) ارائه 5G با قابلیت اطمینان بیشتر نسبت به نسل‌های قبلی از طریق معرفی ویژگی‌های جدید با دسترسی بیشتر، (۵) اعتبارسنجی مفاهیم توسعه‌یافته از طریق شبیه‌سازی‌های سطح سیستم و اثبات مفاهیم، (۶) پیشبرد نوآوری‌ها برای استانداردسازی.

[47] METIS مخفف Mobile and Wireless Communication Enablers for the Twenty-First Information Society است. هدف اصلی این پروژه، ایجاد زمینه برای 5G، فناوری ارتباطات سیار و بی‌سیم نسل بعدی است. این پروژه، به طور خاص، با اهداف زیر انجام می‌شود: (i) توسعه طراحی کلی شبکه دسترسی رادیویی 5G، (ii) ارائه چارچوب همکاری 5G در 5G-PPP برای ارزیابی مفاهیم شبکه دسترسی رادیویی 5G، و (iv) مشارکت در فعالیت‌های نهادهای نظارتی و استانداردسازی برای 5G. [50] 5G-RECORDS بر اهمیت و اهداف ارزیابی رادیو و شبکه‌های 5G بدون سیم و سرویس‌های 5G و نحوه عملکرد آنها در طول پخش MBMS تمرکز دارد. METIS به دستیابی به اهداف خود، به طور کامل بر پروژه‌هایی مانند METIS، 5GNOW، MiWaveS و غیره بنا شده است. تأکید بر این نکته مهم است که به محاسبه و سازمان‌دهی منابع توسعه‌یافته به طوری که [illegible] در عملکرد یا استحکام کار آنها از ابزارهای اکتشافی یا ابتکاری وجود باطی پیش‌بینی‌شده در سیستم‌های 5G، مانند چندپخشی، D2D و خود-بازگشتی، طراحی شده است. نداشته باشد.

این پروژه سه مورد استفاده را در نظر می‌گیرد تا برخی از چالش‌برانگیزترین شرایطی را که در چارچوب تولید محتوای حرفه‌ای نمایش داده می‌شوند، در بر بگیرد: تولید صدای زنده، استودیوی بی‌سیم چند دوربینه و تولید ویدیوی فراگیر زنده. پردازش منابع داده صوتی و/یا تصویری با معیارهای بالا برای شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI)، مانند نرخ داده، تأخیر، همگام‌سازی، در دسترس بودن و قابلیت اطمینان، برای ادغام مؤثر موارد استفاده ذکر شده در اکوسیستم 5G ضروری است.

اهداف 5G-RECORDS به شرح زیر است: (۱) طراحی و توسعه اجزای 5G بر اساس 3GPP Rel-15، 16 و فراتر از آن؛ (۲) ادغام اجزای توسعه‌یافته در زیرساخت‌های سرتاسری 5G؛ (۳) اعتبارسنجی اجزا در چارچوب موارد استفاده مورد نظر؛ (۴) نشان دادن ارزش بالقوه‌ای که 5G برای بخش تولید محتوا به ارمغان می‌آورد؛ و (۵) تأثیرگذاری بر نهادهای استانداردسازی و [illegible] 5G-Xcast با هدف بهره‌برداری از حالت‌های تحویل تک‌پخشی، چندپخشی، پخش و ذخیره‌سازی محلی [illegible] 5G تمرکز دارد. طراحی شده است. همچنین تکنیک‌هایی را برای پشتیبانی از مهاجرت محتوا و خدمات رسانه‌ای از سیستم‌های قدیمی توسعه می‌دهد. در طراحی گزینه‌های تحویل رسانه‌ای، این پروژه طیف گسترده‌ای از موارد استفاده 5G را در زمینه‌های مختلف، مانند خودرو (سرویس پخش خودرو به زیرساخت، V2X)، ایمنی عمومی (هشدار هشدار عمومی چندرسانه‌ای و هشدار چندرسانه‌ای «گمشدگان آمریکا: واکنش اضطراری پخش (AMBER)»، اینترنت اشیا (IoT) (به‌روزرسانی‌های گسترده نرم‌افزار و سیستم‌عامل) و رسانه و

III. انواع چندپخشی و گزینه‌های استقرار

در این بخش، انواع چندپخشی، گزینه‌های استقرار و موارد استفاده را مشخص می‌کنیم. در نهایت، با معرفی معیارهای اصلی مورد نظر، نتیجه‌گیری می‌کنیم.

Machine Translated by Google

جدول سوم
الزامات درخواست برای 5G پیشرفته (نسخه [52] ،[51] [19]) و کاربردهای عمومی 5G/6G

Applications/ Requirements	Intelligent Transport [51]	AR/VR [51]	Broadcast-like services [51]	Factory Automation Motion Control [51]	General 5G [21], [53]–[55]	General 6G [21], [53]–[55]
UE density	1000/km^2	$\leq$ 10 UEs	15 TV channels of 20 Mbps on one carrier	10^5/km^2	-	-
UE speed	Vehicles, bicycles, pedestrians	Stationary and pedestrian UEs	Stationary, pedestrian, and vehicular UEs (up to 500 km/h)	-	Up to 500 km/hr	Up to 1000 km/hr
Service area	2 km along a road	20 m x 10 m	up to 200 km	1000 x 1000 x 30 m	-	-
Reliability	99,999%	99,99%	-	99,9999%	99,999%	99,9999999%
E2E latency	30 ms	10 ms	<20 ms	1 ms	10-1 ms	1-0.1 ms
Emitted power: 23 dBm – non-public safety (1 Tx, 1 Rx antennas), 23/31 dBm – public safety (2 Tx, 2 Rx antennas) **Tx gain:** 0 dBi, **Noise floor:** 9 dB [52]						

سرویس‌های چندپخشی و پخش همگانی می‌توانند به کاهش [این مشکل] کمک کنند.
کمبود بهنای باند ارائه این خدمات به طور کارآمد به
کاربران.
مطابق با الزامات 3GPP، فقط از طریق downlink
معنای توزیع است.
در یک منطقه خاص
علاقه‌ای که شامل یک بخش سلولی، یک سلول یا گروهی از سلول‌ها می‌شود.
سایر الزامات مربوط به پشتیبانی از پخش/چندپخشی
22.101 ارائه شده اند،
[41]، [56]
اهداف ارزیابی و بهینه‌سازی. برای اهداف ارزیابی عملکرد، معمولاً از مدل‌های ورود پویای جلسه استفاده می‌شود. علاوه بر این، باید به صراحت
تعداد UEهای شرکت کننده در رویدادهای ورزشی در یک ورزشگاه با ... متفاوت است.
که مربوط به بازدید دانشجویان دانشگاه‌های اروپا از یک موزه هنری است. سپس، انتشار
شرایط بسته به نوع استفاده متفاوت است (مثلاً در فضای بسته با موانع متعدد، خیابان، فضای
باز و غیره).
مورد پخش، معمولاً مدت زمان پخش
مورد. این امر منجر به استقرارهای خاص بسته به
سناریوی کاربردی که در آن چندپخشی، سیستم را بهبود می‌بخشد
پیوستن به پخش. از طرف دیگر، برای محتوای چندپخشی، فرض بر این است که ارائه خدمات چندپخشی
سرویس) ارائه می‌دهیم.
توسط اولین UE که محتوای مورد نظر را درخواست می‌کند آغاز شده و سپس توسط سایر EUهایی که به multicast می‌پیوندند، ادامه می‌یابد.
اقلام.
3GPP یا ITU-R
مدل‌ها به طور مرسوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت، سیستم ...
در شرایط ایستا با تعداد مشخصی از فعال در نظر گرفته شده است
EUها، و معمولاً هیچ تفاوتی بین مدل‌ها وجود ندارد
برای سرویس‌های چندپخشی مختلف استفاده می‌شود.

ج. موارد استفاده چندپخشی 5G/6G

سناریوی بازار برای کاربردهای چندپخشی 5G/6G در آینده را می‌توان تقریباً با دو نوع مشخصه
زیر مشاهده کرد:
از خدمات [7] که در شکل 5 نشان داده شده است: (i) برنامه‌های کاربردی LTE تکامل‌یافته
متناسب با کاربران انسانی، و (ii) ماشین‌محور
کاربردهایی که شامل ارتباطات نوع ماشین (MTC) می‌شوند.
مورد اول شامل موارد استفاده زیر است:
•ویدیوی موبایل: تلویزیون موبایل، ویدیوی درخواستی؛ (VoD)
تیزینگ، واقعیت افزوده/مجازی، بازیابی پس از سانحه، پیش‌بینی؛
کاربردهای هوشمند: خانه‌های هوشمند، دفاتر هوشمند،
محیط‌ها؛

الف. انواع چندپخشی

در یک محیط شبکه‌ای، ما بین زنده و پویا تمایز قائل می‌شویم.
و محتوای چندپخشی ذخیره شده. در مورد اول، صدا،
سرویس‌های ویدیویی یا چندرسانه‌ای توسط ارائه‌دهنده محتوا از طریق شبکه اپراتور پخش می‌شوند و EUها به آن می‌پیوندند.
عملکرد سرویس‌های چندپخشی و پخش همگانی باید پشتیبانی شود. به عنوان مثال، این به
ویدیوی با کیفیت فوق‌العاده بالا (UHD) است.
توسط اپراتور بر اساس تقاضا سازماندهی می‌شود، که در آن EUها همزمان محتوای مشابهی را درخواست می‌کنند. دو مدل مختلف استفاده می‌شود
برای نمایش این موارد از یک سرویس چندپخشی
در TSهای 22.146، 22.246 3GPP و [39] 22.101 ارائه شده اند،
نقطه نظر مدت زمان.
[41] به طور متفاوت، الزامات برنامه و جزئیات استقرار مختص برنامه هستند. به عنوان
مثال، جگالی.
تعداد UEهای شرکت کننده در رویدادهای ورزشی در یک ورزشگاه با ... متفاوت است.
شرایط بسته به نوع استفاده متفاوت است (مثلاً در فضای بسته با موانع متعدد، خیابان، فضای
باز و غیره).
مورد پخش، معمولاً مدت زمان پخش
ارائه خدمات توسط یک متغیر تصادفی مدل‌سازی می‌شود که فرآیند ورود خارجی را در رابطه با EUها توصیف می‌کند.
سناریوی کاربردی که در آن چندپخشی، سیستم را بهبود می‌بخشد
پیوستن به پخش. از طرف دیگر، برای محتوای چندپخشی، فرض بر این است که ارائه خدمات چندپخشی
سرویس) ارائه می‌دهیم.
توسط اولین UE که محتوای مورد نظر را درخواست می‌کند آغاز شده و سپس توسط سایر EUهایی که به multicast می‌پیوندند، ادامه می‌یابد.
اقلام.
برای بهینه‌سازی عملکرد، استاندارد 3GPP یا ITU-R
مدل‌ها به طور مرسوم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت، سیستم ...
در شرایط ایستا با تعداد مشخصی از فعال در نظر گرفته شده است
EUها، و معمولاً هیچ تفاوتی بین مدل‌ها وجود ندارد
برای سرویس‌های چندپخشی مختلف استفاده می‌شود.

ب. گزینه‌های استقرار

حضور از راه دور هولوگرافیک و
تیزینگ، واقعیت افزوده/مجازی، بازیابی پس از سانحه، پیش‌بینی؛
امنیت عمومی.
واقع در BS چندین
•محیط‌های هوشمند: خانه‌های هوشمند، دفاتر هوشمند،
ترافیک مورد نیاز است.
محیط‌ها؛

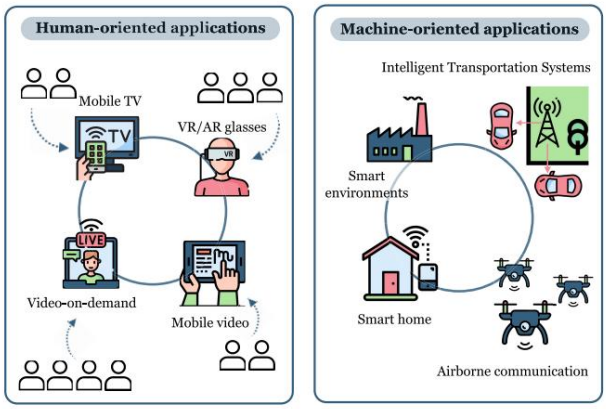
Machine Translated by Google

این موارد، همراه با تکنیک‌های تخصیص منابع مؤثر، برای موفقیت تجاری چنین برنامه‌های کاربردی با پهنای باند بالا ضروری است. علاوه بر این، باید به هماهنگ‌سازی زمان‌بندی در گروه چندپخشی نیز پرداخته شود. علاوه بر این، این برنامه‌ها می‌توانند هم در داخل و هم در خارج از منزل اجرا شوند، جایی که انسداد در مقیاس کوچک و بزرگ ممکن است بر ارتباطات تأثیر بگذارد، که به ویژه در فرکانس‌های بالا و در انتقال‌های چندپخشی بسیار مهم است، جایی که نرخ داده کل یک گروه توسط UEکه بدترین شرایط کانال را تجربه می‌کند تعیین می‌شود.

خدمات با کیفیت بالای تجربه کاربری (QoE)و برنامه‌های کاربردی مبتنی بر مکان: ادبیات علمی اخیر تأکید زیادی بر موضوعی دارد که نقش کلیدی در برنامه‌های کاربردی چندپخشی مختلف 5G/6Gایفا می‌کند، یعنی بهبود کیفیت تجربه کاربری. این امر می‌تواند، به عنوان مثال، با فراهم کردن امکان بهره‌مندی مجموعه‌ای از کاربران از محتوای متناسب با پروفایل‌های خاص خود (به عنوان مثال، علایق و ترجیحات) یا با فعال کردن دریافت سرویس بر اساس موقعیت مکانی کاربر، محقق شود. به همین دلیل، در گزارش [59] NetWorld2020و در برخی از پروژه‌های کاربر (به عنوان مثال، METISو 5GNOW)، کاربران سیستم‌های 5G/6Gهمیشه کاملاً متصل به محیط اطراف در نظر گرفته می‌شوند. نمونه‌ای از خدمات مبتنی بر مکان که به طور خاص برای اهداف تجاری توسعه یافته‌اند، توسط برنامه‌های کاربردی چندپخشی AR/VRارائه می‌شود که به گروه‌هایی از کاربران امکان می‌دهد اطلاعات بیشتری از محیط اطراف به دست آورند تا فعالیت‌های روزانه خود را به طور مؤثرتری انجام دهند. به طور مشابه، ارتباطات چندپخشی مبتنی بر مکان با کیفیت بالای تجربه (QoE)می‌توانند برای موقعیت‌های بازیابی پس از فاجعه مورد هدف قرار گیرند، جایی که گروهی از EUها (قربانیان و امدادگران) در طول یک وضعیت اضطراری (مثلاً بلایای طبیعی، فوریت‌های پزشکی، انفجار) اطلاعات کاربردی مشترکی دریافت می‌کنند تا بتوانند بر اساس آن واکنش نشان دهند .[7]مزایای حاصل از چندپخشی با رواج بیشتر فرمت‌های محتوای فراگیر با کیفیت بالا در آینده، مانند تلویزیون با وضوح بسیار بالا (UHDTV)، ویدیوی 360درجه و AR/VR، بسیار قابل توجه‌تر خواهد بود .[60]

چنین کاربردهایی چالش‌های بیشتری را در مدیریت موقعیت‌ها و پروفایل‌های EUها ایجاد می‌کنند و به مکانیسم‌های دقیقی برای تخمین و ردیابی موقعیت‌های UEو همچنین روش‌ها و پروتکل‌های مؤثر برای تشکیل گروه و اعلام سرویس نیاز دارند. معماری استاندارد MBMS فعلی 3GPPباید اصلاح شود تا این قابلیت‌های جدید را ارائه دهد. علاوه بر این، کاربردهای چندپخشی QoEبهبود یافته به قابلیت انتقال داده با تأخیر بسیار کم، قابلیت اطمینان بالا، پوشش گسترده و کاهش انسداد نیاز دارند تا کیفیت سیگنال مناسبی را برای EUها در مکان‌های نامطلوب فراهم کنند.

محیط‌های هوشمند: یکی از اهداف اصلی پلتفرم‌هایی که از MTCدر سیستم‌های 5Gبهره‌برداری می‌کنند، امکان حمایت از ذینفعان و کاربران در استفاده از خدمات در محیط‌های روزمره با هزینه‌های کمتر، کمک به بهبود کیفیت زندگی آنها و بهینه‌سازی فعالیت‌های کاری آنها با ارائه داده‌های بلادرنگ برای تصمیم‌گیری‌هایشان است. نمونه بارز مزایای حاصل از برنامه‌های کاربردی MTCچندپخشی توسط کاربرانی ارائه می‌شود که از طریق EUهای خود، پیام‌هایی را به خارج از محل سکونت خود به مجموعه‌ای از محرک‌ها ارسال می‌کنند تا تجهیزات الکتریکی (مانند سیستم گرمایش/سرمایش) را روشن/خاموش کنند. به طور مشابه، نیازهای خاص کاربر/کارگر می‌تواند نظارت و کنترل خانه یا محل کار را هدایت کند.



شکل .5کاربردهای انسان‌محور و ماشین‌محور برای سناریوهای 5G NR.

•سیستم حمل و نقل هوشمند :(ITS)رانندگی کمکی، مدیریت ناوگان رانندگی خودران، ارتباط سلولی خودرو با همه چیز • ;[57] (V2E)ارتقاء نرم‌افزار/میان‌افزار از طریق هوا؛ •ارتباطات هوایی .[57]

با تمرکز بر پیوند بین انواع چندپخشی و موارد استفاده، ارائه‌دهنده محتوا تصمیم می‌گیرد که بسته به نوع برنامه، محتوای زنده یا ذخیره‌شده را ارائه دهد. ارائه محتوای زنده نیاز به انتقال مداوم و بدون وقفه داده‌ها از منبع به گیرندگان دارد. این نوع سرویس چندپخشی به‌ویژه زمانی مفید است که نیاز به توزیع همزمان اطلاعات حساس به زمان به مخاطبان زیادی، مانند رانندگی کمکی، وجود داشته باشد. در عوض، تحویل محتوای چندپخشی ذخیره‌شده شامل توزیع محتوای از پیش ضبط‌شده یا بر اساس تقاضا است. این نوع سرویس چندپخشی به کاربران اجازه می‌دهد تا به راحتی به محتوا دسترسی داشته باشند و آن را مصرف کنند یا فایلی با اندازه محدود برای آنها ارسال کنند. یک برنامه نمونه، به‌روزرسانی نرم‌افزار است.

اگرچه سرویس‌های چندپخشی محتوای زنده و ذخیره‌شده، هر دو، مکانیسم‌های توزیع ارزشمندی را ارائه می‌دهند، اما پارامترهای خاص سرویس ممکن است بسته به نیازهای اپراتور متفاوت باشند. عواملی مانند اندازه محتوای بافر شده، زمان تحویل و کیفیت خدمات می‌توانند برای برآورده کردن اهداف اپراتور و بهینه‌سازی تجربه کاربر نهایی تنظیم شوند. به عنوان مثال، یک اپراتور ممکن است مقدار مشخصی از محتوای زنده را بافر کند تا نوسانات یا تأخیرهای احتمالی شبکه را در نظر بگیرد و تجربه مشاهده روان‌تری را برای مخاطب تضمین کند. به طور مشابه، در مورد محتوای ذخیره‌شده، اپراتور ممکن است پارامترهای زمان تحویل را برای کنترل زمان و سرعت در دسترس قرار گرفتن محتوا برای کاربران تعریف کند.

برنامه‌های کاربردی انسان‌محور به طور قابل توجهی در رشد نمایی بازار خدمات چندپخشی نقش دارند، که عمدتاً توسط دسته‌های خدمات زیر تقویت می‌شود .[58]، [57]، [7]

ویدیوی موبایل: در سال‌های اخیر، دانلود و پخش ویدیو، کنفرانس‌های ویدیویی، کنسرت‌ها و سایر رویدادهای آنلاین محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند. در نتیجه، انتظار می‌رود سرویس‌های تلویزیون موبایل و VoDگروهی نقش مهمی در سیستم‌های 5G/6Gایفا کنند و با کیفیت UHDاز طریق شبکه منتقل شوند. این دسته از برنامه‌ها نیاز به نرخ داده بالا، لرزش کم و اتصال در هر مکان و هر زمان دارند. طراحی راه‌حل‌هایی که به برنامه‌های چندپخشی اجازه می‌دهد تا با سرویس‌هایی با ماهیت‌های مختلف، مانند تک‌پخشی و پخش همگانی، همزیستی داشته باشند.

Machine Translated by Google

هشدارها و برنامه‌های ترافیک پهپادها). پخش چندگانه پهپادها همچنین می‌تواند به سیستم‌های پخش چندگانه زمینی در انتقال اطلاعات به اعضای گروه در شرایط nLOS کمک کند. پهپادها اغلب برای کسب داده‌ها از زوایای مختلف و تنظیم وضعیت خط دید (LOS) بین EUهای آسمان و زمین، تغییر مکان می‌دهند.

در نتیجه، انتقال‌های چندپخشی می‌توانند تحویل کارآمدتری نسبت به تک‌پخشی ارائه دهند، هر بار که یک داده معین از یک برنامه باید به طور همزمان به چندین UE تحویل داده شود. بنابراین، انتظار می‌رود که چندپخشی برای برنامه‌های 5G/6G در بسیاری از صنایع و برنامه‌های کاربردی حیاتی باشد [60].

د. معیارهای مورد نظر الگوریتم‌های بهینه‌سازی عملکرد برای فعال کردن استفاده بهینه از منابع در هر لحظه از زمان

مورد نیاز هستند. این الگوریتم‌ها در بخش پنجم پوشش داده شده‌اند. برای اهداف بهینه‌سازی عملکرد، باید معیارهای بهینه‌سازی را مشخص کنیم. از آنجایی که این مقاله عمدتاً بر بهینه‌سازی منابع شبکه دسترسی تمرکز دارد، معیار اصلی مورد بررسی، میزان استفاده از منابع در خدمت‌رسانی به EUها است که باید به حداقل برسد.

به طور خاص‌تر، در حضور چندین پرتو، باید نسبت منابع استفاده شده به کل منابع موجود را در نظر گرفت، زیرا اضافه کردن یک پرتو دیگر به سیستم، میزان منابع موجود را افزایش می‌دهد. در عین حال، به دلیل محدودیت‌های مربوط به مقدار حداکثر توان ساطع شده، ممکن است از این منابع کمتر از حد لازم استفاده شود، زیرا توان باید بین پرتوها تقسیم شود.

فرآیند بهینه‌سازی باید با هدف تعیین همزمان معیارهای زیر انجام شود: - ρ (i) کسری از منابع موجود که اشغال شده‌اند، - Lopt (ii) تعداد بهینه پرتوها در سیستم. هدف دیگر تعیین فاصله بین سایتی D (ISD) و در نتیجه، - η حداقل تراکم استقرار BS مورد نیاز برای ارائه سرویس چندپخشی است.

IV. مدل‌هایی برای اجزای کلیدی سیستم

بخش رادیویی سیستم‌های 5G/6G دارای چندین مشخصه است که برای بهینه‌سازی عملکرد سرویس چندپخشی حیاتی هستند. بنابراین، بخش حاضر خلاصه‌ای از رایج‌ترین رویکردهای مورد استفاده برای مدل‌سازی انتشار، آنتن‌ها و پدیده‌های انسداد را ارائه می‌دهد.

توجه داشته باشید که خواص انتشار، طراحی آنتن‌ها و مشخصات انسداد در باندهای mmWave و sub-THz از نظر کیفی مشابه هستند. تفاوت اصلی کمی است، به عنوان مثال، تضعیف انسداد متفاوتی در باندهای مختلف ایجاد می‌شود.

به همین دلیل، در این بخش، ما بر مدل‌هایی تمرکز می‌کنیم که ویژگی‌های کیفی عناصر مختلف قطعات رادیویی را ثبت می‌کنند و در صورت لزوم، ویژگی‌های زیر تراهرتز را برجسته می‌کنند.

ما همچنین تأکید می‌کنیم که مدل‌های شرح داده شده در زیر می‌توانند به طور مؤثر در سناریوهای ارتباطی مختلف بدون محدود شدن به نوع سرویس (مثلاً چندپخشی، تک‌پخشی) مورد استفاده قرار گیرند. دلیل این امر این است که پدیده‌های فیزیکی و طراحی قطعات رادیویی، مانند آنتن، مدل‌های انسداد و انتشار، به نوع سرویس ارائه شده بستگی ندارند. لازم به ذکر است که برخلاف تک‌پخشی، شرایط کانال بدترین کاربر در گروه چندپخشی، شرایط کانال کل گروه چندپخشی را تعیین می‌کند.

سیستم‌های روشنایی. مثال دیگر، کاربرد روشنایی هوشمند برای خانه‌ها، ادارات و مناطق شهری است. به عنوان مثال، با روشن کردن چراغ‌ها در جاده‌های روستایی فقط هنگام نزدیک شدن خودرو و خاموش کردن آنها هنگامی که هیچ وسیله نقلیه‌ای در مجاورت نیست، می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. علاوه بر این، تأسیسات صنعتی هوشمند می‌توانند برای انتقال مؤثر سیگنال‌های کنترل، هشدار و مدیریت ایمنی (به عنوان مثال، خاموش کردن تمام دستگاه‌های خط مونتاژ پس از یک وضعیت اضطراری یا پیکربندی مجدد همه آنها در حین کار عادی) به ارتباطات چندپخشی متکی باشند.

این کاربردها همچنین می‌توانند در محیط‌هایی مفید باشند که در آن‌ها چندپخشی می‌تواند به مدیریت گروه‌های حسگرها/محرک‌ها در یک دیدگاه «سبز» برای به حداقل رساندن مصرف انرژی (یک چالش حیاتی در سیستم‌های 5G/6G) کمک کند و در نتیجه عمر باتری‌های آن‌ها را افزایش دهد. کاربردهای چندپخشی برای محیط‌های هوشمند معمولاً به تأخیر کم و مصرف توان کم در طول ارتباطات نیاز دارند. این محدودیت‌ها چالش‌هایی را برای طراحی مؤثر روش‌های گروه‌بندی مبتنی بر مشتری و مکان ایجاد می‌کنند و در عین حال سربار چندپخشی را به سمت EUهای مورد نظر به حداقل می‌رسانند.

سیستم‌های حمل و نقل هوشمند: شبکه‌های 5G ثابت کرده‌اند که می‌توانند پشتیبانی مؤثری از انبوه کاربردهای V2X باشند که در سناریوهای آینده خودرو ظهور می‌کنند، جایی که محرک‌ها/حسگرها یا در کنار جاده و در خودروها نصب می‌شوند تا سیگنال‌های کنترل/داده را دریافت/ارسال کنند. تحویل داده‌ها با ماهیت‌های مختلف به پایانه‌های علاقه‌مند که در همان سرویس‌های ITS شرکت می‌کنند یا در همان منطقه مستقر شده‌اند، می‌تواند برای بهبود اثربخشی انتشار ترکیب شود. در عین حال، انتقال‌های چندپخشی ممکن است از سیستم‌های مدیریت ناوگان پشتیبانی کنند. با این حال، انتقال‌های چندپخشی برای ITS ممکن است طراحی رویه‌های در نظر گرفته شده برای تشکیل/بازشکل‌گیری گروه که با تأخیر کم عمل می‌کنند و ماهیتی مبتنی بر مکان دارند را دشوار کند. این به دلیل سرعت‌های بالا و عملیات فرکانس بالا در UE است که مستعد انسداد هستند و منجر به شرایط نامطلوب غیرخط دید (nLOS) می‌شوند.

ارتقاء نرم‌افزار/میان‌افزار: حسگرها، تلفن‌های هوشمند و سایر دستگاه‌های هوشمند به صورت دوره‌ای یا در رویدادها/تاریخ‌های خاص نیاز به ارتقاء نرم‌افزار/میان‌افزار دارند. دستگاه‌های هوشمند ممکن است نیاز به دریافت به‌روزرسانی‌های نرم‌افزار/میان‌افزار جدید برای به‌روزرسانی/اصلاح قابلیت‌های خود یا رفع نقص‌ها داشته باشند. این به‌روزرسانی‌ها همچنین ممکن است بر اساس مکانی که حسگرها/محرک‌های آسیب‌دیده نصب شده‌اند، ارائه شوند. باز هم، نگرانی اصلی مربوط به تشکیل گروه است. یک گزینه می‌تواند این باشد که مالک حسگرها، نه ارائه‌دهنده شبکه، بتواند تشکیل گروه را مدیریت کند (مثلاً، زیرا او علاقه‌مند است داده‌ها را صرفاً به دستگاه‌های خود بسته به موقعیت و ویژگی‌ها و قطعیت مرتبط تحویل دهد). بنابراین، تعریف تکنیک‌های مؤثر تشکیل گروه مبتنی بر مشتری، اولویت بیشتری پیدا می‌کند.

ارتباطات هوایی: ارتباطات گروهی برای کاربردها و خدماتی که شامل استفاده از پهپادها می‌شوند، از جمله ضبط ویدئوی هوایی، پشتیبانی از عملیات نجات، عملیات نظارتی، کنترل حرکات پهپادها و ایمنی آنها، مفید هستند. ارتباطات چندپخشی با استفاده از پهپادها برای چندین مورد از کاربردهای ذکر شده حیاتی است، زیرا امکان ارسال محتوای غنی به گیرندگان متعدد با منابع کمتر را فراهم می‌کند و به چندین واحد پردازش مرکزی اجازه می‌دهد تا به طور قابل اعتمادی داده‌های حیاتی (مانند ایمنی پهپاد) را دریافت کنند.

Machine Translated by Google

جدول چهارم
آنتن HPBWو تقریب آن [66]

Array	Value, direct calculation	Approximation
64x1	1.585	1.594
32x1	3.171	3.188
16x1	6.345	6.375
8x1	12.71	12.75
4x1	25.58	25.50

جدول ۵
بهره‌های آرایه آنتن [66]

Array	Gain, linear	Gain, dB
64x1	57.51	17.59
32x1	28.76	14.58
16x1	14.38	11.57
8x1	7.20	8.57
4x1	3.61	5.57

(۲مدل آنتن تک پرتوی دوبعدی مبتنی بر الگو :
مدل‌های آنتن که در بالا در نظر گرفته شدند، توسط فرضیات هندسی در مورد HPBWو
لوب‌های جانبی محدود شده‌اند. از طرف دیگر، یکی
ممکن است مدل آنتن را مستقیماً با استفاده از الگوهای تابش آن از، مثلاً، [61]یا حتی
اندازه‌گیری‌های مستقیم تعریف کنند.
یک مثال ساده از این مدل در ادامه ارائه شده است.
یک مدل آنتن تک پرتوی ساده را در نظر بگیرید. اصلی
فرض می‌شود که لوب آنتن نسبت به آنتن متقارن است.
محور دید افقی. بهره آنتن GA(αd)را می‌توان به سادگی به صورت زیر بدست آورد.
ارائه شده به صورت [69]، [68]، [67]

$$GA(\alpha d) = D0\rho(\alpha d), \quad (4)$$

که در آن D0نشان دهنده حداکثر جهت‌گیری در امتداد خط دید است، ρ(αd)تابع
جهت‌گیری انحراف زاویه‌ای است.
از جهت دید افقی، در حالی که αd ∈ [0، π]. کل
جهت‌پذیری با ρ(0) = 1مشخص می‌شود.
تابع ρ(αd)را می‌توان به صورت [69]، [68]یافت.

$$\rho(\alpha d) = \begin{cases} 0.5\left(1+\cos\frac{\alpha d}{\alpha_1}\right), & \alpha_1 \le \alpha d \le \alpha_2, \\ 1 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (5)$$

برای الگوهای تابشی متقارن، جهت‌گیری آنتن می‌تواند به صورت زیر باشد:
بیان شده به صورت [70]

$$D0 = \frac{4\pi}{2\pi(1-\cos\alpha_1/2)} = \frac{2}{\text{اکسینوس}\left(\frac{\text{آلفا}}{2}\right)}. \quad (6)$$

برای الگوهای تابشی نامتقارن، جهت‌گیری آنتن می‌تواند به صورت زیر باشد:
به عنوان [70]تعیین شده است

$$D0 = \frac{4\pi}{\alpha_{az}(N_H) \times \alpha_{el}(N_V)}, \quad (7)$$

که در آن αazو αelبه ترتیب HPBWدر حالت افقی و
به ترتیب صفحات عمودی، آزیموت و ارتفاع، که به تعداد عناصر آنتن بستگی دارند. برای
یک
مدل آنتن تک پرتوی سه‌بعدی (3D)، که به آن اشاره می‌کنیم
به [28].
توجه داشته باشید که وجود لوب‌های جانبی و پشتی ضروری نیست.
در تقریب پیشنهادی در نظر گرفته شده است، اما آنها
را می‌توان مشابه مدل‌های هندسی مورد بررسی در بخش IV-A1اضافه کرد. در شکل 6،
مقایسه‌ای را نشان می‌دهیم.
بین تقریب جهت‌گیری خطی (5)و الگوهای تابشی واقعی آنتن‌های مستطیلی/
مسطح یکنواخت

الف. مدل‌های آنتن

مدل آنتن بخش مهمی از زیرسیستم رادیویی برای بهینه‌سازی عملکرد و ارزیابی
سیستم‌های چندپخشی است.
سرویس در سیستم‌های 5G/6G mmWave/sub-THz. به طور خاص،
تعریف می‌کند که چه تعداد UEمی‌توانند در یک multicastواحد سازماندهی شوند.
گروه و میزان کارایی استفاده از منابع. بنابراین، مدل‌سازی دقیق با در نظر گرفتن مصالحه
بین کاربردپذیری
و دقت از اهمیت ویژه ای برخوردار است.
(امدل‌های هندسی آنتن تک پرتو: ویژگی اصلی آرایه‌های آنتن در زمینه چندپخشی، ...
آنهاست.
جهت‌گیری و بهره در جهت‌های ارسال/دریافت. پارامتر اول اغلب با استفاده از HPBW، یعنی
زاویه، که در آن توان ساطع شده دو برابر کاهش می‌یابد.
مدل دقیق الگوی تابش آنتن که نه تنها ... را ثبت می‌کند
لوب اصلی اما لوب‌های جانبی و پشتی در [61]تعریف شده‌اند.
به عنوان برهم نهی عناصر منفرد. با این حال، به عنوان
این مدل ماهیت الگوریتمی دارد و فقط در موارد زیر قابل استفاده است:
ارزیابی عملکرد سطح سیستم مبتنی بر شبیه‌سازی.
یک مدل ساده‌شده که برای mmWave/sub-THzاستفاده شده است
برای بهینه‌سازی عملکرد و اهداف ارزیابی، یک مدل مخروطی شکل است، برای مثال به
[65]، [64]، [63]، [62]مراجعه کنید. تابش
الگوی موجود در مدل، مخروطی با زاویه αاست. همان
زاویه، HPBWآرایه آنتن را دارد. با پیروی از [66]،
HPBWمربوط به تعداد عناصر موجود در
صفحه مناسب. به طور خاص،

$$\alpha = 2|\theta_m - \theta_{3db}|, \quad (1)$$

که در آن θmمکان حداکثر آرایه و θ3dbاست.
زاویه، که در آن بهره الگوی تابش به میزان کاهش می‌یابد
۳دسی‌بل در مقایسه با حداکثر آرایه. مکان
θm
را می‌توان به صورت θm = arccos(−β/π)محاسبه کرد، که در آن βبرابر است با
اختلاف فاز تحریک که بر جهت‌گیری فیزیکی تأثیر می‌گذارد
از آرایه. در مورد ما ، θm = π/2برای β = 0. نقطه 3دسی‌بل
ارائه شده توسط

$$\theta_{3db} = \arccos\left[-\beta \pm 2.782/(N\pi)\right], \quad (2)$$

و Nتعداد المان‌های آنتن است.
بهره نسبت به HPBWرا می‌توان به صورت [66]یافت.

$$GA(\theta_{3db}) = \frac{1}{\theta_{3db}} \cdot \frac{\sin(N\pi\cos(\theta)/2)}{\text{سینوس}(\pi\cos(\theta)/2)} \quad (3)$$

توجه داشته باشید که یک تقریب قابل اعتماد برای HPBWاز منبع اصلی
لوب را می‌توان با استفاده از 102/N [66]بدست آورد. مقایسه بین مقادیر محاسبه
شده طبق (1)ارائه شده است.
در جدول IV.به طور مشابه، بهره آنتن روی لوب اصلی در
صفحه مناسب را می‌توان با عدد تقریب زد
از عناصر آنتن، به جدول Vکه مقایسه را ارائه می‌دهد، مراجعه کنید.
بین بهره محاسبه شده با استفاده از (3)و تقریب.
مدل پایه توصیف شده می‌تواند بیشتر گسترش یابد یا
با توجه به نیازهای مدل‌سازی ساده‌سازی شده‌اند 2.به طور خاص،
وقتی تفاوت قابل توجهی بین BSو
برای ارتفاعات UE، می‌توان از یک مدل مثلثی از [62]استفاده کرد.
به عنوان یک روش جایگزین، می‌توان یک جزء کروی در اطراف آن اضافه کرد.
فرستنده و تقسیم مناسب توان بین
لوب اصلی و لوب‌های جانبی و پشتی برای نشان دادن قدرت انگلی.

۲کد منبعی که آرایه‌های آنتن مسطح، WBPHها و بهره‌ها را تولید می‌کند
در آدرس https://github.com/NadezhdaChukhno/planar-antenna-arrayموجود است.

Machine Translated by Google

یعنی توسط یک پرتو واحد. در شکل 7، زیرگروه 1 شامل یک UE است، یعنی در واقع، UE1 چندپخشی با استفاده از انتقال تک‌پخشی جداگانه، یک سرویس چندپخشی دریافت می‌کند.

این کار بر طراحی شکل‌دهی پرتو با فرض اطلاعات وضعیت کانال (CSI) سراسری کامل تمرکز دارد.

با این حال، یک مسیر امیدوارکننده برای آینده، گسترش دامنه این تحقیق با در نظر گرفتن اثرات CSI ناقص است.

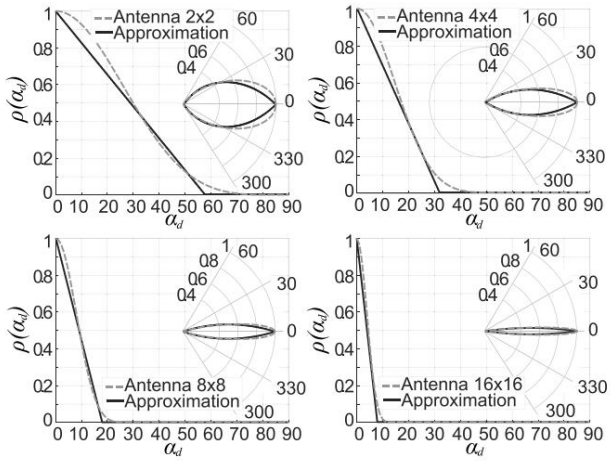
یکی از چالش‌های اصلی در CSI ناقص، از دست دادن هم‌ترازی مکانی بین سیگنال‌های ارسالی و مطلوب در هر گیرنده است. این ناهم‌ترازی می‌تواند منجر به تداخل و کاهش کیفیت سیگنال شود که منجر به کاهش نرخ‌های قابل دستیابی و افزایش نرخ خطا در انتقال چندپخشی می‌شود. با توجه به زمان همدوسی محدود کانال‌های mmWave، تخمین نرخ دقیق CSI چالش‌برانگیزتر می‌شود و تأثیر CSI ناقص را برجسته‌تر می‌کند. وجود انسدادها و تغییرات سریع کانال، مشکل را بیشتر تشدید می‌کند، زیرا سیستم شکل‌دهی پرتو باید به سرعت با تغییرات در شرایط کانال سازگار شود. گنجاندن اثرات CSI ناقص را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی قوی، مانند تکنیک‌های ارائه شده در [71]، [72] و تکنیک‌های مبتنی بر یادگیری [73] به دست آورد.

مسئله دیگری که ممکن است بر عملکرد چندپخشی تأثیر بگذارد، انحراف پرتو است که باعث محدودیت پهنای باند سیستم در سیستم‌های ارتباطی پهن باند می‌شود. به عبارت دیگر، پرتوها با افزایش پهنای باند سیستم از جهت فوکوس منحرف می‌شوند [74]. از آنجایی که ارتباطات mmWave و THz به شدت به تراز دقیق پرتوها بین فرستنده و گیرنده بستگی دارند، انحراف پرتو در صورت عدم مدیریت مناسب می‌تواند منجر به تخریب قابل توجه عملکرد شود. در سناریوهای چندپخشی، تخریب عملکرد به دلیل انحراف پرتو (که به عنوان تقسیم پرتو نیز شناخته می‌شود) تنها یک کاربر در گروه چندپخشی ممکن است منجر به وخامت عملکرد کل گروه شود. در این حالت، انحراف پرتو در مقایسه با تک‌پخشی، کاربران بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این حال، چندین مطالعه تحقیقاتی ثابت کردند که انحراف پرتو با تعداد آنتن‌ها (یا به عبارت دیگر، با اندازه آرایه) افزایش می‌یابد [74]، [75]، [76]. از آنجایی که معمولاً از پرتوهای پهن‌تر برای چندپخشی در مقایسه با انتقال‌های تک‌پخشی برای پوشش گروهی از کاربران چندپخشی استفاده می‌شود، می‌توانیم نتیجه بگیریم که انحراف پرتو در مقایسه با تک‌پخشی، تأثیر کمتر یا مساوی بر عملکرد چندپخشی دارد. ما همچنین در بخش هشتم در مورد این و سایر چالش‌های شکل‌دهی پرتو که در mmWave/THz ظاهر می‌شوند، بحث خواهیم کرد.

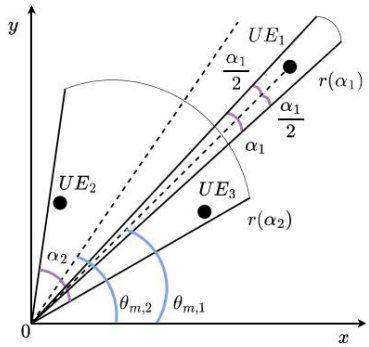
ب. مدل‌های انسداد

یکی دیگر از عوامل مهم مؤثر بر عملکرد سرویس در باندهای فرکانسی mmWave/sub-THz، انسداد است. 3GPP توصیه می‌کند بین انسداد ناشی از اشیاء کوچک پویا در کانال، مانند انسان‌ها و وسایل نقلیه، و انسداد ناشی از اشیاء بزرگ ایستا، مانند ساختمان‌ها، تمایز قائل شد [28]. نوع اول اختلال اغلب با کم کردن یک ضریب ثابت از نسبت سیگنال به تداخل و نویز دریافتی (SINR) در نظر گرفته می‌شود، در حالی که نوع دوم با استفاده از توان‌های انتشار مختلف مدل‌سازی می‌شود، به بخش IV-C مراجعه کنید. انسداد ناشی از یک ساختمان بزرگ ثابت، شرایط nLOS نیز نامیده می‌شود. بنابراین، در ادامه، به حالت اول به عنوان حالت‌های غیر مسدود/مسدود و به حالت دوم به عنوان LOS/nLOS اشاره می‌کنیم.

ایالت ها.



شکل 6. تقریب‌های الگوهای تابش آنتن محاسبه‌شده طبق (5) برای ARUها در مختصات قطبی و دکارتی [68]، [69].



شکل 7. تصویرسازی تعریف تیر.

آرایه‌هایی (URA) که دارای NH × NV = 2x2، 4x4، 8x8 و 16x16 عنصر هستند.

(۳ آرایه‌های آنتن چند پرتویی: آرایه‌های آنتن پیشرفته همچنین تشکیل چندین پرتو را به طور همزمان تسهیل می‌کنند.
با به‌کارگیری تکنیک‌های شکل‌دهی پرتو دیجیتال یا ترکیبی آنالوگ-دیجیتال، ایجاد راه‌حل‌های چند پرتویی که در آن‌ها هر پرتو می‌تواند در جهت مشخصی هدایت شود، امکان‌پذیر می‌شود.

با این حال، دستیابی به این قابلیت مستلزم در دسترس بودن زنجیره‌های فرکانس رادیویی (RF) متعدد متناسب با تعداد عناصر آنتن مورد استفاده است.

برای نمایش آرایه‌های آنتن چند پرتویی، در رویکردهای مرسوم، تعداد عناصر آنتن درگیر، HPBW این پرتوها را تعریف می‌کند و توسط یک HPBW پرتوی واحد، کران پایین آن مشخص می‌شود. توجه داشته باشید که توان کلی ساطع شده PA باید بین پرتوها تقسیم شود، نه لزوماً به طور متناسب.

شکل 7 گروه چندپخشی متشکل از 3 UE را نشان می‌دهد که به دو زیرگروه تقسیم شده‌اند و هر کدام توسط یک پرتو پوشش داده می‌شوند. پرتو اول، θm,1, α1, r (α1) ، زیرگروه چندپخشی متشکل از یک UE1، UE1 را پوشش می‌دهد، در حالی که پرتو دوم، θm,2, α2, r (α2) ، زیرگروه چندپخشی متشکل از UE2 و UE3 را پوشش می‌دهد. پرتوهای مورد استفاده در هر زیرگروه چندپخشی توسط [illegible] تعیین می‌شوند.

مسائل زیرگروه‌بندی چندپخشی و تخصیص پرتو در بخش پنجم مورد بحث قرار گرفته‌اند.

در اینجا و پایین، اصطلاح زیرگروه چندپخشی به مجموعه‌ای از واحدهای وظیفه‌ای (UE) گروه چندپخشی که توسط یک انتقال سرویس‌دهی می‌شوند، اشاره دارد.

Machine Translated by Google

قابل مقایسه با اندازه ساختمان‌ها. این ویژگی‌ها بر انتخاب مدل‌های استقرار و تکنیک‌های مورد استفاده برای ارزیابی احتمال انسداد تأثیر می‌گذارند.

مجموعه‌ای از مدل‌های تجربی ساده برای انسداد ساختمان توسط 3GPP در TR 36.901 [28] ارائه شده است. مدل‌های مختلفی برای استقرار در محیط داخلی و خارجی استفاده می‌شوند. به طور خاص، برای استقرار در فضای باز شهری-خرد (UMi) با ارتفاع مناسب BS و UE، احتمال سطح سرویس (LOS) به صورت زیر داده می‌شود:

$$p_{3GPP} = \begin{cases} 1, & x > d, \\ \frac{d}{x} + \left(1 - \frac{d}{x}\right)\exp\left(-\frac{x}{p1}\right), & x \le d, \end{cases} \quad (9)$$

که در آن متغیرهای p1 و d به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$d = \max(294.05 \log10(h_U) - 432.94, 18),$$

$$p1 = 233.98 \log10(h_U) - 0.95, \quad (10)$$

ساختار مدل‌های 3GPP، اعمال آنها را به محیط‌های خاص که در آنها خواص ممکن است با محیط‌هایی که اندازه‌گیری‌ها در آنها انجام شده متفاوت باشد، دشوار می‌کند. برای این منظور، ITU-R در Rec. P.1410 رویکرد جایگزینی ارائه می‌دهد که احتمال LOS را به عنوان تابعی صریح از پارامترهای محیطی به شکل زیر مشخص می‌کند.

$$p_{LOS} = \frac{\sum_{n=0}^{m} \exp\left(-\frac{(h_A - h_U)^2}{2\sigma^2}\right)}{m+1}, \quad (11)$$

که در آن $m = r(12) - 1$ میانگین تعداد ساختمان‌ها بین UE و BS است، h_A و h_U ارتفاع BS و UE هستند. پارامترهای 1، 2 و 3 پارامترهای مدل ورودی هستند که نشان‌دهنده مشخصات استقرار، از جمله ابعاد ساختمان، تراکم و ارتفاع، می‌باشند. این پارامترها را می‌توان با استفاده از داده‌های معمول مناطق ITU-R که در R Rec. P.1410 ITU-R ارائه شده است، همانطور که در [27] نشان داده شده است، به بخش‌های مختلف شهرها، مانند ساختمان‌های بلند شهری، شهری و حومه شهری، مرتبط کرد.

ج. مدل‌های انتشار معادله استاندارد SINR به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$SINR(y) = \frac{P_A G_A G_U L(y)}{(N_0 W + I)L(y)} \quad (12)$$

که در آن P_A توان ارسال BS، G_A و G_U بهره‌های آرایه آنتن در BS و UE هستند، S_F محوشدگی سایه است، U_F محوشدگی سریع است که تغییرات کوچک در قدرت سیگنال دریافتی را ثبت می‌کند [83]. N_0 نویز حرارتی در 1 هرتز است، W پهنای باند عملیاتی است، I تداخل است، L(y) تلفات مسیر در مقیاس خطی است و y فاصله بین BS و UE است.

مؤلفه‌های موجود در (12) را در نظر بگیرید. بهره آنتن‌های BS و UE را می‌توان با استفاده از مدل‌های ارائه شده در بخش IV-A محاسبه کرد. مؤلفه نویز حرارتی ثابت و برابر با -174 dBm/Hz است. مؤلفه تداخل I یک متغیر تصادفی است، اما به دلیل استفاده از الگوهای تابشی آنتن جهت‌دار، در مقایسه با فرکانس‌های μWave بسیار کوچکتر است [62]. بنابراین، می‌توان آن را با یک عامل ثابت به نام حاشیه تداخل در نظر گرفت یا با استفاده از مدل‌های هندسه تصادفی ارائه شده در [84]، [63] به طور صریح مدل‌سازی کرد. علاوه بر این،

در زیر، به طور خلاصه مدل‌های انسداد را که می‌توانند در بهینه‌سازی عملکرد و تحلیل چندپخشی در سیستم‌های mmWave/sub-THz مورد استفاده قرار گیرند، معرفی می‌کنیم. توجه داشته باشید که اختلالات انسداد در باندهای زیر 6گیگاهرتز در محدوده 2 تا 4 دسی‌بل هستند و بنابراین اغلب در مدل‌های عملکرد نادیده گرفته می‌شوند [77].

(1 انسداد توسط اشیاء کوچک پویا: اکثر مطالعاتی که انسداد توسط اشیاء کوچک پویا را در کانال‌های mmWave/sub-THz بررسی می‌کنند، بر انسداد بدن انسان تمرکز دارند و موقعیت UE استاتیک را نسبت به BS در نظر می‌گیرند. سپس، ناحیه انسداد مرتبط با UE وجود دارد که در آن مسدودکننده‌ها همیشه LOS را مسدود می‌کنند [78]، [79]. با نمایش مسدودکننده‌های انسانی توسط استوانه‌ها و با فرض توزیع پواسون مسدودکننده‌ها در 2، عبارت زیر برای احتمال انسداد در [79] گزارش شده است.

$$p_{block} = e^{-\lambda_B r_B (x + r_B - |h_A - h_U|)}, \quad (8)$$

که در آن x فاصله دوبعدی BS تا UE، h_B ارتفاع مسدودکننده، h_U ارتفاع UE، h_A ارتفاع BS، r_B شعاع قاعده استوانه و λ_B چگالی مسدودکننده‌ها در محیط است.

از آنجایی که اشیاء کوچک که به عنوان مسدودکننده عمل می‌کنند اغلب متحرک هستند، فرآیند انسداد ماهیت تصادفی دارد و همانطور که در [31] نشان داده شده است، با گذشت زمان تکامل می‌یابد. برای مدل انسدادگرها با قابلیت تحرک جهت تصادفی، [80] (RDM) زمان LOS از توزیع نمایی پیروی می‌کند. در مقابل، زمان انسداد بدون وقفه با دوره شلوغی در سیستم صف M/G/∞ همزمان است و نرخ ورود آن مطابق با نرخ ورود مسدودکننده به منطقه انسداد LOS و زمان سرویس آن مطابق با زمان اقامت یک مسدودکننده در منطقه انسداد LOS است.

یک تقریب فرم بسته‌ی امکان‌پذیر برای میانگین زمان انسداد بدون وقفه را می‌توان با اعمال سیستم صف M/M/∞ بدست آورد.

تنها تلاش‌های کمی برای نمایش فرآیند انسداد پویا، که در آن هم EUها و هم مسدودکننده‌ها متحرک هستند، انجام شده است.

نویسندگان از تلاش انجام شده در [81] آگاه هستند، که در آن فرآیند انسداد توسط یک فرآیند مارکوف با دو حالت تقریب زده می‌شود و زمان‌های اقامت در حالت‌ها، مدت زمان‌های مسدود شده و مسدود نشده سطح سرویس را در بر می‌گیرد.

به طور کلی، مدل‌هایی که مکان‌های ایستا برای EUها و مسدودکننده‌ها را فرض می‌کنند، برای بهینه‌سازی عملکرد سرویس چندپخشی استفاده می‌شوند، به بخش V مراجعه کنید. با این حال، فراوانی بهینه‌سازی مجدد نه تنها به شدت ورود جلسات به سیستم، بلکه به شدت رویدادهای انسداد نیز بستگی دارد، زیرا مورد اخیر ممکن است میزان منابع اختصاص داده شده برای جلسات چندپخشی را تغییر دهد. در اینجا، مدل‌هایی که ساختار وابسته به زمان فرآیند انسداد را ثبت می‌کنند، باید مورد استفاده قرار گیرند، به [82] مراجعه کنید.

(۲ انسداد توسط اشیاء بزرگ ایستا: مدل‌های انسداد برای اشیاء بزرگ ایستا دهه‌هاست که شناخته شده‌اند، زیرا از آنها برای ارزیابی پوشش سیستم‌های μWave نیز استفاده شده است. در سیستم‌های mmWave/sub-THz، ساختمان‌ها به طور کامل از رسیدن انرژی LOS به EUها جلوگیری می‌کنند (که باعث nLOS می‌شود)، بنابراین ارتباط را از طریق مسیرهای منعکس شده مجبور می‌کنند. تفاوت اصلی دیگر در مقایسه با مدل‌های انسداد توسط اشیاء کوچک پویا این است که استقرار ساختمان‌ها در شهرها تمایل به ایجاد شبکه‌های منظم، مانند استقرار ساختمان‌های منهتن، دارند. علاوه بر این، طول مسیر انتشار ممکن است ...

Machine Translated by Google

که در آن pB (y) احتمال انسداد ارائه شده در بخش IV-B1 و PL(y) احتمال خط سرویس از بخش IV-B2 است.

با تبدیل (13) به مقیاس خطی با استفاده از نمادگذاری Ai yζi مربوط به حالت‌های معرفی شده، داریم

(υ+L)/10، ζ0 = ζ2 = 3.19، A2 = A3 = 102 log10 fc+υ/10، ζ1 = ζ3 = 2.1.

A0 = A1 = 102 log10 fc (15)

در نهایت، مقدار SINR در UE واقع در فاصله سه‌بعدی y از BS به صورت زیر داده می‌شود:

مؤلفه تلفات مسیر PL(y) که در (12) استفاده شده است ، به شدت به سناریوی استقرار بستگی دارد. به طور خاص، برای استقرار در فضای باز UMi، 3GPP تلفات مسیر زیر [28] را در مقیاس دسی‌بل مشخص کرده است:

$$\text{اس(ی)} = \frac{\text{Ci}\,\text{Pr}_{\text{من}}(y)\,\text{SF,i}\,\text{UF,i}}{\sum_{\text{من}=0}^{3} \text{Ci}\,\text{Pr}_{\text{من}}(y)\,\text{SF,i}\,\text{UF,i} + \text{N0W}} \quad (16)$$

که در آن SF,i ، Ci = PAGAGU و UF,i سایه وابسته به حالت و محوشدگی در مقیاس کوچک هستند [28]. توجه داشته باشید که شعاع ناحیه پوشش BS r برای یک PA توان ارسال از پیش تعریف شده HPBW α ، BS و یک آستانه SINR داده شده Sth توسط (16) تعریف می‌شود ، به عنوان مثال، به [94] مراجعه کنید.

مشخصات سیستم‌های موج میلی‌متری 5G شامل هیچ یک از فرکانس‌های باند موج میلی‌متری FR2 (24، 28، 38، 72 گیگاهرتز) که در معرض جذب مولکولی شدید هستند، نمی‌شود. در باند THz، نه تنها تأثیر عمیق‌تر است، بلکه باندهای فرکانسی تحت تأثیر نیز گسترده‌تر هستند. با این حال، همانطور که در [95] نشان داده شده است، هنوز پنجره‌های شفافیت وجود دارند که تأثیر آنها ناچیز است. انتظار می‌رود که این پنجره‌ها در آینده برای سیستم‌های سلولی مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، می‌خواهیم تأکید کنیم که تمام رویکردهای پیشنهادی در این مقاله محدود به پنجره‌های شفافیت نیستند، جایی که انتشار تحت تأثیر جذب مولکولی قرار نمی‌گیرد. اگر نیاز به در نظر گرفتن جذب مولکولی باشد، باید مدل انتشار را با یک عامل اضافی، LA(f، y)، که از قانون بیر-لامبرت پیروی می‌کند، تکمیل کرد [96].

$$\text{LA(y)} = \frac{1}{\tau\ \text{fT,c, y}}، \quad (17)$$

که در آن τ (fT,c, y) ضریب عبور محیط بر اساس قانون بیر-لامبرت، (fT,c, y) ⊟ e⊟KAy که در آن KA ضریب جذب محاسبه شده بر اساس پایگاه داده HITRAN [97] است، همانطور که در [96] نشان داده شده است.

تأثیر بسیار برجسته‌تری توسط شرایط آب و هوایی (مثلاً مه، باران) و درختان ایجاد می‌شود. در حالت دوم، اختلالات می‌توانند به 0.5 تا 2 دسی‌بل بر متر مکعب برسند. مقادیر دقیق این اختلالات در [19] ارائه شده است.

در نهایت، پدیده جذب همچنین ممکن است منجر به نویز مولکولی شود که به صورت نظری در [96] پیش‌بینی شده است. مدل نظری برای نویز مولکولی در [98] ارائه شده است.

با این حال، اندازه‌گیری‌های اخیر [99] هیچ تأثیر قابل توجهی از پدیده نویز مولکولی نشان ندادند. با این حال، مدل‌های گزارش شده در این مطالعه نیز تحت پدیده نویز مولکولی معتبر هستند.

برای راحتی خواننده، بحث خود در مورد مدل‌های آنتن، انتشار و انسداد را در جدول VI خلاصه می‌کنیم، که در آن همچنین نشان می‌دهیم که چه زمانی می‌توان از این مدل‌ها استفاده کرد.

مؤلفه محو شدن سایه یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار صفر است که به وضعیت LOS بستگی دارد، همانطور که در [28] ارائه شده است.

کلاسیک برای سرعت محوشدگی سریع، یا اگر چنین باشد، یک کوچک‌مقیاس سایه‌ای که UE را احاطه کرده است، محیط اطراف، در بر می‌گیرد. بسته به پیچیدگی شرایط انتشار، پدیده محوشدگی سریع را می‌توان با توزیع‌های ریلی، ریسیان یا توزیع‌های عمومی ناکاگامی- m مدل‌سازی کرد [85]. با این حال، از آنجایی که محوشدگی سریع در مقیاس‌های زمانی نسبتاً کوچک اتفاق می‌افتد، بر عملکرد سرویس در مقیاس‌های بزرگ تأثیری نمی‌گذارد، جایی که مکانیسم‌های تصحیح خطای رو به جلو و درخواست تکرار خودکار ترکیبی (HARQ) می‌توانند به طور مؤثر این اثرات را هموار کنند.

$$\text{LDB (y)} = \upsilon + 10\zeta \log10\ y + 20 \log10\ \text{fc}، \quad (13)$$

که در آن fc فرکانس حامل بر حسب گیگاهرتز و y فاصله سه‌بعدی بین BS و UE است،

$$y = \sqrt{(\text{XA} - \text{XU})^2 + (\text{YA} - \text{YU})^2 + (\text{hA} - \text{hU})^2}، \quad (14)$$

که در آن (XA، YA، hA) و (XU ، YU ، hU) به ترتیب مختصات BS و UE چندپخشی هستند، ضرایب υ و ζ برای حالت‌های LOS/nLOS و همچنین برای شرایط کانال مسدود شده LOS و مسدود نشده LOS در نظر گرفته می‌شوند. به طور خاص، 3GPP مقادیر ζ = 2.1 و ζ = 3.19 را برای حالت‌های LOS و nLOS توصیه می‌کند، در حالی که مقدار υ به فرکانس حامل بستگی دارد.

در شرایط غیر مسدود شده برای قسمت پایین باند 28-78 ،mmWave گیگاهرتز، υ برابر با 32.4 دسی‌بل است. میرایی انسداد در حالت مسدود شده به بالا اضافه می‌شود و منجر به تلفات اضافی در محدوده 15-25 دسی‌بل می‌شود [86]، [87]، [88]. برای باند زیر تراهرتز، انتظار می‌رود این تلفات به 40 دسی‌بل برسد [89]. نوع و هندسه وسیله نقلیه تأثیر زیادی بر انسداد توسط وسایل نقلیه در 300 گیگاهرتز دارد: سطح شیشه محافظ جلو از 20 دسی‌بل است، در حالی که در سطح موتور، این مقدار می‌تواند تا 50 دسی‌بل برسد. در مقایسه با مقادیر مربوط به باند mmWave، این مقادیر به طور قابل توجهی بالاتر هستند.

عوامل دیگری که بر مقادیر تلفات انسداد تأثیر می‌گذارند، اندازه وسیله نقلیه و تعداد آنها بین موجودیت‌های ارتباطی هستند [90]. برای 28 گیگاهرتز، نویسندگان در [91]، [92]، [93] همچنین تلفات انسداد وسیله نقلیه وابسته به ارتفاع زیر را گزارش می‌کنند: 12.2-411 دسی‌بل برای 1.7 متر، 13.3 دسی‌بل برای 1.5 متر و 30-40 دسی‌بل برای 0.6 متر.

با در نظر گرفتن حالت‌های LOS/nLOS و همچنین شرایط انسداد/عدم انسداد، مدل انتشار برای باند mmWave/sub-THz را می‌توان با برهم‌نهی کامل حالت‌های LOS/nLOS و انسداد/عدم انسداد نشان داد. ما چهار حالت را در نظر می‌گیریم: nLOS، مسدود، LOS، مسدود، nLOS، غیر مسدود، LOS، غیر مسدود. احتمالات حالت‌ها بر این اساس از 0 تا 3 شماره‌گذاری شده و به صورت زیر داده می‌شوند:

κ1(y) = PL(y)pB(y)، κ2(y) = [1 ⊟ PL(y)]pB(y)، κ3(y) = PL(y)[1 ⊟ pB(y)]، κ0(y) = [1 ⊟ PL(y)]pB(y)،

Machine Translated by Google

جدول ششم

مدل‌های آنتن، انسداد و انتشار

Type of Model	Model	Comment
Antenna model	Geometric single-beam antenna model: Eq. (3) $G_A(\theta^{\pm}_{3db}) = \frac{1}{\theta^{+}_{3db}-\theta^{-}_{3db}} \int_{\theta^{-}_{3db}}^{\theta^{+}_{3db}} \frac{\sin(N\pi\cos(\theta)/2)}{\sin(\pi\cos(\theta)/2)} d\theta$	Simplified model utilized for mmWave/sub-THz, main lobe modeling, symmetric radiation pattern
	Pattern-based 2D single-beam antenna model: Eq. (4) $G_A(\alpha_d) = D_0\rho(\alpha_d)$	Approximations of antenna radiation patterns, main lobe modeling, accounts for boresight direction and angular directivity, both symmetric and asymmetric radiation patterns
	Multi-beam antenna model	The single-beam antenna model can be used to construct multi-beam antennas. Overall emitted power PA needs to be split between beams, not necessarily proportionally
Blockage model	Blockage by small dynamic objects	Human body blockage (blocked LOS path)
	Blockage by large static objects	Blockage by a large stationary building causing nLOS conditions
Human blockage	Human blockage probability: Eq. (8) $p_B(x) = 1 - e^{-2\lambda_B r_B\left[x\frac{h_B-h_U}{h_A-h_U}+r_B\right]}$	Blockage zone associated with a UE, where blockers always block the LOS
Building blockage	LOS probability from 3GPP UMi: Eq. (9) $\begin{cases} 1, & x \le d, \\ \frac{d}{x} + \left[1-\frac{d}{x}\right]\exp\left[\frac{-x}{p_1}\right], & x > d, \end{cases}$ $p_1 = 233.98\log_{10}(h_U) - 0.95$ $d = \max(294.05\log_{10}(h_U) - 432.94,\ 18)$	LOS probability depends on the propagation environment, such as RMa, UMi - Street canyon, UMa, Indoor - Mixed office, Indoor - Open office, which makes it difficult to apply them to specific environments where properties might be different from those where measurements have been carried out
	LOS probability from ITU-R: Eq. (11) $P_L^{ITU} = \prod_{n=0}^{m}\left[1-\exp\left[\frac{[h_A-\frac{(n+\frac{1}{2})(h_A-h_U)}{m+1}]^2}{2\epsilon_3^2}\right]\right]$	LOS probability as an explicit function of environmental parameters
Propagation model	3GPP/ITU-R-based models: Eq. (13) $L_{dB}(y) = \upsilon + 10\zeta\log_{10} y + 20\log_{10} f_c$	Parementers υ and ζ depend on the propagation environments

V. چندپخشی بهینه در 5G/6G سیستم‌های MMWAVE/Sub-THZ

[104]. (BPP) با شروع از سطل‌های یکسان و مجموعه‌ای از اقلام با اندازه‌های مختلف، هدف BPP یا به حداقل رساندن تعداد سطل‌هایی است که اقلام باید در آنها به گونه‌ای بسته‌بندی شوند که به طور مساوی توزیع شوند یا پر کردن سطل‌ها به کارآمدترین روش از نظر زمانی. BPP با اندازه متغیر [105] نوع جدیدی از BPP را نشان می‌دهد که طراحی راهکارهای چندپخشی چالش‌های قابل توجهی را ایجاد می‌کند، که عمدتاً به دلیل ماهیت بسیار جهت‌دار سیستم‌های موج میلی‌متری 5G است [101]. [100] در یک سیستم تک پرتو، تمام دستگاه‌های UE متعلق به یک جلسه چندپخشی یکسان و پراکنده در مناطق شلوغ مختلف، نمی‌توانند از طریق یک انتقال واحد سرویس‌دهی شوند. در این حالت، عملکرد روی پرتوهای بزرگتر، فواصل ارتباطی را محدود می‌کند و به دلیل SCMهای پایین‌تر، منجر به تلاش می‌کند هزینه اختصاص اقلام به سطل‌های خاص را کاهش دهد، که ممکن است در درجه اول توسط حجم کالا تعیین شود یا نشود. در فرمول‌بندی که ما برای این مقاله در نظر می‌گیریم، EUها اقلام را نشان می‌دهند. در استفاده کارآمد از منابع رادیویی می‌شود. هنگام استفاده از آنتن‌های چند پرتویی، محدودیت کل توان انتقال در هر آنتن اثر مشابهی ایجاد می‌کند که باید هنگام انتخاب عرض پرتوهایی که باید به طور همزمان جارو شوند، در نظر گرفته شود. چالی که یک پرتو، یک سطل برای یک زیرگروه از EUها است. هدف، به حداقل رساندن هزینه است که با نسبت منابع اشغال شده به کل منابع موجود نشان داده می‌شود، هنگام اختصاص EUها از یک گروه چندپخشی به زیرگروه‌ها، که هر زیرگروه توسط یک پرتو جهت‌دار سرویس‌دهی می‌شود [9]. فرموله کردن مسئله بهینه‌سازی چند-پرتوی چندپخشی به عنوان یک BPP، امکان استفاده از الگوریتم‌ها و تکنیک‌های موجود توسعه‌یافته برای BPP را برای یافتن راه‌حل‌هایی فراهم می‌کند که هزینه تخصیص منابع را به حداقل رسانده و کارایی انتقال چندپخشی را در سیستم‌های 5G mmWave بهبود می‌بخشند.

برای پرداختن به این چالش‌ها، این بخش با توصیف یک راه‌حل بهینه سراسری برای طراحی آنتن‌های تک پرتو و چند پرتو، همانطور که در [9] پیشنهاد شده است، یک چارچوب کلی برای زمان‌بندی بهینه چندپخشی در سیستم‌های 5G mmWave معرفی می‌کند.

مسائل بهینه‌سازی با این فرض فرموله شده‌اند که شرایط کانال رادیویی و ترکیب گروه چندپخشی برای یک بازه زمانی خاص بدون تغییر باقی می‌مانند.

یک مدل معمول که می‌تواند برای بهینه‌سازی تأمین سرویس چندپخشی در نظر گرفته شود، به صورت زیر فرموله شده است. یک معماری سلولی سه‌بخشی در نظر گرفته شده است که در آن هر BS یک بخش ۱۲۰ درجه را پوشش می‌دهد و با یک آرایه آنتن جهت‌دار که شامل ۱۰ المنت است، کار می‌کند. این چارچوب به عنوان مبنایی برای نشان دادن بسط‌های احتمالی بیشتر که برای پوشش ویژگی‌های عملیاتی مختلف استقرارهای 5G نهایی شده‌اند، در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، ما نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان آن را با مورد چندپخشی بهینه در استقرارهای ترکیبی دوحالته mmWave زیر 6 گیگاهرتز تطبیق داد، زمانی که هر دو نوع RAT می‌توانند برای خدمت به EUهای چندپخشی استفاده شوند. همانطور که در [102] ارائه شده است. برای کاهش پیچیدگی راه‌حل‌های پیشنهادی، کاربرد روش‌های اکتشافی و تکنیک‌های یادگیری ماشین [103] را بررسی می‌کنیم. ارائه نظری با نکات اصلی عنی‌شده با نتایج عددی تکمیل شده است.

مجموعه KUEهایی که یک گروه چندپخش را تشکیل می‌دهند با K = {۱,..., K} نشان داده می‌شوند. یک سیستم مبتنی بر دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس متعامد (OFDMA)، که در آن M نشان دهنده طول افق زمانی است، یعنی تعداد شکاف‌های زمانی در افق زمانی (یک زیرفریم ۱میلی‌ثانیه)، با شاخص TT = {۱,...,M} ، t ∈ TT از هر شکاف زمانی. تعداد شکاف‌های زمانی M به عددشناسی μ NR بستگی دارد. حداکثر تعداد بلوک‌های منبع اولیه (PRB) موجود در سیستم توسط MLRb محدود شده است ، که در آن Rb تعداد بلوک‌های منبع موجود در سیستم برای یک پرتو در بازه زمانی t برای عددشناسی μ و فرکانس کاری fc داده شده است، در حالی که ... ML را محدود می‌کند .

الف. عملیات تک-RAT

مسئله بهینه‌سازی عملیات چندپخشی چند پرتوی را می‌توان به عنوان زیرکلاسی از مسئله بسته‌بندی سطل‌ها فرمول‌بندی کرد.

Machine Translated by Google

علاوه بر این، کل بودجه توان ارسالی به ازای هر آنتن
که در زیرگروه j قرار می‌گیرد ، باید هنگام بررسی در نظر گرفته شود.
با سیستم چند پرتویی:

$$\sum_{j \in G_k} P_j \le P_{max}, \quad t \in T^{*} \tag{23}$$

که در آن P_{max} معادل توان کلی ساطع شده از آنتن است.
بین پرتوها تقسیم شود، در حالی که P_j بر اساس مدل انتشار (به بخش IV مراجعه کنید)
با در نظر گرفتن ... محاسبه می‌شود.
آستانه SINR مربوط به یک NR انتخاب شده را در نظر بگیرید
ام سی اس [94].
SINR زیرگروه j طبق (16) با جایگزینی L_j به جای y تعریف می‌شود. در نظر بگیرید که
یک جلسه چندپخشی نیاز دارد
نرخ بیت ثابت C bps. سپس، برای محاسبه عدد
منابع مورد نیاز از BS برای ارائه سرویس چندپخشی
با نرخ بیت C، باید مقادیر CQI و MCS و SINR را برای نگاشت کارایی طیفی دانست.
نگاشت‌های MCS
از [107] ممکن است استفاده شود، اما این پارامترها معمولاً
مخصوص فروشنده.
هزینه سرویس چندپخشی ارائه شده به زیرگروه j
تابع $a_j = f(P_j, N_j, C)$ است، که در آن P_j ضریب انتقال است.
توان پرتو مربوطه، f تعداد آنتن است
عناصری که برای تشکیل الگوی تابش پرتو استفاده می‌شوند، و
C نرخ بیت مورد نیاز جلسه است، یعنی

$$a_j = C / s_j w_{PRB}, \tag{24}$$

که در آن s_j راندمان طیفی بر حسب bps/Hz از دورترین UE است.
در زیرگروه j و w_{PRB} یک اندازه PRB است.
تخصیص بازه زمانی زمانبند به صورت برداری نوشته می‌شود.

$$g_j = (g_1, \ldots, g_L)^T, \quad g_l = \begin{cases} 1, & \text{اگر زیرگروه } j \text{ در بازه زمانی } l \text{ ارائه شود} \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases}, \quad j \in J. \tag{25}$$

شرط زیر در مورد تعداد منابع اختصاص داده شده
همچنین باید در نظر گرفته شود که به زیرگروه j که توسط یک پرتو سرویس می‌شود، اختصاص داده شده است

$$\sum_{l=1}^{L} g_{jl} = a_j, \quad j \in J. \tag{26}$$

در نهایت، در (22) و (26)، قید مربوط به حداکثر
تعداد منابع موجود در سیستم باید در نظر گرفته شود، یعنی،

$$\sum_{j \in G_k} \sum_{j \in J} a_j \le M_{RB}, \quad k = 1, \ldots, |\Omega|. \tag{27}$$

فرمالیسم BPP پیشنهادی می‌تواند برای فرموله کردن مورد استفاده قرار گیرد.
مسائل بهینه‌سازی چندپخشی تک پرتو و چند پرتو. این
همچنین امکان بسط و توسعه در مورد چندین RAT را فراهم می‌کند.
(ابهینه‌سازی آنتن‌های تک پرتو: در حالتی که L = ۱ باشد،
کل بودجه توان ارسال در BS به یک واحد اختصاص داده شده است.
پرتو، $P_j = P_1 = P_A$. از این رو، مسئله بهینه‌سازی می‌تواند
به صورت [108] تعریف شود

$$\min \sum_{k=1}^{|\Omega|} \sum_{j \in G_k} \text{دقیقه} \tag{28}$$

خیابان (18)، (19)، (20)، (21)، (22)، (23)، (26)، (27).

حداکثر تعداد بالقوه زیرگروه‌های تحت پوشش در داخل
افق زمانی.
هنگام بررسی تمام ترکیبات KUE های ...
گروه چندپخشی، تعداد زیرگروه‌های ممکن به صورت زیر مقیاس‌بندی می‌شود
$2^K - 1$ [106]. از این رو، K_j برای نشان دادن مجموعه‌ای ... معرفی شده است.
EU هایی که زیرگروه j را تشکیل می‌دهند، $J = \{1, \ldots, 2^K - 1\}$، $j \in J$.
$|K_j|$ تعداد واحدهای UE در زیرگروه j است. برای مثال، برای
$K = 3$ UE، K تعداد گزینه‌های زیرگروه‌ها 7 است و این‌ها
گزینه‌های ممکن عبارتند از $K_1 = \{1\}$، $K_2 = \{2\}$، $K_3 = \{3\}$، $K_4 =$
$\{1, 2\}$، $K_5 = \{1, 3\}$، $K_6 = \{2, 3\}$، $K_7 = \{1, 2, 3\}$.
یک مجموعه G_k از زیرگروه‌ها به صورت مجموعه‌ای از شاخص‌های آن‌ها تعریف می‌شود،
$G_k \subseteq J$، مربوط به ترکیب زیرگروه‌های ، K_j
$\bigcup_{j \in G_k} K_j$ که تمام UE های گروه چندپخشی را بدون ... پوشش می‌دهد.
تکرار آنها، $k = 1, 2, \ldots, |\Omega|$، که در آن Ω مجموعه همه ... است.
چنین ترکیب‌هایی.
در مورد $K = 3$، مجموعه Ω شامل K_1, K_2, K_3 G_1 است،
$G_2 = K_1 \cup K_2$، $G_3 = K_2 \cup K_3$، $G_4 = K_1 \cap K_3$، $G_5 = K_1 \cup K_2 \cup K_3$، $G_6 = K_2 \cap K_3$، $G_7 = K_1 \cap K_2 \cap K_3$
$|\Omega| = 5$. بنابراین، شرایط زیر باید برقرار باشد:

$$\bigcup_{j \in G_k} K_j = K, \quad k = 1, 2, \ldots, |\Omega|, \tag{18}$$

$$K_{j_1} \cap K_{j_2} = \varnothing, \quad j_1, j_2 \in G_k, \; j_1 = j_2, \tag{19}$$

به این معنی که هر UE چندپخشی باید در یکی گنجانده شود
فقط زیرگروه. توجه داشته باشید که مجموعه K_j از EU ها که زیرگروه j را تشکیل می‌دهند
جهت‌گیری پرتو $\theta_{m,j}$ و α_j HPBW را تعیین می‌کند.
مورد نیاز برای پوشش تمام EU ها در زیرگروه j، L_j فاصله
از ایستگاه پایه تا دورترین ایستگاه واحد اروپایی.
برای یک سیستم تک پرتو، $L = 1$، تمام زیرگروه‌ها با
شاخص‌های موجود در مجموعه G_k به صورت متوالی توسط یکی ارائه می‌شوند
پرتو. برای یک سیستم چند پرتویی، $L > 1$، زیرمجموعه‌ای از زیرگروه‌ها
شاخص‌ها به صورت G_k تعریف می‌شوند
برای تعداد ابزارهای آنتن G_l مناسب است.
شرایط:

$$\sum_{l=1}^{L} g_{jl} = a_j, \quad j \in J, \tag{20}$$

$$g_{jl} \le \sum_{k: l \in G_k} a_j, \quad j \in J, \; l = 1, \ldots, L, \tag{21}$$

$$g_{jl} \in \{0, 1\}, \quad j \in J, \; l = 1, \ldots, L. \tag{22}$$

یک آرایه دوبعدی g_t تعریف شده است
متغیر تصمیم تخصیص زیرگروه در بازه زمانی t، یعنی،
$g_{jt} = 1$ اگر زیرگروه j در بازه زمانی t ارائه شود ، و $g_{jt} = 0$
در غیر این صورت. سپس، یک شاخص برداری $g_t = (g_{1t}, \ldots, g_{Jt})^T$
زیرگروه‌هایی را ارسال می‌کند که در بازه زمانی t سرویس‌دهی می‌شوند . در بازه زمانی t
حداکثر می‌توان پرتوهای L را همزمان جارو کرد، یا به طور مساوی، L
زیرگروه‌ها می‌توانند سرویس‌دهی شوند، یعنی،

$$\sum_{j \in G_k} g_{jt} \le L, \quad t \in T^{*}. \tag{21}$$

علاوه بر این، زمان سرویس کت و شلوار نباید از برنامه تعیین شده تجاوز کند.
افق زمانی که ممکن است به اجرا بستگی داشته باشد، یعنی

$$\sum_{t \in T^{*}} g_{jt} \le M, \quad k = 1, \ldots, |\Omega|, \; l = 1, \ldots, L, \tag{22}$$

* توجه داشته باشید که یک خال، مجموعه‌ای از زیرمجموعه‌هاست. اصطلاح خال برای وضوح بیشتر استفاده شده است.
از قرار گرفتن در معرض بیشتر.

Machine Translated by Google

تابع (31) مناسب و موجه برای توصیف اگر سه جدید را تعدف گروه‌بندی EU‌های مکان‌های هندرسی چیست که کل هزینه سرویس چندپخشی را بر حسب ρ، یعنی کسری از BRP‌های اشغال شده در مقایسه با کل BRP‌های موجود برای یک منطقه زمانش شی BS و بطالته به ما جایگزین می‌سازد، بازطورا جایگزین به ورزد زیر فرموله کرد:

را می‌توان متناسب با مطلوبیت اپراتور، بسته به این عوامل، تنظیم کرد.

عباراتی که می‌توانند برای یافتن یک راه‌حل بهینه در زمینه سرویس چندپخشی اولویت‌دار بدون وزن و وزن‌دار استفاده شوند، به ترتیب در (30) و (31) ارائه شده‌اند . با بهینه‌سازی این توابع هدف، زمانبند می‌تواند گروه‌بندی بهینه EU‌های چندپخشی را تعیین کند و در عین حال، بده‌بستان بین فناوری‌های mmWave و μWave را در نظر بگیرد که منجر به تخصیص کارآمد منابع و برآورده کردن نیازهای خاص اپراتور می‌شود.

ج. عملیات بیش از دو RAT هنگام مواجهه با بیش از دو عملیات RAT، تعیین گروه‌بندی

چندپخشی کاربران که هزینه کلی سرویس را به حداقل می‌رساند، ضروری می‌شود. علاوه بر این، این کار شامل نگاشت این زیرگروه‌ها به چندین RAT برای فعال کردن انتقال موازی در شبکه‌های چند RAT است.

کمینه‌سازی نسبت منابع استفاده‌شده به منابع موجود، ρ، می‌تواند ضمن برآورده کردن الزامات سرویس در نظر گرفته شود. بنابراین، مشابه طرح دو RAT، هدف زمانبند، کمینه‌سازی کل هزینه تحویل بر حسب ρ در کل افق زمانی، با در نظر گرفتن امکان انتقال از طریق تمام فناوری‌های موجود، است. برای بیش از دو RAT، می‌توان از فرمول‌بندی شرح داده شده در بخش VB با اضافه کردن اجزای بیشتر مرتبط با تمام فناوری‌های موجود استفاده کرد. به طور جایگزین، معیارهای بهینه‌سازی می‌توانند کمینه‌سازی تأخیر، بیشینه‌سازی نرخ داده و غیره باشند. به طور کلی، برای بیش از دو RAT در نظر گرفته شده، تابع بهینه‌سازی به شکل زیر در می‌آید.

$$\min w\eta \quad k\in\{1,\dots,|\Omega|\} \quad j\in\mathcal{G}_k \quad \frac{\text{آج}_{\eta}}{M\eta L\eta Rb,\eta}, \tag{32}$$

که در آن η نشان‌دهنده شاخص RAT‌ها است. H، η با ترکیب چندین فناوری، می‌توان حوزه خدمات مؤثر یک راهکار چند RAT را گسترش داد تا تمام فناوری‌های موجود در پردازنده را پوشش دهد. انتخاب بهینه برای چنین سناریویی را می‌توان با استفاده از (32) تعیین کرد. این رویکرد می‌تواند قابلیت اطمینان را در مقایسه با تکیه بر یک اتصال RAT واحد به طور قابل توجهی افزایش دهد. توجه به این نکته مهم است که انتخاب فناوری عموماً به کاربرد خاص مورد استفاده بستگی دارد.

د. راه‌حل‌های جایگزین برای چندپخشی بهینه

BPP‌های عمومی، که در آن مجموعه ای از اقلام با اندازه های مختلف باید در کمترین تعداد سطل های ظرفیت واحد بسته بندی شوند، به مسئله NP-complete [105] تعلق دارند. در حالی که جستجوی جامع می تواند این مسائل را برای نمونه های کوچک مقیاس حل کند، در مورد محیط های بزرگ مقیاس به دلیل افزایش نمایی فضای حالت، غیرممکن می شود. برای پرداختن به پیچیدگی و افزایش عملی بودن، این بخش طیف وسیعی از الگوریتم ها را برای مسائل چندپخشی مورد بحث در بالا ارائه می دهد.

این الگوریتم‌ها شامل روش‌های دقیق شاخه و برش و شاخه و حد، رویکردهای رهاسازی، فراابتکاری و روش‌های یادگیری ماشین هستند.

$$\min \text{MLRb} \quad k\in\{1,\dots,|\Omega|\} \quad j\in\mathcal{G}_k \quad \text{st (18), (19), (20), (21), (22), (23), (26), (27),} \tag{29}$$

با ρ به عنوان تابع هدف.

برای یک عملیات تک RAT، زمان‌بندی بهینه چندپخشی، که به عنوان یک راه‌حل بهینه سراسری عمل می‌کند، از طریق فرمول‌های زیر حاصل می‌شود: برای طرح‌های آنتن تک پرتو، مسئله بهینه‌سازی با (28) بیان می‌شود، در حالی که برای طرح‌های آنتن چند پرتو، با (29) نشان داده می‌شود .

ب. عملیات دو-RAT

اگر فرمول‌بندی بهینه زمان‌بندی چندپخشی به سیستم‌های دو- RAT 5G تعمیم داده شود، هدف مدل ثابت می‌ماند. زمان‌بند همچنان در تلاش است تا ρ را به حداقل برساند و در نتیجه گروه‌بندی بهینه EU‌های چندپخشی را پیدا کند و در عین حال امکان انتقال از طریق دو فناوری، مثلاً mmWave/μWave، mmWave/sub-THz را در نظر بگیرد.

(بدون اولویت‌های سرویس: با در نظر گرفتن حالت بدون اولویت‌های خارجی، فرمول‌بندی مسئله را می‌توان به روشی مشابه آنچه در بالا برای single-RAT با آنتن‌های چند پرتویی توضیح داده شد، با معرفی متغیرها با شاخص‌ها و برای فناوری‌های mmWave و μWave، به ترتیب، μ نوشت.

متر

$$\text{حداقل} \quad \frac{\sum_{k\in\{1,\dots,|\Omega|\}}\sum_{j\in\mathcal{G}_k} a_{j,\mu} P_{j,\mu}}{M\mu L\mu Rb,\mu}. \tag{30}$$

متر

ما تأکید می‌کنیم که (30) اولویت‌های ضمنی mmWave یا μWave را نشان می‌دهد. در حالت اول، سیستم باند mmWave را برای سرویس‌دهی به مجموعه‌ای از EU‌های $j \in \mathcal{J}_k$، $\mathcal{K}_j$ انتخاب می‌کند اگر موقعیت j $P_{j,m} \le P_{max,m}$ باشد در این صورت این باند قرار می‌گیرد که و فناوری μWave BS فقط زمانی استفاده می‌شود که برخی از EU‌های چندپخشی خارج از پوشش mmWave BS قرار داشته باشند. به طور مشابه، اولویت μWave تضمین می‌کند که مجموعه $\mathcal{K}_j$ توسط μWave BS سرویس‌دهی شود، اگر $P_{j,\mu} \le P_{max,\mu}$ باشد.

(۲سرویس اولویت وزنی: طیف فرکانسی موجود، منطقه استقرار، شرایط ترافیک و سایر عوامل ممکن است بر انتخاب فناوری اپراتور تأثیر بگذارند. برای این منظور، می‌توان از تابع بهینه‌سازی وزنی زیر برای برآورده کردن این الزامات خاص استفاده کرد:

$$\text{حداقل} \quad \sum_{k\in\{1,\dots,|\Omega|\}}\sum_{j\in\mathcal{G}_k} \frac{\text{آج}_{\text{م}}}{M\mu L\mu Rb,\mu} + (1-w) a_{j,\mu}, \tag{31}$$

دیلیو متر

که در آن w ضریب وزن است.

پارامتر وزنی w در (31) می‌تواند برای ارائه اولویت وزنی در انتخاب فناوری معرفی شود. هنگام در نظر گرفتن همزیستی ترافیک تک‌پخشی و چندپخشی، می‌توان $w = \min(1, R2/R2)$ و شعاع سلول mmWave را به ترتیب تنظیم کرد و w را متناسب با فاصله پوشش قرار داد. اگر R_{2m} و $R_{2\mu}$ شعاع سرویس‌دهی هستند

متر

Machine Translated by Google

الگوریتم ۱: مرحله اکتشافی تک- RAT، گزینه ۱.۱،
ل ۱ □

اورودی: (XU (i), YU (i), hU), i □ K
[illegible] ن .... ، ۱
۳ A□K، K = {۱،.... K}؛
4 y = (y1، .... ، yK) مانند ؛(14)
زوایای مرجع 5 Φ = (φ1, ..., φK); 6 n □ 0; 7 asum □ 0; 8 اس ام
شمارنده زیرگروه‌ها
جمع کننده منابع اشغال شده
□ ن;
۹ در حالی که □ A = یا asum < MLRb یا n < ML do
۱۰ دقیقه ;□ □
۱۱ ن □ن ؛۱ +
۱۲ y □ maxi□A yi;
۱۳ φy □ φ(y);
۱۴ برای α □ Ωα = {αmin، .... ، αmax} انجام دهید
۱۵ Sα = {i □ A:φy □ α/2 □ φi □ φy + α/2};
۱۶ محاسبه Pα از
Pα = A1A2Sth (NQW +I) / GAGU SF UF yζ1 [A2(1-pB (y))+A1pB (y)]
۱۷ پایان
۱۸ اگر Pα □ Pmax آنگاه
۱۹ Qα = sαwPRB|Sα|;
۲۰ اگر MINQ > Qα باشد ، آنگاه
۲۱ MINQ □ Qα؛
۲۲ اس ام □ sα؛
۲۳ پیام آلفا؛
۲۴ پایان
۲۵ sαwPRB
۲۶ دیگری
۲۷ به خط ۲۹ برو؛
۲۸ پایان
۲۹ پایان
30 ل□ف ا□ف ل SM ;
۳۱ اسم □اسم +یک؛
پی ام ۱ ن پی ام ۱ ن

عملیات، یعنی L > 1، برخلاف رویکرد شرح داده شده در [108]،
به عنوان تابع هدف، نسبت فضای اشغال شده به فضای موجود
منابع باید به حداقل برسند (خط 18). در اینجا، sα یک طیف است
راندمان برای پهنای پرتو α و مربوط به sj در (24) است.
در نتیجه، الگوریتم بهترین α را برای انتخاب‌شده در [] تعریف می‌کند.
خط ۱۲ UE و تمام EUهایی که توسط پرتو با آنها سرویس داده می‌شود را حذف می‌کند.
عرض EUα ها از لیست A (خط ۲۹). الگوریتم ۱ به دست می‌آید
توقف یا زمانی که تمام UEها سرویس شده باشند (یعنی لیست A باشد)
خالی) یا زمانی که هیچ منبعی در سیستم موجود نیست.
گزینه تشکیل زیرگروه ۱.۲. رویکردی متفاوت برای
تشکیل زیرگروه در الگوریتم ۲ ارائه شده است. اول، این
الگوریتم دورترین UE i از BS را انتخاب کرده و آن را شناسایی می‌کند.
زیرگروه، Kj به طوری که Kj □ ، A در کوچکترین مقدار J = {1,..., 2K □ 1} □ j ، |Kj| / aj (خطوط 8-10)

انگیزه پشت این رویکرد این است که الگوریتم می‌تواند
با انتخاب گزینه جاروب کردن پرتو، UEهای بیشتری را پوشش دهید
دورترین UE از گروه چندپخشی. علاوه بر این، برای ارائه
راه حلی با پیچیدگی کمتر و در عین حال حفظ هدف به حداقل رساندن

(۱راه حل اکتشافی تک- RAT: روش اکتشافی پیشنهادی
الگوریتم برای حالت L □ 1 مناسب است و از دو بخش تشکیل شده است
مراحل: تشکیل زیرگروه (مرحله 1) و تخصیص پرتو
و (تخصیص مجدد) قدرت (مرحله 2). مرحله دوم نیز ...
منطقاً به شرح زیر تقسیم می‌شود: (i) انتخاب چندپخشی
زیرگروه‌هایی که باید در همان بازه زمانی به آنها خدمات ارائه شود،
(ii) پر کردن آب برای تعیین حداکثر توان برای تخصیص
به تمام پرتوها در بازه زمانی، و (iii) تنظیم
تخصیص توان به پرتوهای انتخاب شده. انتقال چند پرتویی را می‌توان از مرحله دوم در نظر گرفت،

که دلالت بر نیاز به تضمین محدودیت‌های بودجه انرژی (23) در هر آنتن دارد. به طور خاص، این
بدان معناست که برای
سیستم‌های تک پرتو، L = 1، فقط مرحله 1 مورد نیاز است (به بخش مراجعه کنید)
الگوریتم ۱ و الگوریتم ۲)، در حالی که در مورد سیستم‌های چند پرتویی با L □ ۱، مراحل بیشتری
باید انجام شود
(به الگوریتم ۳ مراجعه کنید).
مرحله - ۱ تشکیل زیرگروه‌ها. زیرگروه‌ها در ... تشکیل می‌شوند.
این مرحله برای سرویس‌دهی به تمام EUها در یک گروه چندپخشی در یک بازه زمانی
افق. دو راه برای تکمیل این روش وجود دارد، مانند
جزئیات در زیر آمده است.

گزینه تشکیل زیرگروه ۱.۱. برای پیاده‌سازی پرتو
برای تخصیص، الگوریتم گروه‌بندی چندپخشی افزایشی (که در ابتدا در [108] طراحی شده است)
برای شبکه‌های mmWave تطبیق داده شده است.
برای حالت چند پرتویی، یعنی L>1. برای L = 1، رویکرد
شرح داده شده در [108] را می‌توان با تغییر هدف مورد استفاده قرار داد
تابع. به طور مفصل، تعداد پرتوها و وضوح آنها (یعنی عرض) برای بهینه‌سازی انتقال چندپخشی
مورد نیاز است
عملکرد با استفاده از معیارهای کمینه‌سازی استفاده از منابع تعریف می‌شود. شبه‌کد در شکل
نشان داده شده است.
الگوریتم ۱، که در آن خروجی الگوریتم شامل موارد زیر است
تعداد زیرگروه‌ها، n، که برای سرویس‌دهی به مجموعه K از چندپخشی مورد نیاز است
EUها، اس ام □ ن □ ۱۱ مجموعه زیرگروه‌ها، SM
تمام EUهای K را از یک گروه چندپخشی بدون تکرار آنها پوشش می‌دهد؛ و توان انتقال پرتو مورد
نیاز برای هر زیرگروه،
پی ام ۱ ن
به فهرست واحدهای وظیفه‌ای که باید به زیرگروه‌ها اختصاص داده شوند، اشاره شده است.
مانند A. در ابتدا، همه EUها در گروه چندپخشی قرار می‌گیرند، یعنی
K را در لیست A قرار بده (خط ۳). هر عنصر از بردار فاصله سه‌بعدی
y = (y1، y2،.... yi،.... ، yK) نشان دهنده فاصله بین
آنتن BS و UE i مطابق (14). بردار Φ = (φ1,...,φK)
زوایای مرجع EUها را در صفحه آزیموت در نظر می‌گیرد
(خطوط ۴-۵). مقدار منابع استفاده شده در ابتدا روی ۰ تنظیم شده است.
خط ۷. الگوریتم به صورت تکراری EUها را از لیست جدا می‌کند.
همانطور که در خط 9 مشاهده می‌شود، A را به چندین زیرگروه تقسیم کنید. به طور خاص،
تابع کمینه‌سازی در خط 10 روی بی‌نهایت تنظیم شده است. در اینجا،
تابع کمینه‌سازی، منابع اشغال‌شده به ازای هر واحد را نشان می‌دهد.
برای هر زیرگروه چندپخشی. الگوریتم با انتخاب شروع می‌شود
دورترین UE از لیست A با فاصله y و مرجع آن
زاویه φy (خطوط ۱۳-۱۲).
علاوه بر این، از شکل‌دهی پرتو تطبیقی بر اساس UE استفاده می‌شود.
مکانی که در آن می‌توان یک الگوی پرتو را برای انتقال انتخاب کرد
با یک MCS انتخاب شده. خط 15 تمام UEهای تحت پوشش را جمع آوری می کند
یک پرتو با عرض α که با مرجع به سمت UE هدایت می‌شود
زاویه φy و با فاصله y در زیرگروه چندپخشی. Sα ما
تأکید کنید که توان انتقال برای هر پرتو با عرض α
طبق مدل انتشار و برای L □ 1 محاسبه می‌شود
آستانه SINR. حداکثر توان موجود Pmax استفاده می‌شود.
برای انتقال زمانی که L = 1. به یاد داشته باشید که برای یک پرتو تکی

Machine Translated by Google

الگوریتم ۳: مرحله دوم اکتشافی تک-RAT، L > 1

ورودی: کوچک ; پی ام ۱ ن ۱، ....، اس ام

خروجی: m، D(k)..P(k) = {SM j 3 SM ; اس ام ن ۱، ....،

شمارنده‌ی حلقه زمانی در حالی که SM = انجام می‌شود

۶ متر متر ۱؛ +

kmax arg maxj SM Pj ;

پسوم پی ام

دی(ام) اس ام

اگر SM \ D(m) = 0 آنگاه

برای j = 2:L انجام دهید

kmin arg minj SM \D(m)Pj ;

اگر Psum + PM آنگاه

D(m) D(m) SM kmin;

دیگری

به خط ۲۰ برو؛

پایان

پایان

پایان

پر کردن آب را برای D(m) انجام دهید و P(m) را بدست آورید. ;

SM SM \ D(m);

پایان

m، D(k).j P(k)..P(k) = {SM ; اس ام ن ۱، ....، اس ام

الگوریتم ۲: مرحله ۱ اکتشافی تک-RAT، گزینه ۱.۲، L ۱

ورودی: (XU (i), YU (i), hU), i K

خروجی: m، K زیرگروه چندپخشی از EU ها، اس ام ۱، ....، اس ام

J = {1، ....، 4 A K، K = {1، ۲، K، -K};

شمارنده‌ی زیرگروه‌ها که A = انجام می‌شود

ن ن ۱؛ +

دورترین UE i A و فاصله از BS را بیابید.

به این UE: y maxi A yi به صورت (14)؛

همه زیرگروه‌های Kj و J j را بیابید، زیرگروه SM را بیابید.

مانند ، Kj ا با کوچکترین ن

منابع مورد استفاده به ازای هر واحد سازمانی (UE):

minj J ,i Kj aj / |Kj| ; اس ام ن

الف الف\اس ام ق

تمام زیرگروه‌هایی که شامل EU ها هستند را از J حذف کنید.

اس ام ن

پایان

پی ام ابعد از ظهر ن اس ام گرداند: ....، n، ۱

نسبت ρ اشغال شده به منابع موجود، الگوریتم

پهنای پرتویی را انتخاب می‌کند که کمترین مقدار منابع مورد استفاده به ازای هر | aj /|Kj

UE، را ارائه می‌دهد. سپس، الگوریتم موارد زیر را پاک می‌کند

EU ها را از لیست A (خط 11) انتخاب کرده و این فرآیند را تکرار می‌کند.

برای UE های باقیمانده (خطوط 6-12). تأکید می‌کنیم که همه زیرگروه‌های Kj از {1,..., 2K 1} =

J که شامل هستند

EU ها نیز مستثنی شده‌اند (خط 12). با انجام این کار، الگوریتم ۲

به طور قابل توجهی پیچیدگی را کاهش می‌دهد و در عین حال عملکرد قابل مقایسه با

راه‌حل بهینه به‌دست‌آمده از طریق را حفظ می‌کند.

جستجوی جامع طبق (28) و (29)، همانطور که بعداً در مورد آن بحث خواهد شد

بخش ششم-الف.

گزینه ۲.۱. پر کردن آب با نیروی سنتی. کانال

با نسبت بالای Gane به Noise (GNR)، مقدار بیشتری دریافت می‌کند

قدرت، که منجر به ظرفیت سیستم بالاتر می‌شود. توجه داشته باشید که

GNR کانال به SINR مربوط است.

گزینه ۲.۲. پر کردن مخزن آب با استفاده از انرژی مبتنی بر منابع.

به عنوان یک روش جایگزین، می‌توان از اطلاعات منابع برای پیاده‌سازی الگوریتم پر کردن با

آب استفاده کرد. این پرتو، کانال ... را فراهم می‌کند.

انتخاب کانال برای مرحله افزایشی که به زیرگروه‌هایی که پرتو و توان نتیجه را می‌دهند

کاهش قابل توجهی در استفاده از الگوریتم 3 منجر شده است، که در آن

الگوریتم‌های جامع زیرگروه‌ها برای کاهش مرحله ۱ است.

پیچیدگی فاصله‌ها برای افزایش زمان اجرای الگوریتم هدف دارد

برای یادگیری ماشین که بر روی زمان پخش تکنیک‌های یادگیری ماشین

می‌توان از آزمایش‌ها و تجربه برای بررسی پرتوهای مناسب الگوریتم‌ها در اقلیم‌های مختلف آنها استفاده کرد، الگوریتم اجرا می‌شود

می‌دهیم: (۱) طبقه‌بندی/رگرسیون

تا زمانی که همه زیرگروه‌ها SM تخصیص داده شوند (خطوط 5-22) و آن

تعداد بازه‌های زمانی m را برای خدمت‌رسانی به همه زیرگروه‌ها خروجی می‌دهد.

الگوریتم D(m) مجموعه‌ای از زیرگروه‌ها را نشان می‌دهد که باید در سطح

تلفن همراه E انتخاب می‌کند. الگوریتم بدون در نظر گرفتن توان باقی‌مانده از SM انتخاب می‌کند.

توسعه یک الگوریتم سریع که بتواند مسئله زیرگروه‌بندی چندپخشی را حتی در مورد یک

گروه بزرگ به مجموعه D(m) اضافه می‌کند (خطوط 7-9). اگر محدودیت توان-بودجه-دریافت Pmax اجازه اضافه کردن زیرگروه‌های بیشتری را به مجموعه بدهد

بسیاری از UE های دیگر. بنابراین، یادگیری نظارت شده کلاس مناسبی است

از الگوریتم‌های یادگیری زیرگروه. از تکنیک‌های یادگیری ماشین تحت نظارت، الگوریتم از

آموزش انتقال مورد استفاده قرار می‌گیرد که مجموعه D(m) را به مجموعه D(m) اضافه می‌کند.

(خطوط 10-19) تعداد زیرگروه‌ها به m+1 افزایش می‌یابد و D(m) در آرایه ذخیره می‌شود

(مجموعه یک وکتور میدان است) D(m) تعریف می‌شود، توان می‌تواند آرزیابی شود

از نظر دو گزینه با شرط اضافه از نبرد بر زیان (دو بیلیون) و تعداد آن مورد نظر

قرار می‌گیرد. پلتفرم گواهی که آقایان و آقایان تعدادی را به جدید قرار می‌دهند

(مخفف) ارزش‌های اتحادیه بین‌المللی مخابرات (ITU)

Machine Translated by Google

جدول هفتم
پیچیدگی‌های برای انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین

ML Algorithm	Interpretability
Decision Trees	Easy
Ensemble Classifiers	Hard
Logistic Regression	Easy
Naive Bayes Classifiers	Easy
Support Vector Machine	Easy for linear kernel, hard for others.
Nearest Neighbor Classifiers	Hard
Neural Network Classifiers	Hard

اکو سیستم‌های 5G [109]، [110]، [111] می‌توانند الگوریتم نظارت‌شده را پیاده‌سازی کنند.

مرحله اجرا و دوره آموزش الگوریتم‌های یادگیری ماشین باید کوتاه باشد. به دلیل عملیات بلادرنگ مورد نیاز، BS هر زمان که یک گروه چندپخشی یک بسته اضافی دریافت کند، UE یا یکی را از دست می‌دهد. از این رو، تکنیک‌های یادگیری ماشین با پیچیدگی کم، اولویت‌بندی شده است زیرا پیاده‌سازی عملی الگوریتم‌های ساده‌ای مانند طبقه‌بندی نظارت‌شده و تصمیم‌گیری را هدف قرار می‌دهد.

درختان. جنگل‌های تصادفی و شبکه‌های عصبی بررسی می‌شوند تا تعیین اینکه آیا مدل‌های یادگیری پیشرفته ممکن است تولید کنند یا خیر نتایج دقیق‌تر.

در مورد دوم، یک سلسله می‌توان از دو نفر شباهت استفاده کرد. یکی می‌تواند نزدیک‌ترین کلاس‌های داده‌های آموزشی را انتخاب کند و بیشترین کلاس را به تطابق کامل متکی باشد.

کلاس احتمالی.

•طبقه‌بندی‌های چندکلاسه با استفاده از الگوریتم عصبی انجام می‌شود

طبقه‌بندی‌کننده‌های شبکه عصبی (NN) این مدل‌ها را غالب از نظر دقت، توانایی از الگوریتم‌های دیگر بهتر عمل می‌کنند.

سیگما =

$$\gamma = \frac{\rho ML}{\rho opt} \times ۱۰۰٪.$$

با توجه به در دسترس بودن مجموعه داده‌های آموزشی، تحت نظارت الگوریتم‌های یادگیری، که رایج‌ترین وظیفه یادگیری آنها طبقه‌بندی است، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. برای مسئله مورد نظر، می‌توان الگوریتم‌های یادگیری نظارت‌شده‌ی زیر را در نظر بگیرید:

•یادگیری درخت تصمیم، مجموعه داده‌ها را بر اساس شرایط مختلف تقسیم می‌کند و می‌تواند برای طبقه‌بندی و

مدل‌های پیش‌بینی رگرسیون. مهمترین مزیت این

این رویکرد شامل ساخت یک ساختار قابل تفسیر است.

مدل. از این رو، این الگوریتم‌ها اغلب به عنوان ... شناخته می‌شوند.

پیاده‌سازی‌های جعبه سفید [112].

•رگرسیون لجستیک معمولاً در طبقه‌بندی دودویی برای مرتبط کردن مقادیر مشاهده‌شده به یکی از دو حالت ممکن استفاده می‌شود.

کلاس‌ها. این روش خروجی را از طریق یک تابع سیگما تبدیل می‌کند تا یک مقدار احتمال برای کلاس برگرداند.

نقشه برداری.

•بیز ساده یک تکنیک طبقه‌بندی ساده اما مؤثر است که بر اساس قضیه بیز و با فرض ... بنا شده است.

استقلال شرطی بین ویژگی‌های اشیاء

•الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) قادر است

تمایز قائل شدن بین کلاس‌ها با استفاده از تصویر کردن یک ابرصفحه

که آنها را از هم جدا می‌کند. در این فرمول‌بندی، بردارهای پشتیبان

متناظر با نزدیک‌ترین نقاط به ابرصفحه باشند، و

تغییر بردار پشتیبان منجر به تغییراتی در

ابرصفحه [113].

•الگوریتم K-نزدیک‌ترین همسایه (KNN) تلاش می‌کند تا با محاسبه فاصله بین ...، کلاس صحیح را برای داده‌های تست پیش‌بینی کند.

داده‌های تست و تمام نقاط آموزشی. روش KNN احتمال اینکه داده‌های تست متعلق به «K» باشند را محاسبه می‌کند.

تعداد زیرگروه‌ها و واحدهای وظیفه‌ای اختصاص داده شده به این زیرگروه‌ها

تعداد واحدهای وظیفه‌ای اختصاص داده شده به این زیرگروه‌ها به طور قابل توجهی

می‌تواند از معیار ویژه استفاده کرد

افزایش تعداد و اندازه لایه‌های متصل در

تعداد داده‌های به درستی طبقه‌بندی شده

٪ لایه‌های NN انعطاف‌پذیری آنها را افزایش می‌دهند.

تعداد داده‌های آزمایشی

جدول VII ویژگی‌های الگوریتم‌های مورد بررسی را از نظر قابلیت تفسیر ارائه می‌دهد که امکان

اگر نتایج یادگیری ماشین و بهینه‌سازی کاملاً با هم مطابقت داشته باشند، نسبت

تفسیر بهتری را فراهم می‌کند.

از منابع اشغال شده به منابع موجود، ρ برای هر دو معیار منطبق است،

درک راه‌حل‌های به‌دست‌آمده. این ویژگی، کار را آسان می‌کند

یعنی، ρML = ρopt علاوه بر این، به دلیل ماهیت گسسته

برای جلوگیری از اشتباهات یا خطاهای راه‌حل و جبران آنها.

تخصیص منابع و SCMها/نقشه‌برداری کارایی طیفی،

با قابلیت تفسیر بالاتر، می‌توان فهمید که چگونه یک ML

معیارهای بررسی شده

مدل تفسیر مورد بررسی

تمام الگوریتم‌های ذکر شده می‌توانند مسئله مورد نیاز را حل کنند.

با توجه به اینکه میزان استفاده از منابع معیار اصلی است

مسئله طبقه‌بندی، یعنی اختصاص یک مشاهده (UE)

مورد توجه می‌توان معیار دومی را نیز بر اساس آن بررسی کرد

به یکی از کلاس‌ها (زیرگروه‌های چندپخشی). به طور کلی، مجموعه ویژگی‌های مدل زیر را می‌توان

تطبیق میزان استفاده از منابع حاصل:

به عنوان پارامترها در نظر گرفت.

که مجموعه داده‌های آموزشی را تشکیل می‌دهند: (i) مختصات UE، (ii) تعداد EUها، (iii) شعاع ناحیه سرویس‌دهی، (iv) پهنای باند موجود،

(v) نرخ داده جلسه، و (vi) تعداد زیرگروه‌ها (کلاس‌ها).

ویژگی‌های مدل، مجموعه پیش‌بینی‌کننده P را تشکیل می‌دهند که ممکن است بر ... تأثیر بگذارند.

نتایج طبقه‌بندی (به بخش VI-A، که در آن ویژگی‌ها

اهمیت بررسی شده است). الگوریتم‌ها از ... یاد می‌گیرند.

مجموعه داده آموزشی با اندازه H1 (ایجاد شده با اجرای بهینه‌سازی

ارائه شده در بخش (VA) با پیش‌بینی داده‌ها و تنظیم آن برای راه‌حل صحیح زیرگروه چندپخشی NR

5G

تشکیل.

در نهایت، از آنجایی که جواب بهینه فقط برای ... شدنی است.

تعداد محدودی از EUها، نیاز به آزمایش برون‌یابی است.

قابلیت‌های مدل‌های یادگیری ماشین با آموزش آنها روی داده‌های کاهش‌یافته

تعداد EUها و سپس ارزیابی دقت برای تعداد بیشتری

تعداد UEها.

(۳ راه‌حل‌های غیربهینه چند RAT: برای تعداد محدودی از EUها در ناحیه پوشش BS، راه‌حل مستقیم

از مسائل موجود در (30) و (31) را می‌توان با استفاده از،

مثلاً تکنیک‌های شاخه و برش یا شاخه و پیوند. برخی از

این راه‌حل‌ها امکان کنترل رفتار اکتشافی را با تمرکز بر

بر روی تمامیت راه‌حل به جای بهینه بودن آن. به طور کلی، نشان داده شده است که راه‌حل‌های زیر باعث بهبود می‌شوند

رفتار اکتشافی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (MIP):

•فراابتکاری‌ها. اینها چارچوب‌های کلی برای

روش‌های اکتشافی بسازید، اغلب با استفاده از فرمول‌های ترکیبی.

قوانین و اصول فراابتکاری می‌توانند برای ایجاد روش‌های اکتشافی برای حل مسائل

برنامه‌ریزی ریاضی مورد استفاده قرار گیرند.

مشکلات. به عنوان مثال، انشعاب محلی (LB) مبتنی بر

در مورد ایده تغییر محله‌ها در سراسر

جستجو برای یافتن بهترین راه حل ممکن LB [114].

Machine Translated by Google

الگوریتم ۴: شبیه‌سازی تبرید چند-رتی

اورودی: (XU (i), YU (i), hU), i ∈ K

۲خروجی: راه حل ابتکاری G˜ k برای گروه بندی چندپخشی

-۳یک جواب اولیه‌ی شدنی S ایجاد کنید؛

۴تنظیم دمای اولیه T > 0؛

۵تنظیم نرخ سرمایش ۶ ωc؛ تا زمانی که T = ۱ باشد ، k ∈ ۰؛ تا زمانی که k < MaxIt باشد، k

تعداد تکرارها

همسایه S از S را انتخاب کنید؛ Δc = c(S) − c(S); اگر Δc ≤ 0 باشد، آنگاه

S ← S ; در غیر این صورت

S ← S; اگر random(0, 1) < exp(end k ← k + 1; end) باشد

T = Tωc; پایان

تعداد مراحل، MaxIt، در حلقه داخلی الگوریتم 4 باید بزرگتر از تعداد نقاط در فضای راه‌حل باشد، یعنی MaxIt > |Q|، که منجر به بی‌فایده بودن این رویکرد می‌شود [119].

روش ابتکاری که به تفصیل در [101] شرح داده شده است ، امکان دستیابی به یک راه‌حل اولیه خوب و در نتیجه، به حداقل رساندن تعداد مراحل در رویکرد شبیه‌سازی تبرید را فراهم می‌کند. ابتدا، دورترین UE از BS انتخاب می‌شود. سپس، با تغییر مجموعه پهنای پرتو از پیش تعریف شده، UE که کمترین تعداد منابع مورد استفاده را به ازای هر UE نیاز دارد، برای خدمت‌رسانی به EU های مربوطه انتخاب می‌شود.

توجه داشته باشید که تمام EU های تحت پوشش پرتو در زیرگروه مربوطه قرار می‌گیرند. سپس تمام EU های انتخاب شده از مجموعه EU های تمام گروه‌های چندپخشی حذف می‌شوند و الگوریتم دوباره دورترین UE را از مجموعه EU های باقی مانده انتخاب می‌کند.

این الگوریتم تا زمانی که هیچ UE باقی نمانده باشد، عمل می‌کند.

منطق کلی که عملکرد الگوریتم ۴ را مدیریت می‌کند را می‌توان به صورت زیر توصیف کرد. دمای اولیه در پارامتر دما تنظیم می‌شود، در حالی که کاهش دما یک تابع خنک‌کننده ωc، 0 < ωc < 1 است. در هر تکرار k، دما به اندازه ωc خنک می‌شود. تعداد همسایه‌هایی که باید در هر تکرار ملاقات شوند با MaxIt نشان داده می‌شود. معیار توقف می‌تواند یا شرط T = 1 یا عدم بهبود قابل توجه در دو اجرای متوالی تابع هدف حلقه بیرونی باشد. همچنین، برای توقف الگوریتم، می‌توان از معیار رسیدن به راه‌حلی که از یک هزینه از پیش تعریف شده تجاوز نکند، استفاده کرد. می‌توان از شرط T = 1 برای توقف الگوریتم استفاده کرد. تابع هدف c(S) نشان دهنده نسبت منابع اشغال شده به منابع موجود، ρ، مورد نیاز راه‌حل S است، که در آن S مجموعه‌ای است که یک بار شامل تمام EU ها می‌شود.

پس از تعریف راه‌حل اولیه S و تنظیم پارامترهای کلی اجرا، مانند دمای اولیه و نرخ سرمایش، الگوریتم حلقه بیرونی «while» را با دمای ثابت اجرا می‌کند (خطوط ۴ تا ۱۷ الگوریتم ۴). در حلقه داخلی «while»، که زمان‌های MaxIt را اجرا می‌کند ، الگوریتم یک همسایه تصادفی S را انتخاب می‌کند و آزمون متروپولیس (به زیر مراجعه کنید) را برای پذیرش یا عدم پذیرش انتقال از S به S انجام می‌دهد (خطوط

تکنیکی است که بر اساس روش دقیق ایجاد شده است. تفاوت این است که LB برای حل یک مسئله از نظر زمانی محدود است. اگر این دوره بدون تعیین راه‌حل بهینه سپری شود، LB متوقف می‌شود و بهترین راه‌حل شناخته شده را برمی‌گرداند.

•روش‌های جستجوی همسایگی. روش اکتشافی جستجوی همسایگی القا شده توسط رهاسازی (RINS) روشی اکتشافی است که همسایگی یک راه‌حل معتبر را برای کشف یک راه‌حل بهبود یافته بررسی می‌کند [115]. رهاسازی مداوم مدل MIP برای ساخت یک همسایگی امیدوارکننده استفاده می‌شود که به عنوان یک MIP دیگر (معروف به زیر- MIP) فرموله می‌شود.

محدود کردن تعداد گره‌ها در درخت جستجو، بهینه‌سازی subMIP را کوتاه می‌کند. •روش‌های تصادفی‌سازی. از آنجایی که مسئله فرموله شده NP-hard است، می‌توان از یک راه‌حل اکتشافی شبیه‌سازی تبرید استفاده کرد که یک الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی سراسری تصادفی است و برای PPB ها کارآمد شناخته شده است [116].

بخش‌های مقداردهی اولیه و پیاده‌سازی، و همچنین پارامتربندی این تکنیک، در زیر مشخص شده‌اند.

(۴روش اکتشافی – Multi-RAT شبیه‌سازی تبرید: شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر تصادفی‌سازی استراتژی جستجوی محلی و پذیرش تغییراتی است که با مقداری احتمال، نتیجه را بهتر می‌کنند. این رویکرد، شبیه‌سازی تبرید فلزات در ترمودینامیک را تقلید می‌کند، که شامل قرار دادن فلز در دمای بسیار بالا و سپس اجازه دادن به آن برای خنک شدن آهسته برای ایجاد شکل مورد نیاز با ساختاری بدون نقص است. در نتیجه، استفاده از یک برنامه خنک‌سازی دمایی مناسب، یک ایده حیاتی در شبیه‌سازی تبرید است. چندین نوع از روش شبیه‌سازی تبرید در توزیع و قانون کاهش دما متفاوت هستند که منجر به معایب و مزایای خاصی مانند سرعت، اطمینان از رسیدن به حداقل کلی و پیچیدگی اجرا می‌شود.

بخش مهمی از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید، قانون کنترل دما است. هر قانون کنترل، دما را با نرخ متفاوتی کاهش می‌دهد و هر روش در بهینه‌سازی یک نوع مدل خاص بهتر عمل می‌کند. انواع اصلی قوانین کنترل دما به شرح زیر است: •قانون خطی: T = T − ωc؛ •قانون هندسی: T = Tωc (که اغلب استفاده می‌شود)؛ •قانون کاهش آهسته: T = T/(1+ωcT)، ωc یک ثابت است؛ •تبرید سریع: T = T/k [117]؛ •تبرید بسیار سریع: T = T/k، k = 1,..., D که در آن D تعداد متغیرها در تابع هزینه است، i نشان دهنده متغیر iام تابع هزینه است، فرآیندهای تبرید مختلفی را می‌توان برای متغیرهای مختلف در نظر گرفت و ci یک ثابت است که بسته به مسئله می‌تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد [117]. •آنیلینگ بولتزمن: T = T/ln k [118].

برای حل مسئله چندپخشی multi-RAT، می‌توان از روش استاندارد شبیه‌سازی تبرید [119] که در الگوریتم 4 ارائه شده است، برای بدست آوردن راه‌حل اکتشافی با G˜ k استفاده کرد . ابتدا، می‌توان گزینه‌های خاص مسئله، از جمله شکل تابع هدف c(S) و استراتژی بدست آوردن راه‌حل S را تعریف کرد. از راه‌حل تژوی، اکتشافی اولیه، نتیجه نهایت آژسری یک راه‌حل دو لحظه گاهی نوآوری بسیار زیاد در مرحله [illegible] را برای دستیابی به حداقل کلی، [120]، [121].

Machine Translated by Google

جدول هشتم
زمان اجرای الگوریتم‌ها

Time/K	2	5	7	10	12	15	17	20	22	25	27	30
Single RAT (in minutes)												
Optimal	0.008	0.01	0.06	10.03	54.35	60 (limited)	-	-	-	-	-	-
Heuristic*	0.0021	0.0046	0.005	0.0043	0.0073	0.008	0.008	0.0085	0.0096	0.012	0.0115	0.017
*Note that the run time of the heuristic for single RAT depends on the UEs locations and the resulted configuration. In general, the complexity increases with the number of UEs.												
Dual Connectivity (in minutes)												
Optimal	0.15	0.89	14.37	29.50	60 (limited)	-	-	-	-	-	-	-
LB	0.13	0.88	14.2	28.70	60 (limited)	-	-	-	-	-	-	-
RINS	0.13	0.88	14.25	29.20	60 (limited)	-	-	-	-	-	-	-
SA-H	1	2.29	3.12	11.01	13.19	17.49	21.51	25.58	29.65	33.70	37.75	41.79
SA	1	2.29	3.12	11.01	13.19	17.49	21.51	25.58	29.65	33.70	37.75	41.79
Machine Learning, $R = 250\ m$**,** $H_2 = 5000$ (in seconds)												
Log. Regression	2.223	1.863	2.307	2.21	1.93	1.877	2.532	2.109	2.115	1.959	4.344	1.87
Kernel Naive Bayes	14.82	14.033	13.649	14.31	13.94	13.779	16.136	13.917	14.057	13.88	16.646	14.14
Random Forest	2.888	2.555	2.602	2.56	2.54	2.463	2.481	2.475	2.494	2.515	3.258	2.97
Narrow Neural Network (NN)	0.184	0.137	0.1253	0.11	0.12	0.134	0.126	0.148	0.163	0.156	0.142	0.15
Weighted KNN	0.758	0.649	0.646	0.37	0.38	0.734	0.691	0.624	0.684	0.652	0.836	0.75
Cubic SVM	8.291	4.02	3.6771	5.6	7.36	5.093	7.097	5.547	10.934	10.698	4.956	8.31
Fine Tree	0.373	0.342	0.361	0.49	0.39	0.335	0.335	0.355	0.374	0.351	0.393	0.44
Coarse Tree	0.194	0.128	0.1297	0.15	0.19	0.1297	0.1345	0.129	0.133	0.133	0.131	0.16

الف. عملکرد بهینه‌شده‌ی تک-RAT

(ازمان اجرا: ما با مقایسه پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌ها، که در جدول VIII گزارش شده است، شروع می‌کنیم. شبیه‌سازی‌ها در MATLAB بر روی یک لپ‌تاپ استاندارد با پردازنده Intel Core i7-1260P که با فرکانس ۲.۱۰ گیگاهرتز کار می‌کند و مجهز به ۱۶گیگابایت رم است، انجام شده است. ابتدا، می‌توان دید که در دسته راه‌حل‌های چندپخشی تک RAT، راه‌حل اکتشافی یک طرح زمان‌بندی با پیچیدگی کم ارائه می‌دهد، اما به قیمت بهینه بودن (که در بخش‌های فرعی زیر توضیح داده شده است). توجه داشته باشید که زمان اجرای راه‌حل اکتشافی برای یک RAT تک به مکان‌های UE و پیکربندی حاصل بستگی دارد (به مرحله ۱اکتشافی تک RAT، گزینه ۱.۱مراجعه کنید). علاوه بر این، جدول VIII نشان می‌دهد که وقتی تعداد EUهای چندپخشی زیاد باشد (بیش از ۱۲در RATتک و بیش از ۱۰در RATدوگانه) راه‌حل بهینه غیرعملی است.

در مورد راه‌حل‌های چند- RAT، می‌توان استنباط کرد که درگیر کردن بیش از دو فناوری منجر به زمان اجرای حتی بالاتر خواهد شد. می‌توان از تکنیک‌های آرام‌سازی (LB، RINS) برای کاهش پیچیدگی محاسباتی راه‌حل بهینه استفاده کرد. با این حال، بهبود قابل توجه نیست.

در عوض، شبیه‌سازی تبرید به طور قابل توجهی زمان محاسبات را کاهش می‌دهد. ما تأکید می‌کنیم که شبیه‌سازی تبرید با پیکربندی اولیه به‌دست‌آمده از طریق روش اکتشافی (Simulated Annealing with Heuristics (SA-H)) و پیکربندی اولیه تصادفی (Simulated Annealing (SA)) پیچیدگی یکسانی را ارائه می‌دهند، زیرا راه‌حل اکتشافی بسیار کم‌پیچیده است.

در نهایت، ما در مورد پیچیدگی راه‌حل‌های ML نظر می‌دهیم.
توجه داشته باشید که زمان اجرا به اندازه مجموعه داده‌های آزمایشی، H2، بستگی دارد و تحت تأثیر تعداد EUها قرار نمی‌گیرد.

۴مقادیر ارائه شده برای مرحله تحویل داده قابل استفاده نیستند، زیرا آنها فقط زمان مورد نیاز برای تشکیل گروه چندپخشی را مشخص کنید.

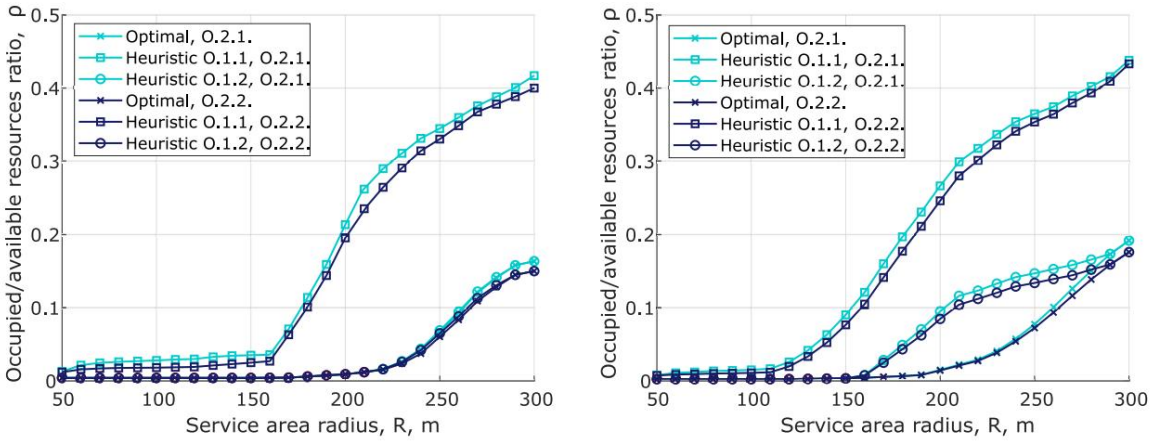
.(6-15در الگوریتم، روش انتخاب تصادفی همسایه به شرح زیر است: (i)به طور تصادفی مجموعه Sرا طوری تولید کنید که تمام EUها را پوشش دهد، (ii)توان ارسال مورد نیاز برای Sرا بر اساس قوی‌ترین نسبت سیگنال به نویز (SNR)محاسبه کنید، (iii)برای آن زیرگروه‌هایی که می‌توانند به طور همزمان در یک اسلات با توجه به بودجه توان دریافتی در هر آنتن، Pmax، سرویس‌دهی شوند، عملیات پر کردن آب را انجام دهید، و (iv) c(S) = ρ را محاسبه کنید. توجه داشته باشید که اگر هزینه Δc = c(S) - c(S) غیر مثبت باشد، حرکت همیشه پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت، تغییر راه‌حل با احتمال P = e−Δc/T پذیرفته می‌شود . پس از اتمام مراحل MaxIt ، دما کاهش می‌یابد (خط 18)و حلقه داخلی دوباره شروع می‌شود. الگوریتم تا زمانی که معیار توقف برآورده شود، کار می‌کند.

الگوریتم ۴از نظر پیاده‌سازی نسبتاً ساده است، اما پیاده‌سازی کارآمد آن نیازمند دستکاری پارامترها و یافتن راه‌هایی برای کاهش زمان اجرای مرتبط با محاسبه‌ی راه‌حل برای مقادیر در فضای جستجو است. دمای اولیه معمولاً عدد بزرگی است. سپس، حلقه‌ی داخلی while-end به تعداد MaxtIt اجرا می‌شود که پارامتر دیگری از الگوریتم است. از آنجایی که شبیه‌سازی تبرید یک راه‌حل اکتشافی است، در بخش VI-B، بهینگی و پیچیدگی الگوریتم شبیه‌سازی تبرید را زمانی که تعداد همسایه‌های مورد بررسی، MaxIt، ۱۵ و دمای اولیه T = ۱۰ است، بررسی می‌کنیم.

ششم. درس‌های آموخته شده و نکات مهم

در این بخش، بر اساس چارچوب‌های بهینه‌سازی عملکرد و مدل‌سازی ارائه شده در بخش قبلی، درس‌های آموخته شده و نکات مهم برای عملیات چندپخشی در سیستم‌های mmWave/sub-THz با آنتن‌های جهت‌دار را گزارش خواهیم کرد.

Machine Translated by Google



(a) $L = 3$. (b) $L = 5$.

شکل 8. نسبت منابع اشغال شده به منابع موجود به عنوان تابعی از شعاع سلول، K = 10، C = 25 Mbps، W = 50 MHz [9].

جدول نهم
تعداد بهینه تیرها در سیستم چند تیری به عنوان تابع
شعاع سلول ، K = 10 UES، C = 25 MBPS، W = 50 MHZ

Number of beams	1 beam	2 beams	3 beams	4 beams	5 beams
L=3 (radius, m)					
Optimal	50-250	260	270-300	-	-
Heuristic O.1.1	-	50-180	190-300	-	-
Heuristic O.1.2	50-230	240-250	260-300	-	-
L=5 (radius, m)					
Optimal	50-210	220-250	260	-	270-300
Heuristic O.1.1	-	50-130	140	150-160	170-300
Heuristic O.1.2	50-170	180	190-200	210	220-300

به طور قابل توجهی بهتر از حالت قبلی است. این برتری جزئی شهودی است و از این واقعیت ناشی می‌شود که پر کردن با آب (O.2.2)به ویژگی اطلاعات منبع متکی است. مشابه L = 1(که به دلیل کمبود فضا از محدوده این مقاله خارج می‌شویم)، گزینه اکتشافی با جستجوی جامع (O.1.2)بیشترین تطابق را با راه‌حل بهینه دارد. با این حال، با افزایش حداکثر تعداد پرتوها، Lحتی این تقریب نیز شروع به انحراف از راه‌حل بهینه می‌کند. طبق نتایج اضافی ما، شکاف بین راه‌حل‌های بهینه و اکتشافی برای پهنای باندهای بزرگتر، مانند W = 200مگاهرتز در مقایسه با W = 100مگاهرتز و W = 50مگاهرتز، کمتر است. بنابراین، با پهنای باند بالاتر، انتقال داده به طور قابل توجهی سریع‌تر است و نسبت منابع اشغال شده به منابع موجود را کاهش می‌دهد.

(۳تعداد بهینه پرتوها: نتیجه‌گیری‌های فوق در مورد تعداد پرتوها مورد استفاده، در جدول IXتکمیل شده است که تعداد بهینه پرتوها، Loptرا به عنوان تابعی از شعاع ناحیه سلول ارائه می‌دهد. ممکن است متوجه شوید که راه‌حل بهینه فقط یک پرتو را در هر بازه زمانی انتخاب می‌کند تا Rبه ترتیب برای L = ۵ و L = ۳ پرتو به ۲۳۰متر و ۲۵۰متر برسد . علاوه بر این، برای L = ۳، راه‌حل بهینه یک پرتو و چندین بازه زمانی را انتخاب می‌کند وقتی Rدر محدوده ۲۴۰تا ۲۵۰متر باشد، در حالی که روش‌های اکتشافی ارائه شده (O.1.2)و (O.1.1)به ترتیب دو و سه پرتو را در هر بازه زمانی جابجا می‌کنند. با مشاهده شکل ۸و جدول IX، ما

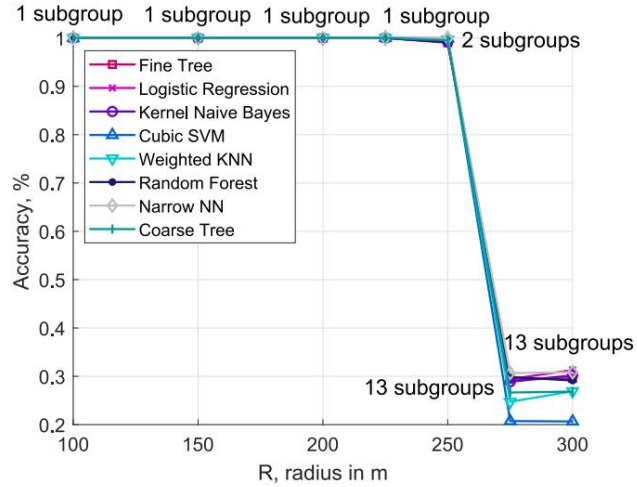
ثابت می‌کند که الگوریتم‌های یادگیری ماشین، ابزار خوبی برای کار با تعداد زیادی از EUها در مورد گروه‌بندی بهینه چندپخشی هستند.

ما تأکید می‌کنیم که محدودیت‌های زمانی برای تشکیل گروه‌های چندپخشی در استانداردهای فعلی دقیقاً تعریف نشده‌اند و احتمالاً به دلیل پیاده‌سازی‌های مدیریت منابع اپراتورها متفاوت خواهند بود. بدیهی است که این محدودیت‌ها در سطح زیر-شکاف یا فریم اعمال نمی‌شوند و در عمل، ممکن است حتی مدت زمان طولانی‌تری داشته باشند. با این حال، برای جلوگیری از عدم امکان اعمال یک راه‌حل brute-forceبا پیچیدگی نمایی، ما تصمیم به استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی تبرید و یادگیری ماشینی گرفته‌ایم. این تصمیم یک پیچیدگی زمانی چندجمله‌ای ارائه می‌دهد که ما را قادر می‌سازد تا ضمن حفظ قابلیت ردیابی محاسباتی، به طور مؤثر به مسئله بپردازیم.

(۲عملکرد راه‌حل‌ها و مقایسه‌ی پر شدن آب: برای مقایسه‌ی راه‌حل‌های طراحی‌شده برای سیستم‌های تک RAT، با شکل ۸شروع می‌کنیم که نسبت منابع اشغال‌شده به منابع موجود، ρ، را برای حداکثر تعداد پرتوها (a) 3 = L و (b) 5 = Lهنگام تغییر شعاع ناحیه‌ی سلول Rنشان می‌دهد. می‌توان استنباط کرد که در مورد L = 3، منحنی‌ها با افزایش شعاع سلول در مقایسه با L = 5، به طور قابل توجهی کندتر رشد می‌کنند. لازم به ذکر است که در مقادیر کوچک‌تر شعاع پوشش BS R(مثلاً تقریباً ۵۰تا ۱۰۰متر)، راه‌حل‌های اکتشافی (O.1.2)و بهینه، یک زیرگروه واحد شامل تمام EUهای گروه چندپخشی ایجاد می‌کنند. این توضیح می‌دهد که چرا منحنی‌های L = 5 ابتدا عملکرد برتر را نشان می‌دهند و سپس مقادیر ρبالاتری را برای همه طرح‌ها ارائه می‌دهند. ما همچنین مشاهده می‌کنیم که حداکثر تعداد پرتوها در هر بازه زمانی، تفاوت بین راه‌حل بهینه و (O.1.2)را برای گزینه‌های اکتشافی (O.2.1)و (O.2.2)برای L = 5تعیین می‌کند. به طور خاص، در شعاع ناحیه سرویس تقریباً ۱۵۰تا ۲۵۰متر R، راه‌حل بهینه از یک پرتو و چندین بازه زمانی استفاده می‌کند، در حالی که روش‌های اکتشافی به EUهایی با چندین پرتو در یک بازه زمانی واحد خدمات می‌دهند. از این رو، برای کاهش ρبرای فواصل طولانی، مانند ۱۵۰تا ۲۴۰متر، استفاده از یک پرتو در هر زمان ضروری است. توجه داشته باشید که تمام تکنیک‌های ارزیابی شده از حالت تک‌پخشی برای سرویس‌دهی به EUهای چندپخشی استفاده می‌کنند، یعنی پرتوها جداگانه برای هر UE چندپخشی، که از حدود R = 250متر شروع می‌شود.

تجزیه و تحلیل بیشتر داده‌های ارائه شده، هیچ تفاوت معناداری بین انواع طرح‌های پر کردن آب با قدرت، یعنی گزینه‌های (O.2.1)و (O.2.2)نشان نمی‌دهد، و دومی عملکرد بهتری دارد.

Machine Translated by Google

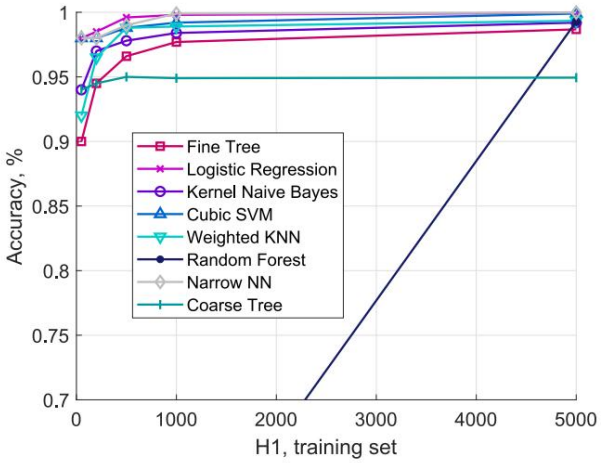


شکل ۱۰. دقت تخصیص زیرگروه، σ، برای H1 = H2 = 5000، K = 13.

به زیرگروه‌ها. همانطور که پیش‌بینی می‌شد، دقت تخصیص UE به زیرگروه‌ها، σ، با افزایش اندازه مجموعه داده آموزشی H1 افزایش می‌یابد. با این حال، با شروع از تقریباً H1 = 1000، دقت اساساً ثابت می‌ماند و دیگر افزایش نمی‌یابد. در عین حال، توجه داریم که طبق تحقیقات بیشتر ما، تطابق کامل منابع با راه‌حل بهینه برای این فاصله در نظر گرفته شده R = 250 متر، حتی برای مقادیر بسیار کوچک H1، مشاهده می‌شود. بنابراین، این واقعیت که دقت همه الگوریتم‌های بررسی شده (به استثنای جنگل تصادفی) با افزایش اندازه نمونه آموزشی از H1 = 1000 به مقادیر بزرگتر تقریباً ثابت می‌ماند، به ما اجازه می‌دهد H1 = 1000 را به عنوان کمترین حد اندازه مجموعه آموزشی برای پیاده‌سازی‌های عملی در نظر بگیریم .

جدول دهم
میانگین تعداد UEs در هر پرتو به عنوان تابعی از شعاع سلول ،
K = 10 UEs، C = 25 MBPS، W = 50 MHZ

Number of UEs	1 UE	2 UEs	3 UEs	4 UEs	5 UEs	10 UEs
L=3 (radius, m)						
Optimal	280-300	-	-	270	260	50-250
Heuristic O.1.1	-	-	-	190-300	50-180	-
Heuristic O.1.2	-	-	-	260-300	240-250	50-230
L=5 (radius, m)						
Optimal	270-300	-	-	260	220-250	50-210
Heuristic O.1.1	-	170-300	150-160	140	50-130	-
Heuristic O.1.2	270-300	220-260	210	190-200	180	50-170



شکل ۹. دقت تخصیص زیرگروه، σ، برای H2 = 5000، R = 250 متر، K = 10 [103].

اکنون عملکرد برون‌یابی الگوریتم‌های یادگیری ماشین را تجزیه و تحلیل می‌کنیم. برای این منظور، الگوریتم‌ها با استفاده از نمونه آموزشی با اندازه H1 = 1000 برای 10 UE آموزش داده می‌شوند و سپس الگوریتم‌های آموزش دیده را به سیستم چندپخشی با 13 UE اعمال می‌کنیم. معیارهای دقت برای 13 UE که با استفاده از راه‌حل بهینه حل شده‌اند، محاسبه می‌شوند. شکل ۱۰ دقت تخصیص زیرگروه‌های چندپخشی را برای H1 = H2 = 5000 و 13 UE نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، تطابق تا حدود R = 250 متر کامل است و سپس برای R = 275 متر و بالاتر به شدت کاهش می‌یابد . دلیل این امر این است که معیار K = 10 که برای محدوده‌های اندازه سلول عمل می‌کند، تعداد EUها را در چندپخشی، رویکرد بهینه همیشه بیش از ۲ تا ۳ پرتو را به کار نمی‌گیرد. در انتظار گرفته شده زیرگروه‌های خاص علاوه بر این، زیرگروه‌ها با بیانگر تعداد EUها را در نظر می‌گیرند که توسط یک پرتو در هر بازه زمانی سرویس‌دهی می‌شوند، نشان می‌دهد. منطق پشت تحلیل این معیار، از R = 275 متر، انتقال از زیرگروه‌هایی که در آن تطابق کامل برای سرویس‌دهی به 4 EU امکان‌پذیر است، به زیرگروه‌هایی که در آن تطابق کامل برای سرویس‌دهی به 5 EU امکان‌پذیر نیست، به طور مداوم افزایش می‌یابد. این به دلیل تعداد متفاوت EUها در زیرگروه‌های مختلف است. نتایج ارائه شده، نتیجه‌گیری حاصل از شکل ۸ را اثبات می‌کند که از ۲۵۰ متر به بعد، عملاً همه طرح‌ها از حالت تک‌پخشی برای L = ۵ پرتو استفاده می‌کنند.

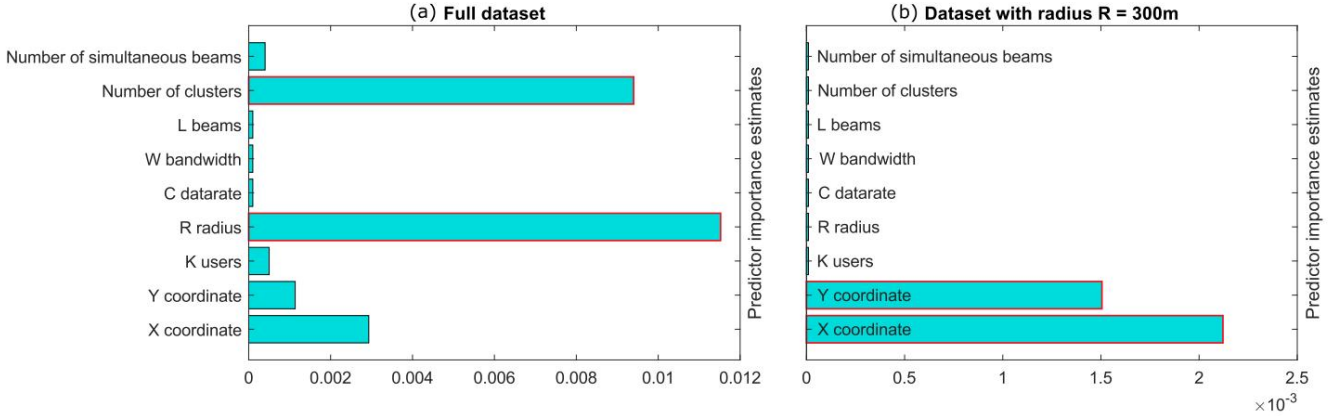
همچنین توجه داریم که EUها به صورت جداگانه و با استفاده از ارسال‌های تک‌پخشی برای شعاع سلولی بالاتر از R = 300 متر سرویس‌دهی نمی‌شوند. ImmWave ارائه می‌دهد. به طور خاص، این جدول موقعیت‌هایی را نشان می‌دهد که سیستم از منابع کمتری نسبت به منابع مورد نیاز سرویس تک‌پخشی (یک UE به ازای هر پرتو) استفاده می‌کند. همانطور که می‌توان دید، با افزایش شعاع سلول، تعداد EUها در هر پرتو، بهتر عمل می‌کند، که می‌توان آن را با این واقعیت توضیح داد که به طور کلی، افزایش تعداد پرتوها منجر به کاهش تعداد EUها در هر پرتو می‌شود. این به وضوح نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شعاع‌های سلولی کوچک استفاده می‌شود، در حالی که سرویس تک‌پخشی فقط برای شعاع‌های بالاتر امکان‌پذیر است.

نمی‌توانند سایر ویژگی‌های طبقه‌بندی UE را یاد بگیرند. برای نشان دادن آن، جدول XI دقت تطبیق منابع، ۷، را برای فواصل مختلف منطقه سرویس BS، R، ارائه می‌دهد. همانطور که ممکن است متوجه شوید، چندین الگوریتم عملکرد عالی ارائه می‌دهند.

به طور خاص، الگوریتم‌های درختی قابلیت‌های برون‌یابی بسیار خوبی نیز نشان می‌دهند. بنابراین، جنگل تصادفی و درختان ریز تقریباً ۱۰۰٪ دقت را از نظر استفاده از منابع، ۷، در تمام فواصل در نظر گرفته شده نشان می‌دهند. با توجه به تلاش محاسباتی نسبتاً کم مورد نیاز برای درختان، می‌توان آنها را به عنوان بهترین نامزد برای تشکیل زیرگروه در نظر گرفت.

(۵) یادگیری ماشین: با توجه به پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین، شکل ۹ دقت تخصیص واحدهای محاسباتی را نشان می‌دهد.

Machine Translated by Google



شکل ۱۱. تخمین اهمیت متغیرها [103].

در مقابل، تعداد خوشه‌های به‌دست‌آمده از راه‌حل مسئله بهینه‌سازی و شعاع سلول، دو پیش‌بینی‌کننده تأثیرگذار فرآیند یادگیری هستند و پس از آن مختصات EUها قرار دارند.

علاوه بر این، با بررسی شکل 11(ب)، می‌توان دید که اهمیت پیش‌بینی‌کننده‌ها با توجه به مجموعه داده‌ها متفاوت است. در اینجا، ثابت نگه داشتن شعاع Rمنجر به این می‌شود که مختصات EUها مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌ها باشند. این روند را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که در سیستم‌های چندپخشی جهت‌دار، شعاع ناحیه سرویس بر نوع انتقال مورد استفاده برای سرویس تأثیر می‌گذارد (یعنی چندپخشی برای چندین UEیا تک‌پخشی برای هر UEچندپخشی).

نتایج عددی نشان می‌دهند که راه‌حل عمدتاً به شعاع سلول بستگی دارد. هنگام تغییر تعداد EUها در سیستم، می‌توان متوجه شد که برای مثال، یک زیرگروه واحد برای محدوده شعاع ۱۰۰تا ۲۲۵متر انتخاب می‌شود . سپس، برای محدوده ۲۷۵متر و فراتر از آن، فقط از انتقال‌های تک‌پخشی برای ارائه EUهای چندپخشی استفاده می‌شود، در حالی که راه‌حل‌های تشکیل گروه چندپخشی در نظر گرفته شده را می‌توان برای شعاع‌های حدود ۲۵۰متر استفاده کرد.

ب. عملکرد بهینه‌شده‌ی Multi-RAT

(۱اولویت موج میلی‌متری. تغییر رژیم: نتایج تحلیل عملکرد زمانی که منابع موج میلی‌متری در هر زمان ممکن مورد استفاده قرار می‌گیرند، در شکل ۱۲برای عددشناسی موج میلی‌متری μm = 3، عددشناسی موج میلی‌متری μμ = 0، K = 10 UEs، C = 5 Mbps، Wm = 100 MHz، Wμ = 50 MHz، Lm = Lμ = 5 beams نشان داده شده است. در اینجا، ما با تحلیل نسبت منابع اشغال شده به منابع موجود، ρ، به عنوان تابعی از شعاع سلول، R، که در شکل ۱۲نشان داده شده است، شروع می‌کنیم. به عنوان یک روند کلی، می‌توان متوجه شد که ρبا افزایش شعاع سلول افزایش می‌یابد تا زمانی که به فاصله‌ای برسد که به دلیل شرایط انتشار و انسداد، هیچ پوشش موج میلی‌متری در دسترس نباشد. در این مرحله، سیستم شروع به انتخاب μWave به عنوان یک فناوری انتقال می‌کند.

برای مثال، در مورد راه‌حل بهینه، R = 300متر می‌تواند به عنوان آستانه‌ای در نظر گرفته شود که تغییر در فناوری انتقال مورد استفاده را تعریف می‌کند. هنگامی که از این آستانه عبور شود، راه‌حل بهینه همیشه زیرگروهی را انتخاب می‌کند که شامل تمام KUEها برای انتقال μWaveباشد.

ما تأکید می‌کنیم که تکنیک‌های آزادسازی (LB، RINS)تطابق کاملی با راه‌حل بهینه سراسری نشان می‌دهند.

جدول یازدهم

دقت تطبیق زیرگروه و منبع ،

H1 = 5000، H2 = 5000، K = 13

Radius	100m	150-225m	250m	275m	300m
Fine Tree					
UE assignment, σ	100%	100%	99.02%	29.35%	29.58%
Resources, γ	100%	100%	100%	98.51	96.97%
Logistic Regression					
UE assignment, σ	100%	100%	99.96%	29.41%	31.30%
Resources, γ	100%	100%	100%	100%	98.53%
Kernel Naive Bayes					
UE assignment, σ	100%	100%	99.17%	28.88%	30.19%
Resources, γ	100%	100%	100%	98.44%	95.39%
Cubic SVM**					
UE assignment, σ	99.98%	NaN/100%	99.92%	20.74%	20.66%
Resources, γ	100%	NaN/100%	100%	85.00%	96.88%
Weighted KNN					
UE assignment, σ	100%	100%	99.67%	24.72%	26.91%
Resources, γ	100%	100%	100%	96.92%	98.53%
Random Forest					
UE assignment, σ	100%	100%	99.21%	29.86%	29.13%
Resources, γ	100%	100%	100%	96.92%	100%
Narrow NN					
UE assignment, σ	100%	100%	99.96%	30.67%	30.84%
Resources, γ	100%	100%	100%	98.53%	100%
Coarse Tree					
UE assignment, σ	100%	100%	99.55%	26.65%	26.83%
Resources, γ	100%	100%	100%	59.42%*	90.2%*

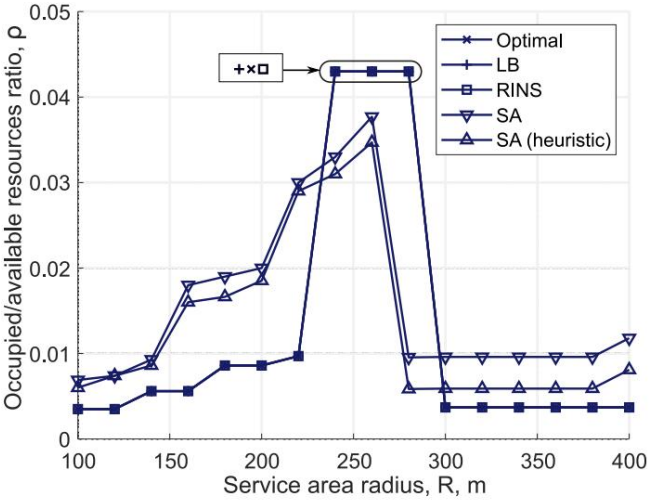
*the algorithm defines 5 clusters (on average) instead of 13
** no solution for 150, 200 m, accuracy is 100% is for 225 m

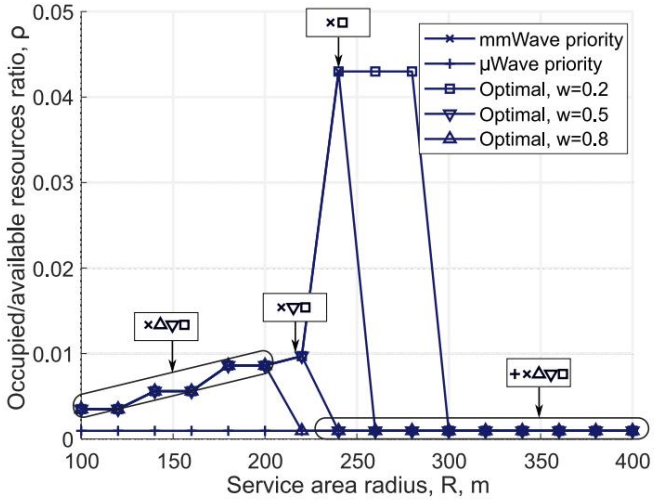
(۶اهمیت پیش‌بینی‌کننده‌های یادگیری ماشین: به یاد بیاورید که برای جمع‌آوری یک مجموعه داده، چندین متغیر مورد نظر انتخاب شدند.

با این حال، الگوریتم‌ها ممکن است از این متغیرها برای طبقه‌بندی استفاده کنند یا نکنند. اکنون، بررسی خواهیم کرد که کدام عوامل بیشترین تأثیر را بر عملکرد الگوریتم‌ها دارند. برای این منظور، اهمیت پیش‌بینی‌کننده را برای گروه طبقه‌بندی درخت‌های تصمیم‌گیری در شکل 11ارائه می‌دهیم. این روش با جمع کردن این تخمین‌ها روی همه یادگیرنده‌های ضعیف در گروه، اهمیت پیش‌بینی‌کننده تخمینی را برای مجموعه داده‌ها محاسبه می‌کند. در اینجا، مقدار بالا مربوط به اهمیت بالای متغیر برای مدل است.

شکل 11(a)اهمیت کل مجموعه داده‌ها را نشان می‌دهد، که در آن رفتار مدل به عنوان تابعی از شعاع ناحیه سرویس، R، تجزیه و تحلیل می‌شود. بنابراین، انتظار می‌رود متغیر Rاز اهمیت بالایی برخوردار باشد. با این حال، ما پیش‌بینی کردیم که مکان‌های EUها مهم‌ترین ویژگی‌های مدل باشند. در

Machine Translated by Google





شکل ۱۳. نسبت منابع اشغال شده به منابع موجود، ρ، برای بهینه‌سازی وزنی با RAT: MMWAVE، شعاع سلولی ۳۰۰ متر، μμ = ۰ میکرومتری، μμ - MMWAVE = ۳ میکرومتر، μμ = ۰ میکرو موج

اینکه HPBWهای مورد استفاده برای آنتن‌های μWave بزرگتر از HPBWهای فناوری mmWave هستند، زیرا اولی برای زیرگروه‌هایی که UEهای آنها دورتر از یکدیگر قرار دارند، استفاده می‌شود.

در مقابل، فناوری mmWave معمولاً به EUهای منفرد به روش unicast یا به زیرگروه‌های بسیار خوشه‌ای از EUها خدمات ارائه می‌دهد.

(۳انتخاب اولویت RAT: توجه داشته باشید که اولویت μWave منابع mmWave را حذف می‌کند و در نتیجه فناوری μWave را به طور کامل بارگذاری می‌کند. یک اپراتور شبکه ممکن است بخواهد از آن اجتناب کند زیرا فناوری μWave باید در مناطقی که برای mmWave قابل دسترسی نیستند، مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر، طرح اولویت mmWave منحصراً از منابع mmWave تا فاصله مشخصی استفاده می‌کند و سپس به فناوری μWave تغییر می‌کند. یک اپراتور ممکن است ترجیحات متفاوتی برای متعادل کردن استفاده از منابع بین RATهای مورد نظر داشته باشد. برای این منظور، ما با بررسی تأثیر تابع بهینه‌سازی وزنی بر عملکرد سیستم ادامه می‌دهیم. نتایج مربوطه در شکل ۱۳ و جدول ۱۳ برای عددشناسی mmWave μm = 3، عددشناسی μWave μμ = 2، K = 10 UEs، C = 5 Mbps، Wm = 100 MHz، Wμ = 50 MHz، Lm = Lμ = 5 پرتو نشان داده شده است.

جدول دوازدهم
تعداد بهینه تیرها در سیستم چند تیری به عنوان تابع
شعاع سلولی ، اولویت موش - MMWAVE : MMWAVE - 3، =میکرومتر MMWAVE، =میکرو موج 0 = μμ -

Number of beams	0 beams	1 beam	2 beams	3 beams
mmWave (radius, m)				
Optimal	300-400	100-200	220	240-280
LB	300-400	100-200	220	240-280
RINS	300-400	100-200	220	240-260
SA	-	280-400	100-200	220-260
SA-H	-	280-400	100-200	220-260
μWave (radius, m)				
Optimal	100-280	300-400	-	-
LB	100-280	300-400	-	-
RINS	100-280	300-400	-	-
SA	100-260	-	280-400	-
SA-H	100-260	280-400	-	-

از سوی دیگر، الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید نتایج کمی بدتری را نشان می‌دهند، اما با بده‌بستان‌های بهتری در بهینگی در مقابل پیچیدگی نسبت به راه‌حل‌های بهینه. با مقایسه الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید، می‌توان آموخت که شروع با یک راه‌حل خوب (در مقایسه با راه‌حل تصادفی) در برخی نقاط، مقدار بهتری از ρ را برای ما به ارمغان می‌آورد. این را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که شبیه‌سازی تبرید مبتنی بر هیوریستیک می‌تواند تا زمانی که معیار توقف برآورده شود، راه‌حل بهتری پیدا کند.

با تجزیه و تحلیل داده‌های ارائه شده در شکل 13 و جدول XIII، تأکید می‌کنیم که افزایش w در (31) منجر به تغییر اولویت از mmWave به μWave می‌شود. می‌توان دریافت که در فواصل پایین‌تر R، وزن‌های w = 0.2، 0.5، 0.8 بر عملکرد تأثیری ندارند و نتایجی مشابه طرح اولویت mmWave ارائه می‌دهند. این را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که mmWave استفاده کارآمدتر از منابع را در فواصل کمتر تضمین می‌کند.

(۲تعداد بهینه پرتوها: ما همچنین در مورد تعداد بهینه پرتوهای مورد استفاده در سیستم دوگانه چند پرتوی به عنوان تابعی از شعاع سلول که در جدول XII نشان داده شده است، توضیح می‌دهیم. تعداد بهینه پرتوهای mmWave، Lm، با یک پرتو شروع می‌شود (زمانی که همه EUها یک زیرگروه واحد تشکیل می‌دهند) و سپس تا ۳ پرتو افزایش می‌یابد. برعکس، می‌توان تا یک پرتو μWave را در یک زمان جاروب کرد (و تا ۲ پرتو μWave برای آنیلینگ شبیه‌سازی شده تصادفی). ممکن است متوجه شوید که انتقال μWave زمانی استفاده می‌شود که mmWave به دلیل شرایط انتشار و انسداد نتواند سرویس را ارائه دهد.

علاوه بر این، توجه داشته باشید که انتخاب w = 0.5 تأثیر مشابهی با اولویت mmWave ایجاد می‌کند، در نتیجه از منابع باند μWave فقط زمانی استفاده می‌شود که سرویس mmWave به دلیل شرایط انتشار و انسداد غیرممکن باشد. از طرف دیگر، w = 0.2 بر فناوری mmWave را تا 280 متر افزایش می‌دهد (در مقایسه با 240 متر در مورد اولویت mmWave)، در حالی که w = 0.8 بر R را به 200 متر کاهش می‌دهد و در نتیجه امکان استفاده از باند μWave را فراهم می‌کند. می‌توانیم نتیجه بگیریم که بسته به ترجیحات اپراتور، می‌توان وزن‌ها را به درستی تنظیم کرد تا به هدفی در رابطه با استفاده از منابع در سیستم‌های دو حالته mmWave/μWave دست یافت.

ما تأکید می‌کنیم که μWave BS یک پرتو را جاروب می‌کند، زیرا اولاً، می‌توان با استفاده از پرتو عریض (تلفات انتشار کم) به همه EUها خدمات ارائه داد و ثانیاً، بهترین نسبت منابع اشغال شده به منابع موجود، ρ، را تضمین می‌کند. ما همچنین توجه داریم

Machine Translated by Google

اهمیت پیش‌بینی‌کننده‌های یادگیری ماشین با توجه به مجموعه داده‌ها متفاوت است، اما پیش‌بینی‌کننده‌های تأثیرگذار شامل تعداد خوشه‌های مشتق‌شده از راه‌حل بهینه‌سازی و شعاع سلول هستند. •عملکرد راه‌حل و مقایسه پر کردن آب: هنگام مقایسه راه‌حل‌های طراحی‌شده برای سیستم‌های تک RAT، نسبت منابع اشغال‌شده به منابع موجود با افزایش شعاع سلول افزایش می‌یابد. تفاوت بین طرح‌های پر کردن آب با توان ناچیز است. • پیکربندی پرتو: برای اندازه‌های عملی سلول و تعداد ارزیابی‌شده EUهای چندپخشی، رویکرد بهینه معمولاً از بیش از 2-3پرتو استفاده نمی‌کند. •اندازه زیرگروه چندپخشی: با رسیدن شعاع سلول به تقریباً 250متر، عملاً همه طرح‌ها از حالت تک‌پخشی برای ارائه EUهای چندپخشی استفاده می‌کنند. برای شعاع‌های سلولی کوچک‌تر از یک پرتو واحد (چندپخشی) استفاده می‌شود.

(۲استقرار تک RAT: خلاصه، میزان استفاده از منابع و انتخاب RATرا در یک حالت دوگانه تجزیه و تحلیل می‌کند.

سیستم mmWave/μWave، با در نظر گرفتن عواملی مانند شعاع سلول، پیکربندی پرتو، اولویت RATو پارامترهای وزن. • تحلیل میزان استفاده از منابع: نسبت منابع اشغال شده به منابع موجود (ρ)با شعاع سلول افزایش می‌یابد تا زمانی که پوشش mmWaveدیگر در دسترس نباشد. آستانه ۳۰۰متر، گذار به یک فناوری انتقال متفاوت (یعنی μWave)را تعیین می‌کند.

•پیچیدگی محاسبات: درگیر کردن بیش از دو فناوری، زمان اجرا را افزایش می‌دهد. تکنیک‌های رهاسازی، مانند LBو RINS، نتایجی ارائه می‌دهند که با راه‌حل بهینه سراسری مطابقت نزدیکی دارند. الگوریتم‌های شبیه‌سازی تبرید نتایج کمی بدتری ارائه می‌دهند، اما مصالحه بهتری بین بهینگی و پیچیدگی ارائه می‌دهند. •پیکربندی پرتو: تعداد بهینه پرتوهای mmWaveبا افزایش شعاع سلول از ۱به ۳افزایش می‌یابد، در حالی که می‌توان تا یک پرتو μWaveرا در یک زمان استفاده کرد.

•طرح‌های اولویت RAT: طرح اولویت μWaveاز منابع mmWaveتا فاصله مشخصی استفاده می‌کند و سپس به μWaveتغییر می‌کند. اولویت μWaveمنابع mmWaveرا حذف می‌کند و در نتیجه فناوری μWaveرا به طور کامل بارگذاری می‌کند. انتخاب اولویت RATبه ترجیح اپراتور برای ایجاد تعادل در استفاده از منابع بین mmWaveو μWave بستگی دارد. •پارامتر وزن: افزایش پارامتر وزن در تابع بهینه‌سازی، اولویت را از mmWaveبه μWaveتغییر می‌دهد. انتخاب وزن‌ها به اپراتورها اجازه می‌دهد تا میزان استفاده از منابع را بر اساس ترجیحات خود تنظیم کنند.

VII. فناوری‌هایی برای بهبود چندپخشی عملکرد

علیرغم اینکه چندپخشی یک رویکرد واقعاً امیدوارکننده برای بهینه‌سازی استفاده از پهنای باند حتی در حضور برنامه‌های بسیار پرمصرف 5G/6Gاست، عملکرد چندپخشی همچنان به شدت تحت تأثیر منفی حضور EUهایی است که شرایط کانال ضعیفی را تجربه می‌کنند و همچنین افزایش تعداد EUهایی با همان تعداد آنتن‌های BS. به همین دلیل، مکانیسم‌های سطح 5G/6G، مانند RIS، لینک جانبی LTE/NR، ارتباطات هوا به زمین، لبه موبایل

جدول سیزدهم
تعداد بهینه تیرها در سیستم چند تیری به عنوان تابع
از شعاع سلول ، تابع بهینه‌سازی وزن‌دار : MMWAVE – μm = 3، μWAVE – μμ = 0

Number of beams	0 beams	1 beam	2 beams	3 beams
mmWave (radius, m)				
mmWave priority	260-400	100-200	220	240
μWave priority	100-400	-	-	-
Optimal, w=0.2	300-400	100-200	220	240-280
Optimal, w=0.5	240-400	100-200	220	-
Optimal, w=0.8	220-400	100-200	-	-
μWave (radius, m)				
mmWave priority	100-240	260-400	-	-
μWave priority	-	100-400	-	-
Optimal, w=0.2	100-280	300-400	-	-
Optimal, w=0.5	100-220	240-400	-	-
Optimal, w=0.8	100-200	220-400	-	-

نتایج عددی نشان می‌دهد که ویژگی‌های راه‌حل بهینه، مانند میزان استفاده از منابع و نوع فناوری، به شدت به تراکم استقرار BSدو حالته و اولویت RATبستگی دارد. علاوه بر این، عددشناسی مورد استفاده ممکن است از نظر کمی بر نتایج فوق تأثیر بگذارد، اما روندهای کیفی کلی بدون تغییر باقی می‌مانند. اولویت‌های انتخاب RATبررسی شده نشان می‌دهد که وقتی RAT μWaveبرای سرویس چندپخشی اولویت‌بندی می‌شود، منابع mmWaveبه هیچ وجه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. با این حال، با استفاده از وزن‌ها برای منابع mmWaveو μWave، اپراتور ممکن است با تطبیق نیازهای خود در یک استقرار خاص، به تعادل مطلوب دست یابد. در نهایت، توجه داریم که کارایی استفاده از منابع برای سرویس چندپخشی نیز ممکن است تحت تأثیر تعداد EUها و عددشناسی‌های مورد استفاده قرار گیرد.

ج. خلاصه نکات کلیدی

(۱استقرار تک RAT: این خلاصه، نتیجه‌گیری‌هایی در مورد پیچیدگی و عملکرد راه‌حل‌های بهینه‌سازی مختلف، تعداد بهینه پرتوها، اندازه زیرگروه چندپخشی و اهمیت پیش‌بینی‌کننده‌ها در الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای گروه‌بندی چندپخشی بهینه در مورد استقرار تک RATارائه می‌دهد: •پیچیدگی محاسبات: پیچیدگی راه‌حل‌های چندپخشی تک RATمتفاوت است، عمدتاً بسته به تعداد EUهای چندپخشی. راه‌حل بهینه برای تعداد زیاد EUهای چندپخشی غیرعملی می‌شود.

شبیه‌سازی تبرید به طور قابل توجهی زمان محاسبات را کاهش می‌دهد و در عین حال به طور نزدیکی به راه‌حل بهینه نزدیک می‌شود. •راه‌حل‌های یادگیری ماشین: الگوریتم‌های یادگیری ماشین ابزاری ارزشمند برای دستیابی به گروه‌بندی چندپخشی بهینه با تعداد زیادی از EUها هستند. زمان اجرا به اندازه مجموعه داده‌های آزمایشی بستگی دارد و تحت تأثیر تعداد EUها قرار نمی‌گیرد.

Machine Translated by Google

در حالی که نشان داده شده است که ارتباطات sidelinkمی‌توانند انتقال نقطه به چند نقطه را
از طریق ... افزایش دهند.
انتخاب رله کارآمد، اتصالات مستقیم D2Dموجود است
حتی چالش‌های امنیتی بزرگتری از زمان تبادل داده‌ها رخ می‌دهد
مستقیماً بین گره‌های نزدیک به هم. در [127]، مکانیزمی برای ارائه مؤثر چندپخشی/پخش قابل اعتماد
ترافیک در شبکه‌های 5Gگرا برای رسیدگی به آن معرفی شده است.

این موضوع. در همین راستا، پروتکلی برای
مدیریت سرویس‌های چندپخشی با تأکید ویژه بر
امنیت در یک محیط اینترنت اشیا مبتنی بر 5Gپیشنهاد شده است.
در [128]. علاوه بر این، از مکانیزم‌های امنیت سایبری و اعتماد اجتماعی برای تضمین امنیت D2D
استفاده می‌شود.
ارتباطات.

روابط اجتماعی نیز برای کمک به D2Dمورد سوء استفاده قرار می‌گیرند.
تکنیک ذخیره‌سازی (D2DC)، که به عنوان یک روش قابل اجرا ظهور کرده است
وسیله‌ای برای نزدیک‌تر کردن خدمات به مصرف‌کنندگان آن. به منظور
برای بهینه‌سازی ظرفیت سیستم، در [129]، یک طیف آگاه از اجتماع
روش انتخاب اشتراک‌گذاری و ذخیره‌سازی از کاربران تلفن همراه استفاده می‌کند.
منابع (یعنی منابع downlinkبرای اشتراک‌گذاری و منابع ذخیره‌سازی کش برای پخش چندگانه)
برای انتقال ویدیوها در D2D 5G
شبکه‌ها. ما تأکید می‌کنیم که روش‌های ارائه شده در [127]،
[128]، [129] در شبکه‌های 5Gبرای کاربردهای سنتی به کار گرفته می‌شوند.
چندپخشی شبیه . LTEبا این وجود، آنها را محدود نمی‌کند
سازگاری با چندپخشی جهت‌دار با ارائه داده‌های ارزشمند
به مشکلات امنیتی و ظرفیتی می‌پردازد.

ب. چندپخشی با کمک RIS

SIRها یک فناوری نوظهور هستند که می‌توانند محیط انتشار را اصلاح یا بازآرایی کنند تا عملکرد
را بهبود بخشند.
ارتباطات بی‌سیم [203]. چندین گروه تحقیقاتی
اخیراً چندپخشی با کمک RISرا برای بهبود راندمان تحویل محتوا، به ویژه در سیستم‌های
mmWave، بررسی کرده‌اند.
معماری چندپخشی با کمک RISبرای چندپخشی تک گروهی و چند گروهی به ترتیب در [204] و
[205] ارائه شده است، در حالی که در [206]، وضعیت کانال ضعیف‌ترین

UEبا تنظیم شیفت‌های فاز RISبهبود می‌یابد. در [207]،
شبیه‌سازی‌ها در سطح سیستم نشان می‌دهند که میدان نزدیک
منطقه را نمی‌توان در شرایط بیرونی نادیده گرفت.
علاوه بر این، در [130]، یک مطالعه جامع از
مسائل بهینه‌سازی، شامل کنترل توان، کیفیت خدمات (QoS)،
و انصاف در شبکه‌های بی‌سیم mmWaveتقویت‌شده با
RISsانجام می‌شود. همچنین حاوی فرمولاسیون
مسائل بهینه‌سازی برای کنترل توان تحت QoSو
QoSمنصفانه حداکثر-حداقل تحت سه الگوی ترافیکی BSبه UE
(تک‌پخشی، پخش همگانی و چندپخشی) و تعمیم آن به سناریوهای چند آنتنه و چند RIS. به طور
مشابه، مطالعه در [131]
مشکلات تنظیم توان downlinkرا در شرایط زیر برجسته می‌کند
محدودیت‌های QoSدر حضور SIRها برای تک‌پخشی، چندپخشی،
و سناریوهای پخش.
یک مطالعه تحلیلی از بهره‌وری انرژی سیستم ارتباطی چندپخشی با کمک RISو فرمول‌بندی
مسئله حداکثرسازی بهره‌وری انرژی ارائه شده است.

ارائه شده در [132]. به طور مشابه، یک مدل نظری برای ارتباطات چندپخشی با کمک RISبرای شبکه‌های بی‌سیم
6Gآینده
سیستم‌هایی در [138] با استفاده از صف‌بندی M/D/cپیشنهاد شده‌اند.
مدل، که در آن تعداد سرورها نشان دهنده تعداد پرتوهای همزمان در NR BSاست. علاوه بر این،
در [133]،

محاسبات (MEC) و یادگیری ماشین، در میان سایر فناوری‌ها و
راه‌حل‌ها، می‌توانند برای بهبود عملکرد چندپخشی مورد استفاده قرار گیرند.
در این بخش، پیشرفت‌های اخیر در این زمینه‌ها را بررسی می‌کنیم.
خلاصه مباحث و تکنیک‌های پیشنهادی ارائه شده است
در جدول چهاردهم.

الف. چندپخشی با کمک لینک جانبی

فناوری Sidelinkکه توسعه‌ای از LTEاست
سیستمی که امکان ارتباطات D2Dرا بدون استفاده از BSفراهم می‌کند
به عنوان یک نقطه میانی، می‌تواند برای پل زدن روی ... مورد استفاده قرار گیرد.
مشکلات چندپخشی [199]، [198]. به عنوان مثال، در چنین
سیستم، پیوندهای جانبی ممکن است به EUهایی که تجربه می‌کنند خدمات ارائه دهند
شرایط انتشار تخریب‌شده (یعنی، چندپخشی BS)
همانطور که در [200] بررسی شده است، لینک به همه EUها سرویس نمی‌دهد . به طور خاص،
نویسندگان با استفاده از یک سیستم بهبود یافته با لینک جانبی، خدمات واقعیت مجازی 360
درجه با کیفیت چندگانه ارائه می‌دهند.
هم چندپخشی و هم پیوندهای جانبی. اگرچه کارایی
رویکرد پیشنهادی بر روی سیستم‌های مبتنی بر LTEاعتبارسنجی شده است،
راهکار طراحی‌شده همچنین می‌تواند برای شبکه‌های مبتنی بر mmWaveبا در
نظر گرفتن گروه‌های چندپخشی خاص مورد بهره‌برداری قرار گیرد.
تشکیل و انتقال‌های جهت‌دار. به طور مشابه، در [154]،
انتقال‌های سایدلینک برای مقابله با انسداد و/یا ضعف سیگنال استفاده می‌شوند.
کانال‌های ارتباطی mmWave. یک سیستم پیچیده‌تر
در [201] ارائه شده است، که در آن یک رویکرد یادگیری تقویتی
برای هماهنگ‌سازی ارائه خدمات چندپخشی توسط موارد زیر پیشنهاد شده است:
با استفاده مشترک از گزینه‌های اتصال پخش، تک‌پخشی و D2D. نویسندگان نشان می‌دهند که
سیستم پیشنهادی
امکان بهبود راندمان طیفی در لبه سلول را فراهم می‌کند.
در [122]، نویسندگان به مسئله استفاده از انتقال همزمان (ارتباطات چندگامی D2Dو ارتباطات
مرسوم BS-to-UE) برای تأمین خدمات چندپخشی می‌پردازند.

با هدف بهبود بهره‌وری توان. آنها طرح پیشنهادی را با عملیات چندپخشی مقایسه می‌کنند.

سیستم‌های mmWaveاز طریق سرویس unicastپیاده‌سازی شده‌اند. بیشتر
اخیراً، در [123]، مسئله زمان‌بندی چندپخشی بهینه به صورت زیر است:
با استفاده از انتقال‌های D2Dو گروه‌های چندپخشی، برطرف می‌شود.
پارتیشن‌بندی و انتخاب پرتو با بهره‌برداری از یک ساختار کتاب کد چند سطحی. علاوه بر این، در
[124]، نشان داده شده است که
ارتباطات D2Dکارایی چندپخشی را افزایش می‌دهد، و
نویسندگان، یک روش خوشه‌بندی کاربر و برنامه‌ریزی مسیر چندپخشی را پیشنهاد می‌کنند.
الگوریتمی با پیچیدگی مکعبی روی مجموعه UEهای چندپخشی.
مسئله انتخاب رله در چندپخشی به کمک D2D
اخیراً مورد توجه چندین مطالعه قرار گرفته است. برای مثال،
در [125]، روشی برای انتخاب رله که مصرف انرژی را بهبود می‌بخشد.
تخصیص بهینه توان و بهره‌وری برای ارتباطات مشارکتی D2Dبا کد شبکه چند منبعی برای LTE
پیشنهاد شده است.
سیستم‌هایی که به راحتی برای شبکه‌های mmWaveقابل تطبیق هستند. به طور مشابه،
در [126]، یک الگوریتم ترکیبی چندگانه مبتنی بر مکان با پیچیدگی کم
طرح دسترسی و الگوریتم انتخاب رله ارائه شده است
برای ارتباطات V2Xزمانی که هیچ CSIلینک جانبی در دسترس نیست. رویکرد پیشنهادی مناسب‌ترین
را تعیین می‌کند
طرح‌های دسترسی چندگانه و رله‌ی مرتبط. علاوه بر این،
در [202]، استفاده از لینک‌های D2Dکه CSIهای اضافی را حمل می‌کنند، ...
پیشنهادی برای تعیین تخمین‌های شبه‌برد بین
EUهایی که ممکن است برای مثال، تخمین موقعیت و
انتخاب رله.

Machine Translated by Google

جدول چهاردهم
فناوری‌هایی برای بهبود عملکرد چندپخشی

Enhancement type	Reference	Problem	Proposed technique/approach
Sidelink assistance	[122]	Energy reduction	Heuristic algorithms for multicast data delivery
	[123]	Optimal multicast scheduling	Group partition and beam selection algorithm
	[124]	Optimal user partitioning	Multicast scheduling algorithm
	[125]	Power consumption/interference minimization	Relay selection and power allocation algorithm
	[126]	Latency, reliability, data rate, and spectral efficiency	Location-based hybrid multiple access scheme
	[127]	Secure data delivery	Approach for assessment of relay trustworthiness
	[128]	Sidelink transmission security	Reliable management of multicast services in a 5G IoT
	[129]	System capacity maximization	Spectrum sharing and caching selection strategy
RIS assistance	[130]	Power control, QoS, fairness	RIS optimization algorithm
	[131]	Downlink power control	Passive beamforming scheme
	[132]	Energy efficiency maximization	RIS-based resource allocation methods
	[133]	Choice of the optimal reflection coefficients	Analytical method for RIS configuration
	[134]	Secure RIS beamforming	Analytical optimization via semidefinite relaxation
	[135]	Maximization of RIS secrecy rate	Analytical assessment via stochastic geometry
	[136]	Channel capacity maximization	Optimization via gradient descent method
	[137]	Simultaneously transmitting and reflecting RISs	Overview of state-of-the-art algorithms
	[138]	RIS-assisted multicasting modeling	Analytical model via queuing theory
NTN assistance	[139]	Radio resource sharing	Resource allocation cooperative T-NTN algorithm
	[140]	Simultaneous usage of NTN/terrestrial systems	Cooperative multicast/unicast transmission scheme
	[141]	Spectral efficiency maximization	Radio resource management scheme
	[142]	Capacity and spectral efficiency maximization	Dynamic beam area formation algorithm
	[143]–[146]	Exhaustive coverage of NTN usage in 5G/6G	Survey covering NTN-aided multicasting
MEC assistance	[147]	Content distribution, energy consumption efficiency	Offloading and resource allocation algorithm
	[148]	Resource allocation for MEC	Stochastic optimization via real-time algorithm
	[149]	Secure data delivery	Certificate-less security scheme
	[150]	Resource minimization with privacy	Convex optimization algorithm
	[151]	Resource allocation	Real-time throughput maximization algorithm
	[152]	NFV-enabled edge multicast	Multicast admission algorithms
	[153]	Delivery latency minimization	Caching-assisted algorithms
AI/ML usage	[154]	Spectrum crunch problem	Heuristic algorithms via self-organizing maps
	[155]	Clustering and resource allocation problem	Q-learning, Lagrange decomposition algorithms
	[156]	Performance of sidelink and BS multicast	Random Forest and Deep Neural Network algorithms
	[157]	Beamforming and beam selection	Neural network-based approach
	[158]	Single-group multicast beamforming	ML-enhanced determinantal point process
Coded caching	[159]	Robust transmission to in-and-out wireless network quality, delay and power minimization	Stochastic optimization problem via MDP; deep double Q-learning
	[160]	Minimization of transmission bandwidth	Scalable framework for wireless distributed computing
	[161]	Minimization of satellite communication load	Coded multicasting framework
	[162]	Spatial scalability	Separation between caching and PHY transmission
	[163]	Worst-user channel limitation of multicasting	Aggregated coded-caching scheme
	[164]	QoS requirements of XR (latency)	Global caching and spatial multiplexing delivery
Cell-free MIMO	[165]	Throughput improvement	Analytical performance analysis
	[166], [167]	Secure transmission	Closed-form lower bound on the ergodic secrecy rate
	[168]	Optimization of beamforming strategies	Distributed precoding design
	[169]	Performance imrovement	closed-form solution for achievable spectral efficiency
	[170]	Spectral efficiency improvement	Joint unicast and multigroup multicast transmission
	[171]–[173]	Enabling FL over wireless networks	FL groups with different learning purposes
Cloud/fog RAN	[174]	Resource allocation problem	Optimization framework
	[175]	Robust beamforming for multigroup multicasting	Convex approximation
	[176]	QoS improvement	Nested coalition formation game-based algorithm
	[177]	Content caching	Non-convex problem
	[178]	Content-centric transmission design	Mixed-integer nonlinear programming problem
Network coding	[179]	Throughput improvement	Bulk-service queueing system
	[180]	Power cost, delivery delay reduction	Optimized random network coding strategies
	[181]	Reliable multicasting	Lower bound on probability of successful delivery
	[182]	Throughput maximization	Optimization problem for delay-tolerant applications
	[183]	Distortion minimization	End-to-end mean square error distortion optimization
	[184]	Throughput maximization	Theoretical results on the bandwidth efficiency
	[185]	Throughput improvement	Architecture for wireless mesh networks
	[186]	Efficient network capacity usage	Network coding routing
	[187]	Multicast capacity improvement	Multicast rate optimization probel
	[188]	Information security, communication, and system robustness bottlenecks	Federated learning
	[189]	Reduction of number of transmitted packets	Network coding datagram protocol
NOMA usage	[190]	Spectral efficiency improvement	Beamforming design and power allocation
	[191]	Cooperative unicast–multicast, reliability	Outage probability assessment
	[192], [193]	Unicast rate maximization problem	Beamformer-based NOMA-aided framework
	[194]	Rapidly fluctuating vehicular wireless channels	Optimization problem
	[195]	NOMA networks with multicast-unicast	Power allocation schemes
	[196]	Security of cooperative multicast-unicast system	Transmission scheme and power allocation method
	[197]	Hybrid unicast/multicast MIMO precoding	Opportunistic massive MIMO-NOMA system

[!t]

استراتژی‌ها. به عنوان بخشی از تحلیل، سناریوهای پخش و پخش چندگانه مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

در [134]، کاربرد RIS برای افزایش امنیت لایه فیزیکی سیستم چندکاربره چندورودی تکخروجی

یک تکنیک پیکربندی مجدد کارآمد که کنترل را فراهم می‌کند چندین پرتو پیشنهاد شده است. این استراتژی از یک روش تحلیلی استفاده می‌کند. روشی برای طراحی سطح برای الگوهای تابش RIS چند پرتوی، برخلاف بهینه‌سازی عددی زمان‌بر

Machine Translated by Google

اخیراً، سیستم پاسخ‌گو چندورودی چندخروجی (MISO) که در آن یک BS یک سیگنال مشترک ارسال می‌کند.
تقریباً چندپخشی چندین گیرنده‌های روی 5G NTN آورده. در [143]،
از روی رادیو عبور می‌کند، NTN با تعداد، بررسی شده است. به طور مشابه، در [135]،
تأکید بر تقسیم بار NTN، RIS که سیستم‌های GEO و LEO را متعکس می‌کند، افزایش می‌یابد تا تداخل در نقطه مورد نظر سازنده باشد.
ارائه شده است. چندپخشی به عنوان عامل اصلی ارائه شده است
گیرنده‌های پخش‌کننده برای موبایل [136]. در حالت چندپخشی MIMO با کمک RIS سیستم eMBB [136]
سرویس در 5G NTN. در [144]، تکامل NTNها و
راه‌حل‌های برای تداخل بردار [208]. در 6G، سرویس‌های 5G با RIS مورد نظر قرار گرفته ارائه شده است.
اندازه‌گیری‌های برونی و درونی، تأثیر کانال، دسته‌بندی باندهای فرکانسی، سناریوها، پیکربندی‌های سیستم، RIS ارائه می‌شود.
پوشش جهانی برای دسترسی به سرویس eMBB. در [145]، مسائل
طرح‌های برقراری ارتباط کانال، نشار پویا
محیط‌های پیچیده RIS، راه‌های انتقال، مکان‌یابی و حل پیشنهاد می‌دهند.
و RIS های بازتابنده (STAR) در [137]، موضوع مطالعه قرار گرفته‌اند. NTN ارائه‌شده یک سیستم ارتباطی downlink با کمک STAR-RIS برای هر دو حالت تک پخشی و ... ارائه شده است.
مقیاس‌پذیری محتوا و یکپارچگی را فراهم کند.
و سیاره‌های چندپخش‌شده مورد مطالعه قرار می‌گیرند، که در آن یک BS چند آنتنه
اطلاعات را روی یک ترنسپوندر LEO در هر طرف، منتقل می‌کند.
STAR-RIS نتایج ثابت می‌کند که مزیت عملکرد.
با افزایش تعداد، نسبت SIRSTAR- به SIR های سنتی افزایش می‌یابد.
از عناصر RIS. د. بهبودهای لبه موبایل برای چندپخشی
ادغام MEC با پخش چندگانه اخیراً مورد توجه قرار گرفته است.
به یک روند طبیعی برای بهبود بهره‌وری استفاده از پهنای باند در شبکه‌های دسترسی رادیویی و
بک‌هال تبدیل شده است. MEC
ممکن است وابستگی چندپخشی به هسته را کاهش دهد
شبکه و بهینه‌سازی بیشتر پخش ویدیوی چندپخشی از طریق
سرویس MBMS.
در [147]، مزایای چندپخشی برای بهبود
کارایی توزیع محتوا در عین بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد تأکید قرار گرفته است. برای تسهیل
تخلیه بار سرویس‌های دارای محدودیت تأخیر، نویسندگان یک روش چندپخشی آگاه از چندپخشی
را پیشنهاد کردند.
طرح ذخیره‌سازی مشارکتی. مشکل ذخیره‌سازی در ترکیب با محاسبات در سناریوهای چندپخشی،
پیچیده‌تر است.
در [148] بررسی شده است.
برخی مطالعات بر نگرانی‌های امنیتی ناشی از استفاده از
MEC برای چندپخشی. به عنوان مثال، در [149]، یک طرح انتقال امن downlink که تأخیر تحویل
را به حداقل می‌رساند، ارائه شده است.
پیشنهاد شده است. علاوه بر این، در [150]، سیستمی برای رمزگذاری چندپخشی
پیام‌های روی لبه پیشنهاد و ارزیابی می‌شوند. اصلی
مزیت طرح پیشنهادی کاهش هزینه‌های ارتباطی است.

ترکیب MEC و توابع شبکه
مجازی‌سازی (NFV) برای مقابله با مشکل گلوگاه پهنای باند بی‌سیم در نظر گرفته شده است. در
[151]، چندپخشی با قابلیت NFV
بررسی شده است. به طور خاص، نویسندگان نتیجه می‌گیرند که
بهینه‌سازی CEM ها برای تخصیص منابع شبکه مشترک
و تخصیص وظایف محاسباتی چالش‌های قابل توجهی را ارائه می‌دهد و نیاز به مطالعات بیشتر
در این زمینه دارد. در [152]،
مشکل مشابهی مربوط به تأمین سرویس برای برنامه‌های کاربردی با محدودیت تأخیر از طریق
عملیات چندپخشی هدایت‌شده توسط NFV در یک MEC بررسی شده است. این راه‌حل هر دو را
ترکیب می‌کند
الگوریتم‌های دقیق و اکتشافات مرتبط. در نهایت، در [153]،
نویسندگان بر کمینه‌سازی تأخیر برای چندپخشی تمرکز دارند
خدمات در سیستم‌های MEC با استفاده از زیرساخت ذخیره‌سازی.

ه. چندپخشی به کمک هوش مصنوعی/یادگیری ماشین

جامعه تحقیقاتی اخیراً در حال بررسی این موضوع بوده است
امکان استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای استفاده کارآمد
منابع رادیویی برای پخش چندرسانه‌ای.

ج. چندپخشی روی شبکه‌های غیرزمینی

اخیراً، شبکه‌های غیرزمینی (NTN) به دلیل قابلیت گسترش شبکه، توجه زیادی را به خود جلب
کرده‌اند.
پوشش و مکمل مؤثر شبکه‌های زمینی.
علاوه بر این، در دسترس بودن اتصال پشتیبان NTN
همچنین ممکن است از طریق اتصال چندگانه بین RAT، قابلیت اطمینان
سرویس را بهبود بخشد.
در [139]، اصول تکنیک گروه‌بندی چندپخشی
در یک مدیریت منابع رادیویی مشارکتی پیاده‌سازی شده است
طرح (RRM) بررسی شده است. این طرح تشخیص می‌دهد که کدام
EUها باید به سلول‌های BS یا NTN زمینی متصل شوند تا
کیفیت خدمات را بهبود بخشیده و منابع را به طور عادلانه تخصیص دهید.
نتایج شبیه‌سازی افزایش قابل توجهی در عملکرد کلی شبکه یکپارچه نشان می‌دهد. در [140]،
ترکیبی
شبکه‌های دو لبه ماهواره‌ای-زمینی بررسی می‌شوند، و
یک طرح انتقال، که چندپخشی و تک‌پخشی را ترکیب می‌کند
خدمات، پیشنهاد شده است. تجزیه و تحلیل پیشنهاد انجام می‌شود
با استفاده از پلتفرم OPNET و نشان می‌دهد که همکاری چندپخشی و تک‌پخشی می‌تواند بار [داده‌های] ...
را بیشتر کاهش دهد.
لینک‌های بک‌هال زمینی.
در [141]، راهکاری برای استفاده کارآمد از طیف رادیویی در سیستم‌های NTN چند پرتوی
توسعه داده شده است.
از استفاده مجدد فرکانس چهار رنگ سنتی، پیشنهاد شده است
طرح مدیریت منابع رادیویی به نام تک فرکانس
انتقال چند پرتو (SFMBT) منابع رادیویی را تقسیم می‌کند
در میان رشته‌های تحصیلی (MBA) MBSFN که با هم همپوشانی دارند و
از تداخل بین پرتوها جلوگیری می‌کند. طرح‌ها با هم مقایسه می‌شوند
از نظر نرخ داده تجمیعی (ADR)، توان عملیاتی UE،
و راندمان طیفی سیستم. ایده گروه‌بندی مجاور
پرتوهایی که به یک MBA واحد تبدیل می‌شوند، در [142] بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است ، که در آن
الگوریتم تشکیل ناحیه پرتو پویای (D-MBAF) MBSFN پیشنهاد شده است. D-MBAF از
زیرگروه‌بندی چندپخشی بهره می‌برد.
و همزمان به زیرمجموعه‌هایی از کاربران در داده‌های مختلف خدمات ارائه می‌دهد.
نرخ‌ها. اگرچه رویکردهای ذکر شده در بالا با 5G کار می‌کنند
سیستم‌های NR که در آنها از چندپخشی سنتی استفاده می‌شود، این کار را نمی‌کنند
محدود کردن کاربرد چندپخشی mmWave بر روی شبکه‌های یکپارچه
شبکه‌های زمینی/غیرزمینی

Machine Translated by Google

مسئله‌های کارگروه چندپخشی در پرتابطاتی سلاگاه (3GPP) به طور گسترده در مدل‌های متفاوتی به مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است.
اطلاعات بهینگی را محقق می‌سازد.
علاوه بر این، یکی از طریق از یادگیری فاصله نکاگذاری شده استفاده می‌کند [154] چندپخشی استفاده می‌کند
و جایگاه‌های پارامتر نگر یک کارچه خوشه‌ای شوند نویسندگان [155] بر بهبود توان تمرکز دارند
کارایی، به طور متفاوت، در شبکه‌های [156] تمرکز بر کاهش D2D [عوامل مؤثر بر کارایی] است.
یکترین تکاتوگاه کلیدی در زیادگیری از یادگیری شناختی سیمی انجام تقسیم پویای کاربران D2D به گروه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالی که
گلوگاه به طور قابل توجهی مزایای استفاده از حافظه پنهان را مختل می‌کند.
الگوریتمی که روی رویکرد Q-learning دالبل خودمدیریت‌های اعتبار را به تومار رساندن ... استفاده می‌شود.
به زمین بلاژوی کاناهای رگرسیون کار علاوه [156] پیشنهاد می‌کند تکنیک‌های ذخیره‌سازی
یک طرح توزیع محتوا حالت ترکیب به طور موثر
چند آنتن می‌توانند D2D-enabled
رفع کمبودهای خوشه‌ای که در آن‌ها کاربرانی که باید سرویس‌دهی شوند، قرار دارند
توسط [160] وسیله ML تعیین می‌شوند.
تحقیقات در زمینه چندپخشی با کمک هوش مصنوعی/یادگیری ماشین فراتر از ... است.
خوشه‌بندی UE. در [157]، نویسندگان قصد دارند حداکثر
حداقل SNR دریافتی در EUها با فعال کردن انتخابی زیرمجموعه‌ای از آنتن‌های فرستنده موجود. برای این منظور،
سیستم‌های MIMO عظیم بدون سلول با سیستم‌های سنتی متفاوت هستند
آنها کانال را نقشه‌برداری می‌کند
تمرکز بر بهینه‌سازی عددی سنتی
منبع زمان-فرکانس. هیچ سلول مجزایی در این مورد وجود ندارد
تکنیک‌ها، در [158] SNR
برای پرداختن به این موضوع
برای یادگیری ماشین برای تشخیص پیشنهاد می‌کنند.
تحت تأثیر تعداد متغیر با زمان قرار نمی‌گیرد.
قابلیت انتقال به چندین گروه از مقاصد.
گروهی بدون سلول از نظر توان عملیاتی
تحلیل قرار گرفته است.
یافته‌ها نشان می‌دهد که در سناریوهایی با تعداد کمی از
گروه‌های کاربری، محدودیت توان کوتاه‌مدت عملکرد بهتری دارد
محدودیت توان بلندمدت که معمولاً در ادبیات موجود به کار می‌رود. علاوه بر این، وقتی فقط
تعداد کمی کاربر وجود دارد
گروه‌ها، استفاده از خلبان‌های downlink در طول انتقال، عملکرد سیستم را به طور قابل توجهی
افزایش می‌دهد. برای بهبود بیشتر
عملکرد، بررسی مزایای آن ضروری است
ترکیب MIMO عظیم بدون سلول، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال/دیجیتال به آنالوگ با وضوح
پایین و چندپخشی چندگروهی
فناوری‌ها، همانطور که در [169] تأکید شده است.
علاوه بر این، شبکه‌های MIMO عظیم بدون سلول چندپخشی
برای پوشش موضوعات تحقیقاتی مختلف مورد مطالعه قرار می‌گیرند. به عنوان مثال،
در [166]، [167]، این آثار بر مطالعه انتقال امن در یک شبکه MIMO عظیم بدون سلول با
استفاده از ... تمرکز دارند.
پخش چندگانه چندگروهی در حضور یک حمله جعل فعال. سپس، پیشنهاد در [168] شامل
طراحی
تکنیک‌های پیش‌کدگذاری چندپخشی چندگروهی که به‌طور خاص برای سیستم‌های MIMO
عظیم بدون سلول طراحی شده‌اند. به‌طور متفاوت،
رویکرد موجود در [170]، انتقال ترکیبی تک‌پخشی و چندگروهی چندپخشی را در شبکه‌های
توزیع‌شده‌ی انبوه بدون سلول بررسی می‌کند.
سیستم‌های MIMO. با مقایسه راندمان طیفی انتقال تک‌پخشی و چندپخشی تحت پارامترهای
یکسان،
یافته‌ها نشان می‌دهند که چندپخشی با استفاده از شکاف‌های زمانی همدوسی کمتر، به راندمان
طیفی بالاتری دست می‌یابد.
تسهیل یادگیری فدرال (FL) پایدار و سریع بر روی شبکه‌های بی‌سیم، در [171]، [172]، [173]
کارهایی انجام شده که پیشنهاد می‌کنند از
MIMO انبوه بدون سلول به عنوان یک فناوری کمکی برای FL
فرآیند.
در زمینه کاربردهای 6G، عملیات شبکه بدون سلول پتانسیل فوق‌العاده‌ای را نشان می‌دهد
[21]. آنها ارتباط یکپارچه‌ای را ارائه می‌دهند.
پشتیبانی حرکتی بدون نیاز به جابجایی مکرر
که به ویژه برای سیستم‌های فرکانس تراهرتز مفید است.

و. ذخیره‌سازی کد شده، تحویل داده چندپخشی

تکنیک‌های ذخیره‌سازی کد شده شامل توزیع بیت‌های محتوا بین چندین حافظه پنهان در
سراسر شبکه هستند، نه
فراتر از تکرار ساده‌ی اطلاعات رایج در نزدیکی کاربران نهایی.
این رویکرد شامل دو مرحله است: جایگذاری و تحویل. در طول مرحله جایگذاری، فایل‌های
محتوا به بخش‌های زیر تقسیم می‌شوند:
قطعات کوچکتر و در حافظه‌های نهان مختلف ذخیره می‌شوند. این
این مرحله معمولاً زمانی انجام می‌شود که ترافیک شبکه کم است یا
زمانی که کاربران در نزدیکی نقطه ارسال-دریافت هستند.
در مرحله تحویل، پس از اینکه کاربران درخواست‌های خود را اعلام کردند، چندین
کلمات کد تولید شده و به گروه‌های خاص ارسال می‌شوند.
از کاربران. با استفاده از محتوای حافظه پنهان خود، کاربران هدف می‌توانند
حذف عبارات ناخواسته از سیگنال دریافتی، فعال کردن
تا بتوانند داده‌های درخواستی خود را بدون دخالت به دست آورند.
استفاده از ذخیره‌سازی کدگذاری‌شده منجر به کاهش می‌شود.
به طور متوسط بار ذخیره‌سازی را به نصف کاهش می‌دهد [161]. علاوه بر این،
فرصت‌های کدگذاری چندپخشی می‌تواند به حداقل رساندن بار مورد نیاز کمک کند.
پهنای باند انتقال [160]. در میان ذخیره‌سازی کدگذاری‌شده‌ی مختلف
تکنیک‌هایی که آرایه تحویل پیشرونده (PDA) به دست آورده است
توجه قابل توجه PDA [159] راهنمایی در مورد آن ارائه می‌دهد
محتوایی که کاربران باید ذخیره کنند و آنچه باید از آنجا ارسال شود
سرور را در یک آرایه واحد قرار دهید. با ترکیب ذخیره‌سازی کدگذاری‌شده
و PDA، ارتباطات با نرخ بالا و تأخیر کم می‌توانند ...
به دست آورد، در نتیجه کیفیت تجربه کاربران را، به ویژه در برنامه‌های واقعیت افزوده (XR) چند
کاربره، افزایش می‌دهد. با این حال، طراحی
PDA شامل فرآیندهای محاسباتی فشرده است.
کار در [162] مفهوم ذخیره‌سازی کدگذاری‌شده را بررسی می‌کند.
زمینه کانال‌های آماری متنوع. طرح پیشنهادی
بر اساس اصول ذخیره‌سازی کدگذاری‌شده که برای شبکه‌های گلوگاهی تکی طراحی
شده است، بنا شده است. این روش به طور مؤثر، داده‌های فردی را تغییر می‌دهد.

Machine Translated by Google

به طور قابل اعتماد با مقاصد ارتباط برقرار کنید. به طور مشابه، کار [183]
یک منبع و یک رله واحد را برای انتقال داده در نظر می‌گیرد.
به چندین مقصد. تکنیک‌های کدگذاری شبکه دودویی برای
شبکه‌های بی‌سیم تک‌گامه در [184]پیشنهاد شده‌اند، که در آن
گره مبدا، بسته‌های کدگذاری شبکه را به گره مورد نظر پخش می‌کند.
مقاصد. در ،[185]یک کدگذاری شبکه بی‌سیم بین جلساتی
طرحی که شامل گوش دادن فرصت‌طلبانه برای به حداکثر رساندن
استخراج بسته توسط گیرنده‌های مورد نظر بر اساس دریافت
گزارش‌های پخش‌شده توسط گره‌های شنود پیاده‌سازی شده است.
به طور متفاوت، در ،[186]طرحی برای انتقال کارآمد بسته در شبکه‌های بی‌سیم چندگامی
برای بهینه‌سازی پیشنهاد شده است.
انتقال بسته‌ها از گره مبدأ به مجموعه مقصد با استفاده از یک مجموعه فرستنده انتخاب‌شده.
این امر باعث کاهش
تعداد انتقال‌ها را افزایش داده و استفاده از ظرفیت شبکه را بهبود می‌بخشد. در ،[187]از
کدگذاری خطی شبکه برای بهبود ... استفاده شده است.
ظرفیت چندپخشی شبکه‌های پویای ماهواره‌ای. یکی دیگر
رویکرد جالبی در [188]ارائه شده است، که در آن کدگذاری شبکه برای سناریوی FLبه منظور
مدیریت اطلاعات اعمال می‌شود.
امنیت، تنگناهای ارتباطی و پایداری سیستم.
در ،[189]پروتکل دیتاگرام کدگذاری شبکه برای ... طراحی شده است.
سیستم‌های تحویل محتوا که از انتقال داده چندپخشی از منابع متعدد برای کاهش تعداد داده‌های
منتقل‌شده استفاده می‌کنند.
بسته‌ها

J. NOMA از ترکیب Unicast و Multicast پشتیبانی می‌کند

در سال‌های اخیر، به دلیل پتانسیل بالای دسترسی چندگانه غیر متعامد ،(NOMA)علاقه
روزافزونی به آن وجود داشته است.
برای برآورده کردن الزامات فناوری 5G. با بهره‌گیری از
با مالتی‌پلکس کردن دامنه قدرت، NOMA امکان ارائه همزمان خدمات به چندین کاربر را در یک
شبکه فراهم می‌کند.
حوزه زمان/فرکانس/کد، با در نظر گرفتن تغییرات در
شرایط کانال بین کاربران مختلف .[209]در ادبیات، NOMA از همزیستی چندپخشی-تک‌پخشی
پشتیبانی می‌کند.
حالت‌های انتقال ترافیک و ترکیبی.
در مورد ترافیک چندپخشی-تک‌پخشی همزمان، در ،[190]
رویکردی که شامل تکنیک‌های شکل‌دهی پرتو و تخصیص توان است، برای افزایش عملکرد
پیشنهاد شده است.
انتقال‌های تک‌پخشی ضمن تضمین دریافت قابل اعتماد برای
ارتباطات چندپخشی هنگام اعمال NOMA به یک شبکه چندکاربره که هم ترافیک چندپخشی و هم ترافیک
تک‌پخشی را مدیریت می‌کند.

با این وجود، این رویکرد چندین محدودیت دارد. اولاً،
نمی‌تواند به طور کامل از نظم‌های تنوع ذاتی ارائه شده توسط [سیستم] بهره ببرد.
مفهوم NOMA برای افزایش قابلیت اطمینان. دوم، این استراتژی هنگام سرویس‌دهی به چندین
کاربر تک‌پخشی (بیشتر) بی‌اثر است.
بیش از یک) و کاربران چندپخشی به طور همزمان. در یک روش متفاوت
در کار ،[191]از منابع مشترک زمانی/مکانی/فرکانسی استفاده می‌شود.
توسط گروهی از کاربران یونی‌کَست (نیاز به ترافیک یونی‌کَست منحصر به فرد)
و کاربران چندپخشی (که به ترافیک یکسانی نیاز دارند). یک فرآیند دو مرحله‌ای
استراتژی همکاری به منظور افزایش قابلیت اطمینان پیشنهاد شده است.
همچنین مطالعاتی وجود دارد که بر روی ترکیب چندپخشی-تک‌پخشی تمرکز دارند.
انتقال‌ها، جایی که محتوای یکسان باید از طریق حالت‌های مختلف تحویل داده شود. به عنوان
مثال، آثار [193]، [192]
مفهوم NOMA را برای ارتباطات مشترک راداری و چندپخشی-تک‌پخشی بررسی کنید، که در آن
BS ارتباطات راداری دوکاره MIMO از منابع طیف یکسانی استفاده می‌کند.

به طور مشابه، در ،[194]یک طرح ترکیبی چندپخشی/تک‌پخشی در یک سناریوی
خودرویی با شبکه‌های بی‌سیم به سرعت در حال تغییر بررسی شده است.

این عملیات، سطوح QoS مورد نیاز را تضمین می‌کنند.
با الزامات تحرک‌پذیری بالا در کاربردهای 6G.
علاوه بر این، سطوح هوشمند بدون سلول با فرکانس بالا که توسط سلول‌های ریز mmWave
پشتیبانی می‌شوند، می‌توانند برای هر دو کاربرد موبایل و بی‌سیم مورد استفاده قرار گیرند.
و سناریوهای دسترسی ثابت.

ح. شبکه دسترسی رادیویی ابری/مه

شبکه دسترسی ابری-رادیویی /(C-RAN)دسترسی مه-رادیویی
شبکه‌های (F-RAN)پتانسیل افزایش چندپخشی را از چندین طریق دارند. اول از همه، معماری‌های
C-RAN/F-RAN
تخصیص و مدیریت متمرکز منابع را امکان‌پذیر می‌سازد و امکان برنامه‌ریزی چندپخشی کارآمد را
فراهم می‌کند. کنترل‌کننده متمرکز می‌تواند منابع رادیویی مانند زمان را به طور هوشمندانه
تخصیص دهد.
اسلات‌ها و کانال‌های فرکانسی، بهینه‌سازی کلی چندپخشی
عملکرد .[174]سپس، C-RAN/F-RAN می‌تواند تکنیک‌های شکل‌دهی پرتو هماهنگ را برای
پخش چندگانه تسهیل کند .[175]توسط
هماهنگی انتقال از چندین ایستگاه پایه یا
گره‌های مه، شکل‌دهی پرتو را می‌توان برای به حداکثر رساندن بهینه کرد
قدرت سیگنال در گروه چندپخشی مورد نظر، در نتیجه
افزایش پوشش و ظرفیت انتقال چندپخشی.

اجزای ابری/مه در C-RAN/F-RAN می‌توانند قابلیت‌های پردازشی و ظرفیت ذخیره‌سازی
بیشتری را فراهم کنند و امکان تأمین QoS بهبود یافته برای چندپخشی را فراهم کنند.

خدمات .[176]افزایش قدرت محاسباتی می‌تواند از پروتکل‌های چندپخشی پیشرفته، کدهای
تصحیح خطا و
مکانیسم‌های تحویل محتوا، تضمین قابلیت اطمینان و کارایی
انتقال چندپخشی. با کمک گره‌های مه مستقر
C-RAN/F-RAN با نزدیک‌تر شدن به کاربران نهایی، می‌تواند کارایی را افزایش دهد.
ذخیره‌سازی و تحویل محتوا برای سرویس‌های چندپخشی ،[177]
.[178]محتوای چندپخشی محبوب را می‌توان در مه ذخیره کرد.
گره‌ها، کاهش تأخیر انتقال و تراکم شبکه و افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان چندپخشی

تحویل.
به طور کلی، ادغام فناوری‌های ابر و مه در
معماری شبکه دسترسی رادیویی مزایای بی‌شماری را به همراه دارد
به سرویس‌های چندپخشی، از جمله تخصیص بهینه منابع، شکل‌دهی هماهنگ پرتو، بهبود
کیفیت خدمات (QoS)و کارایی
تحویل محتوا. این پیشرفت‌ها به بهبود کمک می‌کنند
عملکرد چندپخشی، مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان در استقرارهای C-RAN/F-RAN.

.اکدگذاری شبکه

کدگذاری شبکه روشی قدرتمند برای در نظر گرفتن ...
محتوای اطلاعاتی هر انتقال و استفاده از آن
اطلاعاتی برای افزایش توان عملیاتی شبکه ،[185] ،[184]بنابراین
بهبود کارایی و مقیاس‌پذیری شبکه. در ،[179]
تحلیل تأخیر صف‌بندی برای چندپخشی روی یک مسیر تک‌گامی
شبکه با کدگذاری خطی تصادفی مورد بحث قرار گرفته است. مسئله
چندپخشی قابل اعتماد با استفاده از شبکه خطی تصادفی
کدگذاری (RLNC)برای مقاصد تک گامی در [180]مورد بحث قرار گرفته است.
کار در [181]یک حد پایین برای احتمال معرفی می‌کند
از تحویل موفقیت‌آمیز بسته با استفاده از RLNC برای هر تعداد از
کاربران در یک گام. یک رویکرد چندپخشی با کمک رله با استفاده از
کدگذاری شبکه با یک منبع، یک رله و دو رله
مقصدها در [182]پیشنهاد شده است. گره منبع، داده‌ها را پخش می‌کند.
داده‌ها برای یک بازه زمانی ثابت و ترکیب بسته‌های رله شده برای

Machine Translated by Google

ماموریت‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. تحویل یکپارچه، تأخیر کم، پشتیبانی از تحرک پرسرعت و مدیریت کارآمد تحرک، اولویت‌های کلیدی برای تکامل 6Gهستند.

پرداختن به چالش‌های تحرک در 6Gشامل بهینه‌سازی معماری شبکه، پروتکل‌های دسترسی، کیفیت خدمات (QoS)و برش شبکه است. پیشرفت‌ها در این زمینه‌ها، اتصال قابل اعتماد را برای کاربران در حال حرکت، صرف نظر از موقعیت مکانی یا سرعت آنها، تسهیل می‌کند. مدیریت تحرک در باندهای فرکانس بالا، به ویژه برای ارائه خدمات چندپخشی، یک چالش مهم است.

برای تنظیم پویای جهت و تمرکز آنتن جهت حفظ اتصال با کاربران در حال حرکت و اطمینان از تحویل چندپخشی کارآمد، به تکنیک‌های پیشرفته‌ای نیاز است.

برای مقابله با این چالش، شبکه‌های 6Gبه تکنیک‌های پیشرفته چندپخشی نیاز دارند که به صورت پویا با تغییر موقعیت‌ها و حرکات گروه‌های چندپخشی سازگار شوند. این شامل تنظیم ترکیب گروه، بهینه‌سازی تخصیص منابع و مدیریت هوشمندانه پارامترهای انتقال برای یک تجربه چندپخشی با کیفیت بالا می‌شود. علاوه بر این، بهینه‌سازی پروتکل‌های مسیریابی چندپخشی و طراحی ساختارهای درختی چندپخشی کارآمد باید ظرفیت شبکه، تعداد و توزیع گیرندگان و تغییرات پویا در عضویت گروه‌های چندپخشی را در نظر بگیرد .[21]

ب. پشتیبانی از چندپخشی در سیستم‌های IABمشخصات انتشار باندهای ،mmWave/sub-THzاز جمله تلفات شدید مسیر و قطعی‌های ناشی از انسداد، ذاتاً نیازمند استقرار متراکم ایستگاه‌های پایه 5G/6Gاست.

برای پرداختن به چالش فوق‌الذکر، 3GPPاخیراً فناوری [210] IABرا استانداردسازی کرده است که امکان استفاده از گره‌های رله کم‌هزینه، به نام گره‌های ،IABکه از طریق لینک‌های بک‌هال بی‌سیم متصل هستند را فراهم می‌کند تا پوشش یک BSموج میلی‌متری/زیر تراهرتز واحد، که به عنوان اهداکننده IABشناخته می‌شود، بهبود یابد.

استفاده از معماری IABدر سیستم‌های سلولی 5G/6G mmWave/sub-THzآینده، یک تغییر الگوی اساسی از نظر کنترل و بهینه‌سازی شبکه است. اولاً، به دلیل تأخیر در سیگنال‌دهی، یک گام اجتناب‌ناپذیر به دور از کنترل متمرکز وجود دارد.

بنابراین، سیستم‌های IABیک کنترل نیمه متمرکز را اتخاذ خواهند کرد، که در آن بخشی از توابع، مانند انتخاب توپولوژی و تخصیص منابع، همچنان به صورت مرکزی در یک اهداکننده IABانجام می‌شود. در مقابل، برخی از توابع، مانند زمان‌بندی، باید به صورت مستقل در گره‌های IABانجام شوند .[211]

علاوه بر این، استفاده از دسترسی بی‌سیم و بک‌هال باعث ایجاد رژیم عملیاتی نیمه‌دوطرفه می‌شود، یعنی گره‌ها و اهداکنندگان IABنمی‌توانند همزمان از طریق رابط‌های خود دریافت و ارسال کنند. در نهایت، از آنجایی که EUهایی که از شبکه IABاستفاده می‌کنند، علاوه بر توان عملیاتی و پوشش، که به طور سنتی معیارهای اصلی مورد توجه در استقرارهای سلولی بوده‌اند، دقیقاً همان QoSرا مانند آنهایی که از استقرارهای معمولی فقط BSاستفاده می‌کنند، تجربه خواهند کرد، تأخیر شروع به ایفای نقش حیاتی می‌کند. مورد اخیر به یک محدودیت دیگر برای چارچوب‌های بهینه‌سازی و ارزیابی پیچیده در نظر گرفته شده برای چندپخشی تبدیل می‌شود. تاکنون، هیچ مطالعه‌ای به مسئله چندپخشی بهینه بر روی توپولوژی‌های IABچندهاپی نپرداخته است.

ج. بهبود قابلیت اطمینان از طریق مکانیسم‌های جدید

باندهای 5G/6G mmWave/sub-THzکه ذاتاً به دلیل انسداد و جابجایی‌های کوچک مستعد قطعی برق هستند،

کانال‌ها با استفاده از NOMAبه کمک حافظه پنهان در یک سیستم .MIMOدر اینجا، یک سناریوی عملی از CSI ناقص، متفاوت از بقیه مقالات بررسی شده است. در ،[195]دو طرح تخصیص توان برای انتقال چندپخشی-تک‌پخشی در شبکه‌های NOMAپیشنهاد شده است. به طور متفاوت، در ،[196]عملکرد امنیتی یک سیستم چندپخشی-تک‌پخشی مشارکتی در حضور کاربران با تحرک بالا مورد مطالعه قرار گرفته است. یک طرح انتقال فضای فرکانس زمانی متعامد مبتنی بر NOMAبرای کاهش تأثیر اثر داپلر و افزایش راندمان طیفی توسعه داده شده است. علاوه بر این، یک روش تخصیص توان برای ایجاد تعادل بین قابلیت اطمینان چندپخشی و محرمانگی جریان تک‌پخشی پیشنهاد شده است. در نهایت، در ،[197]یک پیش‌کدگذاری ترکیبی تک‌پخشی/چندپخشی MIMO مبتنی بر NOMAپیشنهاد شده است.

از سال NOMA، ۲۰۱۷در مورد سیستم‌های ترکیبی چندپخشی-تک‌پخشی در جامعه علمی/تحقیقاتی محبوبیت پیدا کرده است. اگرچه، تا آنجا که ما می‌دانیم، هیچ برنامه‌ای برای معرفی NOMAدر مجموعه استانداردهای 3GPP 5G-Advancedوجود ندارد.

هشتم. نتیجه‌گیری و مسیرهای تحقیقاتی آینده

با توجه به نیاز به پشتیبانی از چندپخشی در سیستم‌های آینده 5G/6G mmWave/sub-THzکه بر روی آنتن‌های بسیار جهت‌دار کار می‌کنند، در این کار، ما یک آموزش جامع در مورد بهینه‌سازی عملکرد و چارچوب‌های ارزیابی برای چنین سیستم‌هایی ارائه دادیم. با شروع از پشتیبانی فعلی از چندپخشی در 5Gو مروری بر پروژه‌های در حال انجام مربوط به این موضوع، سپس به اجزای مدل سیستم برای ساخت موارد استفاده و سناریوهای مختلف پرداختیم. چارچوب‌های بهینه‌سازی و ارزیابی که در این مقاله به تفصیل شرح داده شده‌اند، پایه محکمی برای پیاده‌سازی عملی چندپخشی و همچنین ارزیابی پیشرفت‌ها و الگوریتم‌های سرویس جدید ایجاد می‌کنند. برای این منظور، کار خود را با بررسی عمیق مکانیسم‌های اضافی که می‌توانند برای بهبود بیشتر عملکرد چندپخشی در سیستم‌های 5G/6G mmWave/sub-THzمورد استفاده قرار گیرند، به پایان رساندیم.

ما مهم‌ترین یافته‌ها، مشاهدات و ویژگی‌ها را در جدول IIخلاصه کرده‌ایم. در میان توصیه‌های عملی، تعداد کمی از آنها به طور بحرانی بر طراحی سیستم‌های سلولی فعلی و تکامل آینده آنها تأثیر می‌گذارند. به طور خاص، هنوز هیچ الگوریتم کارآمدی برای تضمین تداوم سرویس جلسات در TARهای mmWave/sub-THzوجود ندارد، به جز سیستم‌های µWaveکه در معرض قطع برق ناشی از اختلالات انسداد نیستند. علاوه بر این، با افزایش بیشتر جهت‌گیری آنتن در سیستم‌های سلولی، ممکن است دیگر نیازی به پشتیبانی صریح از چندپخشی در سیستم‌های 6G sub-THzنباشد.

در نهایت، انتظار می‌رود پیچیدگی کلی تشکیل جلسات چندپخشی در سیستم‌های 5G/6Gبا پیشرفت‌های مختلف، به طور طبیعی حتی بیشتر افزایش یابد و نیاز به تقریب‌های کارآمد و حتی راه‌حل‌های غیربهینه داشته باشد.

مسیرهای تحقیقاتی آینده پیش‌بینی‌شده در ادامه تشریح شده‌اند.

الف. پشتیبانی از قابلیت جابجایی برای پخش چندگانه

آینده شبکه‌های 6Gتحت تأثیر افزایش تعداد دستگاه‌های متصل به هم و ظهور سناریوهای نوآورانه تحرک قرار دارد. برآورده کردن نیازهای کاربران بسیار متحرک، از جمله کاربران وسایل نقلیه، پهپادها و فضا.

Machine Translated by Google

سایر مطالعات موجود بر روی بهبود قابلیت اطمینان خدمات جلسه، عملیات چند اتصالی بین و درون RATها تمرکز دارند. با این حال، همانطور که در [65] نشان داده شده است، سیستم‌های LTE-A و 5G NR برای پشتیبانی از سناریوهای چند اتصالی طراحی شده‌اند و قابلیت اطمینان کافی در خدمات دست یافت. از سوی دیگر، استفاده از چند اتصالی بین RATها، به عنوان مثال، LTE یا µWave NR، µWave/mmWave (6G) به عنوان یک راه‌حل مناسب برای تحقق اهداف جهت‌دار 6G مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال، مشاهدات فوق از مشاهدات به دست آمده برای خدمات تک پخشی استخراج شده‌اند و هنوز هیچ پیشنهادی برای سناریوهای سنجش بهبود عملکرد این قابلیت‌ها برای خدمات چند پخشی وجود ندارد.

و. استراتژی‌های ترکیبی تک‌پخشی-چندپخشی

در حوزه سیستم‌های ارتباطی، ابزار اصلی انتقال داده به طور سنتی به تک‌پخشی متکی بوده است، که در آن اطلاعات از یک فرستنده به یک گیرنده ارسال می‌شود. با این حال، انتقال چندپخشی با ظهور برنامه‌های جدید و نیاز روزافزون به تحویل همزمان محتوا به چندین کاربر، توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده است.

نیاز مبرمی به سازوکارهای پیشرفته جدید برای بهبود قابلیت اطمینان خدمات در سیستم‌های 5G/6G mmWave/sub-THz، مانند استفاده از استقرار SIRIAB، NR-sidelink و فناوری‌های دیگر نیز وجود دارد. شبکه‌های 5G کنونی، که در آن استراتژی‌های انتقال پویا بر اساس شرایط شبکه و ماهیت محتوا پیاده‌سازی می‌شوند، نشان داده‌اند که چندپخشی را ادغام می‌کنند و امکان سازگاری با سناریوهای ارتباطی متنوع را فراهم می‌کنند. این استراتژی‌ها مستلزم تغییر پویا بین حالت‌های انتقال تک‌پخشی و چندپخشی بر اساس عواملی مانند تعداد کاربران، شرایط شبکه و ماهیت محتوای در حال انتقال هستند. شایان ذکر است که طرح‌های ترکیبی تک‌پخشی-چندپخشی در زمینه سیستم‌های 4G و 5G به طور کامل بررسی شده‌اند [214]، [215]، [216]، [217].

د. راه‌حل‌ها/تقریب‌های سبک/نیمه‌بهینه

ویژگی‌ها و الزامات منحصر به فرد شبکه‌های 6G، مانند نرخ داده بالاتر، تأخیر بسیار کم، اتصال گسترده، تحرک‌پذیری و ادغام فناوری‌های نوظهور، چالش‌ها و ملاحظات جدیدی را برای طرح‌های ترکیبی تک‌پخشی-چندپخشی معرفی می‌کند. به طور خاص، طراحی استراتژی‌های ترکیبی در سیستم‌های 6G مستلزم درک عمیق‌تری از تأثیر آنها بر معماری شبکه، توسعه پروتکل‌های مسیریابی پیشرفته که می‌توانند با حالت‌های انتقال پویا سازگار شوند، الگوریتم‌های تخصیص منابع کارآمد متناسب با محیط‌های 6G و ایجاد تضمین‌های QoS قوی برای برآورده کردن الزامات سختگیرانه برنامه‌های آینده است.

بهینه‌سازی عملکرد چندپخشی در سیستم‌های 5G/6G mmWave/sub-THz با انتقال جهت‌دار، ذاتاً یک مسئله NP-hard است. همانطور که نشان دادیم، استفاده از تکنیک‌های مختلف آزادسازی منجر به بهبود پیچیدگی زمانی نمی‌شود، در حالی که تقریب‌ها، مانند شبیه‌سازی تبرید و حتی بهترین رویکردهای مبتنی بر ML، ممکن است منجر به انحراف از راه‌حل بهینه شوند. بنابراین، نیاز به تحقیقات بیشتر برای رسمی‌سازی‌های ساده‌شده منجر به راه‌حل‌های سریع و/یا تقریب‌های قابل اعتمادتر از رسمی‌سازی‌های موجود وجود دارد. مورد اول را می‌توان با، مثلاً، خطی‌سازی متغیرهای درگیر، برطرف کرد. در مقابل، مورد دوم را می‌توان با استفاده از روش‌های ترکیبی دقیق برای تشکیل گروه‌ها، حداقل برای مجموعه‌ای از موارد خاص، و سپس اعمال تکنیک‌های برون‌یابی به دست آورد.

ز. یادگیری ماشین برای چندپخشی

الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند نقش محوری در افزایش سازگاری و کارایی استراتژی‌های چندپخشی در شبکه‌های نسل ششم آینده ایفا کنند. با ادغام قابلیت‌های یادگیری ماشین، این شبکه‌ها می‌توانند به صورت پویا منابع را تخصیص دهند، الگوهای ترافیک را پیش‌بینی کنند و تصمیمات مسیریابی چندپخشی را بهینه کنند. مسیریابی چندپخشی شامل تعیین کارآمدترین مسیرها برای تحویل داده‌ها به چندین گیرنده است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند داده‌های تاریخی، شرایط شبکه و ترجیحات کاربر را برای تصمیم‌گیری‌های مسیریابی هوشمند تجزیه و تحلیل کنند. این ادغام یادگیری ماشین در استراتژی‌های چندپخشی منجر به کاهش مصرف پهنای باند و بهبود عملکرد کلی شبکه می‌شود [103].

یکی از مزایای قابل توجه به کارگیری یادگیری ماشین در استراتژی‌های چندپخشی، مدیریت هوشمند تداخل در شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم است. تداخل زمانی رخ می‌دهد که

چندین دستگاه به طور همزمان سیگنال‌ها را ارسال می‌کنند که منجر به افت یا اختلال در سیگنال می‌شود. با تجزیه و تحلیل شرایط شبکه و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند به طور پیشگیرانه مشکلات تداخل را کاهش دهند. این الگوریتم‌ها می‌توانند پارامترهای انتقال را به صورت پویا تنظیم کرده و بهینه‌سازی کنند.

ه. همزیستی منصفانه بین ترافیک تک‌پخشی و چندپخشی

اگرچه تحقیقات قابل توجهی در مورد ارائه خدمات چندپخشی در شبکه‌های دسترسی بی‌سیم پهن‌باند انجام شده است، اما مطالعات بسیار کمی راه‌حل‌هایی برای مدیریت همزمان ترافیک تک‌پخشی و چندپخشی ارائه می‌دهند. با توجه به این واقعیت که این دو نوع ترافیک بدون شک در سیستم‌های ارتباطی سیار آینده در کنار هم وجود خواهند داشت، درک ویژگی‌های منحصر به فرد آنها برای تضمین تخصیص عادلانه منابع، همانطور که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد، ضروری است.

ویژگی‌های خاص عملیات سرویس چندپخشی به طور غیرمستقیم اولویت را برای جلسات چندپخشی معرفی می‌کند و در نتیجه احتمال از دست دادن جلسه تک‌پخشی را به شدت کاهش می‌دهد. با افزایش بار ارائه شده برای جلسات چندپخشی، سیستم تقریباً به طور کامل با آنها پر می‌شود و جلسات تک‌پخشی را با حداقل منابع باقی مانده رها می‌کند. باید به طور فعال ترافیک تک‌پخشی را با استفاده از تکنیک‌های رزرو پهنای باند و کنترل پذیرش اتصال، در میان سایر موارد، اولویت‌بندی کرد تا احتمال از دست دادن جلسه را متعادل کرد. توجه داشته باشید که برخی کارها در مورد مدیریت عادلانه ترافیک چندپخشی و تک‌پخشی انجام شده است.

Machine Translated by Google

یکی دیگر از سوالات مهم که باید به آن پرداخته شود، تعیین سیاست‌های زمان‌بندی بسته است که به تخصیص بهینه منابع در حضور ترافیک رقابتی چندپخشی و تک‌پخشی نزدیک می‌شود. ادبیات مربوط به زمان‌بندی تهیه‌کننده‌های پراگرامی برای ماژول‌های THz-Band/mmWave در یک دیوآی فرآیند تصویری که با تمام‌های تولید از شبکه‌های 6G است. توسط انسداد و رویدادهای ریزحرکتی مختل شود، تقریباً وجود ندارد. پیشرفت‌های بیشتر در این زمینه ظرفیت‌های موجود در مدل‌های موجود برای ارتباطات بی‌سیم اشاره دارد. با دسترسی به داده‌های تاریخی و شرایط شبکه در زمان واقعی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند با تجزیه و تحلیل باندهای فرکانسی موجود، پیش‌بینی تقاضای کاربر و تخصیص کارآمد طیف به کاربران و برنامه‌های مختلف، تصمیمات تخصیص طیف را بهینه کنند. این بهینه‌سازی منجر به استفاده کارآمد از طیف و در عین حال به حداقل رساندن تداخل می‌شود و در نتیجه ظرفیت شبکه و عملکرد کلی را به حداکثر می‌رساند.

J. شکل‌دهی پرتو ترکیبی با استفاده از Beam Squint در چندپخشی

انحراف پرتو، که به عنوان تغییرات وابسته به فرکانس در زاویه ورود (AoA) و زاویه خروج (AoD) نیز شناخته می‌شود، یک اثر مهم است. این پدیده باعث انتشار AoA/AoD شده و منجر به گسترش پهنای پرتو سیگنال مورد نظر در حوزه مکانی می‌شود. نکته قابل توجه این است که تأثیر انحراف پرتو در سیستم‌های mmWave و THz با آرایه‌های آنتن بزرگتر بیشتر مشهود است [74]، [75]، [76]. برای ارائه یک مقایسه، انحراف زاویه‌ای ناشی از انحراف پرتو در فضای پرتو تقریباً 6 درجه برای فرکانس 0.3 THz با پهنای باند 30 گیگاهرتز است. در mmWave، تأثیر انحراف پرتو کمتر سفت و سخت است. برای فرکانس 60 گیگاهرتز با پهنای باند 1 گیگاهرتز، انحراف زاویه‌ای تقریباً 0.4 درجه است [222].

تخمین دقیق کانال نقش مهمی در شکل‌دهی پرتو ترکیبی ایفا می‌کند. مطالعات متعددی با فرض در دسترس بودن اطلاعات دقیق وضعیت کانال، بر شکل‌دهی پرتو ترکیبی متمرکز شده‌اند. با این حال، در سیستم‌های THz دنیای واقعی، چالش تخمین کانال به دلیل افزایش تأثیر انحراف پرتو، که از مشکلات سیستم‌های mmWave فراتر می‌رود، حتی بیشتر می‌شود. در نتیجه، روش‌های تخمین کانال مرسوم را نمی‌توان مستقیماً در سیستم‌های THz اعمال کرد [223]. در نتیجه، بررسی تکنیک‌های تخمین کانال که به طور خاص برای سیستم‌های ارتباطی THz که تحت تأثیر انحراف پرتو قرار دارند، طراحی شده‌اند، ارزش تحقیقاتی قابل توجهی دارد.

لازم به ذکر است که جامعه تحقیقاتی هنوز تأثیر انحراف پرتو بر عملکرد چندپخشی را تجزیه و تحلیل نکرده است. در بخش IV-A، ما تلاش کردیم تا بررسی کنیم که چگونه پدیده‌ای مانند انحراف پرتو بر چندپخشی در مقایسه با انتقال‌های تک‌پخشی سنتی تأثیر می‌گذارد. ما به این نتیجه رسیدیم که از آنجایی که انتقال‌های چندپخشی معمولاً با تعداد کمتری آنتن کار می‌کنند، انحراف پرتو کمتر یا مساوی حالت تک‌پخشی خواهد بود. با این حال، هنوز باید تحقیقات و تحلیل‌های بیشتری برای درک تأثیر انحراف پرتو بر چندپخشی انجام شود.

نهم. فهرست اختصارات

پروژه مشارکت نسل سوم	3GPP
5G به 6G	
شبکه اصلی 5G	چین
نرخ داده تجمیع شده	
هوش مصنوعی	
عملکرد برنامه	اف
سرور برنامه	به عنوان
گمشده آمریکایی امبر: وضعیت اضطراری پخش پاسخ	
عملکرد مدیریت دسترسی و تحرک	ای ام اف

تخصیص منابع برای به حداقل رساندن تداخل، افزایش کیفیت سیگنال و بهبود تجربه کاربر.

ح. چندپخشی در موارد استفاده و پیاده‌سازی‌های خاص

برخلاف سیستم‌های موج میکرو (μWave)، در سیستم‌های موج میلی‌متری/زیر تراهرتز، ناحیه تحت پوشش یک پرتو به شدت به مشخصات استقرار بستگی دارد. اکثر مطالعات انجام شده تاکنون، استقرارهای نزدیک به فضای باز را در نظر گرفته‌اند که در آن یک بخش می‌تواند این منطقه را تقریباً تخمین بزند. در سناریوهای استقرار پیچیده، مانند سناریوهای داخلی، V2X و صنعتی، ناحیه تحت پوشش یک پرتو ممکن است شکل دلخواهی داشته باشد. مورد دوم به ویژه در مورد سیستم‌های زیر تراهرتز صادق است، جایی که انتظار می‌رود جهت‌گیری آنتن‌های ارسال و دریافت بسیار بالاتر باشد در حالی که باند فرکانسی در مقایسه با سیستم‌های موج میلی‌متری نسبت به مشخصات محیطی حساس‌تر است.

چارچوب‌های متناسب با موارد استفاده خاص و گزینه‌های استقرار، باید ماهیتاً ترکیبی باشند و در مرحله اول از ردیابی پرتو برای تعیین مناطق تحت پوشش یک پرتو واحد استفاده کنند، مثلاً مشابه [218]. در مرحله بعدی، می‌توان وظیفه تشکیل گروه چندپخشی را رسمی کرد. برای کاهش پیچیدگی راه‌حل، می‌توان از چارچوب‌های ارائه شده در این مقاله با تکیه بر تقریب‌های سکتوری مناطق پوشش پرتو استفاده کرد و سپس با تنظیم مجدد EU های متعلق به همان گروه، راه‌حل را به دقت تنظیم کرد.

I. مقیاس زمانی برای تخصیص منابع و زمانبندها

یک مورد خاص مورد توجه، شناسایی مقیاس زمانی بهینه برای تخصیص مجدد منابع است. در این زمینه، یک سوال حیاتی مربوط به مدل‌سازی عملکرد دینامیک تخصیص منابع در حضور تحرک‌پذیری در مقیاس بزرگ EU ها در منطقه سرویس‌دهی BS است. اگرچه راه‌حل چنین سیستم‌هایی عموماً پیچیده‌تر است، همانطور که در [220]، [219] بر اساس مبانی نظری در [221] نشان داده شده است، اما این قابلیت ممکن است دینامیک منابع را تحت الگوهای تحرک‌پذیری UE در نظر بگیرد.

Machine Translated by Google

ان اف	عملکرد افشای شبکه
سی ان	مجازی‌سازی توابع شبکه
	غیرخط دید
ان اس	شبکه عصبی
	دسترسی چندگانه غیر متعامد NOMA
	نوری جدید
	تابع انتخاب برش شبکه
ان تی ان	شبکه غیرزمینی
	OFDMA چندگانه تقسیم فرکانسی متعامد
	دسترسی
پی سی اف	تابع کنترل سیاست
پی آر اس	تحویل مترقی
پی دی یو	واحد داده پروتکل
	شبکه تلفن همراه عمومی PLMN
	نقطه به چند نقطه
	بلوک منابع اولیه
	نقطه به نقطه
	کیفیت تجربه
	کیفیت خدمات
	فناوری دسترسی رادیویی
	آنتن آرایه‌ای جهت تصادفی
	فرکانس رادیویی
	جستجوی محله با هدف ایجاد آرامش
	سطح هوشمند بازتابنده
	گذرگاه شبکه خطی تصادفی
	مدیریت منابع رادیویی
	آنتینگ شبیه‌سازی شده
	شبیه‌سازی تبرید با الگوریتم‌های اکتشافی
	SC-PTM تک حامل نقطه به چند نقطه
	SC-PTP تک حامل نقطه به نقطه
	انتقال چند پرتوی تک فرکانسی SFMBT
	نسبت سیگنال به تداخل و نویز
اس ام اف	عملکرد مدیریت جلسه
اس‌ان‌آر	نسبت سیگنال به نویز
ستاره	ارسال و انعکاس همزمان
	زیر تراهرتز زیر تراهرتز
	بردار پشتیبان
	تراهرتز
	تجهیزات کاربر
	کیفیت فوق‌العاده بالا
	تلویزیون با کیفیت فوق‌العاده بالا (UHDTV)
	بوهم‌ری میکرو
	تابع صفحه کاربر
	وسیله نقلیه به همه چیز
	ارتباط خودرو با زیرساخت
	بیدبور اساس تقاضا
	واقعیت مجازی
	واقعیت توسعه‌یافته

آئو	زاویه ورود
آئودی	زاویه عزیمت
آ.پ	نقطه دسترسی
واقعیت افزوده	واقعیت افزوده
بی ام اس	سرویس‌های پخش/چندپخشی
	مرکز خدمات پخش چندپخشی BM-SC
بی پی پی	**مشکل بسته‌بندی سطل زباله**
کارشناسی	ایستگاه پایه
	CQI مخفف کیفیت کانال
	شبکه دسترسی ابری-رادیویی C-RAN
	اطلاعات وضعیت کانال
	دستگاه به دستگاه
	دسترسی‌پذیری با کمک D2D
	تشکیل ناحیه پرتو دینامیکی MBSFN D-MBAF
	پهنای باند موبایل پیشرفته
	eMBMS، MBMS را تکامل داد.
	یادگیری فدرال
	دسترسی رادیویی مه
	نسبت آنتن به نویز
	درخواست تکرار خودکار ترکیبی HARQ
	پهنای پرتو نیم‌توان HPBW
	دستگاهی یکپارچه و بک‌هال
	اینترنت اشیا
	فاصله بین سایت‌ها
	سیستم حمل و نقل هوشمند
	اتحادیه بین‌المللی مخابرات
	ITU بین‌المللی مخابرات -
	بخش ارتباطات رادیویی
کی ان ان	K- نزدیکترین همسایه
	شاخص عملکرد کلیدی
ل ب	انشعاب محلی
لس آنجلس	خط دید
LTE	تکامل بلندمدت
MBA	ناحیه پرتو MBSFN
ام بی بی	پهنای باند موبایل
	سرویس پخش چندرسانه‌ای و چندپخشی MBMS
	MBMS-GW درگاه MBMS
	سرویس‌های پخش چندپخشی و پخش همگانی
	عملکرد سرویس پخش/چندپخشی
	پخش چندپخشی MBSFN
	شبکه
	مدیریت نشست چندپخشی/پخشی MB-SMF عملکرد
	سرویس پخش چندپخشی، MB-STF حمل و نقل عملکرد
	تابع صفحه کاربری چندپخشی/پخشی MB-UPF
	ارتباطات حیاتی ماموریت
	نهاد هماهنگی چند سلولی/چندپخشی
	فرمت مدولاسیون و کدگذاری
	محاسبات لبه موبایل
	ورودی چندگانه چند خروجی چندگانه MIMO
	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط
میلی لیتر	یادگیری ماشین
	ارتباطات عظیم ماشینی MMC
	نهاد مدیریت تحرک MME
	موج میلی‌متری
	ارتباطات نوع ماشین
	MU-MISO چندکاربره چندورودی تکخروجی

منابع

[1] کی. دیوید و اچ. برندت، «چشم‌انداز و الزامات 6G: آیا نیازی وجود دارد؟ برای فراتر از 5G؟» مجله فناوری IEEE، جلد ۱۳، شماره ۳، صفحات ۷۲-۸۰، سپتامبر ۲۰۱۸

[2] وی. پتروف، تی. کورنر، و آی. هوساکو، «اولین تلاش‌های استانداردسازی برای IEEE 802.15.3d: ارتباطات باند زیر تراهرتز به سمت 6G»، اشتراک. مگ.، ج. ۵۸، شماره ۱۱، صفحات ۳۳-۳۸، نوامبر 2020.

[3] VP Kompella، JC Pasquale، و GC Polyzos، «چندپخشی برای کاربردهای چندرسانه‌ای،» در مجموعه مقالات IEEE INFOCOM، ۱۹۹۲، صفحات ۲۰۷۸–۲۰۸۵.

Machine Translated by Google

[26] [illegible] 2002. [illegible] موج میلی‌متری برای کاربردهای بی‌سیم ..، IEEE Trans. Antennas Propag.، جلد 66، شماره 9، صفحات 4930-4935، سپتامبر 2018.

[27] ام. گاپینکو، دی. مولچانوف، اس. آندریف، و آر دبلیو. هیث، «احتمال خط دید برای ارتباطات پهباد مبتنی بر موج میلی‌متری [illegible] 2016.

[28] «مطالعه روی مدل کانال برای فرکانس‌های 0.5 تا 100 گیگاهرتز (نسخه 17.0.0)، 3GPP، (نسخه 17) سوفیا آنتیپولیس، فرانسه، آرشیو، 38.901 TR، 2022. [illegible] 2017.

[29] اچ. ژائو و همکاران، «اندازه‌گیری‌های ارتباطات سلولی موج میلی‌متری 28 گیگاهرتز برای انعکاس و افت نفوذ در داخل و اطراف ساختمان‌ها در شهر نیویورک»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی IEEE (ICC)، 2013، صفحات 5163-5167.

[30] جی آر. مک‌کارتنی و تی اس راپاپورت، «اندازه‌گیری‌های انتشار موج میلی‌متری 73 گیگاهرتز برای ارتباطات سیار و بک‌هال شهری در فضای باز در شهر نیویورک»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی IEEE. (ICC)، ۲۰۱۴، صفحات ۴۸۶۷-۴۸۶۲.

[31] ام. گاپینکو و همکاران، «درباره اثرات زمانی مسدودکننده‌های موبایل در سناریوهای سلولی موج میلی‌متری شهری»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد 66، شماره 11، صفحات 10138–10124، نوامبر 2017.

[32] ن. چوخنو، او. چوخنو، جی. آرانیتی، ای. ایرا، ای. مولینارو، و اس. پیزی، «چالش‌ها و ارزیابی عملکرد انتقال چندپخشی در موج میلی‌متری 60 گیگاهرتز»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی توزیع‌شده اشتراک، IEEE Netw.، 2020، صفحات 3-17.

[33] دی. هلبینگ و پی. مولنار، «مدل نیروی اجتماعی برای دینامیک عابر پیاده»، Phys. Rev. E، Stat. Nonlinear، Soft Matter Phys.، جلد 51، شماره 5، صفحه 4282، 1995.

[34] دبلیو. زنگ، پی. چن، اچ. ناکامورا، و ام. ایریو-آسانو، «کاربرد مدل نیروی اجتماعی در تحلیل رفتار عابران پیاده در گذرگاه‌های چراغ‌دار»، Transp. Res. C Emerg. Technol.، جلد 40، صفحات 143-159، مارس 2014.

[35] اف. فارینا، دی. فونتانلی، ای. گارولی، ای. جیانیتراپانی، و دی. پراتیچیزو، «پیشروی: مدل نیروی اجتماعی هدایت‌شده»، ONE، PLoS، جلد 12، شماره 1، 2017، شماره مقاله e0169734.

[36] اچ. موراکامی، سی. فلیسیانی، و کی. نیشیناری، «فرآیند پیاده‌روی لوی در خودسازماندهی جمعیت عابر پیاده»، جی. روی. Soc. Interface، جلد 16، شماره 153، 2019، شماره مقاله 20180939.

[37] NR؛ اتصال چندگانه؛ مرحله 2 (نسخه 17)، (نسخه 17.4.0)، استاندارد 3GPP TS 37.340، مارس 2023.

[38] «مطالعه روی رله سایدلینک NR، نسخه 17.0.0»، 3GPP، سوفیا آنتیپولیس، فرانسه، REP. TR 38.836، مارس 2021.

[39] سرویس پخش چندرسانه‌ای/چندپخشی (MBMS)؛ مرحله 1 (نسخه 17)، V17.0.0، (استاندارد 3GPP TS 22.146، ژوئیه 2022.

[40] گروه مشخصات فنی شبکه دسترسی رادیویی؛ دسترسی رادیویی زمینی جهانی تکامل‌یافته (E-UTRA) و شبکه دسترسی رادیویی زمینی جهانی تکامل‌یافته (E-UTRAN)؛ شرح کلی؛ مرحله 2 (نسخه 9)، V9.3.0، (استاندارد 3GPP TS 36.300، مارس 2010.

[41] سرویس پخش چندرسانه‌ای/چندپخشی (MBMS)؛ معماری و شرح عملکرد (نسخه 16)، (نسخه 16.1.0)، استاندارد 3GPP TS 23.246، سپتامبر 2019.

[42] خدمات گروه مشخصات فنی و جنبه‌های سیستم؛ بهبودهای معماری برای خدمات پخش چندپخشی 5G؛ مرحله 2 (نسخه 17)، V0.1.0، (استاندارد 3GPP TS 23.247، مارس 2021.

[43] «مطالعه‌ای بر روی بهبودهای معماری برای سرویس‌های پخش چندپخشی 5G (نسخه 17)، 3GPP، نسخه 1.2.0»، سوفیا آنتیپولیس، فرانسه، نماینده TR 23.757، نوامبر 2020.

[44] ام. سیلی، سی. بارجائو، دی. ناوراتیل، ای. پاراساد، دی. گومز-بارکرو، و اف‌بی تسما، «شبکه‌های دسترسی رادیویی 5G: فعال‌سازی انتقال کارآمد نقطه به چند نقطه»، مجله فناوری IEEE Veh.، جلد 14، شماره 4، صفحات 29-37، دسامبر 2019.

[45] مورد کاری اصلاح‌شده در مورد سرویس‌های پخش و چندپخشی NR، سند 3GPP، RP-201038، سوفیا آنتیپولیس، فرانسه، ژوئیه 2020.

[46] آر. ایمادور و همکاران، تکامل 5G به سوی 5G پیشرفته: مروری بر نسخه‌های 17 و 3GPP، 18 اریکسون، استکهلم، سوئد، 2021.

[47] METIS. «پروژه METIS». دسترسی: 3 اکتبر 2023. [آنلاین]. موجود: https://metis2020.com/index-2.html

[48] 5G-Xcast. «پروژه 5G-Xcast». 2018. [آنلاین]. موجود در: https://5g-xcast.eu/

[49] FANTASTIC-5G. «پروژه FANTASTIC-5G». 2022. [آنلاین]. موجود: http://fantastic5g.com/

[50] 5G-RECORDS. «پروژه 5G-RECORDS». 2020. [آنلاین]. موجود: https://www.5g-records.eu/

[51] 3GPP TS 22.261، (استاندارد 19)، V19.2.0، (نسخه 5G) الزامات خدمات برای سیستم 3GPP TS 22.261، مارس 2023.

[8] اف. رینالدی، اس. پیزی، ای. اورسینو، ای. ایرا، ای. مولینارو، و جی. آرانیتی، «یک رویکرد جدید برای تشکیل ناحیه MBSFN با کمک ارتباطات D2D برای ارائه خدمات eMBB در سیستم‌های 5G NR»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد 69، شماره 2، صفحات 2058-2070، فوریه 2020.

[9] ن. چوخنو و همکاران، «چندپخشی بهینه در موج میلی‌متری 5G NR با آنتن‌های چند پرتوی جهت‌دار»، Mobile Comput. Trans. IEEE، جلد 22، شماره 6، صفحات 3572-3588، ژوئن 2023.

[10] م. حسینی، د.ت. احمد، س. شیرمحمدی، و ان.دی. جورجاناس، «بررسی پروتکل‌های چندپخشی لایه کاربرد»، Commun. Surveys Tuts.، جلد 9، شماره 3، صفحات 58-74، سوم، ۲۰۰۷.

[11] ال. جونهای، وای. دانشیا، ایکس. لیو، و اف. مینگیو، «بررسی پروتکل‌های مسیریابی چندپخشی برای شبکه‌های موردی سیار»، IEEE Commun. Surveys Tuts.، جلد 11، شماره 1، صفحات 78-91، کوارت اول، 2009.

[12] آر. افولابی، آ. دادلانی، و ک. کیم، «الگوریتم‌های زمان‌بندی چندپخشی و تخصیص منابع برای سیستم‌های مبتنی بر OFDMA: یک بررسی»، انجمن IEEE. Surveys Tuts.، جلد ۱۵، شماره ۱، صفحات ۲۵۴-۲۴۰، کوارت اول، ۲۰۱۳.

[13] دی. استریکولی، جی. پیرو، و جی. بوگیا، «سرویس‌های چندپخشی و پخش از طریق شبکه‌های تلفن همراه: بررسی رویکردهای استاندارد و نتایج علمی»، IEEE Commun. Surveys Tuts.، جلد 21، شماره 2، صفحات 1063-1020، کوارت دوم، 2019.

[14] اس. باتاچارجی، تی. آچاریا، و یو. باتاچاریا، «مدل‌های اشتراک‌گذاری طیف مبتنی بر رادیوی شناختی برای پخش چندگانه در شبکه‌های سلولی 5G: یک بررسی»، Comput. Netw.، جلد 208، مه 2022، شماره ماده 108870.

[15] جی.-ام. ولا و اس. زامیت، «بررسی چندپخشی در شبکه‌های دسترسی بی‌سیم»، IEEE Commun. Surveys Tuts.، جلد 15، شماره 2، صفحات 753-718، فصل دوم، 2013.

[16] AB Hassouna. H. Koubaa. و "Multi-user diversity wireless Multicast: A Survey," Comput. Netw., vol. 175. L. Saidane، ژوئیه 2020، هنر. نه 107282.

[17] م. آلوده و همکاران، «پیش‌کدگذاری چندپخشی و سطح نماد برای لینک دانلود چندآنتنی چندکاربره: یک روش پیشرفته، طبقه‌بندی و چالش‌ها»، IEEE Commun. Surveys Tuts.، جلد 20، شماره 3، صفحات 1733-1757، کوارت سوم، 2018.

[18] جی. لی و همکاران، «پشتیبانی از تحرک برای ارتباطات موج میلی‌متری: فرصت‌ها و چالش‌ها»، IEEE Commun. Surveys Tuts.، جلد 24، شماره 3، صفحات 1816-1842، کوارت سوم، 2022.

[19] D. Moltchanov. E. Sopin. V. Begishev. A. Samuylov. Y. Koucheryavy، و K. Samouylov. "آموزشی در مورد مدل سازی ریاضی سیستم های سلولی موج میلی متری 5G/6G و تراهرتز"، IEEE Commun. Surveys Tuts.، جلد 24، شماره 2، صفحات 1116-1072، کوارت دوم، ۲۰۲۲.

[20] A. Biason و M. Zorzi، «انتقال چندپخشی از طریق نقطه به چند نقطه در ارتباطات جهت‌دار mmWave»، IEEE Commun. مگ.، ج. 57، شماره 2، صفحات 94-88، فوریه 2019.

[21] ن. چوخنو، او. چوخنو، اس. پیزی، ای. مولینارو، ای. ایرا، و جی. آرانیتی، «نزدیک شدن به الزامات مورد استفاده 6G با چندپخشی»، مجله ارتباطات IEEE، جلد 61، شماره 5، صفحات 150-144، مه ۲۰۲۳.

[22] اچ. سری‌الدین، ام.-اس. آلوینی، و تی. وای. النفوری، «مدولاسیون فضایی فوق عظیم باند تراهرتز IEEE MIMO»، جلد 37، شماره 9، صفحات 2052-2040، سپتامبر 2019.

[23] AH Naqvi و S. Lim، «مروری بر آرایه‌های فازی اخیر برای ارتباطات بی‌سیم موج میلی‌متری»، Sensors، جلد 18، شماره 10، صفحه 3194، 2018.

[24] ام. جوردانی، ام. پولسه، ای. روی، دی. کاستور، و ام. زورزی، «آموزشی در مورد مدیریت پرتو برای 3GPP NR در فرکانس‌های mmWave»، انجمن IEEE نظرسنجی‌های Tuts.، جلد 21، شماره 1، صفحات 196-173، کوارت اول، ۲۰۱۹.

[25] YM Cheng. P. Chen. W. Hong. T. Djerafi. و K. Wu. «شبکه‌های شکل‌دهی پرتو موجبر یکپارچه با زیرلایه و آرایه‌های آنتن چند پرتوی برای سیستم‌های ماهواره‌ای و موبایل کم‌هزینه»، IEEE Antennas Propag. Mag.، جلد 53، شماره 6، صفحات 30-18، دسامبر 2011.

Machine Translated by Google

[75]آی. لوریناویسیوس، اچ. ژو، جی. وانگ، و وای. پن، «بهره‌برداری از انحراف پرتو برای آرایه‌های فازی خطی در یک سیستم چندحاملی موج میلی‌متری»، در مجموعه مقالات کنفرانس ارتباطات جهانی IEEE (GLOBECOM)، 2019، صفحات 1 تا 6.

[76]ان. تی. نگوین، جی. کوکونیمی، و ام. جونتی، «اثرات انحراف پرتو در ارتباطات تراهرتز با UPA و ULA: مقایسه و طراحی شکل‌دهی پرتو ترکیبی»، در مجموعه مقالات کارگاه‌های IEEE Globecom (GC Wkshps)، 2022، صفحات 1754-1759.

[77]سری R.، «داده‌های انتشار و روش‌های پیش‌بینی مورد نیاز برای طراحی سیستم‌های خط دید زمینی»، ITU، ژنو، سوئیس، توصیه‌نامه ITU 530-12، 2015.

[78]تی. بای، آر. ویز، و آر دبلیو. هیث، «تحلیل اثرات انسداد بر شبکه‌های سلولی شهری»، Wireless Commun. Trans. IEEE، جلد 13، شماره 9، صفحات 5083-5070، سپتامبر 2014.

[79]م. گاپینکو و همکاران، «تحلیل انسداد بدن انسان در ارتباطات سلولی موج میلی‌متری شهری»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی IEEE ارتباطات، 2016، (ICC)، صفحات 1-7.

[80]پی. ناین، دی. تاوزلی، بی. لیو، و زد. لیو، «ویژگی‌های مدل‌های جهت تصادفی»، در مجموعه مقالات بیست و چهارمین کنفرانس مشترک سالانه IEEE انجمن محاسبات IEEE، صفحات 1897-1907، Soc., vol. 3، 2005.

[81]دی. مولچانوف، ای. اومتوف، و وای. کوچریاوی، «توصیف تحلیلی فرآیند انسداد در سیستم‌های رادیویی جدید 3GPP با قابلیت تحرک سه‌جانبه و اتصال چندگانه»، Comput. Commun.، جلد 146، صفحات 110-120، اکتبر 2019.

[82] M. Gapeyenko، V. Petrov، D. Moltchanov، S. Andreev، N. Himayat، و Y. Koucheryavy، "عملیات بک هال انعطاف پذیر و قابل اعتماد به کمک پهپاد در شبکه های سلولی 5G mmWave،" شماره 11، صفحات 2496-2486، نوامبر 2018. IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 36،

[83]تی. اس. راپاپورت و همکاران، ارتباطات بی‌سیم: اصول و عمل، جلد 2. آپر سادل ریور، نیوجرسی، ایالات متحده: پرنتیس-هال، 1996.

[84]آر. کووالچوکوف و همکاران، «تحلیل اثرات جهت‌گیری و ارتفاع‌های تصادفی در ارتباطات mmWave مبتنی بر پهپاد»، IEEE Trans. Veh. فناوری، جلد ۶۷، شماره ۱۰، صفحات ۱۰۰۶۹–۱۰۰۶۴، اکتبر ۲۰۱۸.

[85]م. کی. سایمون و ام.-اس. آلوینی، ارتباطات دیجیتال از طریق کانال‌های محوشونده، جلد 95. هوبوکن، نیوجرسی، ایالات متحده: وایلی، 2005.

[86]آر. جی. وایلر، ام. پیتر، دبلیو. کئوسگن، کی. ساکاگوچی، و اف. اوندی، «سایه ناشی از محیط بر روی لینک‌های دسترسی موج میلی‌متری شهری»، IEEE Wireless Commun. Lett.، جلد 5، شماره 4، صفحات 443-440، آگوست 2016.

[87]جی آر مک‌کارتنی، اس. دنگ، اس. سان، و تی اس راپاپورت، «انسداد امواج میلی‌متری انسان در 73 گیگاهرتز با یک مدل پراش ساده دو لبه چاقویی و بسط آن برای آنتن‌های جهت‌دار»، در مجموعه مقالات (VTC-Fall)، 2016، IEEE 84th Veh. Technol. Conf. صفحات 1-6.

[88]جی آر مک‌کارتنی، تی اس راپاپورت، و اس. رنگان، «محو سریع به دلیل انسداد انسانی در جمعیت عابران پیاده در فرکانس‌های موج میلی‌متری 5G»، در مجموعه مقالات کنفرانس ارتباطات جهانی IEEE (GLOBECOM)، 2017، صفحات 1-7.

[89]بی.ای. بیلگین، اچ. رمضانی، و او.بی. آکان، «مدل انسداد انسانی برای ارتباطات باند تراهرتز داخلی»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی IEEE کارگاه‌های آموزشی ارتباطات (کارگاه‌های ICC)، ۲۰۱۹، صفحات ۱ تا ۶.

[90]ای. یاماموتو، کی. اوگاوا، تی. هوریماتسو، ای. کاتو، و ام. فوجیسه، «مدل‌های پیش‌بینی تلفات مسیر برای ارتباط بین خودرویی در 60 گیگاهرتز»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد 57، شماره 1، صفحات 78-65، ژانویه ۲۰۰۸.

[91]ام. بوبان و همکاران، «مشخصه‌سازی کانال چندبانده خودرو به خودرو در حضور انسداد خودرو»، IEEE Access، جلد 7، صفحات 9735-9724، 2019.

[92]جی.-جی. پارک، جی. لی، جی. لیانگ، کی.-دبلیو. کیم، کی.-سی. لی، و ام.-دی. کیم، «ویژگی‌های انسداد وسایل نقلیه موج میلی‌متری بر اساس اندازه‌گیری‌های 28 گیگاهرتز»، در مجموعه مقالات Conf. (IEEE VTC-Fall)، 2017، IEEE 86th Veh. Technol. صفحات 1-5.

[93]جی.-جی. پارک، جی. لی، کی.-دبلیو. کیم، کی.-سی. لی، و ام.-دی. کیم، «اتلاف مسیر وابسته به موقعیت آنتن خودرو برای ارتباطات V2V موج میلی‌متری»، در مجموعه مقالات یازدهمین سمپوزیوم جهانی امواج میلی‌متری (GSMM)، مه 2018، صفحات 1-3.

[94]کانال‌های فیزیکی و مدولاسیون (نسخه 3GPP، «(15 سوفیا آنتیپولیس، فرانسه، 3GPP، «NR؛ Rep. TR 38.211، دسامبر 2017.

[95]پی. بورونین، وی. پتروف، دی. مولچانوف، وای. کوچریاوی، و جی. ام. جورنت، «تحلیل ظرفیت و توان عملیاتی ارتباطات ماشینی نانومقیاس از طریق پنجره‌های شفاف در باند تراهرتز»، Nano Commun. Netw.، جلد 5، شماره 3، صفحات 82-72، 2014.

[96]جی.ام. جورنت و آی.اف. آکیلدیز، «مدل‌سازی کانال و تحلیل ظرفیت برای نانوشبکه‌های بی‌سیم الکترومغناطیسی در باند تراهرتز»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 10، شماره 10، صفحات 3221-3211، اکتبر 2011.

[97]ال. روتمن و همکاران. HITRAN: «پایگاه داده جذب مولکول‌های عبوری با وضوح بالا». 2014. [آنلاین]. موجود در: https://www.cfa.harvard.edu/

[52]مطالعه‌ای بر روی سرویس‌های مجاورت دستگاه به دستگاه LTE؛ جنبه‌های رادیویی (نسخه V12.0.1، 12)، استاندارد 3GPP TS 36.843، مارس 2014.

[53]ای سی استریناتی و همکاران، «6G: مرز بعدی: از پیام‌رسانی هولوگرافیک تا هوش مصنوعی با استفاده از ارتباطات زیرتراهرتز و نور مرئی»، مجله فناوری IEEE، جلد 14، شماره 3، صفحات 50-42، سپتامبر 2019.

[54]ام. جوردانی، ام. پولسه، ام. مزاویلا، اس. رنگان، و ام. زورزی، «به سوی شبکه‌های 6G: موارد استفاده و فناوری‌ها»، IEEE Commun. مگ.، ج. 58، شماره 3، صفحات 61-55، مارس 2020.

[55]ز. قادر، ک. ن. لی، ن. سعید، و اچ. اس. منور، «به سوی اینترنت اشیا نسل ششم: پیشرفت‌های اخیر، موارد استفاده و چالش‌های پیش رو»، ICT Exp.، جلد 9، شماره 3، صفحات 312، 2023، 296-312.

[56]گروه مشخصات فنی، خدمات و جنبه‌های سیستم؛ جنبه‌های خدمات؛ اصول خدمات (نسخه 18، نسخه 18.4.0، استاندارد 3GPP TS 22.101، ژوئن 2022.

[57]تی. تران و همکاران، «فعال‌سازی چندپخشی و پخش در هسته 5G برای شبکه‌های ثابت و سیار همگرا»، IEEE Trans. Broadcast.، جلد 66، شماره 2، صفحات 439-428، ژوئن 2020.

[58]وای. زنگ، ایکس. شو، و آر. ژانگ، «طراحی مسیر برای کمینه‌سازی زمان تکمیل در پخش چندگانه با قابلیت پهپاد»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 17، شماره 4، صفحات 2246-2233، آوریل 2018.

[59] NetWorld2020 ETP و گروه کاری متخصص، «5G: چالش‌ها، اولویت‌های تحقیقاتی و توصیه‌ها»، پلتفرم فناوری اروپا، بروکسل، بلژیک، گزارش سفید، 2014. [آنلاین]. موجود: https://networld2020.eu/wp-content/uploads/2015/01/Joint-Whitepaper-V12-clean-after-consultation.pdf [60] دی. گومز-بارکرو، دی. ناوراتیل، اس. اپل‌بای، و ام. استاگ، «توانمندسازهای ارتباط نقطه به چند نقطه برای نسل پنجم سیستم‌های بی‌سیم»، IEEE Commun. Stand. Mag.، جلد 2، شماره 1، صفحات 59-53، مارس 2018.

[61]«الزامات فرکانس رادیویی (RF) برای گره LTE Pico B (نسخه 12)»، 3GPP، سوفیا آنتیپولیس، فرانسه، جمهوری TR 36.911، سپتامبر 2012.

[62] V. Petrov، M. Komarov، D. Moltchanov، JM Jornet، و Y. Koucheryavy، «تداخل و SINR در سیستم‌های ارتباطی موج میلی‌متری و تراهرتز با آنتن‌های مسدودکننده و جهت‌دار»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 16، شماره 3، صفحات 1808-1791، مارس 2017.

[63]آر. کووالچوکوف، دی. مولچانوف، ای. پیاتایف، و ای. اومتوف، «ارزیابی اتصال چندگانه در سیستم‌های 5G NR با ترکیبی از ترافیک تک‌پخشی و چندپخشی»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی ارتباطات اینترنت بی‌سیم سیمی، 2019، صفحات 128-118.

[64] V. Begishev و همکاران، «تحلیل عملکرد عملیات مایکروویو چند بانده و موج میلی‌متری در سیستم‌های 5G NR»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 20، شماره 6، صفحات 3490-3475، ژوئن 2021.

[65] V. Begishev و همکاران، «استفاده مشترک از ظرفیت محافظ و اتصال چندگانه برای بهبود تداوم جلسه در سیستم‌های 5G NR موج میلی‌متری»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد ۷۰، شماره ۳، صفحات ۲۶۷۲–۲۶۵۷، مارس ۲۰۲۱.

[66]ای.بی. کنستانتین و همکاران، نظریه آنتن: تحلیل و طراحی. هوبوکن، نیوجرسی، ایالات متحده: وایلی، ۲۰۰۵.

[67]او. گالینینا، آ. پیاتایف، ک. جانسون، س. آندریف، و ی. کوچریاوی، «تحلیل اثرات ناشنوایی جهت‌دار بر دسترسی به کانال mmWave در باندهای بدون مجوز»، در مجموعه مقالات کارگاه‌های Globecom (GC Wkshps)، 2017، IEEE صفحات 1-7.

[68]اُ. چوخنو، ن. چوخنو، اُ. گالینینا، ی. گایداماکا، س. آندریف، و ک. ساموئیلوف، «تحلیل اثرات ناشنوایی سه‌بعدی در ارتباطات موج میلی‌متری با جهت‌گیری بالا»، در مجموعه مقالات IEEE Global Commun. کنفرانس (GLOBECOM)، 2019، صفحات 1-6.

[69]او. چوخنو و همکاران، «ارزیابی جامع ناشنوایی جهت‌دار در شبکه‌های سه‌بعدی توزیع‌شده مبتنی بر mmWave»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 21، شماره 9، صفحات 7505-7491، سپتامبر 2022.

[70]جی. دی. کراوس و آر. جی. مارهفکا، آنتن‌هایی برای همه کاربردها. جدید یورک، نیویورک، ایالات متحده: مک‌گرا-هیل، ۲۰۲۲.

[71]س. شن، تی.-اچ. چانگ، کی.-وای. وانگ، زد. کیو، و سی.-وای. چی، «شکل‌دهی پرتو هماهنگ چندسلولی قوی توزیع‌شده با CSI ناقص: یک رویکرد ADMM»، IEEE Trans. Signal Process.، جلد 60، شماره 6، صفحات 3003-2988، ژوئن 2012.

[72]چ. ژانگ، سی. جیانگ، جی. وانگ، ال. وانگ، وای. رن، و ال. هانزو، «بهینه‌سازی شکل‌دهی پرتو چندپخشی در شبکه‌های ناهمگن زمینی و ماهواره‌ای مبتنی بر ابر»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد 69، شماره 2، صفحات 1776-1766، فوریه 2020.

[73] Z. Zhang، M. Tao، و Y.-F. Liu، «یادگیری شکل‌دهی پرتو در انتقال چندپخشی و تک‌پخشی مشترک با CSI ناقص»، IEEE Trans. ارتباطات، جلد ۷۱، شماره ۵، صفحات ۲۷۲۳-۲۷۱۱، مه ۲۰۲۳.

[74]اس.-اچ. پارک، بی. کیم، دی.کی. کیم، ال. دای، کی.-کی. وانگ، و سی.-بی. چای، «شکاف پرتو در سیستم‌های mmWave فوق پهن‌باند: آرایه لنز RF در مقابل آرایه مبتنی بر شیفت‌دهنده فاز»، IEEE Wireless Commun.، جلد 30، شماره 4، صفحات 89-82، آگوست 2023.

Machine Translated by Google

[124]وای. نیو و همکاران، «ارتباطات دستگاه به دستگاه، برنامه‌ریزی چندپخشی را با استفاده از کتاب کد چندسطحی در سلول‌های کوچک mmWaveامکان‌پذیر کرد»، Mobile Netw. Appl.، جلد 24، شماره 5، صفحات 1603-1617، 2019.

[125]م. حیاتی، ح. کلیخانی، و م. گ. شایسته، «انتخاب رله با بهره‌وری انرژی و تخصیص توان برای ارتباطات D2Dچندپخشی چندمنبعی با کد شبکه»، مجله بین‌المللی الکترون، جلد 128، ژانویه 2021، شماره ماده 153522.

[126]ام. فالگرن و همکاران، «توانمندسازهای چندپخشی و پخش برای سیستم‌های V2Xسلولی با عملکرد بالا»، Broadcast. IEEE Trans.، جلد 65، شماره 2، صفحات 454-463، ژوئن 2019.

[127]سی. سوراسی، اس. پیزی، دی. گارومپولو، جی. آرانیتی، ای. مولینارو، و ای. ایرا، «ارتباطات D2Dامن و قابل اعتماد در شبکه‌های 5G»، Ad Hoc Netw.، جلد 114، آوریل 2021، شماره ماده 102403.

[128]اس. پیزی، سی. سوراسی، ای. ایرا، ای. مولینارو، و جی. آرانیتی، «رویکردی با کمک لینک جانبی برای ارائه خدمات چندپخشی امن: از ترافیک چندرسانه‌ای انسان‌محور تا ارتباطات نوع ماشین»، IEEE Trans. Broadcast.، جلد 67، شماره 1، صفحات 313-323، مارس 2021.

[129] N.-S. Vo, T.-M. Phan, M.-P. Bui, X.-K. Dang, NT Viet, C. Yin، و «استراتژی انتخاب کمک‌کننده و اشتراک‌گذاری طیف با آگاهی اجتماعی، جریان‌سازی ویدیوی چندپخشی بهینه‌شده در شبکه‌های متراکم D2D 5G»، IEEE Syst. J.، جلد 15، شماره 3، صفحات 3480-3491، سپتامبر 2021.

[130]جی. ژائو، «بهینه‌سازی‌ها با سطوح بازتابنده هوشمند (IRS)در شبکه‌های بی‌سیم 6G: کنترل توان، کیفیت خدمات، شکل‌دهی پرتو منصفانه حداکثر-حداقل برای تک‌پخشی، پخش و چندپخشی با کاربران تلفن همراه چند آنتنه و SRIهای چندگانه»، 2019، arXiv:1908.03965.

[131]کیو. تائو، اس. ژانگ، سی. ژونگ، و آر. ژانگ، «چندپخشی هوشمند به کمک سطح بازتابنده با شکل‌دهی پرتو غیرفعال تصادفی»، Lett. IEEE Wireless Commun.، جلد 10، شماره 1، صفحات 92-96، ژانویه 2021.

[132]ال. دو، دبلیو. ژانگ، جی. ما، و وای. تانگ، «سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد برای بهره‌وری انرژی در انتقال‌های چندپخشی»، IEEE Trans.
وه. تکنول.، جلد ۷۰، شماره ۶، صفحات ۶۲۷۱–۶۲۶۶، ژوئن ۲۰۲۱.

[133]اچ. تقوایی، ای. جین، اس. آبادال، ای. آلارکون، و ای. کابلوس-آپاریسیو، «درباره‌ی توانمندسازی ارتباطات چندکاربره با سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد»، arXiv:2106.06789، 2021.

[134]اس. وانگ و کیو. لی، «شکل‌دهی پرتو چندپخشی امن و توزیع‌شده مقاوم با سطح بازتابنده هوشمند»، Security. IEEE Trans. Inf. Forensics، جلد 16، صفحات 5441–5429، 2021.

[135] KV Mishra, A. Chattopadhyay, SS Acharjee، و «OptM3Sec: AP Petropulu، بهینه‌سازی کانال مخفی DFRC چند آنتنه با کمک IRSچندپخشی با استراق سمع چندگانه»، در مجموعه مقالات Speech Signal Process. (ICASSP)، 2022، IEEE Int. Conf. Acoust.، صفحات 9041-9037.

[136]ال. دو، اس. شائو، جی. یانگ، جی. ما، کیو. لیانگ، و وای. تانگ، «تعیین ظرفیت برای سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد به کمک چندپخشی چند آنتنه»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 20، شماره 10، صفحات 6953-6940، اکتبر 2021.

[137] X. Mu, Y. Liu, L. Guo, J. Lin، و «ارتباطات بی‌سیم با کمک RIS و ارسال و انعکاس همزمان R. Schober، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 21، شماره 5، صفحات 3083-3098، مه 2022.

[138]او، چوخنو، ان. چوخنو، اس. پیزی، ای. مولینارو، ای. ایرا، و جی. آرانیتی، «مدل‌سازی ارتباطات جهت‌دار با کمک سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد برای خدمات چندپخشی»، در مجموعه مقالات کنفرانس ارتباطات جهانی (GLOBECOM)، 2022، IEEE صفحات 5855-5850.

[139]اف. رینالدی، اس. پیزی، ای. مولینارو، ای. ایرا، و جی. آرانیتی، «تخصیص منابع مشارکتی در شبکه‌های یکپارچه زمینی/غیرزمینی 5G و فراتر از آن»، در مجموعه مقالات کنفرانس ارتباطات جهانی IEEE.

(گلوبکام)، ۲۰۲۰، صفحات اتا ۶.

[140]ال. لیو، جی. ژانگ، ایکس. ژانگ، پی. وانگ، وای. وانگ، و ال. اویانگ، «طراحی و تحلیل طرح انتقال مشارکتی چندپخشی-تک‌پخشی در شبکه‌های ترکیبی ماهواره‌ای-زمینی»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی IEEE.

سیستم، 2018، (ICCS)، صفحات 314-309.

[141]اف. رینالدی و همکاران، «خدمات پخش از طریق 5G NR، شبکه‌های غیرزمینی چند پرتویی را فعال می‌کند»، Broadcast. IEEE Trans.، جلد 67، شماره 1، صفحات 33-45، مارس 2021.

[142] F. Rinaldi, A. Tropeano, S. Pizzi, A. Molinaro، و G. Araniti، "تشکیل ناحیه پرتو دینامیک MBSFNدر شبکه های غیر زمینی چند پرتوی 6G،" IEEE Trans. هوانوردی الکترون. سیست.، جلد. 58، شماره 5، صفحات 3760-3774، اکتبر 2022.

[143]اف. رینالدی و همکاران، «شبکه‌های غیرزمینی در 5G و فراتر از آن: یک بررسی»، IEEE Access.، جلد ۸، صفحات ۱۶۵۲۰۰، ۲۰۲۰–۱۶۵۱۷۸.

[144] MM Azari, S. Solanki, S. Chatzinotas, O. Kodheli, H. Sallouha, and AO Colpaert, «تکامل شبکه‌های غیرزمینی از 5G به 6G: یک بررسی»، IEEE Commun. Surveys Tuts.، جلد 24، شماره 4، صفحات 2672-2633، فصل چهارم، 2022.

[145]پی. بورونین، دی. مولچانوف، و وای. کوچریاوی، «یک مدل نویز مولکولی برای کانال‌های تراهرتز»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی IEEE (ICC)، 2015، صفحات 1291-1286.

[146] J. Kokkoniemi, J. Lehtomäki، و [147] M. Junti، "بحثی در مورد نویز جذب مولکولی در باند تراهرتز"، Netw., vol. 8، Nano Commun.، صفحات 45-35، ژوئن 2016.

[148] A. Samuylov و همکاران، «توصیف موازنه‌های تخصیص منابع در 5G NR که ترافیک چندپخشی و تک‌پخشی را ارائه می‌دهد»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 19، شماره 5، صفحات 3434-3421، مه 2020.

[149]ن. چوخنو، او. چوخنو، اس. پیزی، ای. مولینارو، ای. ایرا، و جی. آرانیتی، «مدیریت کارآمد ترافیک چندپخشی در شبکه‌های موج میلی‌متری جهت‌دار»، IEEE Trans. Broadcast.، جلد 67، شماره 3، صفحات 605-593، سپتامبر 2021.

[150]ن. چوخنو و همکاران، «چندپخشی بهینه در استقرار دوگانه موج میلی‌متری/میکروویو 5G NR با آنتن‌های جهت‌دار چند پرتویی»، IEEE Trans. Broadcast.، دسترسی زودهنگام، 23 آگوست 2023، doi: 10.1109/TBC.2023.3301713.

[151]ن. چوخنو و همکاران، «استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای پخش چندگانه بهینه در سیستم‌های Broadcast. IEEE Trans.، 5G NR»، جلد 69، شماره 1، صفحات 214-201، مارس 2023.

[152]اس. مارتلو و پی. توت، مسائل کوله پشتی: الگوریتم‌ها و پیاده‌سازی‌های کامپیوتری، هوبوکن، نیوجرسی، ایالات متحده: وایلی، 1990.

[153]تی‌جی کریتیک، افدی فومنی، و دبلیو. ری، مسئله بسته‌بندی سطل با هزینه و اندازه متغیر چند دوره‌ای با هزینه تخصیص: روش‌های اکتشافی سازنده کارآمد، نیویورک، نیویورک، ایالات متحده آمریکا: سیرلت، 2019.

[154]ای. بیاسون و ام. زورزی، «انتقال چندپخشی در ارتباطات موج میلی‌متری جهت‌دار»، در مجموعه مقالات بیست و سومین کنفرانس بی‌سیم اروپا، 2017، صفحات 7-1.

[155]جی. فن، کیو. یین، جی. وای. لی، بی. پنگ، و ایکس. ژو، «انتخاب MCS برای بهبود توان عملیاتی در سیستم‌های LTE داون‌لینک»، در مجموعه مقالات بیستمین کنفرانس بین‌المللی کامپیوتر و ارتباطات شبکه (ICCCN)، 2011، صفحات 1 تا 5.

[156]اچ. پارک، اس. پارک، تی. سونگ، و اس. پک، «یک طرح گروه‌بندی چندپخشی افزایشی برای شبکه‌های mmWave با آنتن‌های جهت‌دار»،
نامه‌ی ارتباطات IEEE، جلد ۱۷، شماره ۳، صفحات ۶۱۹-۶۱۶، مارس ۲۰۱۳.

[157]«چارچوب معماری برای یادگیری ماشین در شبکه‌های آینده شامل ITU، IMT-2020»، ژنو، سوئیس، توصیه‌نامه ITU-T 3172، 2020.

[158]«چارچوبی برای مدیریت داده‌ها جهت فعال‌سازی یادگیری ماشینی در شبکه‌های آینده شامل ITU، IMT-2020»، ژنو، سوئیس، توصیه‌نامه ITU-T شماره Y.3174، 2020.

[159]«ادغام بازار یادگیری ماشین در شبکه‌های آینده از جمله ITU، IMT-2020»، ژنو، سوئیس، توصیه‌نامه ITU-T شماره Y.3176، 2020.

[160]ای. گرون، یادگیری ماشین عملی با Scikit-Learn و TensorFlow: مفاهیم، ابزارها و تکنیک‌هایی برای ساخت سیستم‌های هوشمند، نیویورک، نیویورک، ایالات متحده آمریکا: انتشارات O'Reilly Media، 2017.

[161]ام. مرندا، سی. پورکارو، و دی. ایرو، «یادگیری ماشین لبه‌ای برای دستگاه‌های اینترنت اشیا مجهز به هوش مصنوعی: یک بررسی»، حسگرها، جلد 20، شماره 9، صفحه 2533، 2020.

[162]ام. فیشتی و ای. لودی، «شاخه‌بندی محلی»، برنامه ریاضی، جلد 98، شماره 1، صفحات 47-23، 2003.

[163]ای. دانا، ای. روتبرگ، و سی. لو پایه، «بررسی محله‌های آرام‌سازی‌شده برای بهبود راه‌حل‌های MIP»، برنامه ریاضی، جلد 102، شماره 1، صفحات 90-71، 2005.

[164]وای. فو و ای. بانرجی، «روش‌های اکتشافی/فراکتشافی برای مسئله بسته‌بندی محدود سطل زباله»، مجله هیوریست، جلد 26، شماره 5، صفحات 662-637، 2020.

[165]م.-ت. وکیل-باغمیشه و ا. نواررباف، «یک الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده بسیار سریع اصلاح‌شده»، در مجموعه مقالات IEEE Int. Symp. Telecommun.، 2008، صفحات 66-61.

[166]ای اچ آرتس و جی اچ کورست، «ماشین‌های بولتزمن به عنوان مدلی برای آنیلینگ موازی»، الگوریتمیکا، جلد 6، شماره 1، صفحات 465-437، 1991.

[167]م. پیورو و د. مدحی، طراحی مسیریابی، جریان و ظرفیت در شبکه‌های ارتباطی و کامپیوتری، آمستردام، هلند: الزویر، 2004.

[168]ام. یوسف، کی. لانسی، و اف. پاشا، «الگوریتم جهش قورباغه‌ی مختلط: یک فراابتکاری ممتیک برای بهینه‌سازی گسسته»، Eng. Optim.، جلد 38، شماره 2، صفحات 154-129، 2006.

[169]سی. گالو و وی. کاپوزی، «یک الگوریتم شبیه‌سازی تبرید برای مسائل زمان‌بندی»، مجله فیزیک ریاضی کاربردی، جلد 7، شماره 11، صفحات 2594-2579، 2019.

[170]وای. نیو، وای. لیو، وای. لی، ایکس. چن، زد. ژونگ، و زد. هان، «ارتباطات دستگاه به دستگاه، برنامه‌ریزی چندپخشی با مصرف انرژی بهینه را در سلول‌های کوچک موج میلی‌متری امکان‌پذیر کرد»، IEEE Trans. Commun.، جلد 66، شماره 3، صفحات 1109-1093، مارس 2019.

[171]وای. نیو، ال. یو، وای. لی، زد. ژونگ، و بی. آی، «ارتباطات دستگاه به دستگاه، برنامه‌ریزی چندپخشی را برای سلول‌های کوچک mmWave با استفاده از کتاب‌های کد چندسطحی امکان‌پذیر کرد»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد 68، شماره 3، صفحات 2738-2724، مارس 2019.

Machine Translated by Google

[168]ب. گودا، آی. آتزنی، و آ. تولی، «طراحی پیش‌کدگذاری توزیع‌شده برای پخش چندگانه چندگروهی در MIMOعظیم بدون سلول»، در مجموعه مقالات کنفرانس ارتباطات جهانی GIEEE، 2022. صفحات 2393-2388.

[169]ام. ژو، وای. ژانگ، ایکس. کیائو، ام. شی، ال. یانگ، و اچ. ژو، «سیستم‌های MIMOانبوه بدون سلول چندپخشی چندگروهی برای دانلود با کاربران چندآنتنی و مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال/دی‌ای‌سی با وضوح پایین»، مجله IEEE Syst. J.، جلد 16، شماره 3، صفحات 3589-3578، سپتامبر 2022.

[170]جی. لی، کیو. پن، زد. وو، پی. ژو، دی. وانگ، و ایکس. یو، «کارایی طیفی انتقال تک‌پخشی و چندگروهی چندپخشی در سیستم‌های MIMOعظیم توزیع‌شده بدون سلول»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد 71، شماره 12، صفحات 12839–12826، دسامبر 2022.

[171]تی‌تی وو، دی‌تی ان‌گو، ان‌اچ تران، اچ‌کیو ان‌گو، ام‌ان دائو، و آر اچ میدلتون، «MIMOانبوه بدون سلول برای یادگیری فدرال بی‌سیم»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 19، شماره 10، صفحات 6392-6377، اکتبر 2020.

[172] TT Vu، HQ Ngo، TL Marzetta، و M. Matthaiou، «چگونه MIMOعظیم بدون سلول از چندین گروه یادگیری فدرال پشتیبانی می‌کند؟» در Proc. IEEE بیست و دومین کارگاه بین‌المللی پردازش سیگنال، Adv. Wireless Communication، 2021، صفحات 405-401.

[173] TT Vu، DT Ngo، HQ Ngo، MN Dao، NH Tran، و RH Middleton، «کاهش اثر Stragglerبرای یادگیری فدرال در MIMOعظیم بدون سلول»، در Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)، 2021، صفحات 6-1.

[174]آر.-جی. ریفرت، ای.ای. احمد، وای. مائو، ای. سزگین، و بی. کلرک، «دسترسی چندگانه با تقسیم نرخ در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری با کمک حافظه پنهان»، فرانت. کامن. نت، جلد ۲، مه ۲۰۲۱، شماره ماده ۷۱۶۶۲۰.

[175]وای. چن، اس. هی، وای. هوانگ، جی. رن، و ال. یانگ، «طراحی پرتودهی چندپخشی چندگروهی قوی برای شبکه دسترسی رادیویی ابری با محدودیت بک‌هال»، IEEE Signal Process. Lett.، جلد 26، شماره 1، صفحات 193-189، ژانویه 2019.

[176] Z. Zhao، M. Peng، Z. Ding، W. Wang، و HV Poor، «ذخیره‌سازی محتوای خوشه‌ای: رویکردی با بهره‌وری انرژی برای بهبود کیفیت خدمات در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری»، IEEE J. Sel. Areas Commun.، جلد 34، شماره 5، صفحات 1221-1207، مه 2016.

[177]اچ. ژو، ام. تائو، ای. چن، و دبلیو. یو، «شکل‌دهی پرتو چندپخشی محتوامحور در شبکه‌های دسترسی رادیویی ابری با قابلیت ذخیره در حافظه پنهان»، در مجموعه مقالات کنفرانس ارتباطات جهانی IEEE (GLOBECOM)، 2015، صفحات 1 تا 6.

[178]ام. تائو، ای. چن، اچ. ژو، و دبلیو. یو، «شکل‌دهی پرتو چندپخشی پراکنده محتوامحور برای RANابری با قابلیت ذخیره در حافظه پنهان»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 15، شماره 9، صفحات 6131-6118، سپتامبر 2016.

[179]ب. شریدر و آ. افریمیدز، «تحلیل تأخیر صف‌بندی برای چندپخشی با کدگذاری خطی تصادفی»، Trans. Inf. Theory، IEEE، جلد 58، شماره 1، صفحات 429-421، ژانویه 2012.

[180]اف. چیتی، آر. فانتاچی، اف. شوئن، و ای. تاسی، «کدگذاری تصادفی بهینه شبکه برای ارتباطات چندپخشی قابل اعتماد»، IEEE Commun. Lett.، vol. 17، شماره 8، صفحات 1627-1624، اوت 2013.

[181]ای. تسیمبالو، ای. تاسی، و آر. جی. پیچوکی، «قابلیت اطمینان چندپخشی تحت کدگذاری خطی تصادفی شبکه»، IEEE Trans. Commun.، جلد 66، شماره 6، صفحات 2559-2547، ژوئن 2018.

[182]پی. فن، سی. ژی، سی. وی، و کی. بی. لِتایِف، «چندپخشی بی‌سیم با کمک رله‌ی قابل اعتماد با استفاده از کدگذاری شبکه»، IEEE J. Sel. Areas Commun.، جلد 27، شماره 5، صفحات 762-749، ژوئن 2009.

[183] Z. Chen، P.-H. Ho، و L. Peng، «به حداقل رساندن اعوجاج برای پخش چندگانه بی‌سیم با کمک رله»، J. Commun. Netw.، جلد 20، شماره 1، صفحات 8-1، 2018.

[184]دی. نگوین، تی. تران، تی. نگوین، و بی. بوز، «پخش بی‌سیم با استفاده از کدگذاری شبکه»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد 58، شماره 2، صفحات 925-914، فوریه 2009.

[185]اس. کتی، اچ. راهول، دبلیو. هو، دی. کاتبی، ام. مدارد، و جی. کروکرافت، «ROXها در هوا: کدگذاری عملی شبکه بی‌سیم»، IEEE/ACM Trans. Netw.، جلد 16، شماره 3، صفحات 510-497، ژوئن 2008.

[186]پی. راتور، کی. داکا، و اس. کی. بوز، «چندپخشی با کمک کدگذاری شبکه در شبکه‌های بی‌سیم چندگامه»، Commun. Comput.، جلد 138، صفحات 53-45، آوریل 2019.

[187] Z. Zhong، R. Wang، R. Ma، W. Kang، و G. Liu، «بهینه‌سازی ظرفیت مبتنی بر کدگذاری شبکه برای شبکه پویای فضا»، در مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی EAI، 6GN Future Wireless Network، 2022، صفحات 50-38.

[188]وای. شی، زد. ژو، پی. فن، کی.بی. لِتایِف، و سی. پنگ، «FedNC: یک روش یادگیری فدرال امن و کارآمد با الهام از کدگذاری شبکه»، 2023، arXiv:2305.03292.

[189]س. ولادیمیروف، ا. ویبورنووا، ا. مثنی، ا. کوچریاوی، و ا. ا. لطیف، «پروتکل دیتاگرام کدگذاری شبکه برای شبکه‌های TCP/IP»، IEEE Access، جلد 11، صفحات 43498، 2023. 43485–

[190]ز. دینگ، ز. ژائو، م. پنگ، و اچ. وی پور، «درباره‌ی بهبود کارایی طیفی و امنیت استریمینگ چندپخشی-تک‌پخشی به کمک NOMA»، IEEE Trans. Commun.، جلد 65، شماره 7، صفحات 3163-3151، ژوئیه 2017.

[145]جی. یه، جی. کیائو، ای. کامون، و ام.-اس. آلوینی، «ارتباطات غیرزمینی با کمک سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد»، مجموعه مقالات IEEE، جلد ۱۱۰، شماره ۹، صفحات ۱۴۶۵–۱۴۲۳، سپتامبر ۲۰۲۲.

[146]جی. گراسی، دی. لوپز-پرز، ام. بنزاگتا، و اس. چاتزینوتاس، «ادغام شبکه‌های زمینی و غیرزمینی: فرصت‌ها و چالش‌های سه‌بعدی»، مجله ارتباطات IEEE، جلد 61، شماره 4، صفحات 48-42، آوریل 2023.

[147]دی. وانگ، وای. وای. لان، تی. ژائو، زی. یین، و ایکس. وانگ، «درباره طراحی تخلیه بار محاسباتی در شبکه‌های چندپخشی D2D با کمک حافظه پنهان»، IEEE Access، جلد 6، صفحات 63441، 2018. 63426–

[148]اچ. هائو، سی. شو، اس. یانگ، ال. ژونگ، و جی.-ام. مونتین، «بهینه‌سازی چندپخشی برای تخصیص منابع با محاسبات لبه‌ای و ذخیره‌سازی»، مجله محاسبات شبکه، جلد 193، نوامبر 2021، شماره ماده 103195.

[149]سی. پنگ، جی. چن، ژی. چن، ام. اس. عبیدات، پی. ویجایاکومار، و دی. هی، «طرح رمزگذاری علامت چندگیرنده‌ای کارآمد و با امنیت قابل اثبات برای ارتباط چندپخشی در محاسبات لبه‌ای»، مجله اینترنت اشیا IEEE، جلد 7، شماره 7، صفحات 6068-6056، ژوئیه 2020.

[150]کیو. شو و پی. رن، «انتقال امن آگاه از تأخیر در شبکه چندپخشی مجهز به MEC»، در مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی IEEE/CIC، چین، 2020، (ICCC)، صفحات 1267-1262.

[151]وای. ما، دبلیو. لیانگ، جی. وو، و زد. شو، «حداکثرسازی توان عملیاتی چندپخشی با قابلیت NFVدر شبکه‌های ابری لبه موبایل»، IEEE Trans. سیستم توزیع موازی، جلد ۳۱، شماره ۲، صفحات ۷-۴-۳۹۳، فوریه ۲۰۲۰.

[152]اچ. رن و همکاران، «الگوریتم‌های کارآمد برای پخش چندگانه‌ی NFVآگاه از تأخیر در ابرهای لبه‌ی موبایل با اشتراک‌گذاری منابع»، IEEE Trans. سیستم توزیع موازی، جلد ۳۱، شماره ۹، صفحات ۲۰۶۶، ۲۰۵۰–۲۰۵۵، سپتامبر ۲۰۲۰.

[153]اس. هی و همکاران، «پردازش هماهنگ لبه ابری: انتقال چندپخشی با تأخیر کم»، IEEE J. Sel. Areas Commun.، جلد 37، شماره 5، صفحات 1158-1144، مه 2019.

[154]ن. چوخنو، او. چوخنو، اس. پیزی، ای. مولینارو، ای. ایرا، و جی. آرانیتی، «یادگیری بدون نظارت برای زمان‌بندی چندپخشی با کمک D2Dدر شبکه‌های mmWave»، در مجموعه مقالات Multimedia System. Broadcast. (BMSB)، 2021، IEEE Int. Symp. Broadband، صفحات 6-1.

[155]اف. جیانگ، ال. ژانگ، سی. سان، و زد. یوان، «استراتژی خوشه‌بندی و تخصیص منابع برای شبکه‌های چندپخشی D2Dبا رویکردهای یادگیری ماشینی»، چاینا کامن، جلد 18، شماره 1، صفحات 211-196، 2021.

[156]س. اسلم، ف. عالم، س. ف. حسن، و م. ا. رشید، «یک رویکرد یادگیری ماشینی برای افزایش عملکرد شبکه‌های خوشه‌ای با قابلیت D2D»، IEE Access، جلد 9، صفحات 16132، 2021. 16114–

[157]ام اس ابراهیم، ای اس زمزم، ایکس. فو، و ان دی سیدیروپولوس، «انتخاب آنتن مبتنی بر یادگیری برای پخش چندگانه»، در مجموعه مقالات نوزدهمین کارگاه بین‌المللی IEEE، پردازش سیگنال. ارتباطات بی‌سیم پیشرفته (SPAWC)، 2018، صفحات 1 تا 5.

[158]ال. لیو، وای. وانگ، سی. هوآ، و جی. جیان، «یک رویکرد یادگیری برای شکل‌دهی پرتو چندپخشی کارآمد مبتنی بر فرآیند نقطه‌ای تعیین‌کننده»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 21، شماره 9، صفحات 7442-7427، سپتامبر 2022.

[159] Z. Zhang, H. Chen, M. Hua, C. Li, Y. Huang, and L. Yang, «ذخیره‌سازی دوگانه کدگذاری‌شده در شبکه‌های بسیار متراکم: ذخیره‌سازی و زمان‌بندی چندپخشی از طریق یادگیری تقویتی عمیق»، IEEE Trans. Commun.، جلد 68، شماره 2، صفحات 1086-1071، فوریه 2020.

[160]اس. لی، کیو. یو، ام. ای. مداح-علی، و ای. اس. اوستیمهر، «یک چارچوب مقیاس‌پذیر برای محاسبات توزیع‌شده بی‌سیم»، IEEE/ACM Trans. نت، جلد ۲۵، شماره ۵، صفحات ۲۶۵۴–۲۶۴۳، اکتبر ۲۰۱۷.

[161]اف. شو، اس. شائو، ام. تائو، کیو. هوانگ، کیو. یان، و ایکس. تانگ، «چندپخشی کدگذاری‌شده برای تحویل محتوا از طریق شبکه‌های ارتباطی ماهواره‌ای قابل پیش‌بینی متغیر با زمان»، چاینا کامن، جلد 20، شماره 6، صفحات 367-339، ژوئن 2023.

[162]م. بیات، آر. کی. مونگارا، و جی. کایر، «دستیابی به مقیاس‌پذیری مکانی برای ذخیره‌سازی کدگذاری‌شده از طریق چندپخشی چندنقطه‌ای کدگذاری‌شده»، IEEE Trans. ارتباطات بی‌سیم، جلد ۱۸، شماره ۱، صفحات ۲۴۰-۲۲۷، ژانویه ۲۰۱۹.

[163]اچ. ژائو، ای. بازکو-نوگراس، و پی. الیا، «حافظه پنهان کدگذاری‌شده بی‌سیم می‌تواند با بهره‌برداری از اندازه‌های محدود فایل، بر تنگنای بدترین کاربر غلبه کند»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد 21، شماره 7، صفحات 5466-5450، ژوئیه 2022.

[164]اچ.بی. محمودی، م. صالحی، و آ. تولی، «حافظه پنهان کدگذاری‌شده چندآنتنی برای تحویل محتوای وابسته به مکان»، IEEE Trans. Wireless Commun.، دسترسی زودهنگام، 25 مه 2023. doi: 10.1109/TWC.2023.3277983.

[165] TX Doan، HQ Ngo، TQ Duong، و K. Tourki، «درباره عملکرد MIMOانبوه چندگروهی بدون سلول»، IEEE Commun. Lett.، جلد 21، شماره 12، صفحات 2645-2642، دسامبر 2017.

[166] X. Zhang، D. Guo، K. An، Z. Ding، و B. Zhang، «تحلیل محرمانگی و تشخیص حمله فریب فعال پایلوت برای سیستم‌های MIMOعظیم بدون سلول چندپخشی چندگروهی»، IEEE Access، جلد 7، صفحات 57340، 2019. 57332–

[167] X. Zhang، D. Guo، و K. An، «ارتباط امن در شبکه‌های MIMOعظیم بدون سلول چندپخشی چندگروهی با حمله‌ی جعل فعال»، Electron. Lett.، جلد 55، شماره 2، صفحات 98-96، 2019.

Machine Translated by Google

[208]جی. هوانگ و همکاران، «سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد: توصیف و مدل‌سازی کانال» ، مجموعه مقالات IEEE، جلد ۱۱۰، شماره ۹، صفحات ۱۳۱۱-۱۲۹۰، سپتامبر ۲۰۲۲.

[209]ز. دینگ و همکاران، «کاربرد دسترسی چندگانه غیر متعامد در شبکه‌های LTE و 5G»، مجله ارتباطات IEEE، جلد ۵۵، شماره ۲، صفحات ۱۹۱-۱۸۵، فوریه ۲۰۱۷.

[210]مطالعه‌ای در مورد دسترسی یکپارچه و بک‌هال، نسخه 16.0.0»، 3GPP، سوفیا آنتی‌پولیس، فرانسه، جمهوری ۲۰۲۰. «NR؛ TR 38.874.

[211]وای. سادوویا و همکاران، «دسترسی و بک‌هال یکپارچه در تلفن همراه موج میلی‌متری: مزایا و چالش‌ها»، مجله ارتباطات IEEE، جلد ۶۰، شماره ۹، صفحات ۸۶-۸۱، سپتامبر ۲۰۲۲.

[212]دی. مولچانوف و همکاران، «توصیف عملکرد و حفاظت از ترافیک در استقرارهای چند بانده موج میلی‌متری و مایکروویو خیابانی»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد ۲۱، شماره ۱، صفحات ۱۷۸-۱۶۳، ژانویه ۲۰۲۲.

[213]اس. پیزی، ام. کاندولوسی، جی. آرانیتی، ای. مولینارو، و ای. ایرا، «یک رویکرد جدید برای مدیریت ترافیک تک‌پخشی و چندپخشی در شبکه‌های بی‌سیم»، در مجموعه مقالات IEEE 81st Veh. Technol. Conf. (VTC Spring)، 2015، صفحات ۵-۱.

[214] X. Zhang، S. Sun، F. Qi، R. Bo، RQ Hu، و Y. Qian، «خدمات ترکیبی تک‌پخشی/چندپخشی مبتنی بر MIMO انبوه برای 5G»، در Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)، 2016، صفحات ۶-۱.

[215]جی. آرانیتی، پی. اسکوپلیتی، جی.-ام. مونتین، و ای. ایرا، «انتخاب شبکه ترکیبی تک‌پخشی-چندپخشی برای تحویل ویدیو در محیط‌های شبکه‌ای متراکم و ناهمگن»، IEEE Trans. Broadcast.، جلد ۶۵، شماره ۱، صفحات ۹۳-۸۳، مه ۲۰۱۹.

[216]جی. گوئو، ایکس. گونگ، جی. لیانگ، دبلیو. وانگ، و ایکس. کو، «یک طرح بهینه‌شده برای استریمینگ ویدیوی تطبیقی ترکیبی تک‌پخشی/چندپخشی بر روی شبکه‌های بی‌سیم مجهز به MBMS»، IEEE Trans. Broadcast.، جلد ۶۴، شماره ۴، صفحات ۸۰۲-۷۹۱، دسامبر ۲۰۱۸.

[217] A. Al-Habob، H. Tabassum، و O. Waqar، «زمان‌بندی پویای تک‌پخشی-چندپخشی برای انتشار اطلاعات بهینه از نظر سن در شبکه‌های خودرویی»، در مجموعه مقالات IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)، 2022، صفحات ۱۲۲۳-۱۲۱۸.

[218]وی. پتروف و همکاران، «عملکرد اتصال چندگانه پویا در استقرارهای mmWave شهری فوق متراکم»، IEEE J. Sel. Areas Commun.، جلد ۳۵، شماره ۹، صفحات ۲۰۵۵-۲۰۳۸، سپتامبر ۲۰۱۷.

[219] V. Naumov، V. Beschastnyi، D. Ostrikova و Y. Gaidamaka، "تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم رادیویی جدید 5G با استفاده از سیستم‌های صف منابع محدود با نیازهای متفاوت،" در Proc. بین المللی Conf. توزیع کنید. محاسبه کنید. اشتراک. Netw.، صفحات ۱۴-۳، ۲۰۱۹.

[220] A. Samuylov، V. Beschastnyi، D. Moltchanov، D. Ostrikova، Y. Gaidamaka، و V. Sorgin، «مدل‌سازی همزیستی ارتباطات تک‌پخشی و چندپخشی در سیستم‌های رادیویی جدید 5G»، در مجموعه مقالات IEEE، سی‌امین سالگرد بین‌المللی سمپوزیوم ارتباطات رادیویی موبایل داخلی (PIMRC)، 2019، صفحات ۶-۱.

[221]وی. ناموف، وای. گایداماکا، ان. یارکینا، و کی. ساموئیلوف، ماتریس و روش‌های تحلیلی برای تحلیل عملکرد سیستم‌های مخابراتی. چام، سوئیس: اشپرینگر، ۲۰۲۱.

[222]ای. ام. الیبر، کی. وی. میشرا، اس. ای. وروبیوف، و آر. دبلیو. هیث، «بیست و پنج سال پیشرفت در شکل‌دهی پرتو: از بهینه‌سازی محدب و غیرمحدب تا تکنیک‌های یادگیری»، arXiv:2211.02165، ۲۰۲۲.

[223]وای. وو، ال. شیائو، جی. لیو، و تی. جیانگ، «شکل‌دهی پرتو ترکیبی برای ارتباطات بی‌سیم تراهرتز با پرتوی لوچی: یک بررسی»، چین. جی. الکترون، جلد ۳۱، شماره ۶، صفحات ۲۰۲۲، ۱-۱۰.

[191]ال. یانگ، جی. چن، کیو. نی، جی. شی، و ایکس. شو، «تک‌پخشی-چندپخشی مشارکتی با قابلیت NOMA: طراحی و تحلیل قطعی»، IEEE Trans. ارتباطات بی‌سیم، جلد ۱۶، شماره ۱۲، صفحات ۸۸۹-۷۸۷، دسامبر ۲۰۱۷.

[192] X. Mu، Y. Liu، L. Guo، J. Lin، و L. Hanzo، «رادار مشترک و ارتباط چندپخشی-تک‌پخشی: یک چارچوب به کمک NOMA»، در Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)، 2022، صفحات ۴۵۴۶-۴۵۴۱.

[193] X. Mu و همکاران، «سیستم‌های ارتباطی رادار مشترک و چندپخشی-تک‌پخشی با کمک NOMA»، IEEE J. Sel. Areas Commun.، جلد ۴۰، شماره ۶، صفحات ۱۹۹۲-۱۹۷۸، ژوئن ۲۰۲۲.

[194]ایکس. پی، اچ. یو، وای. چن، ام. ون، و جی. چن، «طراحی ترکیبی چندپخشی/تک‌پخشی در سیستم ذخیره‌سازی وسایل نقلیه مبتنی بر NOMA»، IEEE Trans. Veh. Technol.، جلد ۶۹، شماره ۱۲، صفحات ۱۶۳۰۸-۱۶۳۰۴، دسامبر ۲۰۲۰.

[195]ز. یانگ، ج. ا. حسین، پ. خو، ز. دینگ، و ی. وو، «مطالعه تخصیص توان برای شبکه‌های دسترسی چندگانه غیر متعامد با انتقال چندپخشی-تک‌پخشی»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد ۱۷، شماره ۶، صفحات ۳۵۹۹-۳۵۸۸، ژوئن ۲۰۱۸.

[196]جی. هو، جی. شی، ایکس. وانگ، ایکس. لو، زد. لی، و زد. تای، «انتقال محرمانه‌ی استریمینگ چندپخشی-تک‌پخشی مبتنی بر NOMA-OTFS»، چین کامنولث، جلد ۲۰، شماره ۱، صفحات ۱۳-۱، ۲۰۲۳.

[197]ک. شیائو، م. کادوچ، ه. روتاگموا، و س. لی، «پیش‌کدگذاری MIMO انبوه مبتنی بر NOMA فرصت‌طلبانه برای رادیوی جدید 5G»، ارتباطات بی‌سیم. محاسبات همراه، جلد ۲۰۱۸، صفحه ۱۲، دسامبر ۲۰۱۸.

[198] A. Orsino و همکاران، «اتصال مستقیم در حال حرکت: توصیف تحرک کاربر در سیستم‌های D2D با کمک سلولی»، Technol. IEEE Veh. مجله، جلد ۱۱، شماره ۳، صفحات ۳۸-۳۸، سپتامبر ۲۰۱۶.

[199]ن. چوخنو، آ. اورسینو، ج. تورسنر، آ. ایرا، و گ. آرانیتی، «انتقال چند گامی لینک جانبی 5G NR در سناریوهای ایمنی عمومی و اتوماسیون کارخانه»، IEEE Netw.، دسترسی زودهنگام، 16 ژانویه ۲۰۲۳. doi: 10.1109/MNET.124.2100765.

[200]جی. دای، جی. یو، اس. مائو، و دی. لیو، «ویدئوی واقعیت مجازی 360 درجه چندکیفیتی کاشی‌کاری شده با کمک لینک جانبی»، مجله اینترنت اشیا IEEE، جلد ۹، شماره ۶، صفحات ۴۵۹۷-۴۵۸۴، مارس ۲۰۲۲.

[201]ال. فنگ، زد. یانگ، وای. یانگ، ایکس. کو، و کی. ژانگ، «انتخاب حالت هوشمند با استفاده از یادگیری تقویتی آنلاین برای پخش گسترده پهنای باند واقعیت مجازی در شبکه‌های نسل پنجم مبتنی بر داده‌ی دوبعدی»، IEEE Trans. Broadcast.، جلد ۶۶، شماره ۲، صفحات ۶۱۱-۶۰۰، ژوئن ۲۰۲۰.

[202]ن. چوخنو، س. تریل، ج. تورس-سوسپدرا، آ. ایرا، و ج. آرانیتی، «الگوی موقعیت‌یابی مشارکتی مبتنی بر D2D برای سیستم‌های بی‌سیم آینده: یک بررسی»، مجله IEEE Sensors J.، جلد ۲۲، شماره ۶، صفحات ۵۱۱۲-۵۱۰۱، مارس ۲۰۲۲.

[203]کیو. وو و آر. ژانگ، «به سوی محیط هوشمند و قابل پیکربندی مجدد: شبکه بی‌سیم هوشمند به کمک سطح بازتابنده»، IEEE Commun. مگ.، ج. ۵۸، شماره ۱، صفحات ۱۱۲-۱۰۶، ژانویه ۲۰۲۰.

[204]اس. شن، بی. کلرک، و آر. مورج، «مدل‌سازی و طراحی معماری سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد با استفاده از تحلیل شبکه پارامتر پراکندگی»، IEEE Trans. Wireless Commun.، جلد ۲۱، شماره ۲، صفحات ۱۲۴۳-۱۲۲۹، مارس ۲۰۲۱.

[205]جی. ژو و همکاران، «سیستم‌های ارتباطی چندپخشی چندگروهی چندپخشی چندرسانه‌ای چندرسانه‌ای هوشمند با کمک سطح بازتابنده»، IEEE Trans. Signal Process.، جلد ۶۸، صفحات ۳۲۵۱-۳۲۳۶، ۲۰۲۰.

[206]سی. پن و همکاران، «سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد برای سیستم‌های 6G: اصول، کاربردها و مسیرهای تحقیقاتی»، مجله ارتباطات IEEE، جلد ۵۹، شماره ۶، صفحات ۲۰-۱۴، ژوئن ۲۰۲۱.

[207]ب. سیلیوم، ام. آی. پولاکیس، و ام. دی رنزو، «سطوح هوشمند قابل پیکربندی مجدد: ارزیابی عملکرد از طریق یک شبیه‌ساز سطح سیستم»، IEEE Wireless Commun.، جلد ۳۰، شماره ۴، صفحات ۱۰۶-۹۸، آگوست ۲۰۲۳.