

بدون سلول و کاربرمحله با برشبندی شبکه Massive MIMO مبتنی بر URLLC تخصیص منابع در سامانه‌های

IEEE)، ویوی شیا<sup>1</sup> (ادانشجوی تحصیلات تکمیلی،) هان لو<sup>1</sup>

IEEE)، ویوی میائو<sup>2</sup>، مینگشوان ژانگ<sup>2</sup>، فنگ یان<sup>1</sup>

IEEE) عضو ارشد) و لیان فنگ شن<sup>1</sup>

آزمایشگاه ملی پژوهش ارتباطات سیار، دانشگاه جنوب شرق، نانجینگ 210096، چین<sup>1</sup>

شرکت برق دولتی جیانگسو، بخش اطلاعات و مخابرات، نانجینگ 210024، چین<sup>2</sup>

(نویسنده مسئول: ویوی شیا (wwxia@seu.edu.cn))

پژوهش در نظریه دسترسی بی‌سیم فراتر از ) این پژوهش توسط پروژه علم و فناوری شرکت شبکه برق دولتی چین تحت گرنت (5G

5700-202499320A-1-3-ZB. حمایت شده است

---

### چکیده (Abstract)

برای (URLLC)، ارتباطات فوق‌قابل‌اعتماد با تأخیر بسیار کم (6G) با توسعه فناوری ارتباطات سیار نسل ششم بدون سلول و Massive MIMO کاربردهای حساس به تأخیر از اهمیت حیاتی برخوردار است. معماری‌های با حذف مرزهای سلولی و تضمین ارائه خدمات عادلانه به کاربران لبه‌ای، این الزامات را (CF-mMIMO) کاربرمحله

با چالش‌های URLLC کاربرمحور تحت قیود CF-mMIMO برآورده می‌کنند. با این حال، تخصیص منابع در شبکه‌های قابل توجهی همراه است.

کاربرمحور مبتنی بر برش‌بندی شبکه CF-mMIMO در این مقاله، یک طرح نوین تخصیص منابع برای شبکه‌های URLLC ارائه می‌شود که هدف آن بیشینه‌سازی نرخ مجموع داده‌ی قابل دستیابی، در عین حفظ کیفیت خدمات است. برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی ذاتاً نامحدود، مسئله‌ی اصلی به دو زیرمسئله تفکیک می‌شود:

مسئله‌ی ارتباط کاربر-اسلایس که متغیرهای نگاشت کاربر به اسلایس را بهینه می‌کند، و

مسئله‌ی تخصیص منابع که تخصیص پهنانی باند و ضرایب کنترل توان را بهینه‌سازی می‌نماید.

مسئله‌ی ارتباط کاربر-اسلایس با استفاده از الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده حل می‌شود. برای مسئله‌ی تخصیص منابع، از الگوریتم بیشینه‌سازی متوالی کران پایین نرخ برای به دست آوردن کران پایین محدب نرخ داده در شرایط برای تعیین تخصیص بهینه پهنانی (SCA) ارسال بسته‌های کوتاه استفاده شده و سپس روش تقریب محدب متوالی باند و فرکانس به کار گرفته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی، در مقایسه با الگوریتم‌های موجود، نرخ مجموع داده را حداقل ۱۰٪، ۲۴٪ افزایش داده و تأثیر متوسط ارسال را حداقل ۳۳٪، ۴۰٪ کاهش می‌دهد.

(Index Terms) واژگان کلیدی

## URLLC، بدون سلول، برش‌بندی شبکه، تخصیص منابع، شبکه کاربرمحور، Massive MIMO

### I. مقدمه (Introduction)

موجب اتصال میلیارد‌ها دستگاه و حسگر شده و زمینه‌ساز طیف گسترهای از (IoT) رشد سریع اینترنت اشیا کاربردها در شهرهای هوشمند، کشاورزی دقیق، سامانه‌های حمل و نقل هوشمند و اتوماسیون صنعتی شده است [1]. غالباً به تبادل داده‌ی بلاذرنگ، کنترل دقیق و اتصال بی‌وقfe برای دستیابی به عملکرد IoT این سناریوهای مبتنی بر [2] بهینه نیاز دارند.

با این حال، الزامات سخت‌گیرانه مربوط به تأخیر بسیار کم، قابلیت اطمینان بالا و اتصال انبوه در چنین کاربردهایی، چالش‌های جدی برای شبکه‌های ارتباطی موجود ایجاد می‌کند. برای پاسخ به این چالش‌ها، ارتباطات فوق‌قابل‌اعتماد با URLLC [3] به عنوان یک فناوری کلیدی در شبکه‌های بی‌سیم نسل آینده مطرح شده است (URLLC) تأخیر کم طراحی شده و تأخیر بسیار کم را فراهم کرده و (QoS) به‌طور خاص برای برآورده‌سازی الزامات سخت کیفیت خدمات قابلیت اطمینان بالا را تضمین می‌کند [4]. این قابلیت برای کاربردهای مأموریت‌حیاتی ضروری است تخصیص منابع در بدون سلول و کاربرمحور با برش‌بندی شبکه Massive MIMO مبتنی بر URLLC سامانه‌های

<sup>1</sup> IEEE عضو)، وی‌وی شیا<sup>1</sup> (دانشجوی تحصیلات تکمیلی، ) هان لو<sup>1</sup>

(IEEE عضو) وی‌وی میائو<sup>2</sup>، مینگ‌شوان ژانگ<sup>2</sup>، فنگ یان<sup>1</sup>

IEEE عضو ارشد) و لیان فنگ شن<sup>1</sup>

<sup>1</sup> آزمایشگاه ملی پژوهش ارتباطات سیار، دانشگاه جنوب شرق، نانجینگ 210096، چین

<sup>2</sup> شرکت برق دولتی جیانگسو، بخش اطلاعات و مخابرات، نانجینگ 210024، چین

پژوهش در نظریه دسترسی بی‌سیم فراتر از ) این پژوهش توسط پروژه علم و فناوری شرکت شبکه برق دولتی چین  
نویسنده مسئول: وی‌وی شیا (wwxia@seu.edu.cn)

پژوهش در نظریه دسترسی بی‌سیم فراتر از ) این پژوهش توسط پروژه علم و فناوری شرکت شبکه برق دولتی چین  
تحت گرنت (5G)

حمایت شده است 202499320-5700A-1-3-ZB.

---

### چکیده (Abstract)

برای (URLLC)، ارتباطات فوق‌قابل‌اعتماد با تأخیر بسیار کم (6G) با توسعه فناوری ارتباطات سیار نسل ششم بدون سلول و Massive MIMO کاربردهای حساس به تأخیر از اهمیت حیاتی برخوردار است. معماری‌های با حذف مرزهای سلولی و تضمین ارائه خدمات عادلانه به کاربران لبه‌ای، این الزامات را (CF-mMIMO) کاربرمحور با چالش‌های URLLC کاربرمحور تحت قیود CF-mMIMO برآورده می‌کنند. با این حال، تخصیص منابع در شبکه‌های قابل توجهی همراه است.

کاربرمحور مبتنی بر برش‌بندی شبکه CF-mMIMO در این مقاله، یک طرح نوین تخصیص منابع برای شبکه‌های URLLC ارائه می‌شود که هدف آن بیشینه‌سازی نرخ مجموع داده‌ی قابل دستیابی، در عین حفظ کیفیت خدمات است. برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی ذاتاً نامحدب، مسئله‌ی اصلی به دو زیرمسئله تفکیک می‌شود:

مسئله‌ی ارتباط کاربر-اسلایس که متغیرهای نگاشت کاربر به اسلایس را بهینه می‌کند، و

مسئله‌ی تخصیص منابع که تخصیص پهنانی باند و ضرایب کنترل توان را بهینه‌سازی می‌نماید.

مسئله‌ی ارتباط کاربر-اسلاس با استفاده از الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده حل می‌شود. برای مسئله‌ی تخصیص منابع، از الگوریتم بیشینه‌سازی متوالی کران پایین نرخ برای به دست آوردن کران پایین محدب نرخ داده در شرایط برای تعیین تخصیص بهینه‌پهنانی (SCA) ارسال بسته‌های کوتاه استفاده شده و سپس روش تقریب محدب متوالی باند و فرکانس به کار گرفته می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی، در مقایسه با الگوریتم‌های موجود، نرخ مجموع داده را حداقل ۱۰٪، ۲۴٪ افزایش داده و تأخیر متوسط ارسال را حداقل ۳۳٪ کاهش می‌دهد.

---

## واژگان کلیدی (Index Terms)

URLLC، بدون سلول، برش‌بندی شبکه، تخصیص منابع، شبکه کاربرمحور، Massive MIMO

## ۱. مقدمه (Introduction)

موجب اتصال میلیارد‌ها دستگاه و حسگر شده و زمینه‌ساز طیف گستردگی‌ای از IoT (IoT) رشد سریع اینترنت اشیا کاربردها در شهرهای هوشمند، کشاورزی دقیق، سامانه‌های حمل و نقل هوشمند و اتوماسیون صنعتی شده است [1]. غالباً به تبادل داده‌ی بلاذرنگ، کنترل دقیق و اتصال بی‌وقfe برای دستیابی به عملکرد IoT این سناریوهای مبتنی بر [2] بهینه نیاز دارند.

با این حال، الزامات سخت‌گیرانه مربوط به تأخیر بسیار کم، قابلیت اطمینان بالا و اتصال انبوه در چنین کاربردهایی، چالش‌های جدی برای شبکه‌های ارتباطی موجود ایجاد می‌کند. برای پاسخ به این چالش‌ها، ارتباطات فوق‌قابل‌اعتماد با [3] به عنوان یک فناوری کلیدی در شبکه‌های بی‌سیم نسل آینده مطرح شده است (URLLC) تأخیر کم طراحی شده و تأخیر بسیار کم را فراهم کرده و (QoS) به طور خاص برای برآورده‌سازی الزامات سخت کیفیت خدمات قابلیت اطمینان بالا را تضمین می‌کند [4]. این قابلیت برای کاربردهای مأموریت‌حیاتی ضروری است کاربردهایی نظیر رانندگی خودران، پزشکی از راه دور و کنترل فرایندهای صنعتی، از جمله سناریوهایی هستند که حتی تأخیرهای بسیار کوچک یا خرابی‌های ارتباطی در آن‌ها می‌تواند پیامدهای بسیار جدی به همراه داشته باشد.

بسته‌های داده‌ی ارسالی معمولاً کوتاه هستند، زیرا عمدتاً حامل اطلاعات کنترلی حیاتی URLLC در سناریوهای مانند فرمان‌های عملگر، سیگنال‌های همزمان‌سازی یا بهروزرسانی حسگرها می‌باشند [5]. با این حال، فرمول کلاسیک ظرفیت شانون بر این فرض استوار است که طول بلوک به صورت مجانبی بسیار بزرگ باشد، که این موضوع آن را برای ارسال بسته‌های کوتاه نامناسب می‌سازد [6]. در انتقال بسته‌های کوتاه، نرخ کدگذاری قابل دستیابی توسط رابطه‌ای پیچیده‌تر تعیین می‌شود که شامل طول بلوک، احتمال خطأ و نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویز است. در مرجع [6]، یک بیان تقریبی برای بیشینه نرخ داده‌ی قابل دستیابی در شرایط ارسال با طول بلوک (SINR) محدود استخراج شده است که شامل جمله‌ی اتفاف پراکندگی کانال می‌باشد؛ جمله‌ای که در فرمول سنتی ظرفیت شانون وجود ندارد.

معماری‌های سنتی شبکه با محدودیت‌های قابل توجهی در (6G) در چارچوب فناوری ارتباطات سیار نسل ششم مواجه هستند. به عنوان یک راهکار نویدبخش، معماری URLLC دستیابی به الزامات عملکردی بسیار سخت‌گیرانه‌ی برای بهبود کیفیت سیگنال، افزایش بهره‌وری طیفی و برآورده‌سازی CF-mMIMO (CF-mMIMO) بدون سلول [7]. CF-zoom می‌باشد. الزامات قابلیت اطمینان بسیار بالا و تأخیر بسیار کم در این سناریوهای حیاتی پیشنهاد شده است تحت هماهنگی (UE) را برای سرویس‌دهی به تجهیزات کاربر (AP) امکان همکاری چندین نقطه دسترسی mMIMO های توزیع شده تفکیک AP فراهم می‌کند [8]. این معماری، ایستگاه پایه را به (CU) مرکزی یک واحد مرکز می‌کند، که در نتیجه فاصله فرستنده-گیرنده کاهش یافته و اثر سخت‌شدگی کانال تقویت می‌شود [9]. با حذف کاربران لبه‌ای را بهبود می‌بخشد، تأخیر شبکه را کاهش (QoS) کیفیت خدمات CF-mMIMO مزدهای سلولی، در سناریوهای 6 URLLC می‌دهد و قابلیت اطمینان ارسال را افزایش می‌دهد؛ ازین‌رو، گزینه‌ای بسیار مناسب برای محسوب می‌شود.

## A. پژوهش‌های پیشین (Previous Works)

ها است. با افزایش UE برای تمامی (CSI) ملزم به برآورده اطلاعات وضعیت کانال AP، هر CF-mMIMO در شبکه‌های باید تخمین زده شود به صورت درجه دوم افزایش می‌یابد، که این AP مقیاس شبکه، تعداد کانال‌هایی که توسط هر و همچنین تحمیل پیچیدگی بالاتر CF-mMIMO در شبکه‌های CSI امر موجب افزایش چشمگیر سربار سیگنال‌دهی پردازش سیگنال به سیستم می‌شود [10]. برای کاهش این مشکل، عمار و همکاران در مراجع [11] و [12] معماری، اتصال بین AP کاربرمحور را پیشنهاد دادند که با اجازه دادن به کاربران برای اتصال به نزدیک‌ترین CF-mMIMO ها را ساده کرده، سربار را کاهش داده و تمرکز را بر انتقال توان مؤثر قرار می‌دهد UE ها و AP.

برش‌بندی شبکه، برش‌های منطقی اختصاصی را برای خدمات مختلف فراهم می‌کند و تضمین می‌نماید که هر خدمت خود، منابع لازم را دریافت کند [13]، [14]. با به کارگیری فناوری (QoS) متناسب با الزامات خاص کیفیت خدمات کاربرمحور، بهره‌وری کلی تخصیص منابع و مدیریت تداخل در شبکه CF-mMIMO برش‌بندی شبکه در شبکه‌های می‌تواند به طور قابل توجهی بهبود یابد. هم‌زمان، سازوکار برش‌بندی شبکه امکان استفاده مجدد از سیگنال‌های پایلوت در میان برش‌های مختلف را فراهم می‌کند که این امر به کاهش مسئله آلدگی پایلوت کمک کرده و در نتیجه [15]، [16]. [دقیق تخمین کانال و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد.

به دلیل کمبود منابع و پیچیدگی الزامات خدمات، بهینه‌سازی تخصیص منابع به تدریج به یکی از موضوعات داغ کاربرمحور با برش‌بندی شبکه تبدیل شده است. مراجع [17]، [18]، [19] و CF-mMIMO پژوهشی در سیستم‌های برای بهینه‌سازی تخصیص منابع در شبکه‌های چندبرشی با (DRL) [20] از تکنیک‌های یادگیری تقویتی عمیق برای تخصیص پهنه‌ای Actor-Critic مقیاس بزرگ استفاده کرده‌اند. به طور مشخص، در [17] و [18] از الگوریتم‌های باند بین برش‌ها استفاده شده است. مرجع [19] یک طرح تخصیص منابع سلسله‌مراتبی ارائه داده است که امکان بهینه‌سازی موازی منابع پهنه‌ای باند و محاسباتی را فراهم می‌سازد. همچنین، در مرجع [20] از الگوریتم گرادیان برای بهینه‌سازی همزمان پهنه‌ای باند و توان استفاده شده است. با این حال، این (RDPG) سیاست قطعی بازگشتی

روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی دارای محدودیت‌هایی از جمله تعمیم‌پذیری و پایداری هستند که اثربخشی آن‌ها را در محیط‌های شبکه‌ای پویا و متنوع کاهش می‌دهد

با توجه به مزایایی نظری تفسیر‌پذیری قوی، پایداری الگوریتمی در شرایط پویا و قابلیت پیاده‌سازی بلاذرنگ، روشهای بهینه‌سازی سنتی به عنوان رویکردی اساسی و غیرقابل‌چشم‌پوشی برای حل مسائل تخصیص منابع در مطرح شده‌اند. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی به بررسی مسئله‌ی تخصیص منابع در CF-mMIMO شبکه‌های با استفاده از روشهای بهینه‌سازی سنتی پرداخته‌اند [9]، [21]–[25]. مراجع [21]، [22] و CF-mMIMO شبکه‌های، نامحده بودن مسائل بهینه‌سازی را (SCA) [23] با استفاده از تفکیک متغیرها و الگوریتم تقریب محدب متوالی بررسی کرده و عمدتاً بر تخصیص توان [21]، [22]، [23] و انتخاب آنتن [23] تمرکز داشته‌اند، بدون آنکه تخصیص برای (JUCPC) پهنه‌ای باند را در نظر بگیرند. در مقابل، مرجع [9] از الگوریتم خوش‌بندی کاربر و کنترل توان مشترک بهینه‌سازی همزمان منابع توان و پهنه‌ای باند با هدف بیشینه‌سازی نرخ کل ارسال استفاده کرده است. افزون بر این، مراجع [24] و [25] الگوریتم‌های ابتکاری را با روشهای بهینه‌سازی سنتی ترکیب کرده‌اند تا پیچیدگی محاسباتی ناشی از سناریوهای شبکه‌ای با مقیاس بزرگ را کاهش دهند. با این وجود، این رویکردهای موجود برای محاسبه نرخ به فرمول کلاسیک ظرفیت شانون متنکی هستند که قادر به در نظر گرفتن قیود کدگذاری و URLLC ارسال خدمات احتمالات خطای مرتبط با ارسال بسته‌های کوتاه در رژیم طول بلوك محدود نیست

نرخ ارسال بسته‌های کوتاه استخراج شده است که بدین ترتیب نامحده بودن چند جمله‌ای فرمول‌بندی اولیه حذف (Iterative Feasible می‌شود. مراجع [27] و [28] با به کارگیری الگوریتم جستجوی تکراری راه حل‌های شدنی به صورت SINR، بهینه‌سازی تخصیص توان را انجام داده‌اند؛ به گونه‌ای که کران پایین (IFS – Solution Search به تدریجی بهینه شده و تا همگرا بی راه حل شدنی تخصیص توان ادامه می‌یابد. با این حال، رویکردهای ارائه شده در از جمله تأخیر ارسال و پایداری صفت را در نظر URLLC سرویس‌های (QoS) [26]، [27] و [28] قیود کیفیت خدمات نمی‌گیرند. در مقابل، مراجع [29] و [30] با بازنگری مسائل بهینه‌سازی به صورت برنامه‌ریزی هندسی و را لحاظ کرده و راهبردهای بهینه تخصیص توان را استخراج QoS برنامه‌ریزی مخروط مرتبه دوم، به ترتیب، الزامات و تخصیص (user-slice association) نموده‌اند. با این وجود، این پژوهش‌ها از در نظر گرفتن ارتباط کاربر-برش پهنه‌ای باند صرف نظر کرده‌اند. همچنین، مراجع [31] و [32] به ترتیب با هدف بیشینه‌سازی بهره‌وری انرژی شبکه و نرخ مجموع داده، به بهینه‌سازی مشترک توان و پهنه‌ای باند پرداخته‌اند؛ اما این مطالعات قیود تأخیر و پایداری صفت و برش‌بندی شبکه را در مدل سیستم خود ادغام نکرده‌اند CF-mMIMO ارسال را لحاظ نکرده و معماری

برش، تخصیص بلوك منبع-UE با انگیزه گرفتن از مشاهدات فوق، در این مقاله به بررسی بهینه‌سازی مشترک ارتباط کاربرمحور ادغام شده با برش‌بندی شبکه CF-mMIMO و ضرایب کنترل توان در سیستم‌های (PRB) فیزیکی

پرداخته می‌شود. هدف، بیشینه‌سازی نرخ مجموع داده‌ی قابل دستیابی، در عین تضمین الزامات تأخیری سرویس‌های URLLC: و پایداری صفات ارسال لینک پایین‌دست است. دستاوردهای اصلی این مقاله به شرح زیر می‌باشند

1. مسئله تخصیص منابع با هدف URLLC کاربرمحور با برش‌بندی شبکه و پشتیبانی از CF-mMIMO در سیستم و PRB برش، تخصیص UE- بیشینه‌سازی نرخ مجموع داده‌ی تمامی کاربران، از طریق بھینه‌سازی مشترک ارتباط همراه با قیود URLLC ضرایب کنترل توان مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرمول نرخ داده‌ی ارسال بسته‌های کوتاه در تأخیر ارسال و پایداری صفات اعمال می‌شود.

2. برای حل مسئله، مسئله‌ی اولیه به دو زیرمسئله تفکیک می‌شود: زیرمسئله‌ی ارتباط کاربر-برش که بھینه‌سازی و ضرایب PRB برش را انجام می‌دهد، و زیرمسئله‌ی تخصیص منابع که به صورت مشترک تخصیص UE- نگاشت کنترل توان را بھینه می‌کند.

3. به منظور دستیابی به (Simulated Annealing) برش، از روش شبیه‌سازی تبرید-UE برای زیرمسئله‌ی ارتباط ارتباط بھینه کاربر-برش استفاده می‌شود. برای زیرمسئله‌ی تخصیص منابع، ابتدا الگوریتم بیشینه‌سازی کران پایین نرخ به صورت متوالی به کار گرفته می‌شود تا کران محدب نرخ داده‌ی بسته‌های کوتاه استخراج گردد؛ سپس با استفاده و ضرایب کنترل توان به صورت تناوبی بھینه می‌شوند PRB، تخصیص (SCA) از الگوریتم تقریب محدب متوالی

4. رفتار همگرایی و پیچیدگی محاسباتی طرح پیشنهادی مورد تحلیل قرار می‌گیرد تا قابلیت پیاده‌سازی عملی آن تأیید شود. شبیه‌سازی‌های گسترده‌ای برای ارزیابی اثربخشی و برتری طرح پیشنهادی از نظر نرخ مجموع داده و میانگین تأخیر ارسال انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که طرح پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های موجود، نرخ مجموع داده را حداقل به میزان 10.24٪ افزایش داده و میانگین تأخیر ارسال را حداقل 33.40٪ کاهش می‌دهد.

، مدل شبکه و مدل ارتباطی معرفی می‌شوند. در II ساختار این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: در بخش مطرح شده و الگوریتم مشخصی برای حل آن طراحی QoS، مسئله تخصیص منابع با قیود IV و III بخش‌های نتایج شبیه‌سازی را برای تأیید برتری طرح پیشنهادی از نظر نرخ مجموع داده و میانگین تأخیر V می‌گردد. بخش به جمع‌بندی مقاله می‌پردازد VI ارسال ارائه می‌دهد. در نهایت، بخش

D<sup>H</sup> و E<sup>T</sup> نمادگذاری: حروف بزرگ و کوچک ضخیم نشان‌دهنده بردارها و ماتریس‌ها هستند. نمادهای ماتریس قطری با عناصر  $\text{diag}(a_1, \dots, a_n)$  به ترتیب بیانگر ترانهاده مزدوج، ترانهاده، امید ریاضی و واریانس می‌باشند به ترتیب بیانگر اعداد مختلط، حقیقی، طبیعی و طبیعی  $\mathbb{N}^+$  و  $\mathbb{N}$ ,  $\mathbb{R}$ ,  $\mathbb{C}$  را نشان می‌دهد. مجموعه‌های  $a_1$  تا  $a_n$  قطری نشان‌دهنده یک بردار گاوی مختلط با تقارن دایروی و میانگین صفر و کوواریانس  $\sim \mathcal{CN}(0, R)$  است. توابع  $R$  می‌باشند. نمادهای F<sup>(0)</sup> به ترتیب بیانگرتابع معکوس، مشتق و مشتق جزئی تابع  $F^{(0)}$  و  $F'^{(0)}$  است. توابع  $R^{(0)}$  و  $R^{(1)}$  به ترتیب مقدار مطلق و نرم طیفی را نشان می‌دهند

---

## II. مدل سیستم (SYSTEM MODEL)

کاربرمحور مورد نظر معرفی می‌شود. سپس مدل CF-mMIMO در این بخش، ابتدا معماری برش‌بندی شبکه‌ی ها برقرار شده و در ادامه، روابط مربوط به نرخ داده‌ی سمت کاربر و تأخیر ارسال استخراج UE‌ها و AP ارتباطی بین می‌گردد

### A. مدل شبکه (NETWORK MODEL)

کاربرمحور مورد مطالعه در شکل 1 نشان داده شده است. برخلاف CF-mMIMO معماری برش‌بندی شبکه‌ی با توزیع ایستگاه‌های پایه‌ی ماکرو پراکنده، آن‌ها CF-mMIMO، شبکه‌های دسترسی رادیویی سنتی ها انجام نمی‌شود، AP‌ها تبدیل می‌کند. بسیاری از وظایف ایستگاه‌های پایه توسط AP را به یک استقرار متراکم از

متصل CPU ها به AP پیاده‌سازی می‌گردد. تمامی (CPU) بلکه به صورت متمرکز در واحد پردازش مرکزی شبکه را بر عهده دارد. با این حال، به دلیل توزیع UE و AP کنترل کل شبکه و مدیریت تعامل بین هر CPU هستند و واحد دشوار است. از این‌رو، کل شبکه CPU ها به یک AP ها، اتصال مستقیم تمامی AP متراکم و ناحیه پوشش وسیع مدیریت می‌گردد. هر (EDU) به چندین زیرشبکه تقسیم می‌شود که هر زیرشبکه توسط یک واحد توزیع لبه‌ای EDU های منفرد از طریق AP های واقع در ناحیه مشخص شده خود است [33]. سیگنال‌های AP مسئول مدیریت مسئول ادغام UCDU. ارسال می‌شوند (UCDU) تجمعی شده و جریان‌های داده‌ی کاربران به واحد توزیع کاربرمحور تصمیمات CPU سطح بالاتر است. سپس CPU های مختلف و ارسال داده‌های پردازش شده به EDU جریان‌های داده از های مربوطه ارسال می‌کند. AP مربوط به تخصیص منابع و زمان‌بندی چندکاربره را اتخاذ کرده و آن‌ها را برای اجرا به ها را با پاسخ‌گویی تقریباً بلاذرنگ کنترل نماید [34]. در معماری AP قادر است CPU با توجه به زمان تعامل کوتاه، برش‌بندی شبکه‌ی پیشنهادی،

### کاربرمحور CF-mMIMO شکل ۱. معماری اسلایس‌بندی شبکه

باندهای فرکانسی متعامد به اسلایس‌های مختلف تخصیص داده می‌شوند و بدین ترتیب ایزو‌لاسیون تداخل بین اسلایس‌ها تصمین می‌گردد. این روش امکان تخصیص منابع به اسلایس‌های مختلف را بدون ایجاد آلوگی در هر اسلایس از تعداد منابع فرکانسی (UEs) بین اسلایسی فراهم می‌کند [15]. تا زمانی که تعداد تجهیزات کاربر [16]، [متعامد در دسترس فراتر نرود، آلوگی پایلوت به صورت نظری قابل اجتناب است [15]].

مدیریت (EDU) بدون کاستن از کلیت موضوع، در این مقاله تنها یک زیرشبکه که توسط یک واحد توزیع شده واحد باشد که مجموعه (AP) نقطه دسترسی M می‌شود در نظر گرفته شده است. فرض می‌شود این ناحیه شامل مجموع آن‌ها به صورت

$$\mathcal{M} = \{1, 2, \dots, M\}$$

تجهیز کاربر U است. شبکه از  $\rho_0$  آنتن مجهز بوده و دارای حداکثر توان انتقال P به AP تعریف می‌شود. هر تشکیل شده که مجموعه آن‌ها به صورت

$$\mathcal{U} = \{1, 2, \dots, U\}$$

استفاده می‌کنند. همچنین فرض می‌شود شبکه URLLC ها از سرویس‌های UE نشان داده می‌شود. فرض می‌شود تمام اسلایس باشد که مجموعه اسلایس‌ها به صورت S شامل مجموع

$$\mathcal{S} = \{1, 2, \dots, S\}$$

های شبکه به اسلایس‌ها تخصیص داده می‌شوند، با این فرض که هر اسلایس حداقل شامل  $UE$  تعریف می‌شود. تمامی تنها می‌تواند به یک اسلایس تخصیص یابد. برای این منظور، یک متغیر دودویی  $UE$  باشد. افزون بر این، هر  $UE$  یک  $s$  به اسلایس  $u$   $UE$  را نشان می‌دهد؛ به طوری که اگر  $s$  و اسلایس  $u$   $UE$  معرفی می‌شود که ارتباط بین  $o_{u,s} = 1$  و در غیر این صورت  $o_{u,s} = 0$ .

است.  $W_{\max}$  برابر با  $URLLC$  برای شبکه فیزیکی، کل پهنه‌ای باند منابع فرکانسی در دسترس برای سرویس‌های برابر  $PRB$  تقسیم می‌شود، به طوری که پهنه‌ای باند هر  $(PRB)$  بلوک منبع  $K$  کل پهنه‌ای باند به

$$W = \frac{W_{\max}}{K}$$

دریافت  $PRB$  تنها به یک اسلایس تخصیص داده می‌شود و هر اسلایس حداقل یک  $PRB$  است. فرض می‌شود هر نشان داده می‌شود  $B_s$  با  $s$  های تخصیص یافته به اسلایس  $PRB$  می‌کند. تعداد

نامیده  $UE$  ها سرویس‌دهی می‌شود که مجموعه سرویس  $AP$  توسط زیرمجموعه‌ای از  $u$  در شبکه کاربرمحور،  $\mathcal{C}_u$  نشان داده می‌شود. ضریب کanal بین  $h_{u,m}$  شده و با  $\mathbb{C}^{P \times 1}$  به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$\begin{aligned} h_{u,m} &= \sqrt{\alpha_{u,m}}, g_{u,m} \\ &= \sqrt{\beta_{u,m}}, g_{u,m} \end{aligned} \tag{1}$$

است که خود توسط  $AP_m$  و  $UE_u$  بیانگر ضریب تضعیف بزرگ‌مقیاس بین  $\alpha_{u,m}$ ، (1) در رابطه مشخص می‌شود. پارامتر  $\psi_{u,m}$  و افت مسیر  $\beta_{u,m}$  حاصل ضرب تضعیف سایه‌ای لگ‌نرمال  $\beta_{u,m}$  است. بردار  $g_{u,m}$  از فاصله  $d_{u,m}$  بین  $UE_u$  و  $AP_m$  تابعی از  $\mathbb{C}^{P \times 1}$  را نشان می‌دهد که مؤلفه‌های آن  $AP_m$  و  $UE_u$  ضریب تضعیف کوچک‌مقیاس بین  $\psi_{u,m}$  هستند ( $\mathcal{CN}(0,1)$ ).

$d_0$  ارائه شده در [12] به کار گرفته می‌شود. یک فاصله آستانه  $UE$  در این مقاله، روش انتخاب مجموعه سرویس به عنوان حد آستانه برای ضریب تضعیف  $\beta_0(d_0)$  تعریف می‌شود که آستانه افت مسیر متناظر با آن را کنترل کرده و در نتیجه،  $UE$  های همکار برای هر  $AP$  بزرگ‌مقیاس در نظر گرفته می‌شود. این پارامتر تعداد متوسط

\alpha\_{u,m} \geq \beta\_0(d\_0) \text{ اگر و فقط اگر } \mathcal{C}\_u \text{ در مجموعه سرویس } m \text{ باشد،}\text{ با بیشترین ضریب تضعیف بزرگ مقیاس به عنوان تنها عضو مجموعه سرویس انتخاب می‌شود. برآورده نکند، به صورت زیر فرموله می‌شود }\mathcal{C}\_u = \{ m \mid \alpha\_{u,m} \geq \beta\_0(d\_0) \} \cup \left\{ \arg\max\_m \in \mathcal{M} \right\} \alpha\_{u,m} \right\} \tag{2}

قرار دارد یا  $\mathcal{C}_u$  در مجموعه سرویس  $m$  برای مشخص کردن این که آیا  $c_{u,m}$  متغیر دودویی و در غیر این صورت  $c_{u,m}=1$  باشد،  $\mathcal{C}_u$  در  $m$  خیر استفاده می‌شود. به طور مشخص، اگر می‌تواند به صورت یک ماتریس قطری تعریف شود که در  $\mathbf{C}_u$ ، ماتریس اتصال  $u$  برای  $UE$   $c_{u,m}=0$ . آن

$\mathbf{C}_u = \mathrm{diag}(c_{u,1}, \dots, c_{u,M}) \in \mathbb{R}^{M \times M}$  نشان داده می‌شود که  $s_{u,m}$  روی یک آنتن با  $UE$   $u$  به  $AP$   $m$  است. ضریب کنترل توان سیگنال ارسالی توسط اختصاص داده می‌شود  $UE$   $u$  است که به  $AP$   $m$  بیانگر سهمی از حداکثر توان انتقال



### (b) COMMUNICATION MODEL

ها باید ضرایب کanal را بر  $AP$ ، شرایط کانال به طور پیوسته در حال تغییر است؛ بنابراین CF-mMIMO در شبکه ها تخمین زده و بر مبنای این پارامترها انتقال پر تورمینگ را انجام  $UE$  اساس توالی های پایلوت ارسال شده توسط دهنده

کاربرمحور CF-mMIMO شکل ۱. معماری اسلایس بندی شبکه

باندهای فرکانسی متعامد به اسلایس های مختلف تخصیص داده می‌شوند و بدین ترتیب ایزو لاسیون تداخل بین اسلایس ها تضمین می‌گردد. این روش امکان تخصیص منابع به اسلایس های مختلف را بدون ایجاد آلودگی

در هر اسلایس از تعداد منابع فرکانسی (UEs) بین اسلایسی فراهم می‌کند [15]. تا زمانی که تعداد تجهیزات کاربر [16]، [متعمد در دسترس فراتر نرود، آلودگی پایلوت به صورت نظری قابل اجتناب است [15]]

مدیریت (EDU) بدون کاستن از کلیت موضوع، در این مقاله تنها یک زیرشبکه که توسط یک واحد توزیع شده واحد باشد که مجموعه (AP) نقطه دسترسی M می‌شود در نظر گرفته شده است. فرض می‌شود این ناحیه شامل مجموع آن‌ها به صورت

$$\mathcal{M} = \{1, 2, \dots, m, \dots, M\}$$

تجهیز کاربر U است. شبکه از  $\rho_0$  آتن مججهز بوده و دارای حداکثر توان انتقال P به AP تعریف می‌شود. هر تشکیل شده که مجموعه آن‌ها به صورت

$$\mathcal{U} = \{1, 2, \dots, u, \dots, U\}$$

استفاده می‌کنند. همچنین فرض می‌شود شبکه URLLC ها از سرویس‌های UE نشان داده می‌شود. فرض می‌شود تمام اسلایس باشد که مجموعه اسلایس‌ها به صورت S شامل مجموع

$$\mathcal{S} = \{1, 2, \dots, s, \dots, S\}$$

های شبکه به اسلایس‌ها تخصیص داده می‌شوند، با این فرض که هر اسلایس حداقل شامل UE تعریف می‌شود. تمامی تنها می‌تواند به یک اسلایس تخصیص یابد. برای این منظور، یک متغیر دودویی UE باشد. افزون بر این، هر UE یک S به اسلایس u را نشان می‌دهد؛ به طوری که اگر s و اسلایس u UE معرفی می‌شود که ارتباط بین  $\rho_{u,s}$  و در غیر این صورت  $\rho_{u,s}=0$ .

است.  $W_{\max}$  برابر با URLLC برای شبکه فیزیکی، کل پهنه‌ای باند منابع فرکانسی در دسترس برای سرویس‌های برابر PRB تقسیم می‌شود، به طوری که پهنه‌ای باند هر PRB بلوک منبع K کل پهنه‌ای باند به

$$W = \frac{W_{\max}}{K}$$

دریافت PRB تنها به یک اسلایس تخصیص داده می‌شود و هر اسلایس حداقل یک PRB است. فرض می‌شود هر نشان داده می‌شود  $B_s$  با s های تخصیص یافته به اسلایس PRB می‌کند. تعداد

نامیده  $UE_u$  ها سرویس دهی می شود که مجموعه سرویس AP توسط زیرمجموعه ای از  $UE_u$  در شبکه کاربر محور،  $\mathcal{C}_u$  نشان داده می شود. ضریب کanal بین  $AP_m$  با  $h_{u,m}$  \in \mathcal{C}\_u شده و با  $\mathbb{C}^{P \times 1}$  به صورت زیر مدل سازی می شود [35]:

$$h_{u,m} = \sqrt{\alpha_{u,m}}, g_{u,m} \\ = \sqrt{\beta_{u,m}}, g_{u,m} \tag{1}$$

است که خود توسط  $AP_m$  و  $UE_u$  بیانگر ضریب تضعیف بزرگ مقیاس بین  $\alpha_{u,m}$  (1) در رابطه مشخص می شود. پارامتر  $\psi_{u,m}$  و افت مسیر  $\beta_{u,m}$  حاصل ضرب تضعیف سایه ای لگ نرمال است. بردار  $d_{u,m}$  بین  $UE_u$  و  $AP_m$  تابعی از فاصله  $\mathcal{C}_u$  \in \mathbb{C}^{P \times 1} را نشان می دهد که مؤلفه های آن ضریب تضعیف کوچک مقیاس بین  $\mathcal{C}_u$  \mathcal{CN}(0,1) هستند. متغیر های تصادفی مستقل و هم توزیع با توزیع

$d_0$  ارائه شده در [12] به کار گرفته می شود. یک فاصله آستانه  $UE$  در این مقاله، روش انتخاب مجموعه سرویس به عنوان حد آستانه برای ضریب تضعیف  $\beta_0(d_0)$  تعریف می شود که آستانه افت مسیر متناظر با آن را کنترل کرده و در نتیجه،  $UE$  های همکار برای هر AP بزرگ مقیاس در نظر گرفته می شود. این پارامتر تعداد متوجه را کنترل کرده و در نتیجه،  $UE$  های همکار برای هر AP بزرگ مقیاس در نظر گرفته می شود. این پارامتر  $\alpha_{u,m} \geq \beta_0(d_0)$  یک سازش پذیری انعطاف پذیر میان عملکرد ارتباطی و سربار هماهنگی فراهم می سازد. اگر  $\alpha_{u,m} < \beta_0(d_0)$  آن قدر می گیرد. اگر هیچ  $UE$  در مجموعه سرویس AP می باشد، با بیشترین ضریب تضعیف بزرگ مقیاس به عنوان تنها عضو مجموعه سرویس انتخاب می شود. AP برا آورده نکند، به صورت زیر فرموله می شود  $\mathcal{C}_u = \{m | \alpha_{u,m} \geq \beta_0(d_0)\}$

$$\mathcal{C}_u = \{m | \max_{M \in \mathcal{M}} \alpha_{u,M} \geq \beta_0(d_0)\} \tag{2}$$

قرار دارد یا  $\mathcal{C}_u$  در مجموعه سرویس AP می باشد،  $c_{u,m}=1$  در غیر این صورت  $c_{u,m}=0$ . ماتریس اتصال  $U$  برای  $UE_u$  می تواند به صورت یک ماتریس قطری تعریف شود که در  $\mathbf{C}_u = \text{diag}(c_{u,1}, \dots, c_{u,M}) \in \mathbb{R}^{M \times M}$  آن

$$\mathbf{C}_u = \text{diag}(c_{u,1}, \dots, c_{u,M}) \in \mathbb{R}^{M \times M}$$

نشان داده می شود که  $s_{\{u,m\}}$  روی یک آنتن با  $AP_m$  به  $UE_u$  است. ضریب کنترل توان سیگنال ارسالی توسط اختصاص داده می شود  $AP_m$  بیانگر سهمی از حداکثر توان انتقال است که به  $UE_u$

### (b) مدل ارتباطی (COMMUNICATION MODEL)

ها باید ضرایب کانال را بر  $AP$ ، شرایط کانال به طور پیوسته در حال تغییر است؛ بنابراین CF-mMIMO در شبکه ها تخمین زده و بر مبنای این پارامترها انتقال پر توفر مینگ را انجام  $UE$  اساس توالی های پایلوت ارسال شده توسط دهنده

$AP$  ها به صورت اولویت دار به  $UE$  هایی که مجموعه سرویس آن ها کوچک تر است سرویس می دهند... ارسال داده در (uplink training) به طور معمول، فرآیند ارتباطی به سه فاز تقسیم می شود: آموزش بالارونده فرض می شود که وضعیت کانال در (downlink data transmission) [36]. بالارونده و ارسال داده در پایین رونده طول هر اسلات زمانی ثابت باقی می ماند و به دلیل تقارن کانال، وضعیت کانال در ارسال داده بالارونده و پایین رونده یکسان است [9]. در این مقاله، تمرکز صرفاً بر فاز ارسال داده در پایین رونده قرار داده شده است

بوده و مدت  $\tau_p$  است، طول توالی پایلوت آموزش بالارونده برابر  $\tau_c$  هر بازه همدوسی دارای مدت زمان ارسال داده پایین رونده برابر

$$\tau_d = \tau_c - \tau_p$$

$U_s$  ها در هر اسلایس باید شرط  $UE$  می باشد. برای تضمین متعامد بودن پایلوت ها در داخل هر اسلایس، تعداد های مختلف،  $UE$  را ارضا کند، که بدین ترتیب از آلودگی پایلوت در هر اسلایس جلوگیری می شود  $\tau_p$  هایی را که با آن ها ارتباط برقرار  $UE$  سیگنال های پایلوت  $AP$  سیگنال های پایلوت متمایزی را ارسال می کنند و هر  $UE$  دریافت و پردازش می کند؛ این امر امکان تخمین کانال برای  $\{u,m\}_c$  کرده است، بر اساس  $\psi_u$  را فراهم می سازد. توالی  $AP$  سرویس گرفته شده توسط هر  $\mathbb{C}^{\tau_p \times 1}$  تعریف می شود، به طوری که  $UE_u$  به عنوان پایلوت ارسالی توسط

$$|\psi_u|^2 = 1$$

های موجود در اسلالیس بزرگ‌تر است. افزون بر این،  $\text{UE}$  است. فرض می‌شود طول توالی پایلوت از حد اکثر تعداد که در یک اسلالیس قرار دارند، شرط زیر  $\mathbf{z}$  و  $\mathbf{u}$  های  $\text{UE}$  پایلوت‌ها نسبت به یکدیگر متعامد هستند. بنابراین، برای ببرقرار است:

$$\boldsymbol{\psi}_u^H \boldsymbol{\psi}_j = 0, \quad u \neq j$$

به صورت زیر بیان می‌شود  $\mathbf{AP}$   $\mathbf{m}$  در نتیجه، ماتریس توالی دریافتی در

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}_m &= \sqrt{\tau_p q_0} \sum_{u \in \mathcal{U}} c_{u,m} \\ &\quad \mathbf{h}_{u,m} \boldsymbol{\psi}_u^H + \mathbf{W}_m, \quad \text{and} \\ \mathbf{Y}_m &\in \mathbb{C}^{P \times \tau_p} \end{aligned}$$

ماتریس نویز با  $\mathbf{W}_m$  را نشان می‌دهد و  $\text{UE}$  توان نرمال شده ارسال پایلوت توسط هر  $q_0$  که در آن ماتریس  $\mathbf{h}_{u,m}$  مؤلفه‌های تصادفی مستقل و هم‌توزیع با توزیع را به صورت  $\mathbf{u}$  سیگنال دریافتی را پردازش کرده و بدین ترتیب سیگنال دریافتی متناظر با

$$\mathbf{y}_{u,m} = \mathbf{Y}_m \boldsymbol{\psi}_u = \sqrt{\tau_p q_0} \mathbf{h}_{u,m} + \mathbf{w}_{u,m}$$

ضریب کانال [37] (LMMSE) به دست می‌آورد. بر اساس نظریه تخمین خطای میانگین مربعات خطی از رابطه زیر محاسبه می‌شود  $\hat{\mathbf{h}}_{u,m}$  تخمین‌زده شده:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}_{u,m} &= \\ &\frac{\mathbf{E}\{\mathbf{h}_{u,m} \mathbf{y}_{u,m}^H\}}{\mathbf{E}\{\mathbf{y}_{u,m} \mathbf{y}_{u,m}^H\}} \\ &= \eta_{u,m} \mathbf{y}_{u,m} \end{aligned}$$

که در آن

$$\begin{aligned} \eta_{u,m} &= \frac{\sqrt{\tau_p q_0} \alpha_{u,m}}{\tau_p q_0 \alpha_{u,m} + 1} \end{aligned}$$

به صورت زیر بیان می شود AP بهره  $m$  کanal مستقل از یک آنتن

$$\gamma_{u,m}$$

$$\begin{aligned} &= \mathbb{E} \left[ \left( \hat{h}_{u,m} \right)_p^2 \right] \\ &= \frac{\tau_p q_0 \alpha_{u,m}}{\tau_p q_0 \alpha_{u,m} + 1} \\ &= \eta_{u,m} (\alpha_{u,m} + 1) \end{aligned} \quad \text{\tag{5}}$$

بر اساس ضرایب کanal تخمین زده شده در فاز آموزش بالارونده، ارسال داده در پایین رونده با استفاده از طرح به صورت زیر AP  $m$  به UE  $u$  پیش کدگذاری مبتنی بر پر توفر مینگ مزدوج انجام می شود. بردار سیگنال ارسالی از تعريف می شود:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{u,m} &= \sqrt{\rho_0} \mathbf{x}_{u,m} \mathbf{c}_{u,m} \boldsymbol{\phi}_u, \\ \mathbf{b}_{u,m} &= \hat{h}_{u,m}^* \end{aligned} \quad \text{\tag{6}}$$

را نشان می دهد و شرط UE  $u$  نماد ارسالی به  $\boldsymbol{\phi}_u$  که در آن  
 $\mathbb{E} \left[ \left| \boldsymbol{\phi}_u \right|^2 \right] = 1$  را ارضاء می کند. در رابطه ۶ مطابق رابطه ۷ (در پایین صفحه بعد) باشد. به دلیل نبود فرآیند آموزش در CSI (بنابراین، تنها می تواند UE را ارضاء می کند. سیگنال دریافتی در AP سیگنال های ارسالی از مطابق رابطه ۷) باشد. سیگنال مطلوب دریافتی،  $\mathbf{d}_u$  داده می شود، که در آن  $\mathbf{u}_u$  انحراف ناشی از عدم قطعیت پر توفر مینگ،  $\mathbf{B}_u$  سیگنال تداخلی ناشی از سایر نویز سفید گاووسی مختلط با توزیع  $w_u$  ها در همان اسلایس و  $\mathbf{S}_u$  سیگنال تداخلی ناشی از سایر است. با استفاده از مشتقاتی مشابه آنچه در [30] و [35] ارائه شده است، بیان صریح  $\mathcal{CN}(0,1)$  به صورت زیر به دست می آید

$$\Gamma_u =$$

$$\begin{aligned} &\frac{\rho_0 P \left( \sum_m M_u A_{u,m} \right)^2}{\rho_0 P \sum_u \left( \sum_m M_u \right) \sum_s \left( \sum_m M_u \right)} \\ &\times \omega_{u,s} o_{u,s} \sum_m M_u B_{u,j,m+1} \end{aligned} \quad \text{\tag{8}}$$

را بینید A اثبات: پیوست

[6]: از رابطه زیر به دست می آید PRB روی یک UE u ، نرخ داده قابل دستیابی URLLC برای اسلاس

$$R_u$$

$$= W \frac{\tau_c - \tau_p}{\tau_c}$$

\left[

$$\begin{aligned} & \log_2(1 + \Gamma_u) \\ & - \sqrt{\frac{V(\Gamma_u)}{N_0}} \\ & Q^{-1}(\epsilon_u) \end{aligned}$$

\right] \tag{9}

که در آن

$$V(\Gamma_u) = \left(1 - \frac{1}{(1 + \Gamma_u)^2}\right) \log_2 e$$

گاوی بوده و  $Q$  تابع معکوس  $Q^{-1}(x)$  بیانگر پراکندگی کانال است،

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt$$

را نشان می دهد. URLLC طول بلاک بسته داده  $N_0$  و UE u احتمال خطای انتقال به  $\epsilon_u$  می باشد  
برابر است با  $Q(\epsilon_u)$  بنابراین، نرخ کل داده

$$C_u = \sum_{s \in \mathcal{S}} \omega_{u,s} o_{u,s} R_u \tag{10}$$

ها به صورت زیر محاسبه می شود UE در نتیجه، مجموع نرخ داده تمامی

$$\begin{aligned} C_{\text{sum}} &= \sum_{u \in \mathcal{U}} C_u \\ &= \sum_{u \in \mathcal{U}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \omega_{u,s} o_{u,s} R_u \end{aligned} \tag{11}$$

، این مقاله تنها محدودیت‌های URLLC در زمینه تأخیر برای سرویس‌های QoS با توجه به الزامات سخت‌گیرانه از توان پردازشی بالایی برخوردار است، تأخیر پردازش قابل صرف‌نظر UE تأخیر را در نظر می‌گیرد. با فرض آن که نیز ناچیز در نظر گرفته می‌شود [9]. CPU ها و AP بوده و معمولاً در حد چند میکروثانیه است [30]. تأخیر انتقال بین تأخیر انتشار معمولاً کمتر از ۳ CF-mMIMO [38] در شبکه‌های AP و UE علاوه بر این، به دلیل فاصله کوتاه بین میکروثانیه برای فاصله ۱ کیلومتر بوده و به مرتب کمتر از تأخیر ارسال است [39]. بنابراین، در این مقاله تنها تأخیر بیت باشد،  $N_0$  برابر URLLC برای سرویس UE ارسال مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر مقدار داده ارسال شده به یک برابر است با  $u$  آنگاه تأخیر ارسال

$$t_u^{\text{tr}} = \frac{N_0}{C_u}$$

که باید شرط زیر را ارضا کند

$$12 t_u^{\text{tr}} \leq t_{u,b} \tag{12}$$

را برای تمامی (downlink) صفحه‌ای مستقل پایین‌سو (CPU)، واحد پردازش مرکزی CF-mMIMO در شبکه ا نگهداری می‌کند. فرض بر این است که بسته‌های داده برنامه‌ریزی شده برای ارسال به کاربر (UEs) تجهیزات کاربر (بر حسب بسته در ثانیه) وارد می‌شوند. برای تطبیق با تقاضای ترافیک پویا و تضمین  $\lambda_i$  با نرخ ثابت پایداری سیستم، محدودیت‌های پایداری صفت در مدل سیستم گنجانده شده‌اند. به طور خاص، نرخ سرویس‌دهی هر صفت باید کمتر از نرخ ورود آن باشد

### ۴. فرمول‌بندی و تبدیل مسئله

کاربر-محور با CF-mMIMO از نوع URLLC در این بخش، یک مسئله بهینه‌سازی تخصیص منابع در سیستم فرمول‌بندی می‌شود. مسئله بهینه‌سازی به دو زیرمسئله تجزیه می‌گردد: (Network Slicing) برش‌دهی شبکه و تخصیص منابع (user-slice association) انجمن کاربر-برش

#### الف. فرمول‌بندی مسئله

، مسئله بهینه‌سازی به صورت بهینه‌سازی مشترک URLLC با در نظر گرفتن تخصیص منابع برای سناریوهای سرویس فرمول‌بندی می‌شود. هدف از CF-mMIMO و ضرایب کنترل توان در شبکه PRB انجمن کاربر-برش، تخصیص تمامی کاربران است. مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر بیامی‌شود (sum rate) بهینه‌سازی، بیشینه‌سازی مجموع نرخ

## تحت محدودیت‌های

\* (14b) محدودیت دوگانی (باینری) بودن  $\omega_{i,s}$ .

\* (14c) اطمینان از اینکه هر کاربر تنها می‌تواند به یک برش اختصاص یابد.

\* (14d) اطمینان از خالی نبودن هیچ‌کدام از برش‌ها.

\* (14e) های اختصاص یافته به هر برش و غیرصفر بودن تخصیص منابع PRB الزام صحیح بودن تعداد.

\* (14f) PRB‌ها اطمینان از بهره‌برداری از تمامی.

\* (14g) محدود کردن بازه ضریب کنترل توان  $x_{i,m}$ .

\* (14h) تجاوز نکند (AP) اطمینان از اینکه تخصیص توان از حد کل توان نقطه دسترسی.

\* (14i) نشان‌دهنده لزوم برآورده شدن محدودیت‌های تأخیر و پایداری صفت برای هر کاربر.

است. اولاً، همان‌طور که از (non-convex) غیرمحدب  $P_1$  یک مسئله  $\mathcal{P}_1$  مسئله بهینه‌سازی

SINR معادلات (8) و (9) مشاهده می‌شود، نرخ پایین‌سوی تابع هدف، یک تابع چندجمله‌ای ترکیبی غیرمحدب از

$\omega_{i,s}$  یک تابع کسری پیچیده و غیرمحدب از  $\Gamma_i$  است؛ در حالی که خود  $\Gamma_i$

در معادله (8) به سختی توسط  $\omega_{i,s} \Delta_s$  می‌باشد. ثانیاً، متغیر بهینه‌سازی به فرم  $x_{i,m}$

الگوریتم‌های بهینه‌سازی سنتی قابل حل است. به دلیل دشواری حل این مسئله با روش‌های متداول، انجام برخی

تبديل‌ها برای رسیدگی به این موضوع ضروری است.

ب. تبدیل مسئله

شامل سه مجموعه از متغیرهای بهینه‌سازی است. فرمول نرخ پایین‌سوی شامل جملات  $\mathcal{P}_1$  مسئله

(Alternating Optimization - AO) غیرمحدب ناشی از ضرب این متغیرهای است. در نتیجه، بهینه‌سازی متناوب

به دو  $\mathcal{P}_1$  برای بهینه‌سازی تکراری هر مجموعه از متغیرها در نظر گرفته می‌شود [40]. متعاقباً،

را بهینه می‌کند، و  $\omega_{i,s}$  برای انجمن کاربر-برش که  $\mathcal{P}_2$ ؛ زیرمسئله تجزیه می‌شود

را بهینه می‌سازد و  $\Delta_s$  برای تخصیص منابع که  $\mathcal{P}_3$ .

به صورت  $\mathcal{P}_2$ ، مسئله بهینه‌سازی  $\delta_s$  و  $\xi_{i,m}$  با ثابت فرض کردن متغیرهای بهینه‌سازی زیر فرمول‌بندی می‌شود:

(14d) تا (14b) تحت محدودیت‌های

اگرچه محدودیت‌های (h14) و (i14) با  $\omega_{i,s}$  مرتبط هستند، اما از آنجا که  $\xi_{i,m}$  یک متغیر پیوسته است، اراضی این دو محدودیت با تنظیم  $\xi_{i,m}$  آسان است. بنابراین، محدودیت‌های (h14) و (i14) در مسئله  $\mathcal{P}_2$  در نظر گرفته نمی‌شوند. مقدار بهینه  $\omega_{i,s}^*$  را می‌توان با حل  $\mathcal{P}_2$  به دست آورد. ۱

### ۳\_ فرمول‌بندی و تبدیل مسئله

صف‌های پایین‌سوی (CPU)، واحد پردازش مرکزی (انبوه بدون سلول CF-mMIMO (MIMO در شبکه نگهداری می‌کند. فرض بر این است که بسته‌های داده (UEs) مستقلی را برای تمامی تجهیزات کاربر (downlink) (بر حسب بسته در ثانیه) وارد می‌شوند. برای تطبیق  $\lambda_i$  با نرخ ثابت  $\alpha$  برنامه‌ریزی شده برای ارسال به کاربر با تقاضای ترافیک پویا و تضمین پایداری سیستم، محدودیت‌های پایداری صف در مدل سیستم گنجانده شده‌اند؛ به‌طور خاص، نرخ سرویس‌دهی هر صف نباید کمتر از نرخ ورود آن باشد

#### الف. فرمول‌بندی مسئله

(ارتباطات بسیار مطمئن با تأخیر اندک)، مسئله به URLLC با در نظر گرفتن تخصیص منابع برای سناریوهای سرویس، تخصیص بلوک‌های منابع فیزیکی (user-slice association) صورت یک بهینه‌سازی مشترک انجمن کاربر-برش (PRB): تمامی کاربران است (sum rate) و ضرایب کنترل توان فرمول‌بندی می‌شود. هدف، بیشینه‌سازی مجموع نرخ

#### ب. برخی محدودیت‌های مهم

هر کاربر تنها می‌تواند به یک برش اختصاص یابد: (14c) محدودیت \*

های هر برش باید عددی صحیح و مثبت باشد PRB تعداد: (14e) محدودیت \*

\* رعایت سقف توان کل در هر نقطه دسترسی: (14h) محدودیت \*

برآورده شدن الزامات تأخیر و پایداری صفت برای هر کاربر: (14i) محدودیت \*

غیرمحدب است. به دلیل دشواری حل مستقیم، از روش بهینه‌سازی  $\mathcal{P}$ -hard یک مسئله \mathcal{P}\_1 مسئله برای انجمن کاربر-برش و \mathcal{P}\_2: استفاده شده و مسئله به دو زیرمسئله تجزیه می‌گردد (AO) متناوب برای تخصیص منابع \mathcal{P}\_3

طرح پیشنهادی تخصیص منابع ۴۰

(انجمن کاربر-برش) \mathcal{P}\_2 الف. حل مسئله

(Simulated Annealing) به دلیل ماهیت غیرخطی و گستته این بخش، از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، در برابر بهینه‌های محلی مقاومت بیشتری (Greedy) استفاده می‌شود. این الگوریتم نسبت به روش‌های حریصانه داشته و فضای پاسخ وسیع تری را کاوش می‌کند

مکانیزم عمل: الگوریتم با یک دمای اولیه شروع شده و در هر تکرار، کاربران را بین برش‌ها جابجا می‌کند. اگر \* راهکار جدید بهتر باشد پذیرفته می‌شود، و در غیر این صورت با احتمالی مشخص (تابع دما) برای فرار از بهینه‌های محلی پذیرفته می‌گردد

(تخصیص منابع) \mathcal{P}\_3 ب. حل مسئله

(تقریب محدب متوالی) SCA و روش (Convex Approximation) برای حل این زیرمسئله، از تقریب محدب استفاده می‌شود.

و استفاده از بسط تایلور مرتبه اول، غیرمحدب SINR به عنوان کران پایین برای  $\phi_i$  با معرفی متغیر کمکی \* حذف می‌شود SINR بودن

(برنامه‌ریزی درجه دوم با محدودیت‌های درجه دوم) تبدیل شده که توسط QCQP در نهایت، مسئله به یک فرم \* قابل حل است CVX حل‌گرهای استانداردی مانند

ج. تحلیل پیچیدگی (Complexity Analysis)

طرح پیشنهادی شامل یک ساختار حلقه تو در تو دو مرحله‌ای است. پیچیدگی کل طرح پیشنهادی به صورت تخمین زده می‌شود که برای شبکه‌های با ابعاد بزرگ CF-mMIMO \mathcal{O}(L\_1 L\_2 (UM)^{3.5}) کارآمد تلقی می‌گردد.

## بخش اول: متن اصلی و تحلیل عملکرد

در این بخش، ابتدا همگرایی طرح پیشنهادی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. جهت ارزیابی عملکرد از نظر «مجموع نرخ (Baseline)»، طرح پیشنهادی را با طرح‌های پایه ( $t_{\text{mean}}$ ) «و «میانگین تأخیر انتقال کاربر (C<sub>sum</sub>)» ارسال زیر مقایسه می‌کنیم.

\* بیشینه‌سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله (Non-convex) این الگوریتم مسئله غیرکوثر [9]: JUCPC و زیرمسئله خوشبندی کاربر. هدف زیرمسئله max-min SINR تجزیه می‌کند: زیرمسئله در میان کاربران است؛ در حالی که زیرمسئله خوشبندی SINR بهینه‌سازی تخصیص توان برای بیشینه‌سازی حداقل (UE-antisap) کاربر-اسلاس PRB کاربر بر متعادل سازی تخصیص پهنانی باند از طریق بهینه‌سازی مشترک تخصیص slice association) تمرکز دارد.

\* برای یافتن یک مجموعه تخصیص توان شدنی (Iterative) این روش به صورت تکرارپذیر [28]: IFS الگوریتم PRB در مقاله اصلی در نظر گرفته نشده بود، استراتژی تخصیص PRB جستجو می‌کند. از آنجا که تخصیص ادغام شده است IFS پیشنهادی ما جهت مقایسه عادلانه در الگوریتم.

\* ها را به طور PRB این طرح پایه تنها به بهینه‌سازی تخصیص توان می‌پردازد، در حالی که: PRB طرح تخصیص ثابت نیز به صورت تصادفی و یکنواخت به هر اسلاس اختصاص (UEs) یکنواخت میان اسلاس‌ها توزیع می‌کند. کاربران داده می‌شوند.

هدف متفاوت JUCPC اگرچه روش پیشنهادی برای بیشینه‌سازی مجموع نرخ کل طراحی شده است، الگوریتم را دنبال می‌کند. این الگوریتم در مقایسه گنجانده شده است تا دیدگاه گسترده‌تری (max-min) «بیشینه-کمینه و (Throughput-oriented) بین رویکردهای ظرفیت محور (Performance trade-offs) «درباره تبادل عملکرد ارائه دهد URLLC تحت محدودیت‌های (Fairness-oriented) عدالت محور.

برای تسهیل یک مقایسه عادلانه، تمام الگوریتم‌های پایه با استفاده از همان ساختار تکرارپذیر دو-سطحی طرح ادغام IFS و JUCPC پیشنهادی در الگوریتم‌های PRB پیشنهادی پیاده‌سازی شده‌اند. علاوه بر این، متدهای تخصیص شده است تا با مدل شبکه در نظر گرفته شده در این مقاله تطبیق یابند. جدول ۲ خلاصه‌ای از پیچیدگی محاسباتی تمام طرح‌ها را نشان می‌دهد.

## بخش دوم: پیچیدگی محاسباتی و نتایج شبیه‌سازی

را حل می‌کند (Convex Optimization) «به طور خاص، حلقه داخلی هر طرح اساساً یک مسئله «بهینه‌سازی کوثر افزایش می‌یابد. در نتیجه، اگرچه (APs) که پیچیدگی آن به صورت چندجمله‌ای با تعداد کاربران و نقاط دسترسی

فرمول‌بندی‌های دقیق در طرح‌های مختلف متفاوت است، پیچیدگی محاسباتی کلی آن‌ها در شبیه‌سازی‌ها عملاً قابل مقایسه است.

۲۰ از AP تکرار مستقل حاصل شده‌اند که در آن‌ها (Monte Carlo) «تمامی نتایج شبیه‌سازی «مونت کارلو به صورت تصادفی در شبکه مستقر شده‌اند. برای اطمینان از قابلیت (Snapshot) کاربران در هر نمونه لحظه‌ای برای تمام معیارهای ارزیابی (Two-sample t-tests) «اطمینان آماری مقایسه‌های عملکرد، «آزمون تی دو-نمونه‌ای حاصل کمتر از ۰.۰۱ است که نشان‌دهنده تفاوت‌های آماری معنادار p شده انجام شده است. در تمامی موارد، مقادیر تعداد کاربران (Pilot Contamination) «بین روش پیشنهادی و طرح‌های پایه است. جهت حذف «آلودگی پایلوت برقرار باشد  $\text{U/S} \backslash e \tau$  در هر شبیه‌سازی به گونه‌ای تنظیم شده است که شرط

#### الف. رفتار همگرایی طرح پیشنهادی

را بر عملکرد طرح پیشنهادی بررسی می‌کند. (AP-UE ratios) به کاربر AP شکل ۲ تأثیر نسبت‌های مختلف همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، طرح پیشنهادی برای نسبت‌های مختلف به سرعت همگرا شده و در عرض ۲ یا ۳ تکرار به پایداری می‌رسد. این امر نشان‌دهنده پیچیدگی پایین طرح پیشنهادی است

: ترجمه جداول (خلاصه پارامترها)

\*: جدول ۱ (پارامترهای شبیه‌سازی)

\*: متر ۱۰۰۰ (D) طول ضلع میدان

\*: ۶۴ و (Shadow Fading): میانگین و واریانس سایه‌اندازی

\*: ۱۷۴ چگالی توان نویز:  $\text{dBm/Hz}$

\*: و کاربر: ۲۰۰ میلی‌وات و ۱۰۰ میلی‌وات AP حداکثر توان ارسالی

\*: پهنه‌ای باند کل: ۲۰ مگاهرتز

\*: بیت ۲۰۰ URLLC: اندازه بسته

\*: جدول ۲ (پیچیدگی محاسباتی)

\*: در این جدول از نماد O بزرگ (Big O notation) برای نشان دادن مرتبه پیچیدگی استفاده شده است که به تعداد کاربران (U)، آنتن‌ها (M) و تکرارها بستگی دارد.

تحلیل عملکرد و همگرایی

در این بخش، ابتدا رفتار همگرایی طرح پیشنهادی تحلیل می‌شود. جهت ارزیابی عملکرد از نظر «مجموع نرخ (Baseline)»، طرح پیشنهادی با طرح‌های پایه ( $t_{\text{mean}}$ ) و «میانگین تأخیر انتقال کاربر (C<sub>sum</sub>)» «ارسال زیر مقایسه شده است

این الگوریتم مسئله غیرکوثر بیشینه‌سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله تجزیه می‌کند: [9] JUCPC الگوریتم \* و زیرمسئله خوشبندی کاربر. هدف در اولی، بهینه‌سازی تخصیص SINR (max-min) زیرمسئله بیشینه-کمینه کاربران است، در حالی که دومی بر تعادل در تخصیص پهنای باند از طریق SINR توان برای بیشینه‌سازی حداقل و انتساب کاربر به اسلایس تمرکز دارد (PRB) بهینه‌سازی مشترک انتساب بلوک‌های منابع فیزیکی

این روش به صورت تکرارپذیر برای یافتن یک مجموعه تخصیص توان شدنی جستجو می‌کند. [28] IFS الگوریتم در این الگوریتم ادغام شده است PRB جهت برقراری مقایسه عادلانه، استراتژی پیشنهادی ما برای تخصیص

ها به طور یکنواخت میان اسلایس‌ها توزیع PRB در این طرح، تنها توان بهینه می‌شود و PRB طرح تخصیص ثابت \* می‌گردد.

#### پیچیدگی محاسباتی

حلقه داخلی هر طرح اساساً یک مسئله بهینه‌سازی کوثر را حل می‌کند که پیچیدگی آن به صورت چندجمله‌ای با افزایش می‌یابد. جدول ۲ پیچیدگی محاسباتی طرح‌های مختلف را (APs) و نقاط دسترسی (UEs) تعداد کاربران هستند (L<sub>1</sub> L<sub>2</sub> (UM)<sup>3.5</sup> O نشان می‌دهد که همگی از مرتبه

#### الف. رفتار همگرایی طرح پیشنهادی

به کاربر، به سرعت و تنها ظرف ۲ تا ۳ تکرار AP شکل ۲ نشان می‌دهد که طرح پیشنهادی برای نسبت‌های مختلف همگرا می‌شود که گویای پیچیدگی پایین آن است

ترجمه صفحه دوم: مقایسه عملکرد و تأثیر پارامترها

#### (d\_0) ب. انتخاب فاصله آستانه

های AP، تعداد  $d_0$  تأثیر فاصله آستانه بر مجموع نرخ و تعداد اتصالات در شکل ۳ بررسی شده است. با افزایش منجر به  $d_0$  متصل به هر کاربر افزایش یافته و در نتیجه مجموع نرخ بهبود می‌یابد. با این حال، افزایش بیش از حد  $d_0$  و تخمین کanal می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در CPU شدید برای هماهنگی (Overhead) بار محاسباتی  $228.73 \text{ Mbps}$  می‌رسد که تنها اندکی با حالت اتصال کامل  $600 \text{ Mbps}$ ، مجموع نرخ به  $217.59 \text{ Mbps}$  تفاوت دارد، اما بار شبکه را بهشدت کاهش می‌دهد.

(P) ج. مقایسه عملکرد با تغییر تعداد آنتن‌ها

\*، مجموع نرخ ابتدا به صورت جهشی و (P) با افزایش تعداد آنتن‌های هر نقطه دسترسی: (شکل 4) مجموع نرخ نشان IFS و JUCPC سپس با شبیه ملایم افزایش می‌یابد. طرح پیشنهادی به طور مداوم عملکرد بهتری نسبت به می‌دهد.

\* با افزایش تعداد آنتن‌ها، میانگین تأخیر انتقال کاربران کاهش می‌یابد. طرح پیشنهادی: (شکل 4) تأخیر انتقال کمترین میزان تأخیر را در مقایسه با سایر روش‌ها دارد است.

به جای بیشینه‌سازی نرخ JUCPC این است که الگوریتم JUCPC نکته تخصصی: دلیل برتری طرح پیشنهادی بر > تمکن دارد که منجر به بهره‌وری پایین‌تر از ظرفیت کل شبکه می‌شود (Fairness) کل، بر عدالت >

>

جداول استخراج شده از متن

| پارامتر (جدول ۱) | مقدار |

| متر ۱۰۰۰ | (D) طول ضلع ناحیه |

| مگاهرتز ۲۰ | (W\_{max}) پهنای باند کل |

| میلی‌وات ۲۰۰ | (p\_0) توان ارسالی |

| اندازه بسته ۲۰۰URLLC (N\_0) | بیت |

تحلیل عملکرد و ارزیابی شبیه‌سازی

در این بخش، ابتدا رفتار همگرایی طرح پیشنهادی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. جهت ارزیابی عملکرد از نظر مجموع (Baseline)، طرح پیشنهادی با طرح‌های پایه ( $t_{mean}$ ) و میانگین تأخیر انتقال کاربر ( $C_{sum}$ ) نرخ ارسال: زیر مقایسه شده است

\* بیشینه‌سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله (Non-convex) این الگوریتم مسئله غیرکوثر: JUCPC الگوریتم و زیرمسئله خوشبندی کاربر. هدف در زیرمسئله اول، SINR (max-min) تجزیه می‌کند: زیرمسئله بیشینه-کمینه در میان کاربران است، در حالی که زیرمسئله دوم بر SINR بینه‌سازی تخصیص توان برای بیشینه‌سازی حداقل و انتساب کاربر به اسلایس PRB تعادل در تخصیص پهنای باند از طریق بینه‌سازی مشترک انتساب

\* این روش به صورت تکرار پذیر برای یافتن یک مجموعه تخصیص توان شدنی جستجو می‌کند. جهت IFS الگوریتم پیشنهادی ما در این الگوریتم ادغام شده است PRB برقراری مقایسه عادلانه، استراتژی تخصیص

این طرح تنها به بهینه‌سازی تخصیص توان می‌پردازد، در حالی که بلوک‌های منابع PRB طرح تخصیص ثابت \* به‌طور یکنواخت میان اسلایس‌ها توزیع شده و کاربران به صورت تصادفی به اسلایس‌ها اختصاص (PRB) فیزیکی می‌یابند.

### پیچیدگی محاسباتی و همگرایی

و کاربران در (AP) تمامی نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو از ۲۰ تکرار مستقل حاصل شده‌اند که در آن‌ها نقاط دسترسی به صورت تصادفی مستقر شده‌اند (Snapshot) هر نمونه لحظه‌ای

به کاربر به سرعت همگرا شده و در AP رفتار همگرایی: مطابق شکل ۲، طرح پیشنهادی برای نسبت‌های مختلف \* عرض ۲ تا ۳ تکرار به پایداری می‌رسد که نشان‌دهنده پیچیدگی پایین آن است

\* مرتبه پیچیدگی: حلقه داخلی هر طرح اساساً یک مسئله بهینه‌سازی کوز را حل می‌کند که پیچیدگی آن به صورت O(L<sub>1</sub>L<sub>2</sub>) افزایش می‌یابد. طبق جدول ۲، پیچیدگی طرح پیشنهادی از مرتبه AP چندجمله‌ای با تعداد کاربران و (UM)<sup>3.5</sup> است.

### تحلیل پارامترهای کلیدی و نتایج

#### ۱. آستانه فاصله انتخاب (d\_0)

های متصل به هر AP، تعداد d\_0 تأثیر فاصله آستانه سرویس بر مجموع نرخ در شکل ۳ بررسی شده است. با افزایش منجر به تحمیل بار محاسباتی d\_0 کاربر افزایش یافته و مجموع نرخ بهبود می‌یابد. با این حال، افزایش بیش از حد و تخمین کانال می‌شود CPU ناشی از سیگنال‌دهی برای هماهنگی (Overhead)

\* می‌رسد که تفاوت ناچیزی با حالت اتصال کامل \text{Mbps} 600m217.59 در (228.73 \text{Mbps}) دارد، اما بار شبکه را به شدت کاهش می‌دهد.

#### ۲. آستانه تعداد آنتن (M)

\* ، مجموع نرخ به دلیل افزایش بهره APs شکل ۵ ها و تعداد (a) ۴ بهبود نرخ ارسال: با افزایش تعداد آنتن‌ها واریانس سیگنال به‌طور چشمگیری صعود می‌کند. طرح پیشنهادی در تمامی سناریوهای عملکرد بهتری نسبت به نشان می‌دهد IFS و JUCPC

\*، میانگین تأخیر انتقال با افزایش منابع سخت افزاری کاهش می یابد. در حالت  $b=5$  کاهش تأخیر: طبق شکل ۴  
، طرح پیشنهادی موفق به کاهش تأخیر به میزان  $33.40\%$  نسبت به طرح تخصیص ثابت و  $115.56\%$  نسبت به  $P=4$   
شده است JUCPC.

< تفسیر فنی: برتری طرح پیشنهادی بر JUCPC در نرخ ارسال به این دلیل است که JUCPC بر «عدالت» تمرکز دارد  
(Max-min)، اما طرح پیشنهادی با هدف بیشینه سازی نرخ کل، منابع را به کاربرانی با شرایط کanal بهتر اختصاص  
می دهد تا بهره وری کل سیستم افزایش یابد.

## سناریوی شبیه سازی و طرح های پایه ۱۰

و میانگین تأخیر انتقال کاربر ( $C_{\{sum\}}$ ) در این بخش، عملکرد طرح پیشنهادی از نظر مجموع نرخ ارسال  
ارزیابی و با الگوریتم های زیر مقایسه شده است ( $t_{\{mean\}}$ )

این روش مسئله غیر کوثر بیشینه سازی مجموع نرخ را به دو زیر مسئله تجزیه می کند: ۱. JUCPC الگوریتم \*  
کاربران؛ ۲. بهینه سازی مشترک انتساب بلوک های منابع فیزیکی SINR بهینه سازی توان برای بیشینه سازی حداقل  
و انتساب کاربر- اسلایس با هدف برقراری تعادل در پهنانی باند (PRB)

یک روش تکرار پذیر برای یافتن مجموعه ای شدنی از تخصیص توان است. جهت مقایسه عادلانه، IFS الگوریتم \*  
در آن ادغام شده است PRB استراتژی پیشنهادی این مقاله برای تخصیص

را به صورت یکنواخت میان PRB این طرح تنها به بهینه سازی توان می پردازد و منابع PRB طرح تخصیص ثابت \*  
اسلایس ها تقسیم می کند.

## تحلیل همگرایی و پیچیدگی محاسباتی ۲۰

به کاربر، به سرعت و تنها (AP) همگرایی: مطابق شکل ۲، طرح پیشنهادی برای نسبت های مختلف نقطه دسترسی \*  
طی ۲ تا ۳ تکرار همگرا می شود که گویای پیچیدگی پایین آن است

\* پیچیدگی: حلقه داخلی تمامی طرح ها یک مسئله بهینه سازی کوثر را حل می کند. طبق جدول ۲، پیچیدگی \*  
است  $(UM)^{\{3.5\}}(L_1 L_2 O)$  محاسباتی طرح پیشنهادی و سایر طرح ها از مرتبه چند جمله ای

## بررسی تأثیر پارامترها بر عملکرد سیستم ۳۰

\* های متصل به هر AP با افزایش فاصله آستانه سرویس، مجموع نرخ بهبود می یابد زیرا تعداد:  $(d_0)$  فاصله آستانه  
سیستم به تعادل بهینه ای می رسد؛ به طوری که نرخ حاصل  $d_0 = 600m$  کاربر بیشتر می شود. با این حال، در

دارد اما باز محاسباتی  $(217.59 \text{ Mbps})$  تفاوت اندکی با حالت اتصال کامل  $(228.73 \text{ Mbps})$  داشت که شبکه را به شدت کاهش می‌دهد.

و کاهش (شکل 4) منجر به رشد دراماتیک مجموع نرخ AP افزایش تعداد آنتن‌های هر (P) تعداد آنتن‌ها \* و ۳۴.۹۸٪ نسبت به JUCPC حدود ۲۸.۴۵٪ P=4 می‌شود. طرح پیشنهادی در (شکل 4) میانگین تأخیر طرح تخصیص ثابت، نرخ ارسال بیشتری تولید می‌کند.

ها باعث بهبود مجموع نرخ و کاهش تأخیر می‌شود (شکل ۵). طرح AP افزایش تعداد (M) تعداد نقاط دسترسی \* پیشنهادی در این سناریو نیز به طور مستمر از سایر روش‌ها برتر است.

با افزایش تعداد بلوک‌های فرکانسی، مجموع نرخ به تدریج افزایش یافته و سپس همگرا (K) PRB تعداد \* ارائه می‌دهد IFS حدود ۱۰.۲۴٪ Mجموع نرخ بالاتری نسبت به الگوریتم K=10 می‌شود. طرح پیشنهادی در

#### ۴. نتیجه‌گیری (Conclusion)

این تحقیق به مسئله تخصیص منابع در سیستم‌های URLLC با محدودیت‌های کیفیت سرویس (QoS) پرداخته است. مسئله اصلی به دو زیرمسئله «انتساب کاربر-اسلاسیس» (حل شده با الگوریتم Simulated Annealing) و «تخصیص منابع» (حل شده با تکنیک‌های SCA) تجزیه شده است. نتایج شبیه‌سازی تایید می‌کند که طرح پیشنهادی مجموع نرخ را حداقل ۱۰.۲۴٪ بهبود و میانگین تأخیر انتقال را دست کم ۳۳.۴۰٪ کاهش می‌دهد.

#### ۱. تحلیل عملکرد و سناریوهای مقایسه

«و میانگین تأخیر انتقال کاربر (C<sub>sum</sub>)» در این بخش، عملکرد طرح پیشنهادی از نظر «مجموع نرخ ارسال زیر مقایسه (Baseline) ارزیابی شده است. جهت اعتبارسنجی، طرح پیشنهادی با الگوریتم‌های پایه (t<sub>mean</sub>) می‌شود:

این الگوریتم مسئله غیرکوثر بیشینه‌سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله «بیشینه-کمینه JUCPC» الگوریتم \* و «خواهش‌بندی کاربر» تجزیه می‌کند. هدف آن برقراری عدالت در میان کاربران از طریق «(max-min) SINR» است SINR بهینه‌سازی حداقل.

یک متد تکرارپذیر برای یافتن تخصیص توان شدنی است. برای مقایسه عادلانه، استراتژی IFS الگوریتم \* در آن ادغام شده است (PRB) پیشنهادی این مقاله برای تخصیص بلوک‌های منابع فیزیکی.

را به صورت یکنواخت و ثابت PRB این طرح تنها به بهینه‌سازی توان می‌پردازد و منابع PRB طرح تخصیص ثابت \* میان اسلاسیس‌ها تقسیم می‌کند.

## پیچیدگی محاسباتی و همگرایی ۲۰

رفتار همگرایی: طبق نتایج شبیه‌سازی در شکل ۲، طرح پیشنهادی بسیار کارآمد عمل کرده و برای نسبت‌های \* به کاربر، تنها ظرف ۲ تا ۳ تکرار به همگرایی کامل می‌رسد (AP) مختلف نقطه دسترسی

است که  $(L_1 L_2 UM)^{3.5}$  مرتبه پیچیدگی: پیچیدگی محاسباتی طرح پیشنهادی از مرتبه چندجمله‌ای \* با سایر طرح‌های پایه در شرایط شبیه‌سازی عملأً قابل مقایسه است

## تحلیل نتایج کلیدی شبیه‌سازی ۳۰

با افزایش فاصله آستانه سرویس در مدل کاربر-محور، مجموع نرخ بهبود می‌یابد. (d\_0): تأثیر فاصله آستانه \* می‌رسد که تفاوت بسیار کمی با  $\text{Mbps}$ ، مجموع نرخ به  $d_0 = 600m217.59$  نتایج نشان می‌دهد در حالت اتصال کامل دارد، اما با رمحاسباتی و سیگنال‌دهی شبکه را بهشت کاهش می‌دهد.

\* باعث رشد دراماتیک نرخ ارسال و کاهش تأخیر می‌شود. طرح AP افزایش تعداد آنتن‌ها در هر (P) تعداد آنتن‌ها و  $34.98\%$  نسبت به طرح ثابت JUCPC آنتن، حدود  $28.45\%$  نرخ ارسال بیشتری نسبت به  $P=4$  پیشنهادی در حالت ارائه می‌دهد.

\* کاهش تأخیر بسیار JUCPC تأخیر انتقال: طرح پیشنهادی کمترین میانگین تأخیر را دارد. بهویژه در مقایسه با .. بهره‌وری کل سیستم را فدا می‌کند (Fairness) با تمرکز بر عدالت JUCPC چشمگیر (حدود  $115.56\%$ ) است، زیرا

## نتیجه‌گیری ۴۰ (Conclusion)

این تحقیق نشان داد که با استفاده از الگوریتم Simulated Annealing برای انتساب کاربر-اسلایس و تکنیک‌های SCA برای تخصیص منابع، می‌توان به بهینه‌سازی موثری دست یافت. طرح پیشنهادی مجموع نرخ کل را حداقل  $10.24\%$  بهبود بخشیده و میانگین تأخیر انتقال را دست کم  $33.40\%$  نسبت به روش‌های موجود کاهش می‌دهد.

## ۱۰) ارزیابی عملکرد و طرح‌های پایه (Baseline Schemes)

و میانگین تأخیر انتقال کاربر ( $C_{sum}$ ) در این بخش، عملکرد طرح پیشنهادی از نظر مجموع نرخ ارسال با طرح‌های زیر مقایسه شده است ( $t_{mean}$ )

\* بیشینه‌سازی نرخ را به دو زیرمسئله «بیشینه-کمینه (Non-convex)» این روش مسئله غیرکوژ JUCPC: الگوریتم و «خوشبندی کاربر» تجزیه می‌کند. هدف آن بهبود عدالت میان کاربران از طریق بهینه‌سازی (max-min) SINR است. SINR حداقل

است. برای مقایسه عادلانه، (Feasible) یک متد تکرارپذیر برای یافتن تخصیص توان شدنی: IFS الگوریتم \* در آن ادغام شده است (PRB) استراتژی پیشنهادی این مقاله برای تخصیص منابع فرکانسی

در این طرح، تنها توان بهینه می‌شود و بلوک‌های منابع فرکانسی به‌طور یکنواخت و PRB طرح تخصیص ثابت \* ثابت میان اسلامیس‌ها تقسیم می‌گردد.

## تحلیل همگرایی و پیچیدگی محاسباتی ۲۰

به کاربر، بسیار سریع (AP) همگرایی: مطابق شکل ۲، طرح پیشنهادی برای نسبت‌های مختلف نقطه دسترسی \* عمل کرده و تنها طی ۲ تا ۳ تکرار به پایداری می‌رسد که نشان‌دهنده پیچیدگی پایین آن است.

و نقاط دسترسی (U) مرتبه پیچیدگی: پیچیدگی محاسباتی تمام طرح‌ها به صورت چندجمله‌ای با تعداد کاربران \* است (M)<sup>3.5</sup> افزایش می‌یابد. طبق جدول ۲، پیچیدگی طرح پیشنهادی از مرتبه (M) L\_1 L\_2 O L\_1 L\_2 UM افزایش می‌یابد.

## تحلیل نتایج کلیدی شبیه‌سازی ۳۰

$d_0$  با افزایش فاصله آستانه سرویس، نرخ کل بهبود می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد در: (d\_0) فاصله آستانه \* می‌رسد که تفاوت بسیار ناچیزی با حالت اتصال کامل دارد، اما با  $\text{Mbps}$  ، مجموع نرخ به 600m217.59 محاسباتی و سیگنال‌دهی شبکه را بهشت کاهش می‌دهد.

باعث رشد چشمگیر نرخ ارسال و کاهش تأخیر می‌شود. طرح AP افزایش آنتن‌های هر: (P) تعداد آنتن‌ها \* و ۳۴.۹۸٪ نسبت به طرح ثابت JUCPC J پیشنهادی در حالت ۴ آنتن، حدود ۲۸.۴۵٪ نرخ ارسال بیشتری نسبت به ارائه می‌دهد.

ها، مجموع نرخ بهبود یافته و تأخیر کاهش می‌یابد. طرح AP با افزایش تعداد: (M) تعداد نقاط دسترسی \* دارد JUCPC و IFS پیشنهادی در تمامی سناریوهای عملکردی برتر از

، کاهش تأخیر بسیار قابل JUCPC تأخیر انتقال: طرح پیشنهادی کمترین میانگین تأخیر را داراست. در مقایسه با \* با تمرکز بر عدالت، بهره‌وری کل سیستم را کاهش می‌دهد JUCPC توجه (حدود ۱۱۵.۵۶٪) است، زیرا

## (Conclusion) نتیجه‌گیری ۴۰

این تحقیق نشان داد که با استفاده از الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (Simulated Annealing) برای انتساب کاربر-اسلامیس و تکنیک‌های SCA برای تخصیص منابع، می‌توان به بهینه‌سازی موثری دست یافت. طرح پیشنهادی مجموع نرخ کل را حداقل ۱۰.۲۴٪ بهبود بخشیده و میانگین تأخیر انتقال را دست کم ۳۳.۴۰٪ نسبت به روش‌های موجود کاهش می‌دهد.

