

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

، (IEEE عضو) ، وی‌وی شیا¹ (IEEE دانشجوی تحصیلات تکمیلی) ، هان لو¹

، (IEEE عضو) وی‌وی میائو²، مینگ‌شوان ژانگ²، فنگ یان¹

(IEEE عضو ارشد) و لیان‌فنگ شن¹

آزمایشگاه ملی پژوهش ارتباطات سیار، دانشگاه جنوب شرق، نانجینگ 210096، چین¹

شرکت برق دولتی جیانگسو، بخش اطلاعات و مخابرات، نانجینگ 210024، چین²

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

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 5700-202499320A-1-3-ZB

(Abstract) چکیده

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 بهینه‌سازی 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 پهنای 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 بهینه‌سازی متوالی کران پایین نرخ برای به‌دست آوردن کران پایین محدب نرخ داده در شرایط برای تعیین تخصیص بهینه پهنای (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 ۳۳٫۴۰٪ کاهش می‌دهد.

(Index Terms) واژگان کلیدی

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

1. مقدمه (Introduction)

موجب اتصال میلیاردها دستگاه و حسگر شده و زمینه‌ساز طیف گسترده‌ای از (IoT) رشد سریع اینترنت اشیا کاربردها در شهرهای هوشمند، کشاورزی دقیق، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند و اتوماسیون صنعتی شده است [1]. غالباً به تبادل داده‌ی بلادرنگ، کنترل دقیق و اتصال بی‌وقفه 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] به‌عنوان 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

، (IEEE عضو)، وی‌وی شی¹ (IEEE دانشجوی تحصیلات تکمیلی)، هان لو¹

، (IEEE عضو) وی‌وی میائو²، مینگ‌شوان ژانگ²، فنگ یان¹

(IEEE عضو ارشد) و لیان فنگ شن¹

آزمایشگاه ملی پژوهش ارتباطات سیار، دانشگاه جنوب شرق، نانجینگ 210096، چین¹

شرکت برق دولتی جیانگسو، بخش اطلاعات و مخابرات، نانجینگ 210024، چین²

(www.xia@seu.edu.cn) نویسنده مسئول: وی وی شیا

پژوهش در نظریه دسترسی بی سیم 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

(Abstract) چکیده

برای (URLLC)، ارتباطات فوق قابل اعتماد 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. معماری های با حذف مرزهای سلولی و تضمین ارائه خدمات عادلانه به کاربران لبه ای، این الزامات را (CF-mMIMO) کاربر محور با چالش های URLLC کاربر محور تحت قیود CF-mMIMO برآورده می کنند. با این حال، تخصیص منابع در شبکه های قابل توجهی همراه است

کاربر محور مبتنی بر برش بندی شبکه CF-mMIMO در این مقاله، یک طرح نوین تخصیص منابع برای شبکه های URLLC ارائه می شود که هدف آن بهینه سازی نرخ مجموع داده ی قابل دستیابی، در عین حفظ کیفیت خدمات است. برای حل مسئله ی بهینه سازی ذاتاً نامحدوب، مسئله ی اصلی به دو زیرمسئله تفکیک می شود

مسئله ی ارتباط کاربر-اسلایس که متغیرهای نگاشت کاربر به اسلایس را بهینه می کند، و 1.

مسئله‌ی تخصیص منابع که تخصیص پهنای باند و ضرایب کنترل توان را بهینه‌سازی می‌نماید 2.

مسئله‌ی ارتباط کاربر-اسلایس با استفاده از الگوریتم بازپخت شبیه‌سازی شده حل می‌شود. برای مسئله‌ی تخصیص منابع، از الگوریتم بهینه‌سازی متوالی کران پایین نرخ برای به‌دست آوردن کران پایین محدب نرخ داده در شرایط برای تعیین تخصیص بهینه پهنای (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،۴۰٪ کاهش می‌دهد.

(Index Terms) واژگان کلیدی

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

(Introduction) مقدمه ۱.

موجب اتصال میلیاردها دستگاه و حسگر شده و زمینه‌ساز طیف گسترده‌ای از (IoT) رشد سریع اینترنت اشیا کاربردها در شهرهای هوشمند، کشاورزی دقیق، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند و اتوماسیون صنعتی شده است [1]. غالباً به تبادل داده‌ی بلادرنگ، کنترل دقیق و اتصال بی‌وقفه 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] به‌عنوان 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

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 داده‌ای 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 به‌صورت 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 خطا و نسبت سیگنال به تداخل به‌علاوه نویز است. در مرجع [6]، یک بیان تقریبی برای بیشینه نرخ داده‌ای قابل دستیابی در شرایط ارسال با طول بلوک (SINR) محدود استخراج شده است که شامل جمله‌ای اتلاف 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. به‌عنوان یک راهکار نویدبخش، معماری URLLC دستیابی به الزامات عملکردی بسیار سخت‌گیرانه‌ای برای بهبود کیفیت سیگنال، افزایش بهره‌وری طیفی و برآورده‌سازی (CF-mMIMO) بدون سلول Massive MIMO CF- [7] 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 توزیع‌شده تفکیک AP فراهم می‌کند [8]. این معماری، ایستگاه پایه را به (CU) مرکزی یک واحد متمرکز 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 مرزهای سلولی، G در سناریوهای URLLC 6 می‌دهد و قابلیت اطمینان ارسال را افزایش می‌دهد؛ از این رو، گزینه‌ای بسیار مناسب برای محسوب می‌شود

(Previous Works) پژوهش‌های پیشین A.

ها است. با افزایش UE برای تمامی (CSI) ملزم به برآورد 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 ها، اتصال بین AP کاربرمحور را پیشنهاد دادند که با اجازه دادن به کاربران برای اتصال به نزدیک‌ترین CF-mMIMO ها، اتصال 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 استفاده‌ی مجدد از سیگنال‌های پایلوت در میان برش‌های مختلف را فراهم می‌کند که این امر به کاهش مسئله آلودگی پایلوت کمک کرده و در نتیجه [16]، [دقت تخمین کانال و قابلیت اطمینان سیستم را افزایش می‌دهد 15]

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 پهنای 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 پهنای باند و محاسباتی را فراهم می‌سازد. همچنین، در مرجع [20] از الگوریتم گرادیان برای بهینه‌سازی هم‌زمان پهنای 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 نظیر تفسیرپذیری نظری قوی، پایداری الگوریتمی در شرایط پویا و قابلیت پیاده‌سازی بلادرنگ، روش‌های بهینه‌سازی سنتی به‌عنوان رویکردی اساسی و غیرقابل چشم‌پوشی برای حل مسائل تخصیص منابع در مطرح شده‌اند. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی به بررسی مسئله تخصیص منابع در CF-mMIMO شبکه‌های با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی سنتی پرداخته‌اند [9]، [21]–[25]. مراجع [21]، [22] و CF-mMIMO شبکه‌های، نامحدوب 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) پهنای باند را در نظر بگیرند. در مقابل، مرجع [9] از الگوریتم خوشه‌بندی کاربر و کنترل توان مشترک بهینه‌سازی هم‌زمان منابع توان و پهنای 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 متکی هستند که قادر به در نظر گرفتن قیود کدگذاری و URLLC ارسال خدمات احتمالات خطای مرتبط با ارسال بسته‌های کوتاه در رژیم طول بلوک محدود نیست

نرخ ارسال بسته‌های کوتاه استخراج شده است که بدین ترتیب نامحدوب بودن چندجمله‌ای فرمول‌بندی اولیه حذف (Iterative Feasible) می‌شود. مراجع [27] و [28] با به‌کارگیری الگوریتم جست‌وجوی تکراری راه‌حل‌های شدنی به‌صورت SINR، بهینه‌سازی تخصیص توان را انجام داده‌اند؛ به‌گونه‌ای که کران پایین (IFS – Solution Search) تدریجی بهینه شده و تا همگرایی راه‌حل شدنی تخصیص توان ادامه می‌یابد. با این حال، رویکردهای ارائه‌شده در، از جمله تأخیر ارسال و پایداری صف را در نظر URLLC سرویس‌های (QoS) [26]، [27] و [28] قیود کیفیت خدمات نمی‌گیرند. در مقابل، مراجع [29] و [30] با بازفرمول‌بندی مسائل بهینه‌سازی به‌صورت برنامه‌ریزی هندسی و را لحاظ کرده و راهبردهای بهینه تخصیص توان را استخراج QoS برنامه‌ریزی مخروط مرتبه دوم، به‌ترتیب، الزامات و تخصیص (user-slice association) نموده‌اند. با این وجود، این پژوهش‌ها از در نظر گرفتن ارتباط کاربر-برش پهنای باند صرف‌نظر کرده‌اند. همچنین، مراجع [31] و [32] به‌ترتیب با هدف بیشینه‌سازی بهره‌وری انرژی شبکه و نرخ مجموع داده، به بهینه‌سازی مشترک توان و پهنای باند پرداخته‌اند؛ اما این مطالعات قیود تأخیر و پایداری صف و برش‌بندی شبکه را در مدل سیستم خود ادغام نکرده‌اند CF-mMIMO ارسال را لحاظ نکرده و معماری

برش، تخصیص بلوک منبع UE- با انگیزه گرفتن از مشاهدات فوق، در این مقاله به بررسی بهینه‌سازی مشترک ارتباط کاربرمحور ادغام‌شده 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
نو پایداری صف‌های ارسال لینک پایین دست است. دستاوردهای اصلی این مقاله به شرح زیر می‌باشند URLLC

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 بهینه‌سازی مشترک ارتباط
همراه با قیود URLLC ضرایب کنترل توان مورد بررسی قرار می‌گیرد. فرمول نرخ داده‌ی ارسال بسته‌های کوتاه در
تأخیر ارسال و پایداری صف اعمال می‌شود

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

3. به منظور دستیابی به (Simulated Annealing) برش، از روش شبیه‌سازی تبرید-UE برای زیرمسئله‌ی ارتباط
ارتباط بهینه 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 بهینه 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

$\{D\}$ و $\{E\}$ ، $\{0\}^T$ ، $\{0\}^H$ 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 گاوسی مختلط با تقارن دایروی و میانگین صفر و کوواریانس $x \sim \text{CN}(0, R)$ مثبت هستند. نماد می‌باشند. نمادهای $F(0)$ به ترتیب بیانگر تابع معکوس، مشتق و مشتق جزئی تابع $\partial F(0)$ و $F'(0)$ ، $F^{-1}(0)$ است. توابع R $\|\cdot\|$ و $\|\cdot\|$ 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 UE ها 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، شبکه (RAN) شبکه‌های دسترسی رادیویی سنتی ها انجام نمی‌شود، AP ها تبدیل می‌کند. بسیاری از وظایف ایستگاه‌های پایه توسط AP را به یک استقرار متراکم از

متصل CPU ها به AP پیاده سازی می گردد. 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 این رو، کل شبکه CPU ها به یک AP ها، اتصال مستقیم تمامی AP متراکم و ناحیه پوشش وسیع EDU مدیریت می گردد. هر (EDU) به چندین زیر شبکه تقسیم می شود که هر زیر شبکه توسط یک واحد توزیع لبه ای EDU های منفرد از طریق AP های واقع در ناحیه ای مشخص شده ی خود است [33]. سیگنال های AP مسئول مدیریت مسئول ادغام UCDU. ارسال می شوند (UCDU) تجمیع شده و جریان های داده ی کاربران به واحد توزیع کاربر محور تصمیمات CPU سطح بالاتر است. سپس CPU های مختلف و ارسال داده های پردازش شده به EDU جریان های داده از های مربوطه ارسال می کند. AP مربوط به تخصیص منابع و زمان بندی چند کاربره را اتخاذ کرده و آن ها را برای اجرا به ها را با پاسخ گویی تقریباً بلادرنگ کنترل نماید [34]. در معماری AP قادر است CPU با توجه به زمان تعامل کوتاه، برش بندی شبکه ی پیشنهادی،

کاربر محور CF-mMIMO شکل ۱. معماری اسلایس بندی شبکه

باند های فرکانسی متعامد به اسلایس های مختلف تخصیص داده می شوند و بدین ترتیب ایزولاسیون تداخل بین اسلایس ها تضمین می گردد. این روش امکان تخصیص منابع به اسلایس های مختلف را بدون ایجاد آلودگی در هر اسلایس از تعداد منابع فرکانسی (ها) UE بین اسلایسی فراهم می کند [15]. تا زمانی که تعداد تجهیزات کاربر [16]، [متعامد 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 زیر شبکه که توسط یک واحد توزیع شده واحد باشد که مجموعه (AP) نقطه دسترسی M می شود در نظر گرفته شده است. فرض می شود این ناحیه شامل مجموع آن ها به صورت

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

تجهیز کاربر U است. شبکه از ρ_0 آنتن مجهز بوده و دارای حداکثر توان انتقال P به AP تعریف می شود. هر تشکیل شده که مجموعه آن ها به صورت

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

استفاده می کنند. همچنین فرض می شود شبکه URLLC ها از سرویس های UE نشان داده می شود. فرض می شود تمام اسلایس باشد که مجموعه اسلایس ها 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 $UE u$ را نشان می‌دهد؛ به طوری که اگر s و اسلایس $UE u$ معرفی می‌شود که ارتباط بین $o_{u,s}$ و $o_{u,s}=0$ در غیر این صورت $o_{u,s}=1$ تخصیص یافته باشد

است. $W_{\{\max\}}$ برابر با URLLC برای شبکه فیزیکی، کل پهنای باند منابع فرکانسی در دسترس برای سرویس‌های برابر PRB تقسیم می‌شود، به طوری که پهنای باند هر (PRB) بلوک منبع K کل پهنای 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 سرویس‌دهی می‌شود که مجموعه سرویس AP توسط زیرمجموعه‌ای از $UE u$ در شبکه کاربرمحور، $h_{u,m}$ با $AP m$ و $UE u$ نشان داده می‌شود. ضریب کانال بین \mathcal{C}_u شده و با نمایش داده شده و مطابق [35] به صورت زیر مدل سازی می‌شود $\mathbb{C}^{P \times 1}$

$$h_{u,m} = \sqrt{\alpha_{u,m}} \mathbf{g}_{u,m} \\ = \sqrt{\beta_{u,m}} \mathbf{g}_{u,m} \tag{1}$$

است که خود توسط $AP m$ و $UE u$ بیانگر ضریب تضعیف بزرگ مقیاس بین $\alpha_{u,m}$ ، (1) در رابطه مشخص می‌شود. پارامتر $\beta_{u,m}$ و افت مسیر $\psi_{u,m}$ حاصل ضرب تضعیف سایه‌ای لگ نرمال $\mathbf{g}_{u,m}$ است. بردار $AP m$ و $UE u$ بین $d_{u,m}$ تابعی از فاصله $\beta_{u,m}$ را نشان می‌دهد که مؤلفه‌های آن $AP m$ و $UE u$ ضریب تضعیف کوچک مقیاس بین $\mathbb{C}^{P \times 1}$ هستند $\mathcal{CN}(0,1)$ متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع با توزیع

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 بزرگ مقیاس در نظر گرفته می‌شود. این پارامتر تعداد متوسط

$\alpha_{u,m} \geq$ یک سازش‌پذیری انعطاف‌پذیر میان عملکرد ارتباطی و سربار هماهنگی فراهم می‌سازد. اگر ای این شرط را \mathcal{C}_u قرار می‌گیرد. اگر هیچ \mathcal{C}_u در مجموعه سرویس \mathcal{C}_u باشد، $\beta_0(d_0)$ با بیشترین ضریب تضعیف بزرگ‌مقیاس به‌عنوان تنها عضو مجموعه سرویس انتخاب می‌شود. \mathcal{C}_u برآورده نکند، به‌صورت زیر فرموله می‌شود \mathcal{C}_u بنابراین، معیار انتخاب مجموعه سرویس

$$\mathcal{C}_u = \{ m \mid \alpha_{u,m} \geq \beta_0(d_0) \} \cup \left\{ \arg\max_{m \in \mathcal{M}} \alpha_{u,m} \right\} \tag{2}$$

قرار دارد یا \mathcal{C}_u در مجموعه سرویس \mathcal{C}_u 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 \mathcal{C}_u خیر استفاده می‌شود. به‌طور مشخص، اگر می‌تواند به‌صورت یک ماتریس قطری تعریف شود که در \mathbf{C}_u ، ماتریس اتصال \mathbf{U} برای $c_{u,m}=0$. آن

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

نشان داده می‌شود که $s_{u,m}$ روی یک آنتن با \mathbf{U} به \mathcal{C}_u است. ضریب کنترل توان سیگنال ارسالی توسط اختصاص داده می‌شود \mathbf{U} است که به \mathcal{C}_u بیانگر سهمی از حداکثر توان انتقال

?

(COMMUNICATION MODEL) ب) مدل ارتباطی

ها باید ضرایب کانال را بر \mathcal{C}_u ، شرایط کانال به‌طور پیوسته در حال تغییر است؛ بنابراین CF-mMIMO در شبکه ها تخمین زده و بر مبنای این پارامترها انتقال پرتو فرمینگ را انجام \mathbf{U} اساس توالی‌های پایلوت ارسال شده توسط دهند

کاربر محور CF-mMIMO شکل ۱. معماری اسلایس‌بندی شبکه

باندهای فرکانسی متعامد به اسلایس‌های مختلف تخصیص داده می‌شوند و بدین ترتیب ایزولاسیون تداخل بین اسلایس‌ها تضمین می‌گردد. این روش امکان تخصیص منابع به اسلایس‌های مختلف را بدون ایجاد آلودگی

در هر اسلایس از تعداد منابع فرکانسی (هاUE) بین اسلایسی فراهم می کند [15]. تا زمانی که تعداد تجهیزات کاربر [16]، [متعامد در دسترس فراتر نرود، آلودگی پیلوت 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 می شود در نظر گرفته شده است. فرض می شود این ناحیه شامل مجموع آن ها به صورت

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

تجهیز کاربر U است. شبکه از ρ_0 آنتن مجهز بوده و دارای حداکثر توان انتقال P به AP تعریف می شود. هر تشکیل شده که مجموعه آن ها به صورت

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

استفاده می کنند. همچنین فرض می شود شبکه URLLC ها از سرویس های UE نشان داده می شود. فرض می شود تمام اسلایس باشد که مجموعه اسلایس ها به صورت S شامل مجموع

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

های شبکه به اسلایس ها تخصیص داده می شوند، با این فرض که هر اسلایس حداقل شامل UE تعریف می شود. تمامی تنها می تواند 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 می دهد؛ به طوری که اگر s و اسلایس u UE معرفی می شود که ارتباط بین $o_{u,s}$ و $o_{u,s}=0$ در غیر این صورت $o_{u,s}=1$ تخصیص یافته باشد

است. W_{\max} برابر با URLLC برای شبکه فیزیکی، کل پهنای باند منابع فرکانسی در دسترس برای سرویس های برابر PRB تقسیم می شود، به طوری که پهنای باند هر (PRB) بلوک منبع K کل پهنای باند به

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

دریافت PRB تنها به یک اسلایس تخصیص داده می شود و هر اسلایس حداقل یک PRB است. فرض می شود هر نشان داده می شود B_s با s های تخصیص یافته به اسلایس PRB می کند. تعداد

نامیده $UE\ u$ ها سرویس‌دهی می‌شود که مجموعه سرویس AP توسط زیرمجموعه‌ای از $UE\ u$ در شبکه کاربرمحور، $h_{u,m}$ با $AP\ m$ و $UE\ u$ نشان داده می‌شود. ضریب کانال بین \mathcal{C}_u شده و با نمایش داده شده و مطابق [35] به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود $\mathbb{C}^{P \times 1}$

$$h_{u,m} = \sqrt{\alpha_{u,m}} \mathbf{g}_{u,m} \\ = \sqrt{\beta_{u,m}} \mathbf{g}_{u,m} \tag{1}$$

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

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 $\alpha_{u,m} \geq$ یک سازش‌پذیری انعطاف‌پذیر میان عملکرد ارتباطی و سربار هماهنگی فراهم می‌سازد. اگر ای این شرط را AP قرار می‌گیرد. اگر هیچ \mathcal{C}_u در مجموعه سرویس $AP\ m$ باشد، $\beta_0(d_0)$ با بیشترین ضریب تضعیف بزرگ‌مقیاس به عنوان تنها عضو مجموعه سرویس انتخاب می‌شود. AP برآورده نکند، به صورت زیر فرموله می‌شود \mathcal{C}_u بنابراین، معیار انتخاب مجموعه سرویس

$$\mathcal{C}_u = \{ m \mid \alpha_{u,m} \geq \beta_0(d_0) \} \\ \cup \left\{ \arg \max_{m \in \mathcal{M}} \alpha_{u,m} \right\} \tag{2}$$

قرار دارد یا \mathcal{C}_u در مجموعه سرویس $AP\ m$ 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 $AP\ m$ خیر استفاده می‌شود. به طور مشخص، اگر می‌تواند به صورت یک ماتریس قطری تعریف شود که در \mathbf{C}_u ، ماتریس اتصال $UE\ u$ برای $c_{u,m}=0$. 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

?

(COMMUNICATION MODEL) ب) مدل ارتباطی

ها باید ضرایب کانال را بر AP ، شرایط کانال به‌طور پیوسته در حال تغییر است؛ بنابراین CF-mMIMO در شبکه ها تخمین زده و بر مبنای این پارامترها انتقال پرتو فرمینگ را انجام UE اساس توالی‌های پایلوت ارسال شده توسط دهند

AP ها به‌صورت اولویت‌دار به UE هایی که مجموعه سرویس آن‌ها کوچک‌تر است سرویس می‌دهند...

، ارسال داده در (uplink training) به‌طور معمول، فرآیند ارتباطی به سه فاز تقسیم می‌شود: آموزش بالارونده فرض می‌شود که وضعیت کانال در [36] (downlink data transmission) بالارونده و ارسال داده در پایین‌رونده طول هر اسلات زمانی ثابت باقی می‌ماند و به دلیل تقارن کانال، وضعیت کانال در ارسال داده بالارونده و پایین‌رونده یکسان است [9]. در این مقاله، تمرکز صرفاً بر فاز ارسال داده در پایین‌رونده قرار داده شده است

بوده و مدت τ_p است، طول توالی پایلوت آموزش بالارونده برابر τ_c هر بازه همدوسی دارای مدت زمان ارسال داده پایین‌رونده برابر

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

$U_s \leq$ ها در هر اسلایس باید شرط UE می‌باشد. برای تضمین متعادل بودن پایلوت‌ها در داخل هر اسلایس، تعداد های مختلف، UE را ارضا کند، که بدین ترتیب از آلودگی پایلوت در هر اسلایس جلوگیری می‌شود τ_p هایی را که با آن‌ها ارتباط برقرار UE سیگنال‌های پایلوت AP سیگنال‌های پایلوت متمایزی را ارسال می‌کنند و هر های UE دریافت و پردازش می‌کند؛ این امر امکان تخمین کانال برای $c_{\{u,m\}}$ کرده است، بر اساس ψ_u را فراهم می‌سازد. توالی AP سرویس گرفته شده توسط هر تعریف می‌شود، به‌طوری که UE u به‌عنوان پایلوت ارسالی توسط $\mathbb{C}^{\tau_p \times 1}$

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

های موجود در اسلایس بزرگ تر است. افزون بر این، UE است. فرض می شود طول توالی پیلوت از حداکثر تعداد که در یک اسلایس قرار دارند، شرط زیر z و u های UE پیلوت ها نسبت به یکدیگر متعامد هستند. بنابراین، برای برقرار است

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

به صورت زیر بیان می شود AP m در نتیجه، ماتریس توالی دریافتی در

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}_m &= \sqrt{\tau_p q_0} \sum_{u \in \mathcal{U}} \mathbf{c}_{u,m} \mathbf{h}_{u,m}^H \mathbf{\psi}_u^H + \mathbf{W}_m, \quad \\ \mathbf{Y}_m &\in \mathbb{C}^{P \times \tau_p} \end{aligned} \quad \text{tag{3}}$$

ماتریس نویز با \mathbf{W}_m را نشان می دهد و UE توان نرمال شده ارسال پیلوت توسط هر q_0 که در آن ماتریس $\mathbf{Y}_m \in \mathcal{C}_u$ است. AP m است $\mathcal{CN}(0,1)$ مؤلفه های تصادفی مستقل و هم توزیع با توزیع را به صورت UE سیگنال دریافتی را پردازش کرده و بدین ترتیب سیگنال دریافتی متناظر با

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

، ضریب کانال [37] (LMMSE) به دست می آورد. بر اساس نظریه تخمین خطای میانگین مربعات خطی، از رابطه زیر محاسبه می شود $\hat{\mathbf{h}}_{u,m}$ تخمین زده شده

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}_{u,m} &= \\ \frac{\mathbb{E}\{\mathbf{h}_{u,m} \mathbf{y}_{u,m}^H\}}{\mathbb{E}\{\mathbf{y}_{u,m} \mathbf{y}_{u,m}^H\}} \\ &= \eta_{u,m} \mathbf{y}_{u,m} \end{aligned} \quad \text{tag{4}}$$

که در آن

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

به صورت زیر بیان می شود $UE u$ به $AP m$ بهره کانال مستقل از یک آنتن

$$\begin{aligned} & \gamma_{u,m} \\ & = \mathbb{E} \left\{ \left| \hat{\mathbf{h}}_{u,m}^p \right|^2 \right\} \\ & = \frac{\tau_{p,q_0} \alpha_{u,m}^2}{\tau_{p,q_0} \alpha_{u,m} + 1} \\ & = \eta_{u,m}^2 (\tau_{p,q_0} \alpha_{u,m} + 1) \tag{5} \end{aligned}$$

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

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

را نشان می دهد و شرط $UE u$ نماد ارسالی به $\boldsymbol{\phi}_u$ که در آن

(6) را ارضا می کند. در رابطه $\mathbb{E} \left\{ \left| \boldsymbol{\phi}_u \right|^2 \right\} = 1$

بردار پرتو فرمینگ مزدوج است. به دلیل نبود فرآیند آموزش در $\mathbf{b}_{u,m} \in \mathbb{C}^{P \times 1}$ تنها می تواند UE نیست؛ بنابراین، (CSI) قادر به تخمین بلادرنگ اطلاعات وضعیت کانال UE پایین رونده، مطابق رابطه (7) (در پایین صفحه بعد) $UE u$ را رمزگشایی کند. سیگنال دریافتی در AP سیگنال های ارسالی از U انحراف ناشی از عدم قطعیت پرتو فرمینگ، BU_u سیگنال مطلوب دریافتی، DS_u داده می شود، که در آن نویز سفید گاوسی مختلط با توزیع w_u ها در همان اسلایس و UE 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 Γ_u

$$\begin{aligned} \Gamma_u &= \\ & \frac{\rho_0 P \left(\sum_{m \in \mathcal{M}} A_{u,m} \right)^2}{\rho_0 P \sum_{u \in \mathcal{U}} \sum_{s \in \mathcal{S}} \omega_{u,s} o_{u,s} \sum_{m \in \mathcal{M}} B_{u,j,m} + 1} \tag{8} \end{aligned}$$

را ببینید A اثبات: پیوست

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

R_u

$$= W \frac{\tau_c - \tau_p}{\tau_c} \left[\log_2(1 + \Gamma_u) - \sqrt{\frac{V(\Gamma_u)}{N_0}} Q^{-1}(\epsilon_u) \right] \tag{9}$$

که در آن

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

گاوسی بوده و Q تابع معکوس $Q^{-1}(\cdot)$ بیانگر پراکندگی کانال است،

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

را نشان می دهد. URLLC طول بلاک بسته داده N_0 و $UE u$ احتمال خطای انتقال به ϵ_u می باشد

:برابر است با $UE u$ 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

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

، 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 آن‌که 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 [38] CF-mMIMO در شبکه‌های AP و UE علاوه بر این، به دلیل فاصله کوتاه بین میکروثانیه برای فاصله ۱ کیلومتر بوده و به مراتب 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 UE آنگاه تأخیر ارسال

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

که باید شرط زیر را ارضا کند:

$$t_u^{\text{tr}} \leq t_{u,b} \quad (12)$$

را برای تمامی (downlink) صف‌های مستقل پایین‌سو (CPU) ، واحد پردازش مرکزی CF-mMIMO در شبکه 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 λ_i با نرخ ثابت پایداری سیستم، محدودیت‌های پایداری صف در مدل سیستم گنجانده شده‌اند. به‌طور خاص، نرخ سرویس‌دهی هر صف نباید کمتر از نرخ ورود آن باشد

فرمول‌بندی و تبدیل مسئله ۳.

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 بیامی شود (sum rate) بهینه‌سازی، بیشینه‌سازی مجموع نرخ

تحت محدودیت‌های

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

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

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

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

ها PRB اطمینان از بهره‌برداری از تمامی (14f) *

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

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

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

است. اولاً، همان‌طور که از (non-convex) غیرمحدب NP-hard 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 Γ_i است؛ در حالی که خود Γ_i در معادله (8) به سختی توسط $\omega_{i,s} \delta_s$ می‌باشد. ثانیاً، متغیر بهینه‌سازی به فرم $\xi_{i,m}$ الگوریتم‌های بهینه‌سازی سنتی قابل حل است. به دلیل دشواری حل این مسئله با روش‌های متداول، انجام برخی تبدیل‌ها برای رسیدگی به این موضوع ضروری است.

ب. تبدیل مسئله

شامل سه مجموعه از متغیرهای بهینه‌سازی است. فرمول نرخ پایین‌سو شامل جملات \mathcal{P}_1 مسئله (Alternating Optimization - AO) غیرمحدب ناشی از ضرب این متغیرهاست. 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 $\xi_{i,m}$ و δ_s برای تخصیص منابع که \mathcal{P}_3

به صورت \mathcal{P}_2 ، مسئله بهینه‌سازی $\xi_{i,m}$ و δ_s 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، ارضای 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

3_فرمول‌بندی و تبدیل مسئله

صف‌های پایین‌سوی (CPU)، واحد پردازش مرکزی (انبوه بدون سلول MIMO) CF-mMIMO 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 λ_i با نرخ ثابت i 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: تمامی کاربران است (sum rate) و ضرایب کنترل توان فرمول‌بندی می‌شود. هدف، بیشینه‌سازی مجموع نرخ (PRB)

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 *

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

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

غیرمحدب است. به دلیل دشواری حل مستقیم، از روش بهینه‌سازی NP-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 گسسته 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 وسیع‌تری 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 ϕ_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 استاندارد می‌مانند

(Complexity Analysis) ج. تحلیل پیچیدگی

طرح پیشنهادی شامل یک ساختار حلقه تو در تو دو مرحله‌ای است. پیچیدگی کل طرح پیشنهادی به صورت $\mathcal{O}(L_1 L_2 (UM)^{3.5})$ تخمین زده می‌شود که برای شبکه‌های با ابعاد بزرگ CF-mMIMO 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 $\{t_{mean}\}$ و «میانگین تأخیر انتقال کاربر $\{C_{sum}\}$ » ارسال زیر مقایسه می‌کنیم

بیشینه‌سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله (Non-convex) این الگوریتم مسئله غیر کوژ: [9] JUCPC الگوریتم *
max-min SINR و زیرمسئله خوشه‌بندی کاربر. هدف زیرمسئله max-min SINR تجزیه می‌کند: زیرمسئله
در میان کاربران است؛ در حالی که زیرمسئله خوشه‌بندی SINR بهینه‌سازی تخصیص توان برای بیشینه‌سازی حداقل
(UE-) و انتساب کاربر-اسلایس PRB کاربر بر متعادل‌سازی تخصیص پهنای باند از طریق بهینه‌سازی مشترک تخصیص
تمرکز دارد (slice association)

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 اسلایس اختصاص (UES) یکنواخت میان اسلایس‌ها 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 ظرفیت‌محور (Performance trade-offs) «درباره «تبادل عملکرد
ارائه دهد URLLC تحت محدودیت‌های (Fairness-oriented) عدالت‌محور

برای تسهیل یک مقایسه عادلانه، تمام الگوریتم‌های پایه با استفاده از همان ساختار تکرارپذیر دو-سطحی طرح
ادغام JUCPC و IFS پیشنهادی در الگوریتم‌های PRB پیشنهادی پیاده‌سازی شده‌اند. علاوه بر این، متد 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 کوژ
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.

ها و AP از ۲۰ 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 $U/S \leq \tau$ 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 *

و ۰.۶۴ (Shadow Fading): میانگین و واریانس سایه‌اندازی *

dBm/Hz چگالی توان نویز: -174 *

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

پهنای 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_{mean}) و «میانگین تأخیر انتقال کاربر (C_{sum})» ارسال زیر مقایسه شده است

- این الگوریتم مسئله غیر کوژ بیشینه‌سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله تجزیه می‌کند: [9] JUCPC الگوریتم *
- و زیرمسئله خوشه‌بندی 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 *
- می‌گردند.

پیچیدگی محاسباتی

حلقه داخلی هر طرح اساساً یک مسئله بهینه‌سازی کوژ 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 ($O(L_1 L_2 (UM)^{3.5})$ 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

(d₀) ب. انتخاب فاصله آستانه

های AP، تعداد d₀ تأثیر فاصله آستانه بر مجموع نرخ و تعداد اتصالات در شکل ۳ بررسی شده است. با افزایش منجر به d₀ متصل به هر کاربر افزایش یافته و در نتیجه مجموع نرخ بهبود می‌یابد. با این حال، افزایش بیش از حد d₀ = و تخمین کانال 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 \text{ Mbps}، مجموع نرخ به 600m217.59 تفاوت دارد، اما بار شبکه را به شدت کاهش می‌دهد (Mbps)

(P): ج. مقایسه عملکرد با تغییر تعداد آنتن‌ها

، مجموع نرخ ابتدا به صورت جهشی و (P) با افزایش تعداد آنتن‌های هر نقطه دسترسی: (a شکل 4) مجموع نرخ * نشان IFS و JUCPC سپس با شبیه‌سازی 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: (b شکل 4) تأخیر انتقال * کمترین میزان تأخیر را در مقایسه با سایر روش‌ها داراست

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

>

جدول استخراج شده از متن

| پارامتر (جدول ۱) | مقدار |

| متر ۱۰۰۰ | (D) طول ضلع ناحیه |

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

| میلی‌وات ۲۰۰ | $AP(p_0)$ توان ارسالی |

| اندازه بسته | $URLLC(N_0)$ ۲۰۰ 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 غیر کوژ: JUCPC الگوریتم * و زیرمسئله خوشه‌بندی کاربر. هدف در زیرمسئله اول، SINR (max-min) تجزیه می‌کند: زیرمسئله بیشینه-کمینه در میان کاربران است، در حالی که زیرمسئله دوم بر SINR بهینه‌سازی تخصیص توان برای بیشینه‌سازی حداقل و انتساب کاربر به اسلایس تمرکز دارد PRB تعادل در تخصیص پهنای باند از طریق بهینه‌سازی مشترک انتساب

این روش به صورت تکرارپذیر 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 کوژ را حل می‌کند که پیچیدگی آن به صورت *

$O(L_1 L_2)$ ها افزایش می‌یابد. طبق جدول ۲، پیچیدگی طرح پیشنهادی از مرتبه AP چندجمله‌ای با تعداد کاربران و است $(UM)^{3.5}$

تحلیل پارامترهای کلیدی و نتایج

(d_0) انتخاب فاصله آستانه ۱۰

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 Mbps ، مجموع نرخ به $d_0 = 600m217.59$ در *

دارد، اما بار شبکه را به شدت کاهش می‌دهد (Mbps 228.73)

(M) و نقاط دسترسی (P) تأثیر تعداد آنتن‌ها ۲۰

، مجموع نرخ به دلیل افزایش بهره (a شکل 5) ها AP و تعداد (a شکل 4) بهبود نرخ ارسال: با افزایش تعداد آنتن‌ها *

واریانس سیگنال به‌طور چشمگیری صعود می‌کند. طرح پیشنهادی در تمامی سناریوها عملکرد بهتری نسبت به نشان می‌دهد IFS و JUCPC

، میانگین تأخیر انتقال با افزایش منابع سخت‌افزاری کاهش می‌یابد. در حالت b و b_5 کاهش تأخیر: طبق شکل 4 *

، 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 بیشینه‌سازی نرخ کل، منابع را به کاربرانی با شرایط کانال بهتر اختصاص می‌دهد تا بهره‌وری کل سیستم افزایش یابد.

سناریوی شبیه‌سازی و طرح‌های پایه ۱۰

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

این روش مسئله غیرکوژ بیشینه‌سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله تجزیه می‌کند: ۱. JUCPC الگوریتم * کاربران؛ ۲. بهینه‌سازی مشترک انتساب بلوک‌های منابع فیزیکی SINR بهینه‌سازی توان برای بیشینه‌سازی حداقل و انتساب کاربر-اسلایس با هدف برقراری تعادل در پهنای باند (PRB)

یک روش تکرارپذیر برای یافتن مجموعه‌ای 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 بهینه‌سازی توان می‌پردازد و منابع PRB طرح تخصیص ثابت * اسلایس‌ها تقسیم می‌کند

تحلیل همگرایی و پیچیدگی محاسباتی ۲۰

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

پیچیدگی: حلقه داخلی تمامی طرح‌ها یک مسئله بهینه‌سازی کوژ را حل می‌کند. طبق جدول ۲، پیچیدگی * است $O(L_1 L_2 (UM)^{3.5})$ محاسباتی طرح پیشنهادی و سایر طرح‌ها از مرتبه چندجمله‌ای

بررسی تأثیر پارامترها بر عملکرد سیستم ۳۰

های متصل به هر AP با افزایش فاصله آستانه سرویس، مجموع نرخ بهبود می‌یابد زیرا تعداد: (d_0) فاصله آستانه * سیستم به تعادل بهینه‌ای می‌رسد؛ به طوری که نرخ حاصل $d_0 = 600m$ کاربر بیشتر می‌شود. با این حال، در

دارد اما بار محاسباتی (228.73 Mbps) تفاوت اندکی با حالت اتصال کامل (217.59 Mbps) شبکه را به شدت کاهش می دهد.

و کاهش (a شکل 4) منجر به رشد دراماتیک مجموع نرخ AP افزایش تعداد آنتن های هر (P) تعداد آنتن ها * و 34.98% نسبت به JUCPC حدود 28.45% نسبت به $P=4$ می شود. طرح پیشنهادی در (b شکل 4) میانگین تأخیر طرح تخصیص ثابت، نرخ ارسال بیشتری تولید می کند

ها باعث بهبود مجموع نرخ و کاهش تأخیر می شود (شکل 5). طرح AP افزایش تعداد (M) تعداد نقاط دسترسی * پیشنهادی در این سناریو نیز به طور مستمر از سایر روش ها برتر است

با افزایش تعداد بلوک های فرکانسی، مجموع نرخ به تدریج افزایش یافته و سپس همگرا (K) ها PRB تعداد * ارائه می دهد IFS حدود 10.24% مجموع نرخ بالاتری نسبت به الگوریتم $K=10$ می شود. طرح پیشنهادی در

۴. نتیجه گیری (Conclusion)

این تحقیق به مسئله تخصیص منابع در سیستم های URLLC با محدودیت های کیفیت سرویس (QoS) پرداخته است. مسئله اصلی به دو زیرمسئله «انتساب کاربر-اسلایس» (حل شده با الگوریتم Simulated Annealing) و «تخصیص منابع» (حل شده با تکنیک های SCA) تجزیه شده است. نتایج شبیه سازی تایید می کند که طرح پیشنهادی مجموع نرخ را حداقل 10.24% بهبود و میانگین تأخیر انتقال را دست کم 33.40% کاهش می دهد.

تحلیل عملکرد و سناریوهای مقایسه ۱۰

«و» میانگین تأخیر انتقال کاربر (C_{sum}) «در این بخش، عملکرد طرح پیشنهادی از نظر «مجموع نرخ ارسال زیر مقایسه (Baseline) ارزیابی شده است. جهت اعتبارسنجی، طرح پیشنهادی با الگوریتم های پایه (t_{mean}) می شود:

این الگوریتم مسئله غیر کوژ بیشینه سازی مجموع نرخ را به دو زیرمسئله «بیشینه-کمینه JUCPC الگوریتم * و «خوشه بندی کاربر» تجزیه می کند. هدف آن برقراری عدالت در میان کاربران از طریق «(max-min) SINR است SINR بهینه سازی حداقل

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

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

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 $O(L_1 L_2 (UM)^{3.5})$ مرتبه پیچیدگی: پیچیدگی محاسباتی طرح پیشنهادی از مرتبه چندجمله‌ای * با سایر طرح‌های پایه در شرایط شبیه‌سازی عملاً 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 Mbps ، مجموع نرخ به $d_0 = 600m217.59$ نتایج نشان می‌دهد در حالت اتصال کامل دارد، اما بار محاسباتی و سیگنال‌دهی شبکه را به شدت 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 داراست. به‌ویژه در مقایسه با *، بهره‌وری کل سیستم را فدا می‌کند (Fairness) با تمرکز بر عدالت JUCPC چشمگیر (حدود 115.56%) است، زیرا

(Conclusion) نتیجه‌گیری ۴۰

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.

(Baseline Schemes) ارزیابی عملکرد و طرح‌های پایه ۱۰

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 غیر کوژ: JUCPC الگوریتم * و «خوشه‌بندی 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 اسلایس‌ها تقسیم می‌گردند

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. $O(L_1 L_2 (UM)^{3.5})$ افزایش می‌یابد. طبق جدول ۲، پیچیدگی طرح پیشنهادی از مرتبه (M)

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 بار $\{ \text{Mbps} \}$ ، مجموع نرخ به 600m217.59
محاسباتی و سیگنال‌دهی شبکه را به شدت 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 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 سناریوها 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-
اسلایس 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.

