



عنوان پروژه (فارسی): بهینه سازی مصرف انرژی در اینترنت نسل پنجم با استفاده از الگوریتم های هوشمند و اینترنت اشیاء

عنوان پروژه (انگلیسی): Maximizing energy efficiency in 5G using smart algorithms and IOT

نام دانشجو	شماره دانشجویی	بسته اصلی و فرعی	تعداد واحد گذرانده شده	امضا
ریحانه شیرانی	4013613046	شبکه های کامپیوتری / نرم افزار		

استاد راهنمای پروژه:

نظر استاد راهنما:

امضای استاد راهنما - تاریخ

مطرح گردید و

در شورای گروه

این پیشنهاد در تاریخ

☐ بدون تغییر مورد تصویب قرار گرفت.

☐ با شرایط زیر مورد تصویب قرار گرفت.

☐ به دلایل زیر مورد تصویب قرار نگرفت.

تاریخ و امضا:

نام عضو هیئت علمی بررسی کننده:

یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های مخابراتی در ده سال گذشته، شبکه‌های اینترنتی نسل پنجم (5G) هستند؛ که با ظهور آنها، تحولی عظیم در دنیای ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌وجود آمده است. این نسل مزیت‌هایی نظیر: سرعت بالا (تا 10 گیگابیت بر ثانیه)، تاخیر کم (زیر 1 میلی‌ثانیه) و ظرفیت بالا، نسبت به نسل‌های قبل‌تر از خود دارند. این مزیت‌ها بستر مناسبی را برای اینترنت اشیاء فراهم می‌آورد. با این حال، این مزیت‌ها همراه خود چالش‌های جدیدی را به ارمغان می‌آورند. مهم‌ترین چالشی که در مواجهه با اینترنت نسل پنجم با آن روبه‌رو می‌شویم، افزایش تعداد ایستگاه‌های پایه و نیاز به زیرساخت‌های جدید و در نتیجه، مصرف بالای این شبکه می‌شود که هم از نظر زیست‌محیطی و هم اقتصادی قابل توجه است. هدف اصلی این مقاله، بررسی روش‌های هوشمندانه برای مدیریت منابع انرژی در شبکه‌های 5G و استفاده بهینه از اینترنت اشیاء در این فرآیند است. از سوی دیگر، اینترنت اشیاء به عنوان یکی از فناوری‌های مکمل 5G، حجم عظیمی از داده‌ها را تولید و به این شبکه منتقل می‌کند. مدیریت هوشمند این داده‌ها و منابع انرژی با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته، فرصتی برای کاهش مصرف انرژی در این حوزه ایجاد کرده است.

روش انجام پروژه

در این مرحله، مجموعه‌ای از مقالات علمی، گزارش‌های صنعتی و کتاب‌های مرتبط با شبکه‌های 5G و IOT بررسی شدند. نتایج به‌دست آمده را در دو گروه زیر دسته‌بندی می‌کنیم:

1. روش بهینه‌سازی مصرف انرژی مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند
 2. روش بهینه‌سازی مصرف انرژی مبتنی بر IOT
- حال به بررسی هر کدام از روش‌های بالا می‌پردازیم.

بهینه‌سازی مصرف انرژی مبتنی بر الگوریتم‌های هوشمند

راهکارهایی مبتنی بر هوش مصنوعی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای مدیریت مصرف انرژی طراحی شده‌اند. الگوریتم کلیدی در این حوزه که کمک شایانی به بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های نسل پنجم کرده است، الگوریتم یادگیری تقویتی عمیق (deep reinforcement learning) می‌باشد. در ادامه، به بررسی این الگوریتم، و نحوه بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های نسل پنجم می‌پردازیم.

• یادگیری تقویتی عمیق

الگوریتم یادگیری تقویتی عمیق، یکی از حوزه‌های پرکاربرد یادگیری ماشین است که با ترکیب دو مفهوم قدرتمند زیر به‌وجود آمده است.

1. یادگیری تقویتی

در یادگیری تقویتی، عامل با تعامل با محیط و انجام اقدامات مختلف، بازخوردی به صورت پاداش یا تنبیه دریافت می‌کند. هدف اصلی عامل این است که با یادگیری از این بازخوردها، اقداماتی را انتخاب کند که مجموع پاداش‌های دریافتی را بیشینه سازد. این فرآیند مشابه تربیت یک حیوان است که برای رفتارهای مطلوب تشویق می‌شود و برای رفتارهای نامطلوب بازخواست می‌گردد.

2. یادگیری عمیق

یادگیری عمیق یکی از شاخه‌های پیشرفته یادگیری ماشین است که با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه، قابلیت تحلیل و یادگیری ویژگی‌های پیچیده و عمیق در داده‌ها را فراهم می‌کند. این رویکرد با الهام از ساختار و عملکرد مغز انسان، از لایه‌های متعدد برای استخراج ویژگی‌های معنادار از داده‌ها استفاده می‌کند. هر لایه در این شبکه‌ها وظیفه دارد اطلاعات را پردازش کرده و ویژگی‌های پیچیده‌تر و انتزاعی‌تری را به لایه‌های بعدی انتقال دهد.

در یادگیری تقویتی عمیق، شبکه‌های عصبی عمیق به عنوان ابزار اصلی برای مدل‌سازی رفتار عامل و پیش‌بینی نتایج اقدامات آن استفاده می‌شوند. این شبکه‌ها با تحلیل داده‌های ورودی از محیط، به عامل کمک می‌کنند تا اقداماتی را انتخاب کند که بیشترین سود یا پاداش را به همراه داشته باشند. در این فرایند، عامل پس از انجام هر اقدام، از طریق پاداش یا تنبیهی که از محیط دریافت می‌کند، عملکرد خود را ارزیابی کرده و تغییرات لازم را در وزن‌های شبکه عصبی اعمال می‌کند.

هدف این به‌روزرسانی‌ها، بهینه‌سازی سیاست تصمیم‌گیری عامل است؛ به گونه‌ای که بتواند در مواجهه با شرایط مختلف، تصمیمات هوشمندانه‌تری اتخاذ کند. با تکرار این چرخه از تعامل با محیط، دریافت بازخورد و به‌روزرسانی شبکه، عامل به مرور توانایی خود را در شناسایی الگوها و اتخاذ تصمیمات بهینه افزایش می‌دهد.

این روش نه تنها امکان یادگیری خودکار از تجربیات گذشته را برای عامل فراهم می‌کند، بلکه باعث می‌شود بتواند در شرایط ناآشنا نیز عملکردی نزدیک به بهینه داشته باشد. این الگوریتم به طور خاص در مسائلی که دارای فضای حالت و اقدام بسیار بزرگ دارند، کاربرد دارد. کاربردهای دیگر این الگوریتم در حوزه‌هایی مانند کنترل رباتیک، مدیریت منابع شبکه، خودروهای خودران و بازی‌های رایانه‌ای، اثربخشی و پتانسیل بالای آن را به خوبی نشان داده است.

○ اجزای یادگیری عمیق

1. عامل (Agent): یک عامل یا تصمیم‌گیرنده‌ای که با تکیه بر اطلاعات و داده‌های به‌دست‌آمده از محیط، اقداماتی را انتخاب و اجرا می‌کند.
2. محیط (Environment): محیط یا چارچوب خارجی که عامل در آن فعالیت کرده و با آن تعامل دارد.
3. حالت (State): توصیف یا نمایشی از وضعیت کنونی محیط در یک لحظه خاص از زمان است.
4. عمل (Action): انتخاب یا تصمیمی که عامل براساس شرایط موجود برای تأثیرگذاری بر محیط انجام می‌دهد.
5. پاداش (Reward): بازخوردی که نشان‌دهنده میزان موفقیت یا مطلوبیت اقدام انجام‌شده توسط عامل است و آن را ارزیابی می‌کند.
6. سیاست (Policy): برنامه یا راهبردی که عامل، برای تعیین اقدامات مناسب براساس اطلاعات دریافتی از محیط به کار می‌گیرد. [1]

از اهداف این الگوریتم در مدیریت شبکه، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بهره‌برداری بهینه از منابع محدود شبکه مانند طیف فرکانسی، توان و ظرفیت پردازشی
- اطمینان از تامین کیفیت خدمات (QoS) برای کاربران
- کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های سلولی و IOT

یک شبکه مخابراتی 5G در حال کار، تعداد زیادی آنتن‌های مخابراتی (Remote Radio Head) یا به اختصار RRH را شامل می‌شود. در این شبکه که مصرف انرژی چالش بزرگی محسوب می‌شود، الگوریتم یادگیری تقویتی عمیق با ایجاد یک عامل هوشمند، این فرصت را ایجاد می‌کند تا این عامل، تصمیم بگیرد کدام آنتن‌ها باید فعال باشند و کدام آنتن‌ها باید خاموش شوند تا به کاهش حداکثری مصرف انرژی دست یابیم؛ این درحالی است که کیفیت خدمات (QoS) کاربران باید حفظ شود. این عامل در محیط شبکه، اطلاعاتی نظیر حالت محیط و پاداش‌ها را دریافت می‌کند. حالت محیط شامل اطلاعاتی مانند توزیع کاربران، میزان ترافیک داده، وضعیت فعال یا غیرفعال بودن RRH‌ها و پاداش‌ها شامل بازخورد مثبت برای کاهش مصرف انرژی، حفظ کیفیت خدمات (QoS) و بازخورد منفی شامل تاخیر، نقض خدمات یا کاهش کیفیت خدمات (QoS) می‌شوند. به عنوان نمونه، اگر کاربران در یک منطقه با تراکم و درخواست‌های بالا برای اتصال به شبکه وجود دارند، عامل باید تصمیم بگیرد که چند آنتن را فعال نگه دارد؛ اما در مکانی که تراکم کاربران کم است یا میزان تقاضا برای اتصال به شبکه بسیار پایین است، عامل ممکن است با خاموش کردن برخی آنتن‌ها، تاثیر منفی روی کیفیت خدمات کاربران نگذارد و به کاهش انرژی مصرفی کمک کند.

این الگوریتم برای اتخاذ این تصمیم‌ها، عامل را متکی به یک شبکه عصبی عمیق می‌کند. این شبکه عصبی عمیق، نقش مغز فعال را بازی می‌کند. این شبکه، داده‌های محیط را دریافت می‌کند. سپس با تجزیه، تحلیل و پردازش، تاثیر بلندمدت این تصمیمات را ارزیابی می‌کند. پس از این ارزیابی، پیشنهادی برای اقدام بهینه (مانند خاموش یا روشن نگه داشتن آنتن‌ها) ارائه می‌دهد.

این عامل، به طور مداوم در محیط عمل می‌کند و بازخوردها را دریافت و بررسی می‌کند: اگر تصمیمی که گرفته باعث کاهش مصرف انرژی بدون تاثیر منفی روی کیفیت خدمات (QoS) کاربران شود، پاداش مثبت دریافت می‌کند. اما اگر تصمیم گرفته شده باعث افزایش تاخیر یا کاهش کارایی و کیفیت خدمات کاربران شود، پاداش منفی دریافت می‌کند. با گذشت زمان، این پاداش‌ها به عامل کمک می‌کند که سیاست‌های خود را بهینه کرده و در هر شرایط، بهترین تصمیم را بگیرد. [2]

بهینه سازی مصرف انرژی مبتنی بر IOT

در سال‌های اخیر، رشد چشمگیر استفاده از دستگاه‌های محاسباتی همراه نظیر تبلت‌ها و تلفن‌های هوشمند، همراه با افزایش تعداد اپلیکیشن‌های داده‌محور، باعث افزایش تقاضای بی‌سابقه برای ارتباطات بی‌سیم پرسرعت و گسترده شده است. برای پاسخ به این نیاز، روش‌های موجود بر افزایش تعداد ایستگاه‌های پایه (BS) و کاهش اندازه سلول‌ها تمرکز دارند تا از بازاستفاده بیشتر باند فرکانسی بهره‌برداری شود. با این حال، تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش تراکم ایستگاه‌های پایه یا تعداد آنتن‌های فرستنده، به دلیل تغییرات پویای ترافیک، منجر به کاهش بهره‌وری انرژی می‌شود.

بار ترافیک شبکه در ساعات مختلف روز و ایام هفته تغییر می‌کند؛ این پدیده که به "اثر جزر و مدی" معروف است، بر تعداد کاربران فعال در مکان‌های مختلف تأثیر می‌گذارد. در معماری سنتی شبکه‌های رادیویی توزیع شده (D-RAN)، منابع محاسباتی و طیفی ایستگاه‌های پایه فقط برای کاربران فعال در محدوده آن ایستگاه‌ها قابل استفاده است. در نتیجه، برنامه‌ریزی شبکه برای زمان اوج ترافیک (یعنی بدترین حالت) باعث هدررفت منابع و بهره‌وری پایین انرژی در برخی زمان‌ها و مکان‌ها می‌شود، در حالی که طراحی شبکه بر اساس ترافیک متوسط، منجر به بارگذاری بیش از حد ایستگاه‌های پایه در زمان‌ها و مناطق پرترافیک خواهد شد.

در فرایند برنامه‌ریزی شبکه، اندازه سلول‌ها و ظرفیت آن‌ها اغلب بر اساس تخمین حداکثر ترافیک تنظیم می‌شود. با این حال، به دلیل اثر جزر و مدی، نمی‌توان اندازه ثابت سلول و توان انتقالی معینی را یافت که مصرف انرژی کل شبکه را بهینه کند. در واقع، استفاده از سلول‌های کوچک در مواقعی که ترافیک داده به صورت یکنواخت و با تقاضای بالا توزیع شده است، از نظر بهره‌وری انرژی و منابع بسیار مناسب است؛ اما در شرایطی که ترافیک داده کمتر یا نامتوازن باشد، کارایی این سیستم‌ها کاهش می‌یابد. اگرچه تلاش‌های اخیر برای افزایش کارایی طیفی و کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های سلولی کوچک صورت گرفته است، اما توجه کمی به بهینه‌سازی ساختار کلی شبکه شده است. از این رو، غلبه بر این چالش‌ها، توسعه معماری و طراحی جدید برای نسل بعدی شبکه‌های بی‌سیم ضروری است.

شبکه دسترسی رادیویی ابری

شبکه دسترسی رادیویی ابری (Cloud Radio Access Network) یا به اختصار C-RAN به عنوان یک معماری پیشرفته برای نسل جدید شبکه‌های بی‌سیم، امکان مدیریت انعطاف پذیر و پویا، منابع محاسباتی و طیفی را فراهم می‌کند. این معماری از سه جزء اصلی تشکیل شده است:

1. آنتن‌های مخابراتی (RRH)

این واحدها در مناطق مختلف مستقر شده اند و توسط ایستگاه‌های پایه مجازی (Virtual Base Stations) یا به اختصار (VBS) کنترل می‌شوند که در یک مرکز پردازش متمرکز قرار دارند. آنتن‌های مخابراتی وظیفه ارسال و دریافت سیگنال‌ها را به عهده دارند.

2. واحد پردازش باند پایه (Base Band Unit) یا به اختصار (BBU)

این واحد شامل پردازنده‌های سریع و فناوری مجازی سازی بی‌درنگ است که مسئولیت پردازش داده‌های دیجیتال را بر عهده دارد. تمام پردازش‌های محاسباتی مربوط به ارتباطات توسط این بخش انجام می‌شود و به‌طور معمول در مراکز داده یا فضای ابری قرار دارد.

3. شبکه‌های فیبر نوری با سرعت بالا و تاخیر کم

این فیبرها سرهای رادیویی را به مرکز پردازش متصل می‌کنند.

وظایف ایستگاه‌های پایه مجازی (VBSS) در سیستم‌هایی به نام ماشین‌های مجازی (VMs) اجرا می‌شوند که در یک مرکز داده کوچک ابری قرار دارند. این روش متمرکز به همراه استفاده از تکنولوژی مجازی‌سازی و تجهیزات ارزان‌تر، امکان مدیریت بهتر شبکه و تصمیم‌گیری‌های هوشمند را فراهم می‌کند. به همین دلیل، معماری C-RAN یک انتخاب مناسب برای شبکه‌های نسل پنجم (5G) است. [3]

این شبکه، به جای اینکه تمام اجزای شبکه به صورت محلی و در هر ایستگاه پایه (cell tower) قرار داشته باشند، اجزای اصلی به صورت متمرکز در مراکز داده ابری قرار می‌گیرند. این معماری به اپراتورها اجازه می‌دهد که هزینه‌های اجرایی را کاهش دهند، عملکرد شبکه را بهبود بخشند و مقیاس‌پذیری بیشتری داشته باشند. در ادامه نحوه عملکرد شبکه دسترسی رادیویی ابری را به صورت گام به گام بررسی خواهیم کرد.

در شبکه‌های C-RAN، سیگنال‌های رادیویی که از واحدهای رادیویی دور (RRH) دریافت می‌شوند، به واحد پردازش مرکزی (BBU) از طریق شبکه‌های فیبر نوری یا دیگر کانال‌های پرسرعت ارسال می‌شوند. در این مرحله، سیگنال‌ها باید در مسافت‌های طولانی به پردازش برسند.

در واحد پردازش مرکزی که وظیفه پردازش و کنترل تمامی سیگنال‌ها و داده‌ها را برعهده دارد، پردازش‌های مربوط به مدیریت پهنای باند، تخصیص منابع، برقراری ارتباط با شبکه اصلی و عملیات پیچیده‌تری نظیر مدیریت منابع شبکه، کدگذاری و رمزگشایی داده‌ها، مدیریت تداخل و تقسیم منابع بین کاربران انجام می‌شود.

پس از پردازش داده‌ها، نتایج به صورت سیگنال‌های دیجیتال به RRHها ارسال می‌شود تا برای کاربران ارسال شوند. در معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری، تمامی واحدهای رادیویی و پردازشی از یک سیستم متمرکز نظارت و مدیریت می‌شوند. این باعث می‌شود که مدیریت به صورت یکپارچه صورت گیرد و بتوان مشکلات را به طور سریع‌تری شناسایی و رفع کرد. این معماری مزایای زیادی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی مبتنی بر IOT را به همراه خواهد داشت که می‌توان به مواردی مثل :

- کاهش هزینه
 - با متمرکز کردن پردازش‌ها در یک مرکز داده، نیاز به تجهیزات گران قیمت در هر ایستگاه پایه کاهش می‌یابد.
 - کاهش مصرف انرژی
 - با تمرکز پردازش‌ها و کاهش تجهیزات پراکنده و گران قیمت، مصرف انرژی نیز به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.
 - مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری
- به راحتی می‌توان با تغییرات تقاضا سازگار شد و شبکه را گسترش داد. در نتیجه، مدیریت، نظارت و ارتقای سیستم‌ها راحت‌تر و سریع‌تر انجام میشوند.
- اشاره کرد. در نتیجه، این معماری در آینده شبکه‌های 5G و نسل‌های بعدی بسیار اهمیت خواهد داشت.[4]

References

- [1] Abdallah, Noor Aboueleneen; Abdulmalik Alwarafy; Mohamed. "Deep Reinforcement Learning for Internet of Drones Networks: Issues and Research Directions." *IEEE Access* 4 (02 March 2023 2023): 671 - 83. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2023.3251855>.
- [2] Al-Tam, Faraq; Correia, Noélia; Rodriguez, Jonathan. "Learn to Schedule (Leasch): A Deep Reinforcement Learning Approach for Radio Resource Scheduling in the 5g Mac Layer". *IEEE Access* 8 (June 8, 2020 2020): 108088–101. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000893>.
- [3] Hajisami, Abolfazl; Tran, Tuyen X.; Pompili, Dario. "Elastic-Net: Boosting Energy Efficiency and Resource Utilization in 5g C-Rans." *IEEE Access* (2017).
- [4] Zuo, Jun; Zhang, Jun; Yuen, Chau; Jiang, Wei; Luo, Wu. "Energy Efficient User Association for Cloud Radio Access Networks." *IEEE Access* 4 (2016): 2429 - 38.

Research papers on energy optimization in 5G.

Book:

Artificial Intelligence for IoT Systems: Applications and Technologies