

ارائه یک مکانیزم تصمیم‌گیری چندمعیاره برای برون‌سپاری ترافیک شبکه سلولی به شبکه مکمل

مجید فلاح خوشبخت، صالح یوسفی و بابک قالبساز جدی

برون‌سپاری ترافیک داده شبکه سلولی به معنای تبادل بخشی از ترافیک داده کاربران شبکه سلولی از طریق شبکه‌های مکمل نظیر WiFi و فمتوسل^۲ است. با به کارگیری برون‌سپاری ترافیک داده، ازدحام در شبکه‌های سلولی به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد و امکان فراهم کردن کیفیت سرویس بهتر برای کاربران فراهم می‌شود. شبکه WiFi نیز به دلیل استفاده از پهنای باند بدون مجوز و هزینه نسبتاً پایین نصب AP^۳ها به عنوان شبکه مکمل مقرون به صرفه برای برون‌سپاری ترافیک داده شناخته شده است. در حالت کلی می‌توان از سه روش مختلف برای فرایند برون‌سپاری داده^۴ استفاده کرد:

برون‌سپاری فوری^۵ (OTSO): در روش OTSO، تبادل داده درخواستی کاربر به صورت بی‌درنگ شروع می‌شود، بدین معنی که در طول مدت تبادل داده، هر گاه کاربر در محدوده پوشش شبکه مکمل قرار بگیرد، تبادل داده از طریق شبکه مکمل و در غیر این صورت از طریق شبکه سلولی انجام می‌شود.

برون‌سپاری مبتنی بر تأخیر^۶ (DTO): در روش DTO هر کاربر با توجه به نوع داده، حاضر به پذیرش مقداری تأخیر در تبادل داده است. کاربران قبل از انقضای این مهلت، تنها مجاز هستند تبادل داده را از طریق شبکه مکمل انجام دهند و پس از آن مشابه روش OTSO عمل می‌کنند.

برون‌سپاری فرصت‌طلبانه^۷: در این روش کاربران برای برون‌سپاری داده‌هایشان لازم نیست به طور مستقیم به شبکه مکمل دسترسی داشته باشند بلکه می‌توانند از کاربران دیگر به عنوان واسطه کمک بگیرند.

در فرایند برون‌سپاری یک مسئله مهم انتخاب زمان و شبکه مناسب برای تبادل داده کاربران است و این انتخاب به عوامل مختلفی مانند وضعیت اپراتور سلولی (مانند میزان ترافیک موجود) و شرایط کاربر (میزان تأخیر قابل تحمل، انرژی و ...) بستگی دارد. در مطالعات پیشین معیارهای مختلفی برای این انتخاب نظیر افزایش میزان ترافیک برون‌سپاری شده توسط کاربران، کاهش هزینه‌های اپراتور سلولی، بهره‌وری مصرف انرژی کاربران، کاهش تأخیر در تبادل داده توسط کاربران و بهبود کیفیت سرویس به صورت جداگانه بررسی شده و مکانیزم‌های برون‌سپاری متعددی به این منظور ارائه شده‌اند تا کارایی فرایند برون‌سپاری بهبود یابد. در این مقاله به منظور بهبود فرایند برون‌سپاری داده‌ی شبکه سلولی به شبکه مکمل WiFi، یک مکانیزم برون‌سپاری داده چندمعیاره^۸ (MCO)

چکیده: به دلیل گسترش روزافزون استفاده از گوشی‌های هوشمند، ترافیک داده شبکه سلولی به صورت انفجاری افزایش یافته و باعث ازدحام در شبکه‌های سلولی شده است. برون‌سپاری داده به یک شبکه مکمل مانند WiFi به عنوان یک راه حل منطقی و مقرون به صرفه برای مقابله با ازدحام شبکه سلولی، مطرح شده است. در این مقاله، یک مکانیزم برون‌سپاری داده با نام MCO ارائه شده که با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS و با بهره‌گیری از یک مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi، مناسب‌ترین روش را از میان سه روش (۱) تبادل داده از طریق خود شبکه سلولی، (۲) برون‌سپاری با تحمل تأخیر (DTO) به شبکه مکمل و (۳) برون‌سپاری با کمک گره‌های واسطه (PAO) انتخاب می‌کند. معیارهای استفاده‌شده در تصمیم‌گیری شامل درصد ترافیک قابل برون‌سپاری (از کل درخواست کاربر)، هزینه تبادل داده اپراتور سلولی و کاربر، پهنای باند تبادل داده کاربر (در دو شبکه سلولی و مکمل) و مصرف انرژی کاربر می‌باشند. به منظور ارزیابی روش MCO سناریوهای متعددی از نقطه نظر ویژگی‌های کاربران و ترافیک آنها، نرخ پوشش شبکه مکمل و نسبت هزینه تبادل داده شبکه سلولی به شبکه مکمل، شبیه‌سازی شده‌اند. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد مکانیزم MCO قادر به در نظر گرفتن ترجیحات اپراتور سلولی و کاربرانش بوده و در نتیجه از لحاظ ایجاد تعادل بار در شبکه، کاهش هزینه‌های اپراتور سلولی و کاهش مصرف انرژی کاربران، نسبت به روش‌های پیشنهادی پیشین عملکرد بهتری دارد.

کلیدواژه: برون‌سپاری داده، شبکه مکمل، تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل‌های پیش‌بینی الگوی اتصال.

۱- مقدمه

به دلیل گسترش روزافزون استفاده از گوشی‌های هوشمند و تبلت و رواج به کارگیری برنامه‌های کاربردی چندرسانه‌ای، شبکه‌های اجتماعی و خدمات مبتنی بر ابر^۱، ترافیک داده شبکه سلولی به صورت چشم‌گیری رو به افزایش بوده و در بسیاری از نواحی جغرافیایی، به خصوص مناطق شهری به حد اشباع نزدیک شده است. در این راستا ارتقای زیرساخت شبکه یک راه حل اصلی برای مقابله با این پدیده است. با این حال این امر را به عنوان یک راه حل پایدار اقتصادی در درازمدت نمی‌توان مد نظر قرار داد [۱].

این مقاله در تاریخ ۶ مرداد ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

مجید فلاح خوشبخت، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، (email: st_m.fallah@urmia.ac.ir).

صالح یوسفی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، (email: s.yousefi@urmia.ac.ir).

بابک قالبساز جدی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، (email: b.jeddi@urmia.ac.ir).

1. Cloud

2. Femtocell

3. Access Point

4. Data Offloading

5. On The Spot Offloading

6. Delay-Tolerant Offloading

7. Opportunistic Offloading

8. Multi-Criteria Offloading

اهمیت بالایی برخوردار است [۷] و [۸].

در [۹] از یک مدل تحلیل صف برای بهبود عملکرد برون‌سپاری DTO استفاده شده است. این مدل تحلیل صف به صورت یک تابع از نرخ تبادل داده و دسترس‌پذیری WiFi، چگونگی تحرک و بارگذاری ترافیک کاربران و نرخ دریافت شبکه سلولی در دسترس طراحی شده است و برای سناریوها و پارامترهای مختلف شبیه‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در [۱۰] یک مکانیزم برون‌سپاری داده شبکه سلولی مبتنی بر تابع هزینه ارائه گردیده است. این مقاله درباره معیارهای کاربران و اپراتور شبکه سلولی و سیاست‌های ترکیب آنها بحث می‌کند و سپس تصمیم‌گیری با مشارکت کاربر و اپراتور شبکه سلولی انجام می‌شود. این مکانیزم با توجه به شرایط شبکه و معیارهای اپراتور سلولی و کاربرانش، استراتژی تبادل داده را انتخاب می‌کند.

مقاله [۱۱] ایجاد تعادل بین تأخیر و کیفیت سرویس را بررسی می‌کند و یک الگوریتم بهینه‌سازی متمرکز به نام SALSA را پیشنهاد می‌دهد. این الگوریتم بر اساس اطلاعات موقعیت و دسترسی کاربران به شبکه مکمل تعیین می‌کند که تبادل داده چه مدت زمان باید به تعویق بیفتد. تصمیم‌گیری در مورد تبادل ترافیک به پیش‌بینی پهنای باند در دسترس آینده، پیش‌بینی احتمال دسترسی به شبکه و تخمین میانگین نرخ به دست آمده بر اساس انتقالات گذشته، متکی است. نتایج حاصل از ارزیابی این مقاله نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی حدود ۴۰٪ نسبت به شبکه سلولی انرژی کمتری مصرف می‌کند.

تحقیقات زیادی برای بهبود فرایند برون‌سپاری با استفاده از شبکه‌های نقطه به نقطه^۲ انجام شده است. در ادامه این بخش تعدادی از تحقیقات انجام‌شده در این زمینه معرفی می‌شود:

در [۱۲] مکانیزمی مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور مدیریت برون‌سپاری داده از زیرساخت موجود و با استفاده از ارتباطات فرصت‌طلبانه ارائه شده است. نویسندگان این مقاله مسئله برون‌سپاری ترافیک را در سمت کاربر آنالیز و مسئله انتخاب شبکه را به صورت تصمیم‌گیری چندمعیاره مدل می‌کنند. مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره از معیارهای تعداد همسایگان، طول عمر باتری و کیفیت ارتباط برای انتخاب حالت تبادل داده کاربر استفاده می‌کند. کاربر می‌تواند در یکی از سه حالت فرصت‌طلبانه^۳، بازپخش^۴ و استاندارد^۵ باشد؛ در حالت استاندارد کاربر از زیرساخت موجود برای تبادل داده‌هایش استفاده می‌کند. در حالت بازپخش، کاربر وظیفه ارسال مجدد داده‌های دیگر کاربران را نیز به زیرساخت می‌پذیرد. در حالت فرصت‌طلبانه کاربر به زیرساخت اتصال ندارد و برای ارسال داده‌هایش از دیگر بازپخش‌ها کمک می‌گیرد.

در [۱۳] یک مکانیزم برون‌سپاری ترافیک داده در شبکه‌های فرصت‌طلبانه پیشنهاد شده است. در این مقاله به منظور ارزیابی مکانیزم پیشنهادی، تبادل ترافیک داده کاربران شبکه سلولی با استفاده از تحرک واقعی ۵۰۰ تاکسی در نواحی شهری شبیه‌سازی شده است. برای اولین بار این مقاله دستاوردهای برون‌سپاری فرصت‌طلبانه به شبکه مکمل WiFi را به صورت کمی و در مقیاس بزرگ ارزیابی می‌کند. نتایج این مقاله، تعداد AP‌های مورد نیاز را برای پشتیبانی کیفیت سرویس متفاوت تعیین

ارائه شده است. مکانیزم پیشنهادی از سه روش مختلف ارسال از طریق شبکه سلولی، DTO و PAO^۱ برای تبادل داده کاربران استفاده می‌کند. مکانیزم MCO ارائه‌شده با بهره‌گیری از یک مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به WiFi مبتنی بر فرایند مارکوف دوبعدی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS روش تبادل داده مناسب را با توجه به ترجیحات اپراتور سلولی و کاربرانش انتخاب می‌کند. معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری این مکانیزم شامل درصد ترافیک قابل برون‌سپاری (از کل درخواست کاربر)، هزینه تبادل داده اپراتور سلولی و کاربر، پهنای باند تبادل داده کاربر (در دو شبکه سلولی و WiFi) و مصرف انرژی کاربر است. وزن‌دهی معیارها مطابق سیاست‌های اپراتور سلولی و ترجیحات کاربرانش برای حالات مختلف شبکه توسط کارشناسان خبره تعیین می‌شود.

نتایج حاصل از ارزیابی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که مکانیزم MCO ارائه‌شده می‌تواند مقادیر معیارهای مختلف را با توجه به ترجیحات اپراتور سلولی و کاربرانش (وزن‌دهی معیارها) نسبت به روش‌های برون‌سپاری دیگر نظیر OTSO و DTO بهبود ببخشد و میزان رضایت و سود اپراتور سلولی و کاربرانش را افزایش دهد. همچنین برای اپراتور سلولی این امکان را فراهم می‌کند که از میزان حجم برون‌سپاری شده توسط هر کاربر مطلع شود و از آن برای طراحی و توسعه شبکه کمک بگیرد.

ادامه مقاله به شرح ذیل سازمان‌دهی شده است. در بخش ۲ کارهای مرتبط پیشین و در بخش ۳ مدل سیستم و فرضیات بیان شده است. در بخش ۴ مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi و در بخش ۵ مکانیزم برون‌سپاری پیشنهادی (MCO) معرفی می‌شوند. ارزیابی کارایی روش پیشنهادی در بخش ۶ ارائه گردیده و در نهایت، نتیجه‌گیری مقاله در بخش ۷ بیان شده است.

۲- کارهای مرتبط

برون‌سپاری به عنوان یک راه حل مقرون به صرفه برای ارتقای ظرفیت و کاهش ازدحام شبکه شناخته شده است و موجب افزایش نرخ تبادل، کاهش زمان تأخیر و افزایش دسترس‌پذیری شبکه و صرفه‌جویی انرژی می‌شود. این بهبودها هم اپراتور سلولی و هم کاربران را تحت تأثیر قرار می‌دهد به همین دلیل به عنوان یک استراتژی برد-برد شناخته می‌شود [۲].

اولین بار مفهوم برون‌سپاری به منظور کاهش بار بر روی شبکه سلولی به وسیله شبکه مکمل فمتوسل مطرح شد که علاوه بر برون‌سپاری ترافیک، شبکه فمتوسل برای دسترسی به طیف مجوزدار با شبکه سلولی نیز رقابت می‌کند [۳]. پیشرفت‌های اخیر در API سیستم عامل‌های موبایل، انتقال یکپارچه از شبکه سلولی ۳G به WiFi را به صورت شفاف برای کاربران فراهم کرده [۴] و [۵] و زمینه استفاده از OTSO را به دلیل منافع زیاد آن (از نقطه نظر تخفیف هزینه و مصرف انرژی) به وجود آورده است [۲] و [۶].

تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهند که تبادل داده مبتنی بر تأخیر (DTO) می‌تواند میزان برون‌سپاری را به صورت چشم‌گیری افزایش دهد. با این وجود به تأخیرناختن همه تبادل داده و ماکسیمم کردن مدت تأخیر یک استراتژی کارآمد نیست چون در صورت عدم دسترسی به WiFi کاهش رضایت کاربران را به همراه دارد. انتخاب مدت تأخیر مناسب برای ایجاد تعادل بین بهره‌وری برون‌سپاری و رضایت کاربر از

2. Point to Point Network
3. Opportunistic
4. Relay
5. Standard

1. Peer Assisted Offloading

مایل به پذیرفتن تأخیر در تبادل داده هستند. وقتی که کاربران به طور مستقیم به شبکه WiFi دسترسی دارند و یا به دلیل پیشنهادهای تشویقی اپراتور حاضر به تحمل تأخیر در تبادل داده غیر ضروری از طریق شبکه WiFi می‌شوند، کاهش هزینه‌ها و بهبود در کیفیت سرویس را به همراه دارد [۱۳].

همچنین در این تحقیق فرض شده که تنها بخش‌هایی از منطقه شبیه‌سازی تحت پوشش شبکه WiFi قرار دارد و مکانیزم پیشنهادی به صورت یک نرم‌افزار کاربردی حاوی فرایند مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به WiFi، بر روی تمامی گره‌های موبایل راه‌اندازی شده است. این نرم‌افزار وظیفه ثبت تاریخچه اتصالات کاربر و پیش‌بینی احتمال اتصال به شبکه WiFi و درصد ترافیک قابل برون‌سپاری در مهلت زمانی تحمل تأخیر را بر عهده دارد. همچنین احتیاج است که این مکانیزم اجازه بدهد کاربر بر اساس نیازهایش، تأخیری را که برای هر برنامه کاربردی حاضر به تحملش است مشخص کند. برای رفع این نیاز می‌توان اقدام به پیاده‌سازی یک رابط برنامه‌نویسی کاربری (API) ساده برای هر نرم‌افزار کرد.

مطابق با شکل ۱، فرایند انتخاب روش تبادل داده برای کاربران به این صورت است که هرگاه کاربر درخواست تبادل داده داشته باشد، ابتدا کاربر (از طریق واسط API موجود) بر اساس نوع ترافیک، میزان تحمل تأخیر را اعلام می‌کند. سپس درخواست دعوت به مشارکت در روش PAO برای گره‌های واسط با استفاده از ارتباطات نقطه به نقطه (مثلاً WiFi Direct) پخش همگانی می‌شود (مرحله ۳ در شکل ۱). این درخواست شامل شناسه کاربری، حجم داده و مدت زمان تحمل تأخیر کاربر است. مطابق مرحله ۴ در شکل ۱، گره‌های واسط که دعوت به همکاری را دریافت کرده‌اند با توجه به منابع انرژی و حافظه در دسترسشان درباره مشارکت یا عدم مشارکت در برون‌سپاری تصمیم‌گیری می‌کنند. در صورت تمایل به همکاری، احتمال دسترسی به شبکه WiFi را در مدت زمان تحمل تأخیر مشخص شده محاسبه کرده و به همراه مشخصات کاربری خود به کاربر اعلام می‌کند.

کاربرانی که تقاضای تبادل داده دارند موظف هستند به صورت دوره‌ای بردار وزن‌دهی معیارهای تصمیم‌گیری (λ) را از طریق ارسال درخواستی به اپراتور سلولی به روز رسانی کنند (مرحله ۷ در شکل ۱). اپراتور سلولی با توجه به وضعیت ازدحام شبکه، سیاست‌هایش و همچنین ترجیحات کاربر، بردار وزن‌دهی (λ) را در دوره‌های زمانی مشخص (مثلاً هر ۱ ساعت) تعیین می‌کند (مرحله ۸ در شکل ۱). با توجه به اندازه کوچک بردار وزن‌دهی، این فرایند مصرف انرژی چندانی ندارد. مکانیزم پیشنهادی با استفاده از Topsis اقدام به تصمیم‌گیری درباره شیوه تبادل داده می‌کند و سپس نرم‌افزار کاربردی وظیفه اجرایی کردن روش تبادل انتخابی را بر عهده دارد.

از آنجایی که ممکن است در روش PAO مقداری پیش‌بینی شده برای برون‌سپاری در عمل محقق نشود، پس از پایان مهلت زمانی تحمل تأخیر، کاربر باید حجم برون‌سپاری محقق شده را از اپراتور سلولی استعلام کند و در صورت لزوم مابقی داده را از طریق شبکه سلولی تبادل نماید. در بخش بعد به معرفی و تشریح نحوه عملکرد مدل پیش‌بینی پرداخته شده است.

می‌کند و دستورالعمل‌هایی را برای اپراتور سلولی به منظور ارزیابی امکان‌پذیری و هزینه ارائه کرده است.

در [۱۴] مکانیزمی به نام CEMMO^۱ برای برون‌سپاری داده‌ها از طریق ارتباطات فرصت‌طلبانه ارائه شده است. CEMMO از گره‌های واسط به عنوان وسیله‌ای برای پل‌زدن میان شکاف اتصال بین کاربران و نقاط دستیابی WiFi استفاده می‌کند. نویسندگان این مقاله با استفاده از فرایند مارکوف به پیش‌بینی تحرک و ارتباطات پرداخته‌اند و توانسته‌اند با این روش تا ۵۹٪ میزان برون‌سپاری داده را افزایش و تا ۱۶٪ هزینه‌ها را کاهش دهند. CEMMO از یک مکانیزم انتشار مجدد گره به گره استفاده می‌کند که متکی بر مفهوم ذخیره‌سازی داده‌ها در یک منطقه خاص برای یک بازه زمانی محدود است.

تعداد زیادی از مطالعات پیشین بر روی مدل‌های پیش‌بینی تحرک و اتصال تمرکز کرده‌اند. مرجع [۱۵] یک مدل پیش‌بینی فضا-زمان برای دست به دست^۲ کردن ارائه داده است. در این روش موقعیت کاربران بر اساس شماره سلولی که کاربر در آن واقع است به دست می‌آید که طبیعتاً نسبت به حالتی که موقعیت کاربران با ابزارهایی مانند GPS در اختیار باشد دقت پایین‌تری دارد. در [۱۶] از سری‌های زمانی غیر خطی برای پیش‌بینی ویژگی‌های موقعیت مکانی کاربران مانند زمان رسیدن و مدت زمان اقامت آنها در آینده استفاده می‌شود. این مقاله بر روی پیش‌بینی احتمال بازدید از مکان‌های مهم برای کاربر (نه انتقال بین تمام موقعیت‌ها) تمرکز کرده است. در [۱۷] از یک مدل مرتبه اول مارکوف برای پیش‌بینی انتقال کاربران بین مکان‌های مهم با صرف نظر از زمان، استفاده شده است. مرجع [۱۸] با استفاده از یک ماژول مسیریاب (GPS) و ارزیابی مدل‌های مختلف پیش‌بینی، نتیجه‌گیری کرده که از طریق مدل مارکوف مرتبه اول یا مرتبه دوم می‌توان به دقت مناسبی در پیش‌بینی دست یافت. همچنین چون مدل‌های مارکوف به CPU و حافظه کمی احتیاج دارند برای استفاده بر روی دستگاه‌های موبایل ایده‌آل است.

بر خلاف مطالعات پیشین که هدفشان بهبود کارایی فرایند برون‌سپاری در یک معیار مشخص بوده است در این تحقیق به کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، چندین معیار مختلف از قبیل میزان ترافیک برون‌سپاری شده توسط کاربران، کاهش هزینه‌های اپراتور سلولی، بهره‌وری مصرف انرژی کاربران، کاهش تأخیر در تبادل داده توسط کاربران و بهبود کیفیت سرویس به صورت توافقی از ترجیحات کاربر و اپراتور بهبود داده شده است.

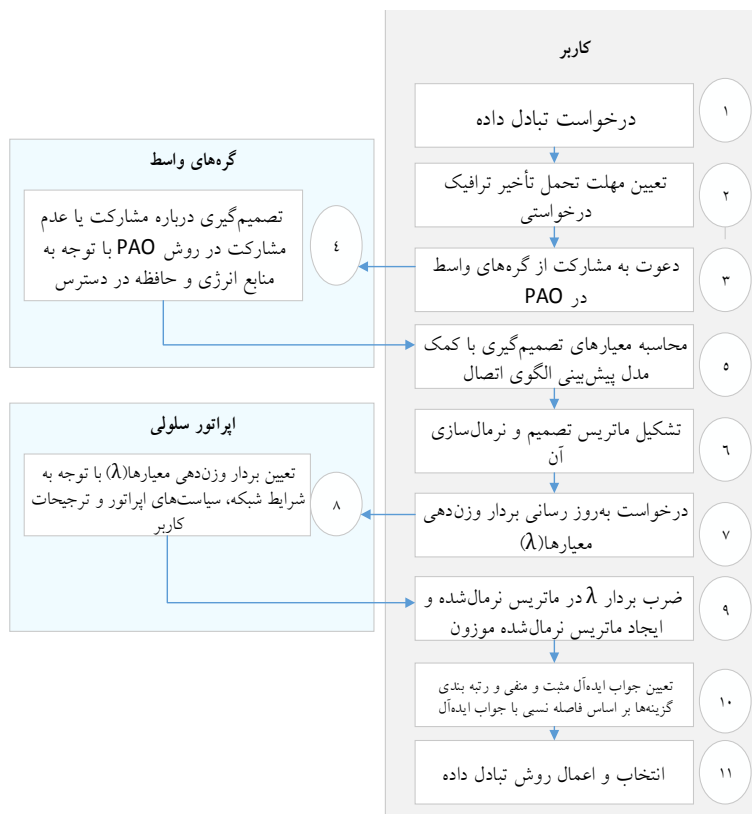
همچنین نزدیک‌ترین تحقیق در بین تحقیق‌های پیشین به کار ما که از مؤثرترین روش‌های ارائه شده تا کنون می‌باشد، مکانیزم ارائه شده در [۱۴] است. با این وجود نتایج ارزیابی نشان می‌دهند روش پیشنهادی ما با به کارگیری مدل پیشنهادی پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi، بهبود در مکانیزم PAO و به کارگیری TOPSIS توانسته است از روش‌های دیگر از جمله روش [۱۴] کارایی بهتری از خود نشان بدهد.

۳- مدل سیستم و فرضیات

در این تحقیق فرض شده که همه گره‌ها (برای مثال تلفن همراه) به واسط‌های ۳G و ۸۰۲.۱۱ IEEE مجهز هستند که می‌توانند به صورت هم‌زمان فعالیت کنند. گره‌ها می‌توانند در برنامه‌های کاربردی درخواست تبادل داده داشته باشند و به میزانی که رضایت کاربران قربانی نشوند،

1. Cost-Effective Multi-Mode Offloading

2. Handoff



شکل ۱: نمودار جریان فرایند انتخاب روش تبادل داده.

۴- مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi

یکی از مهم‌ترین عواملی که در روش MCO برای انتخاب شبکه مکمل مؤثر است اطلاع از الگوی اتصال کاربران به شبکه مکمل (WiFi) است. برای این منظور لازم است که از تاریخچه الگوی اتصال کاربران بتوانیم استفاده کرده و وضعیت اتصال در آینده را پیش‌بینی کنیم. در این بخش مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi با استفاده از یک فرایند مارکوف دوبعدی بر اساس تاریخچه رفتار هر کاربر فرمول‌بندی شده است و سپس با استفاده از روابط به دست آمده، مقدار حجم ترافیک قابل برون‌سپاری در بازه‌های زمانی تحمل تأخیر تخمین زده می‌شود. داده‌های تاریخچه در D روز و به تعداد N بازه زمانی در هر روز جمع‌آوری شده است. انتخاب طول مناسب برای این بازه‌های زمانی مهم است زیرا بازه‌های زمانی با طول کوچک ضمن بهبود دقت پیش‌بینی باعث افزایش پیچیدگی زمانی و حافظه محاسباتی نیز خواهند شد. کاربر در هر بازه زمانی در دو حالت اتصال قرار دارد: (۱) اتصال به WiFi و (۲) عدم اتصال به WiFi. داده‌های مربوط به حالت اتصال به WiFi، پهنای باند متوسط اتصال به WiFi و تعداد گذار بین حالات اتصال و عدم اتصال به WiFi کاربران در هر بازه زمانی نگهداری می‌شود. به منظور فرموله‌کردن مدل برای هر کاربر علائمی زیر تعریف شده است:

D : تعداد روزهای جمع‌آوری داده‌های تاریخچه کاربر
 t_d : طول هر بازه زمانی بر حسب دقیقه

N : تعداد بازه‌های زمانی در یک شبانه‌روز است $N = [1440/t_d]$.

x_t : وضعیت اتصال به WiFi در بازه زمانی t را نشان می‌دهد (اگر $x_t = c$ کاربر به WiFi متصل است و اگر $x_t = c'$ کاربر به WiFi متصل نیست)

$$\forall t = 1, 2, \dots, \left[\frac{1440}{t_d} \right], X_t \in \{c, c'\} \quad (1)$$

$n(X_{t+1}|X_t)$: تعداد موارد مشاهده‌شده در طول D روز که در بازه زمانی t در وضعیت x_t و در بازه زمانی $t+1$ در وضعیت x_{t+1} است.
 $\bar{b}(t)$: میانگین پهنای باند در دسترس کاربر در کل حالات اتصال به WiFi مشاهده‌شده در بازه زمانی t است.
 $n(x_t)$: تعداد موارد مشاهده‌شده وضعیت x_t در بازه زمانی t در طول D روز است.

با استفاده از داده‌های استخراج‌شده از تاریخچه رفتار کاربران، می‌توان ماتریس احتمالات گذار را در هر بازه زمانی برای هر کاربر به دست آورد. سپس این احتمالات را برای پیش‌بینی الگوی اتصال به WiFi در بازه‌های زمانی آینده به کار برد. عناصر ماتریس احتمال گذار از طریق (۲) محاسبه می‌شوند

$$\begin{aligned} \hat{P}_{cc} &= P(X_{t+1} = c | X_t = c) = \frac{n(X_{t+1} = c | X_t = c)}{n(X_t = c)} \\ \hat{P}_{cc'} &= P(X_{t+1} = c' | X_t = c) = \frac{n(X_{t+1} = c' | X_t = c)}{n(X_t = c)} \\ \hat{P}_{c'c} &= P(X_{t+1} = c | X_t = c') = \frac{n(X_{t+1} = c | X_t = c')}{n(X_t = c')} \\ \hat{P}_{c'c'} &= P(X_{t+1} = c' | X_t = c') = \frac{n(X_{t+1} = c' | X_t = c')}{n(X_t = c')} \end{aligned} \quad (2)$$

که علامت \hat{P}_t به معنای تخمین است و ماتریس احتمالات گذار \hat{P}_t در بازه زمانی t به صورت زیر است

$$\hat{P}_t = \begin{pmatrix} \hat{P}_{cc} & \hat{P}_{cc'} \\ \hat{P}_{c'c} & \hat{P}_{c'c'} \end{pmatrix} \quad (3)$$

اگر t_r زمان درخواست داده کاربر، t_w مدت زمان تحمل تأخیر و t_d طول بازه‌های زمانی (بر حسب دقیقه) را نشان بدهند، آن گاه اندیس بازه

جدول ۱: پیچیدگی محاسباتی - حافظه مدل پیش‌بینی پیشنهادی.

پیچیدگی محاسباتی	پیچیدگی حافظه
T_r^2	T_r^2
T	T

مدل پیش‌بینی اتصال مبتنی بر موقعیت [۱۴]
مدل پیشنهادی الگوی اتصال به شبکه WiFi

[۱۴] در جدول ۱ مقایسه شده است. T تعداد بازه زمانی پیش‌بینی را مشخص می‌کند.

۵- مکانیزم پیشنهادی

در این بخش جزئیات مکانیزم پیشنهادی ارائه می‌شود. این مکانیزم سعی دارد با بهره‌گیری از یک مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، از طریق انتخاب روش تبادل داده مناسب بتواند با توجه به ترجیحات اپراتور سلولی و کاربرانش بین معیارهای مختلف توازن به وجود آورد. مباحث مربوط به مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi در بخش ۴ ارائه شده و در ادامه این بخش به معرفی روش‌های تبادل داده، معیارها و مراحل تصمیم‌گیری در مکانیزم پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۵-۱ روش‌های تبادل داده در مکانیزم MCO

مکانیزم پیشنهادی از سه روش تبادل داده استفاده می‌کند که عبارتند از تبادل از طریق خود شبکه سلولی، DTO و PAO. در ادامه این زیربخش به معرفی روش‌های تبادل داده پرداخته شده است.

• تبادل داده از طریق شبکه سلولی

در این مقاله فرض شده که اتصال به شبکه سلولی همیشه در دسترس بوده و احتمال موفقیت آن یک است. کاربران می‌توانند هر وقت بخواهند درخواست‌های خود را بلافاصله از طریق شبکه سلولی ارسال کنند.

• برون‌سپاری با تحمل تأخیر (DTO)

در این حالت هر کاربر با توجه به نوع ترافیک داده، حاضر به پذیرش مقدار مشخصی تأخیر در تبادل داده است. کاربران قبل از انقضای این مهلت، تنها مجازند تبادل داده را از طریق شبکه WiFi انجام دهند اما در صورت تکمیل‌نشدن تبادل داده، ادامه آن از طریق شبکه سلولی در دسترس انجام می‌شود.

• برون‌سپاری با کمک گره‌های واسط (PAO)

PAO یک روش برون‌سپاری فرصت‌طلبانه است. در این حالت، لازم نیست کاربران برای برون‌سپاری داده‌هایشان به طور مستقیم به شبکه WiFi دسترسی پیدا کنند بلکه می‌توانند از کاربران همسایه به عنوان گره واسط کمک بگیرند. کاربر می‌تواند با استفاده از ارتباط نقطه به نقطه (نظیر WiFi direct) داده‌هایش را به گره‌های واسط انتقال بدهد. گره‌های واسط تنها مجاز هستند در مدت زمان تحمل تأخیر و از طریق شبکه WiFi تبادل داده کنند و در غیر این صورت تبادل داده لغو می‌شود. اپراتور سلولی وظیفه دارد از طریق پیامی، میزان داده برون‌سپاری شده توسط گره‌های واسط را به اطلاع کاربر برساند. اگر کاربر و گره‌های واسط در مدت زمان تحمل تأخیر موفق به برون‌سپاری کل داده به شبکه WiFi نشوند، کاربر باقیمانده داده‌اش را از طریق شبکه سلولی تبادل می‌کند.

۴-۲ معرفی معیارهای مؤثر در انتخاب روش تبادل داده

به منظور انتخاب یکی از روش‌های تبادل داده ذکرشده در بخش قبل، مکانیزم MCO پیشنهادی بر اساس معیارهای خاصی تصمیم می‌گیرد. این معیارهای مؤثر می‌توانند از نوع درآمدی یا هزینه‌ای باشند. معیارهای درآمدی، معیارهایی هستند که افزایش آنها موجب رضایت تصمیم‌گیرنده و مطلوبیت بیشتر برای او می‌شود و معیارهای هزینه‌ای آنهایی هستند که هرچه کمتر باشند بهترند. برای تصمیم‌گیری در مورد روش تبادل داده کاربر از پنج معیار مرتبط با منافع اپراتور سلولی و کاربر استفاده شده است

زمانی فعلی (t_{now}) و آخرین اندیس بازه زمانی (t_{end}) از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند

$$t_{now} = \left[\frac{t_r}{t_d} \right] \quad (۴)$$

$$t_{end} = \left[\frac{t_r + t_w}{t_d} \right] \quad (۵)$$

بر اساس حالت اتصال فعلی کاربر (Y_{now}) و اندیس زمانی فعلی آن (t_{now}) و مدت زمان تحمل تأخیرش (t_w) می‌توان احتمال وضعیت اتصال هر کاربر به WiFi را در هر بازه زمانی $t \leq t_{end}$ تخمین زد. حالت اتصال فعلی کاربر نیز می‌تواند به صورت یکی از دو حالت (۶) باشد که در آن c به معنای اتصال و c' به معنای عدم اتصال به شبکه WiFi است

$$Y_{now} = \begin{cases} [1, 0], X_{now} = c \\ [0, 1], X_{now} = c' \end{cases} \quad (۶)$$

وضعیت اتصال کاربر به WiFi در بازه زمانی t با استفاده از فرایند مارکوف و از طریق رابطه زیر تخمین زده می‌شود

$$P_t = P(X_t | X_{t_{now}}) = Y_{now} \cdot \prod_{\tau=t_{now}}^t \hat{P}_\tau, \quad t_{now} < t \leq t_{end} \quad (۷)$$

احتمال اتصال به WiFi $P_c(t)$ و احتمال عدم اتصال به WiFi $P_{c'}(t)$ را در بازه زمانی t مشخص می‌کنند و از رابطه زیر به دست می‌آیند

$$[P_c(t) \ P_{c'}(t)] = P_t \quad (۸)$$

پیش‌بینی مقدار حجم قابل برون‌سپاری در بازه‌های زمانی آینده، نقش مهمی را در کاهش هزینه‌های اپراتور سلولی و کاهش تأخیر کاربران و افزایش رضایت آنها ایفا می‌کند. با فرض این که کاربر در صورت دسترسی به شبکه WiFi به آن متصل شده و ارسال انجام دهد، V_{t_r, t_w}^i حجم قابل برون‌سپاری برای گره i (بر حسب مگابایت)، در زمان درخواست t_r و با مقدار تحمل تأخیر t_w است که مطابق (۹) پیش‌بینی می‌شود. همچنین مقدار پیش‌بینی شده برای درصد ترافیک قابل برون‌سپاری از کل درخواست کاربر i با حجم درخواست S_i (بر حسب مگابایت) به شبکه WiFi مطابق (۱۰) به دست می‌آید

$$V_{t_r, t_w}^i = \sum_{\tau=t_{now}}^{t_{end}} P_c(\tau) \cdot \bar{b}(\tau) \quad (۹)$$

$$R_{i, t_r, t_w}^{wifi}(S_i) = \begin{cases} \frac{V_{t_r, t_w}^i}{S_i} & \text{if } \frac{V_{t_r, t_w}^i}{S_i} \leq 1 \\ 1 & \text{if } \frac{V_{t_r, t_w}^i}{S_i} > 1 \end{cases} \quad (۱۰)$$

که t_{now} و t_{end} مطابق (۴) و (۵) قابل محاسبه می‌باشند. در [۱۴] مدل پیش‌بینی بر اساس مکان-زمان است و به این منظور منطقه شبیه‌سازی به r منطقه کوچک‌تر تقسیم شده است. پیچیدگی زمانی و حافظه مدل پیش‌بینی پیشنهادی با مدل پیش‌بینی استفاده‌شده در

$$C_{DTO}^{User} = \alpha' \times (1 - R_{DTO}) + \beta' \times R_{DTO} \quad (15)$$

$$C_{PAO}^{User} = \alpha' \times (1 - R_{PAO}) + \beta' \times R_{PAO} \quad (16)$$

که R_{PAO} و R_{DTO} مطابق (۱۱) و (۱۲) قابل محاسبه می‌باشند.

۵-۲-۴ پهنای باند تبادل داده کاربر در دو شبکه سلولی و WiFi

پهنای باند به نرخ تبادل داده توسط یک اتصال به شبکه و یا یک رابط، اشاره می‌نماید و یک معیار درآمدی است. پهنای باند شبکه سلولی و WiFi به ترتیب با نمادهای $B_{Cellular}$ و B_{WiFi} نشان داده می‌شوند و همچنین در این مقاله پهنای باند متوسط تبادل داده کاربران در روش‌های DTO و PAO به ترتیب با نمادهای B_{DTO} و B_{PAO} مشخص شده‌اند و مقادیرشان مطابق روابط زیر تخمین زده شده است

$$B_{DTO} = B_{Cellular} \times (1 - R_{DTO}) + B_{WiFi} \times R_{DTO} \quad (17)$$

$$B_{PAO} = B_{Cellular} \times (1 - R_{PAO}) + B_{WiFi} \times R_{PAO} \quad (18)$$

۵-۲-۵ میزان مصرف انرژی کاربر

برای کاربرانی که در مکانیزم‌های برون‌سپاری داده مشارکت دارند، بهره‌وری انرژی مهم است. اگر یک مکانیزم برون‌سپاری بدون توجه به مصرف انرژی در تجهیزات موبایل، فقط اقدام به بیشتر کردن حجم برون‌سپاری بکند، می‌تواند باعث اتمام سریع باتری آنها شود. معیار مصرف انرژی یک معیار هزینه‌ای است و در ادامه این مقاله، مقدارش برای روش‌های مختلف تبادل داده بررسی می‌شود.

اگر میزان مصرف انرژی (بر حسب ژول بر مگابایت) برای تبادل داده از طریق شبکه سلولی و WiFi به ترتیب با نمادهای $Q_{Cellular}$ و Q_{WiFi} و توان مصرفی برای جستجو و برقراری اتصال برای شبکه سلولی (بر حسب ژول) با $E_{Cellular}^{search}$ و برای شبکه WiFi با E_{WiFi}^{search} مشخص شود آن گاه میزان توان مصرفی برای تبادل داده‌ای با حجم S مگابایت از طریق روش‌های تبادل شبکه سلولی، DTO و PAO برای کاربر به ترتیب با نمادهای $E_{Cellular}$ ، E_{WiFi} و E_{PAO} نمایش داده شده و مقادیرشان از طریق معادلات زیر محاسبه می‌شود

$$E_{Cellular} = S \times Q_{Cellular} + E_{Cellular}^{search} \quad (19)$$

$$E_{DTO} = S \times (Q_{Cellular} \times (1 - R_{DTO}) + Q_{WiFi} \times R_{DTO}) + E_{WiFi}^{search} + E_{Cellular}^{search} \quad (20)$$

$$E_{PAO} = S \times (Q_{Cellular} \times (1 - R_{PAO})) + (2 \times n \times Q_{WiFi} \times R_{PAO}) + (n \times E_{WiFi}^{search}) + E_{Cellular}^{search} \quad (21)$$

۵-۳ انتخاب روش تبادل داده با استفاده از

روش TOPSIS

در روش MCO پیشنهادی به منظور انتخاب روش تبادل داده مناسب با توجه به ترجیحات اپراتور سلولی و مقادیر معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری از روش تکنیک رجحان تربیتی با تشابه به جواب ایده‌آل (TOPSIS) استفاده شده است. TOPSIS از مجموعه روش‌های جبرانی تصمیم‌گیری چندمعیاره^۱ (MADM) است که گزینه‌ها^۲ را بر اساس میزان شباهت به حالت ایده‌آل رتبه‌بندی می‌کند به طوری که هرچه

که عبارتند از درصد ترافیک قابل برون‌سپاری (از کل درخواست کاربر)، هزینه تبادل داده اپراتور سلولی، هزینه تبادل داده کاربر، پهنای باند متوسط در دسترس کاربر و انرژی مصرفی کاربر. در ادامه این بخش به معرفی معیارهای ذکر شده و نحوه محاسبه آنها برای هر روش تبادل داده پرداخته می‌شود.

۵-۲-۱ درصد ترافیک قابل برون‌سپاری به شبکه WiFi

این معیار در کنترل ازدحام شبکه تأثیرگذار است و یک معیار درآمدی است. $R_{i,t_r,t_w}^{WiFi}(S_i)$ درصد ترافیک قابل برون‌سپاری برای گروه i (بر حسب مگابایت) برای درخواست تبادل داده با حجم S_i مگابایت در زمان t_r و مدت زمان تحمل تأخیر t_w است. اگر کاربر با نماد s و مجموعه گره‌های واسط که در تبادل داده با روش PAO مشارکت می‌کنند با نماد U نشان داده شوند آن‌گاه درصد ترافیک قابل برون‌سپاری (از کل درخواست کاربر i) به شبکه WiFi در روش‌های DTO و PAO به ترتیب از طریق (۱۱) و (۱۲) پیش‌بینی می‌شوند

$$R_{DTO} = R_{i,t_r,t_w}^{wifi}(S_i) \quad (11)$$

$$R_{PAO} = \max R_{i,t_r,t_w}^{wifi}(S_i), i \in \{S, U\} \quad (12)$$

۵-۲-۲ هزینه‌های تبادل داده اپراتور سلولی

این معیار برای کنترل هزینه‌های مالی اپراتور سلولی استفاده می‌شود و یک معیار هزینه‌ای است. استفاده از شبکه سلولی و هم شبکه WiFi برای تبادل داده برای اپراتور سلولی هزینه‌بر است. α و β به ترتیب هزینه تبادل هر مگابایت داده از طریق شبکه سلولی و WiFi را برای اپراتور سلولی مشخص می‌کنند. علاوه بر این اپراتور سلولی پاداش‌هایی برای تشویق کاربران به مشارکت در روش برون‌سپاری PAO در نظر می‌گیرد که باعث افزایش هزینه‌های این روش می‌شود. در روش‌های DTO و PAO اگر کل داده در مدت زمان تحمل تأخیر از طریق شبکه WiFi تبادل نشود، باقیمانده‌اش از طریق شبکه سلولی انتقال داده می‌شود. اگر R_{PAO} و R_{DTO} درصد ترافیک قابل برون‌سپاری (از کل درخواست کاربر) از طریق روش‌های ارسال DTO و PAO و n تعداد گره‌های واسط که در روش PAO مشارکت دارند را مشخص کند آن‌گاه متوسط هزینه تبادل هر مگابایت داده از طریق روش‌های DTO و PAO برای اپراتور سلولی به ترتیب با نمادهای $C_{PAO}^{Cellular}$ و $C_{DTO}^{Cellular}$ مشخص و از طریق (۱۳) و (۱۴) محاسبه می‌شوند

$$C_{DTO}^{Cellular} = \alpha \times (1 - R_{DTO}) + \beta \times R_{DTO} \quad (13)$$

$$C_{PAO}^{Cellular} = \alpha \times (1 - R_{PAO}) + n \times \beta \times R_{DTO} \quad (14)$$

۵-۲-۳ هزینه تبادل داده کاربر

این معیار برای کنترل هزینه‌های مالی کاربران استفاده می‌شود و یک معیار هزینه‌ای است. در مکانیزم پیشنهادی سعی شده با کاهش هزینه‌های تبادل داده کاربر از طریق برون‌سپاری داده، میزان رضایت و تمایل کاربر به برون‌سپاری داده افزایش یابد. α' و β' به ترتیب هزینه تبادل هر مگابایت داده از طریق شبکه سلولی و WiFi را برای کاربران مشخص می‌کنند. در روش‌های DTO و PAO تبادل داده‌هایی که در زمان تحمل تأخیر از طریق شبکه WiFi به صورت موفقیت‌آمیز تکمیل نشوند از طریق شبکه سلولی ادامه پیدا می‌کند. هزینه متوسط تبادل هر مگابایت داده از طریق روش‌های DTO و PAO برای کاربران به ترتیب با نمادهای C_{PAO}^{user} و C_{DTO}^{user} مشخص شده و مقادیرشان از طریق (۱۵) و (۱۶) محاسبه می‌شوند

1. Multi Attribute Decision Making

2. Alternatives

جدول ۲: ماتریس تصمیم برای انتخاب روش تبادل داده درخواستی کاربران.

معیارهای تصمیم‌گیری	انرژی مصرفی	پهنای باند	هزینه تبادل داده کاربر	هزینه تبادل داده اپراتور سلولی	درصد ترافیک قابل برون‌سپاری به WiFi
					گزینه‌های تصمیم‌گیری
Cellular Delivery	$W_{Cellular}$	$B_{Cellular}$	α'	α	*
DTO Delivery	W_{DTO}	B_{DTO}	C_{DTO}^{User}	$C_{DTO}^{Cellular}$	R_{DTO}
PAO Delivery	W_{PAO}	B_{PAO}	C_{PAO}^{User}	$C_{PAO}^{Cellular}$	R_{PAO}

جدول ۳: پارامترهای مدل حرکتی LEVY WALK.

پارامتر	مقدار
سرعت حرکت	۵ الی ۲۰ کیلومتر بر ساعت
جهت حرکت	۰ الی ۳۶۰ درجه
گام حرکت	۵۰ الی ۳۰۰۰ متر
پارامتر توزیع Truncated Pareto	۱/۲
زمان توقف	۳۰ تا ۶۰۰ ثانیه

همراه) به واسطه‌های ۳G و WiFi مجهز هستند که می‌توانند به صورت هم‌زمان فعالیت کنند. گره‌ها می‌توانند در برنامه‌های کاربردی درخواست تبادل داده کرده و بسته به نوع داده حاضر به پذیرفتن تأخیر باشند. در ادامه این بخش، پارامترهای شبیه‌سازی و معیارهای ارزیابی شرح داده می‌شود و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه شده است.

۶-۱ پارامترهای شبیه‌سازی

۶-۱-۱ پارامترهای مدل حرکتی و شبکه‌های در دسترس

به منظور شبیه‌سازی تحرک کاربران از مدل حرکتی واقع‌گرایانه ارائه‌شده در [۲۰] با نام Levy Walk استفاده شده است. با استفاده از این مدل حرکتی، تحرک روزانه ۲۰۰ کاربر در محوطه‌ای به ابعاد $3\text{Km} \times 3\text{Km}$ تحت پوشش سراسری شبکه سلولی (۳G) با نرخ ارسال ۱ MBps (برای هر کاربر) شبیه‌سازی شده است. همچنین تعدادی نقطه دستیابی WiFi با دسترسی باز، برد پوششی به شعاع ۲۰ متر و نرخ ارسال ۸ MBps (برای هر کاربر) در محیط شبیه‌سازی قرار گرفته‌اند. تعداد نقاط دستیابی بر اساس نرخ پوشش شبکه WiFi در سناریوها تعیین و موقعیتشان به صورت تصادفی مشخص شده است. نرخ پوشش شبکه WiFi از تقسیم مجموع مساحت تحت پوشش شبکه WiFi به کل مساحت منطقه شبیه‌سازی شده محاسبه گردیده است. کاربران برای اشتراک‌گذاری فایل‌هایشان در روش PAO از فناوری WiFi Direct با نرخ ارسال ۱۰ MBps استفاده می‌کنند [۲۱]. در این مدل حرکتی برای هر جایگاهی کاربر خصوصیاتی از قبیل سرعت، زاویه، مسافت و مدت زمان اقامت تعریف شده است. به بزرگ‌ترین جایگاهی‌های یک کاربر در یک مسیر مستقیم از یک نقطه به نقطه دیگر "پرواز" گفته می‌شود. کاربر پس از طی مسافت پرواز و رسیدن به موقعیت جدید، مدت زمانی را توقف می‌کند که "مدت زمان اقامت" نامیده می‌شود. برای تعیین مسافت پرواز و مدت اقامت از توزیع Truncated Pareto استفاده شده است. سرعت و زاویه حرکت هر پرواز کاربر از بازه‌های مشخص و به صورت تصادفی یکنواخت انتخاب می‌شوند و پارامترهای مدل حرکتی در جدول ۳ ذکر شده است.

۶-۱-۲ مشخصات ترافیک داده کاربران

از آنجا که نوع ترافیک کاربران در کارایی فرایند برون‌سپاری مؤثر است لازم است مشخصات ترافیک از نقطه نظر حجم تقاضا و سطح اولویت موجود در شبکه مورد ارزیابی به دقت بیان شود. در سناریوهای بررسی‌شده کاربران از لحاظ تقاضای تبادل داده در سه نوع مطابق جدول ۴ دسته‌بندی شده‌اند [۱۴].

در تمامی سناریوها فرض شده که ۳۰٪ کاربران از نوع ۱، ۴۰٪ از کاربران از نوع ۲ و ۳۰٪ کاربران از نوع ۳ هستند. نرخ تولید داده هر کاربر

شبهت یک گزینه به جواب ایده‌آل بیشتر باشد رتبه بهتری خواهد داشت [۱۹].

مکانیزم پیشنهادی به منظور انتخاب روش تبادل داده با استفاده از TOPSIS، وظیفه ایجاد ماتریس تصمیم بر اساس معیارها و گزینه‌های تعیین‌شده را بر عهده دارد. ماتریس تصمیم، جدولی مطابق جدول ۲ است که به تعداد گزینه‌ها سطر و به تعداد معیارها ستون دارد و چگونگی محاسبه مقادیر کسب‌شده گزینه‌ها در بخش ۵-۲ شرح داده شده است. سپس معیارهای ماتریس تصمیم با استفاده از روش نرمال‌سازی اقلیدسی بی‌واحد می‌شوند.

کاربرانی که تقاضای تبادل داده دارند موظف هستند به صورت دوره‌ای بردار وزن‌دهی معیارهای تصمیم‌گیری (λ) را از طریق ارسال درخواستی به اپراتور سلولی به روز رسانی کنند. در ادامه بردار λ تعدیل‌شده در ماتریس نرمال ضرب شده و ماتریس نرمال‌شده موزون به دست می‌آید و سپس جواب ایده‌آل مثبت و منفی تعیین می‌شود. گزینه ایده‌آل مثبت گزینه‌ای است که هم‌زمان بهترین مقدار تمامی معیارها را در خود دارد و اگر بدترین‌های هر معیار در یک گزینه جمع شود، گزینه به دست آمده را جواب ایده‌آل منفی می‌نامند. در نهایت گزینه‌ها بر اساس میزان نزدیک‌بودن هر گزینه به جواب ایده‌آل مثبت و دوربودن آن در جواب ایده‌آل منفی رتبه‌بندی شده و گزینه برتر برای تبادل داده انتخاب می‌شود.

۶- ارزیابی کارایی روش پیشنهادی

همان‌گونه که ذکر شد مکانیزم MCO پیشنهادی با بهره‌گیری از مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به شبکه WiFi و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، با توجه به ترجیحات اپراتور سلولی و کاربرانش سعی دارد از طریق انتخاب روش تبادل داده مناسب بتواند فرایند برون‌سپاری را بهبود ببخشد. در این بخش به منظور سنجش میزان کارایی مکانیزم پیشنهادی به ارزیابی گسترده‌ای در مقایسه با روش‌های دیگر از جمله روش [۱۴] CEMMO که اخیراً در [۱۴] معرفی شد، پرداخته شده است. در این مقاله برای شبیه‌سازی سناریوی ارائه‌شده در مدل آزمایشی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. در سناریوهای مدل آزمایشی، شبکه ناهمگن متشکل از شبکه سلولی ۳G و WiFi است که هر دو متعلق به یک اپراتور هستند. به علاوه فرض شده که همه گره‌ها (برای مثال تلفن

جدول ۴: انواع کاربر بر حسب تقاضای تبادل داده.

نوع کاربر	میزان تقاضای کاربر در روز
۱	کم (حدود ۱۰۰ MB)
۲	متوسط (حدود ۲۰۰ MB)
۳	کم (حدود ۴۰۰ MB)

جدول ۵: سناریوهای کاربران با تحمل تأخیر مختلف.

نوع ترافیک سناریو	اولویت بالا (دقیقه)	اولویت متوسط (دقیقه)	اولویت پایین (دقیقه)
تحمل تأخیر کم	۰	۰ الی ۱۰	۱۰ الی ۲۰
تحمل تأخیر متوسط	۰	۱۰ الی ۲۰	۲۰ الی ۳۰
تحمل تأخیر زیاد	۰	۲۰ الی ۳۰	۳۰ الی ۴۰

جدول ۶: وزن‌دهی معیارهای مختلف مکانیزم MCO.

معیار سناریو	انرژی مصرفی کاربر	پهنای باند در دسترس کاربر	هزینه تبادل داده کاربر	هزینه تبادل داده اپراتور سلولی	درصد ترافیک قابل برون‌سپاری به WiFi
W1	۱	۲	۱	۳	۱
W2	۱	۲	۱	۳	۳
W3	۱	۲	۱	۳	۵

جدول ۷: مصرف انرژی ۳G و WiFi.

هنگام تبادل داده	جستجو ارتباط و برقراری اتصال S (J)	Q (J/MB)
Cellular (۳G)	۱۳۰	۰
WiFi	۵	۲۰

دسترس کاربر در بازه‌های زمانی به طول ۵ دقیقه نمونه‌برداری شده است. چون وزن‌دهی‌ها به انتخاب اپراتور سلولی و سیاست‌های آن بستگی دارد، سناریوهای وزن‌دهی متعددی می‌توان تصور کرد. در اینجا سه سناریوی ذکر شده در جدول ۶ مورد مطالعه قرار می‌گیرند ولی هر سناریوی دیگری نیز قابل بررسی است. نهایتاً در جدول ۷ میزان مصرف انرژی در تبادل داده در شبکه سلولی و WiFi آورده شده است [۲۲]. از مقادیر این جدول برای محاسبه معیار مصرفی انرژی روش‌های مختلف تبادل داده مطابق (۱۹) تا (۲۱) استفاده شده است. چون رابط شبکه سلولی بر روی گوشی‌های تلفن همراه همیشه روشن است، مجموع انرژی مصرفی برای جستجو و اتصال برابر با صفر در نظر گرفته شده است.

۶-۲ معیارهای ارزیابی

کارایی مکانیزم ارائه شده با معیارهای زیر ارزیابی گردیده است [۱۴]:
 (۱) درصد ترافیک قابل برون‌سپاری (Offloading Ratio): اگر D_{WiFi} حجم کل داده‌های تبادل شده از طریق شبکه WiFi و D_{Total} حجم کل داده‌های تبادل شده را مشخص کنند آن گاه درصد ترافیک قابل برون‌سپاری از طریق (۲۲) محاسبه می‌شود

$$\text{offloading Ratio} = \frac{D_{wifi}}{D_{Total}} \quad (22)$$

(۲) هزینه میانگین تبادل هر مگابایت داده برای اپراتور سلولی (Average Cost per MB): اگر α و β هزینه‌های ارسال هر مگابایت داده از طریق شبکه سلولی و شبکه WiFi برای اپراتور سلولی و تعداد کاربرانی که در برون‌سپاری PAO مشارکت دارند و حجم کل داده‌های تبادل شده از طریق شبکه سلولی (۳G) D_{rG} باشد آن گاه هزینه میانگین برای تبادل داده هر مگابایت داده برای اپراتور سلولی در روش‌های OTSO ($C_{OTSO}^{Cellular}$) و روش DTO ($C_{DTO}^{Cellular}$) از طریق (۲۳) محاسبه می‌شود

$$C_{OTSO}^{Cellular} = C_{DTO}^{Cellular} = \frac{\alpha \times D_{rG} + \beta \times D_{WiFi}}{D_{total}} \quad (23)$$

و اگر D_{PAO} حجم کل داده‌های تبادل شده از طریق روش PAO، n تعداد گره‌های واسط و β هزینه تبادل هر مگابایت داده از طریق شبکه WiFi برای اپراتور سلولی باشد، هزینه میانگین برای تبادل داده هر مگابایت داده برای اپراتور سلولی در روش [۱۴] CEMMO از طریق (۲۴) محاسبه می‌شود

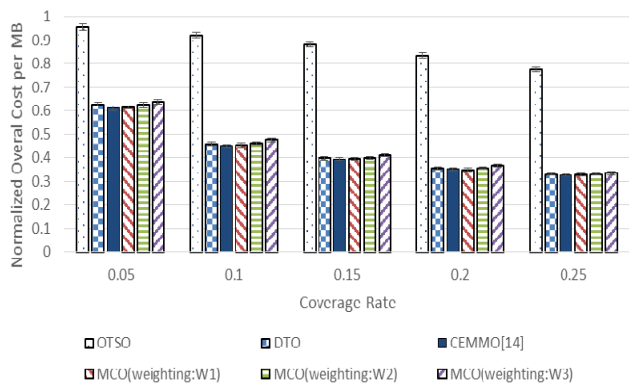
از توزیع Pareto پیروی می‌کند و فرض شده که ظرفیت ذخیره‌سازی برای استفاده از مکانیزم پیشنهادی در تمام موارد به میزان کافی در دسترس است [۱۴]. برای داده درخواستی کاربران، سه نوع تحمل تأخیر مطابق جدول ۵ در نظر گرفته شده است [۲۲].

بر این اساس ترافیک درخواستی هر کاربر بر اساس اولویت ترافیک در سه کلاس زیر دسته‌بندی شده است:

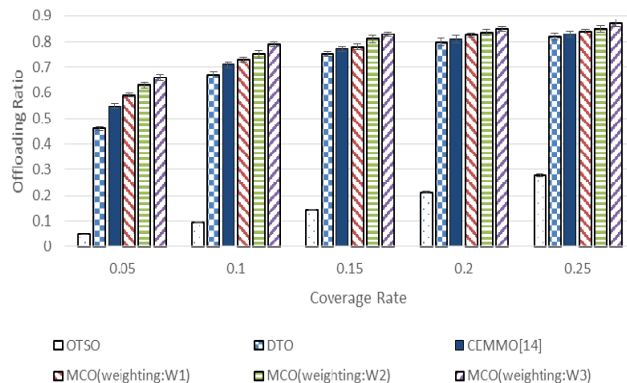
- **اولویت بالا:** این نوع ترافیک ۲۰٪ از حجم کل ترافیک داده کاربر را تشکیل می‌دهد. در این حالت کاربران درخواست‌هایی با اندازه ۱ KB تا ۵ MB دارند و حاضر به تحمل هیچ گونه تأخیری نیستند. درخواست‌های صفحات وب و مکالمات چت در این نوع داده قرار دارند.
- **اولویت متوسط:** ۶۰٪ از حجم کل ترافیک داده کاربر دارای این سطح اولویت است. در این حالت حجم هر کدام از درخواست‌های کاربران از ۱ MB تا ۲۰۰ MB می‌باشد و کاربر تأخیر متوسطی را جهت ارسال می‌پذیرد (جدول ۵). پست‌های الکترونیکی غیر ضروری و به روز رسانی شبکه‌های اجتماعی در این نوع داده قرار دارند.
- **اولویت پایین:** این نوع ترافیک ۲۰٪ از حجم کل ترافیک داده شبکه سلولی را تشکیل می‌دهد. در این حالت حجم هر کدام از درخواست‌های کاربران در این نوع اولویت از ۱۰ MB تا ۳۰۰ MB متغیر است و کاربر حاضر به تحمل تأخیر زیاد مطابق جدول ۵ می‌باشد. سرویس‌های ذخیره‌سازی ابری و انتقال داده‌های حسگر نمونه‌هایی از ترافیک با اولویت پایین است.

۶-۱-۳ پارامترهای مدل پیش‌بینی الگوی اتصال به WiFi و مدل تصمیم‌گیری TOPSIS

در شبیه‌سازی‌های انجام شده مدل تحرک Levy Walk [۲۰] برای هر اجرا به مدت ۴۰ شبانه‌روز در نرم‌افزار Matlab شبیه‌سازی شده که ۳۰ روز آن برای آموزش مدل پیش‌بینی و ۱۰ روز آن برای ارزیابی مکانیزم پیشنهادی استفاده شده است. به منظور جمع‌آوری تاریخچه مورد استفاده در مدل پیش‌بینی از وضعیت اتصال به شبکه WiFi و پهنای باند در



شکل ۳: تأثیر نرخ پوشش در هزینه‌های کلی نرمال شده تبادل داده اپراتور سلولی.



شکل ۴: تأثیر نرخ پوشش شبکه WiFi بر میزان برون‌سپاری.

۶-۳-۱ سنجش تأثیر نرخ پوشش شبکه WiFi

در این بخش، تأثیر نرخ پوشش شبکه WiFi روی کارایی مکانیزم‌های OTSO، DTO، [۱۴] CEMMO و مکانیزم پیشنهادی (MCO) ارزیابی شده است. نسبت β/α برابر 0.2 (برای مثال $\alpha = 1$ و $\beta = 0.2$) که مقداری معمول است در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ نسبت حجم برون‌سپاری شده و در شکل ۳ هزینه کلی نرمال‌سازی شده هر مگابایت داده برای اپراتور سلولی برای انواع مکانیزم برون‌سپاری داده در نرخ‌های پوشش مختلف در بازه 5% تا 25% ارائه شده است.

مطابق شکل ۲ مکانیزم MCO پیشنهادی به نرخ پوشش WiFi حساسیت کمی دارد و حتی در نرخ پوشش پایین (5%) توانسته است به ازای سناریوهای مختلف وزن‌دهی W_1 ، W_2 و W_3 (جدول ۶) به ترتیب 59% ، 63% و 66% از ترافیک داده را برون‌سپاری کند. تحت شرایط برابر مکانیزم [۱۴] CEMMO 54% ، روش DTO 46% و روش OTSO تنها 5% از کل ترافیک داده را توانسته‌اند برون‌سپاری کنند. با افزایش نرخ پوشش شبکه WiFi، نسبت برون‌سپاری در تمامی روش‌ها بهبود پیدا می‌کند. مکانیزم MCO عملکرد بهتری در برون‌سپاری را مدیون به کارگیری روش PAO است اما با افزایش نرخ پوشش، میزان برون‌سپاری روش DTO نیز افزایش می‌یابد و از اختلاف دو روش کاسته می‌شود اما همچنان ترتیب روش‌ها بر اساس میزان برون‌سپاری ثابت باقی می‌ماند. در نرخ پوشش 25% بیشترین برون‌سپاری متعلق به مکانیزم MCO (weighting: W_3) با مقدار 87% است. همچنین برون‌سپاری در روش OTSO متناسب با نرخ پوشش افزایش می‌یابد و به 28% می‌رسد.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود به دلیل برون‌سپاری قسمتی از ترافیک داده از طریق شبکه ارزان‌تر WiFi (نسبت به شبکه سلولی)، هزینه‌های کلی نرمال‌شده اپراتور برای تبادل هر مگابایت داده کاهش می‌یابد. روش‌های مبتنی بر تأخیر مطالعه‌شده از جمله مکانیزم MCO و روش [۱۴] CEMMO و DTO رفتاری تقریباً مشابه دارند و در نرخ پوشش پایین (5%) توانسته‌اند هزینه‌های کلی تبادل داده اپراتور سلولی را به حدود 63% کاهش بدهند. تحت شرایط برابر روش OTSO تنها 5% از کل هزینه‌ها را کاهش داده است. با افزایش نرخ پوشش شبکه WiFi، کارایی تمامی روش‌ها بهبود پیدا می‌کنند به طوری که در نرخ پوشش 25% ، هزینه کلی نرمال‌شده برای روش‌های مبتنی بر تأخیر به 23% و روش OTSO به 77% کاهش یافته است.

شکل ۴ سهم DTO و PAO از برون‌سپاری داده در مکانیزم MCO (weighting: W_3) را در انواع نرخ پوشش WiFi نشان می‌دهد. زمانی که نرخ پوشش 5% است، 77% برون‌سپاری از طریق روش PAO انجام می‌شود. با افزایش نرخ پوشش WiFi، تبادل داده کاربر از طریق

$$C_{CEMMO}^{Cellular} = C_{DTO}^{Cellular} = \frac{n \times \beta \times D_{PAO}}{D_{Total}} \quad (24)$$

همچنین اگر C_{Total} کل هزینه‌های تبادل داده مکانیزم پیشنهادی باشد آن‌گاه هزینه میانگین برای تبادل هر مگابایت داده برای اپراتور سلولی در مکانیزم پیشنهادی ($C_{OTSO}^{Cellular}$) از طریق (۲۵) محاسبه می‌شود

$$C_{MCO}^{Cellular} = \frac{C_{Total}}{D_{Total}} \quad (25)$$

۳) میانگین حافظه مصرفی کاربران (Average Cache Size): میانگین حافظه استفاده‌شده در مکانیزم پیشنهادی (M_{mean}^{MCO}) برابر نسبت کل فضای ذخیره‌سازی استفاده‌شده در تمام گره‌های موبایل برای برون‌سپاری با روش PAO (M_{Total}^{PAO}) به تعداد کاربران (n) که در PAO مشارکت داشته‌اند، است و مقدارش از رابطه زیر به دست می‌آید

$$M_{mean}^{MCO} = \frac{M_{Total}^{PAO}}{n} \quad (26)$$

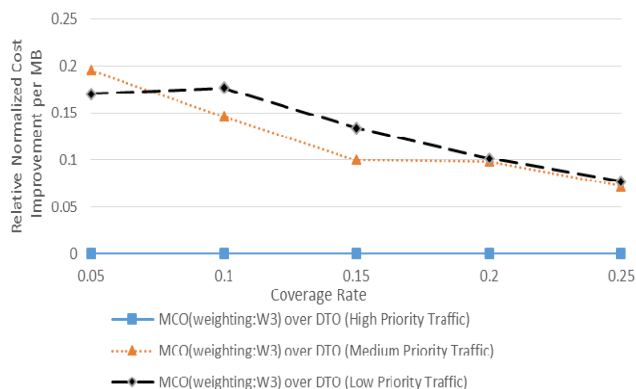
۴) میانگین مصرف انرژی کاربران (Energy Consumption): انرژی مصرف‌شده برای ارسال هر مگابایت داده کاربر با توجه به نوع روش ارسال از طریق یکی از (۱۹) تا (۲۱) محاسبه می‌شود. میانگین توان مصرفی مکانیزم MCO برای ارسال هر مگابایت داده (E_{MCO}) مطابق (۲۷) از نسبت مجموع توان مصرفی برای ارسال تمامی درخواست‌ها (E_{Total}) به کل درخواست‌های ارسال‌شده محاسبه می‌شود

$$E_{MCO} = \frac{E_{Total}}{D_{Total}} \quad (27)$$

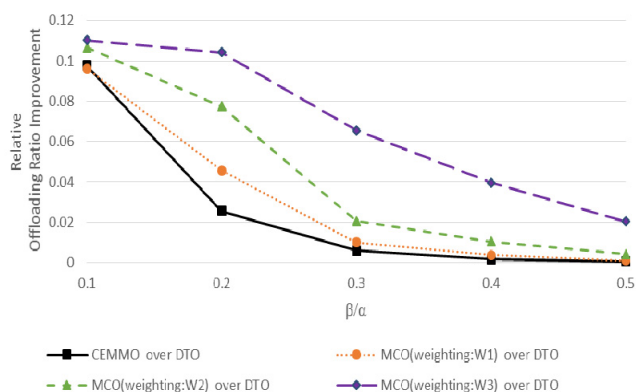
۶-۳ نتایج شبیه‌سازی و تحلیل آنها

در این بخش ارزیابی مکانیزم پیشنهادی و مقایسه آن با کارهای پیشین در سناریوهای مختلف آمده است. نتایج شبیه‌سازی در تمام سناریوها بر اساس میانگین 120 بار اجرا و بازه‌های اطمینان 95% ارائه شده‌اند.

در نمودارهای ارائه‌شده در این بخش، MCO (weighting: W_1)، MCO (weighting: W_2) و MCO (weighting: W_3) به ترتیب به مقادیر مکانیزم پیشنهادی (MCO) به ازای سناریوهای W_1 ، W_2 و W_3 مطابق جدول ۶ اشاره دارد. همچنین هزینه کلی نرمال‌شده یک روش تبادل داده از تقسیم هزینه متوسط ارسال هر مگابایت داده در آن روش تبادل داده به هزینه ارسال یک مگابایت داده از طریق شبکه سلولی محاسبه شده است.



شکل ۶: بهبود نسبی هزینه‌های کلی نرمال شده مکانیزم MCO (weighting:W3) نسبت به حالت DTO برای سناریوهای ترافیک با اولویت‌های مختلف.



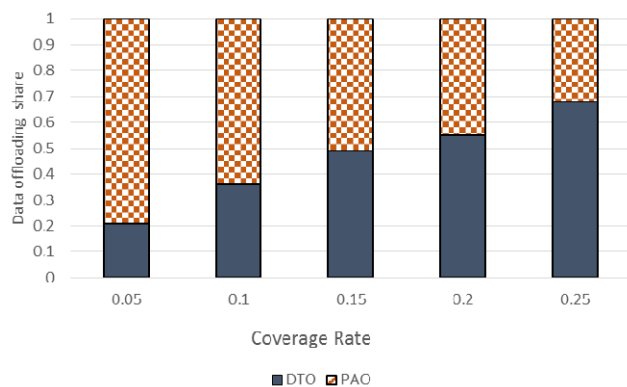
شکل ۷: بهبود نسبی حجم برون‌سپاری برای مکانیزم‌های مختلف نسبت به حالت DTO.

می‌کند و چون هزینه ارسال از طریق شبکه WiFi به نسبت کمتر است هزینه‌های اپراتور نیز کاهش می‌یابد. بهبود نسبی هزینه‌ها کلی نرمال شده در مکانیزم MCO نسبت به DTO در نرخ پوشش ۵٪ برای ترافیک داده با اولویت پایین ۱۷٪ است. با افزایش نرخ پوشش WiFi میزان هزینه برون‌سپاری مکانیزم MCO به DTO نزدیک‌تر می‌شود و به همین دلیل میزان بهبود کاهش می‌یابد.

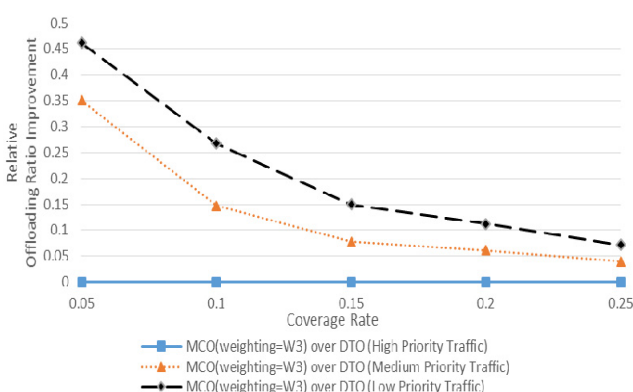
۳-۲-۳-۶ سنجش تأثیر نسبت β به α

در این بخش حساسیت مکانیزم MCO نسبت به مجموع هزینه‌های اپراتور سلولی در نرخ پوشش ثابت ۱۵٪ شبکه WiFi ارزیابی شده است. افزایش نسبت β/α به نسبت، هزینه‌های ارسال از طریق شبکه WiFi به شبکه سلولی را افزایش می‌دهد. تخمین دقیقی از هزینه‌های اپراتور سلولی در ارسال از طریق شبکه سلولی و یا برون‌سپاری از شبکه WiFi غیر ممکن است و چون اطلاعاتی از هزینه‌ها از دید اپراتور در دست نیست، مکانیزم طوری ارائه شده که هر اپراتور بتواند با توجه به نیازش مقادیر α و β را تنظیم کند.

میزان بهبود برون‌سپاری برای مکانیزم‌های MCO [۱۴] و CEMMO نسبت به روش DTO در شکل ۷ نشان داده شده است. وقتی که β کوچک است ($\beta/\alpha = 0.1$)، روش [۱۴] CEMMO و مکانیزم MCO (weighting:W3) به ترتیب ۱۱٪ و ۱۰٪ بهبود نسبت به DTO دارند. با افزایش نسبت β/α ، مشاهده می‌شود که تعداد کاربرانی که از روش PAO برای برون‌سپاری استفاده می‌کنند کاهش می‌یابد و در نتیجه میزان برون‌سپاری نیز کاهش می‌یابد. برای β/α های بزرگ، ترافیک برون‌سپاری شده در [۱۴] CEMMO به صورت معناداری کاهش می‌یابد و از لحاظ عملکرد و میزان برون‌سپاری، مشابه روش DTO عمل خواهد کرد اما MCO (weighting:W3) همچنان ۲٪ بهبود نسبی، نسبت به



شکل ۸: تأثیر نرخ پوشش در سهم DTO و PAO از برون‌سپاری داده در مکانیزم MCO (weighting:W3).



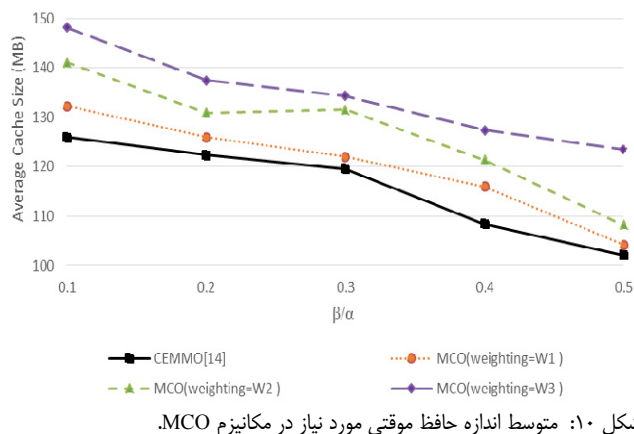
شکل ۹: بهبود نسبی میزان ترافیک برون‌سپاری مکانیزم MCO (weighting:W3) نسبت به حالت DTO برای سناریوهای ترافیک با اولویت‌های مختلف.

WiFi نیز به مراتب افزایش می‌یابد و در نتیجه احتمال انتخاب روش DTO افزایش می‌یابد به طوری که در نرخ پوشش ۲۵٪ سهم PAO به ۳۲٪ کاهش یافته است.

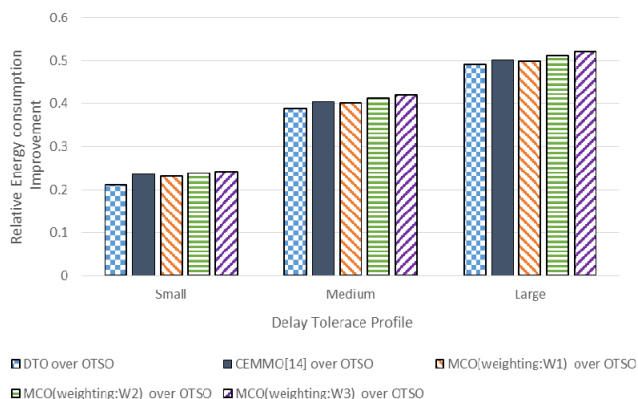
شکل ۵ بهبود برون‌سپاری در مکانیزم MCO (weighting:W3) را برای سه سناریو با اولویت ترافیک مختلف مطابق جدول ۵ نسبت به حالت DTO نشان می‌دهد. مطابق جدول ۵، کاربر تا ۳۰ دقیقه تأخیر را برای ترافیک داده با اولویت متوسط و بین ۱۰ تا ۴۰ دقیقه تأخیر را برای ترافیک داده با اولویت پایین می‌پذیرد و پس از مهلت تأخیر تعیین شده کاربر داده را از طریق شبکه سلولی (3G) ارسال خواهد کرد. کاربر هیچ تأخیری را برای ارسال داده‌های با اولویت بالا نمی‌پذیرد. بهبود مکانیزم MCO نسبت به روش صرفاً DTO برای ترافیک با اولویت بالا صفر است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، مکانیزم MCO زمانی که کاربران تمایل به پذیرش تأخیر بیشتری دارند نسبت بیشتری از ترافیک داده را برون‌سپاری می‌کند.

بهبود نسبی برون‌سپاری داده در مکانیزم MCO (weighting:W3) نسبت به DTO در نرخ پوشش ۵٪ برای ترافیک داده با اولویت پایین ۴۶٪ است. با افزایش نرخ پوشش WiFi میزان برون‌سپاری در DTO افزایش یافته و به مقدار برون‌سپاری مکانیزم MCO نزدیک‌تر می‌شود و به همین دلیل میزان بهبود کاهش می‌یابد.

شکل ۶ بهبود در هزینه‌های کلی نرمال شده تبادل داده اپراتور مکانیزم MCO (وزن دهی W3) نسبت به حالت DTO برای سه نوع ترافیک داده با اولویت مختلف (مطابق با جدول ۵) را نشان می‌دهد. بهبود مکانیزم MCO نسبت به روش صرفاً DTO برای ترافیک با اولویت بالا صفر است. مشاهده می‌شود که مکانیزم MCO زمانی که کاربران تمایل به پذیرش تأخیر بیشتری دارند، حجم بیشتری از ترافیک را برون‌سپاری



شکل ۱۰: متوسط اندازه حافظه موقتی مورد نیاز در مکانیزم MCO.



شکل ۱۱: بهبود نسبی مصرف انرژی برای سناریوهای مختلف تحمل تأخیر نسبت به OTSO.

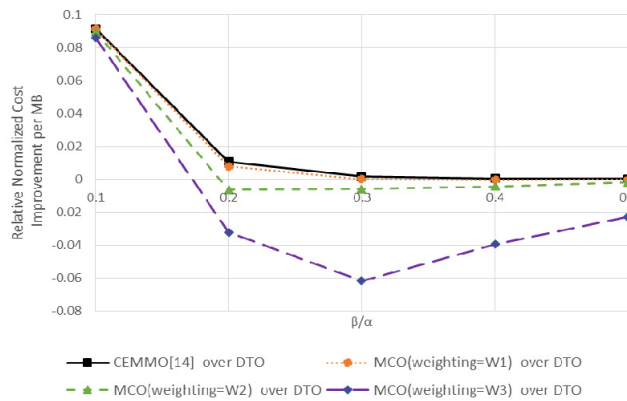
دارد اما در تمامی سناریوها ترتیب مکانیزم‌های برتر در بهبود برون‌سپاری به صورت $MCO(\text{weighting:}W3)$ ، $MCO(\text{weighting:}W2)$ ، $MCO(\text{weighting:}W1)$ است. CEMMO [۱۴] و DTO است.

۳-۶-۴ بررسی میزان حافظه مصرفی

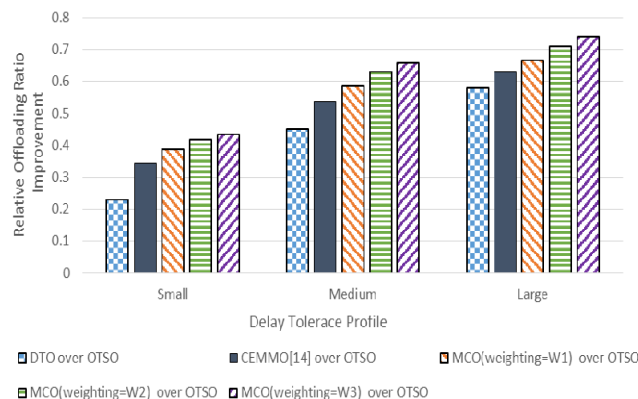
در روش‌های OTSO و DTO کافی است هر کاربر به میزان ترافیک درخواستی‌اش حافظه در اختیار داشته باشد اما برای کاربرانی که در روش PAO مشارکت می‌کند، در اختیار داشتن مقداری حافظه موقتی اضافی ضروری است. چون منابع ذخیره‌سازی در گوشی‌های تلفن همراه محدود هستند، کم‌کردن نیاز به حافظه یک امر ضروری است. در شکل ۱۰ متوسط فضای ذخیره‌سازی مورد نیاز برای مکانیزم MCO ارزیابی شده است. مکانیزم MCO برای β/α کوچک به طور متوسط تا ۱۵۰ مگابایت حافظه نیاز دارد اما با بزرگ‌تر شدن مقدار β/α و افزایش هزینه‌ها به دلیل کاهش تمایل به روش گران‌تر PAO، اندازه حافظه مورد نیاز تا ۱۰۵ مگابایت کاهش می‌یابد.

۳-۶-۵ سنجش میزان مصرف انرژی

با فرض نرخ پوشش WiFi برابر با ۱۵٪، مصرف انرژی مکانیزم MCO و چند روش دیگر در سه سناریو تحمل تأخیر کم، متوسط و زیاد مطابق با مقادیر جدول ۶ ارزیابی شده است. میزان تحمل تأخیرها به صورت تصادفی با استفاده از توزیع یکنواخت از بازه مجاز در جدول ۶ تعیین می‌شوند. در روش‌های مبتنی بر تأخیر (مانند DTO) قبل از اتمام مهلت تأخیر مجاز هیچ داده‌ای از طریق شبکه سلولی انتقال داده نخواهد شد. همچنین ارسال داده بیش از تحمل تأخیر کاربر به تعویق انداخته نخواهد شد چون نارضایتی کاربر را به همراه خواهد داشت. همان طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است با افزایش بازه‌های



شکل ۸: بهبود نسبی هزینه‌های کلی نرمال شده روش‌های مختلف نسبت به DTO.



شکل ۹: بهبود برون‌سپاری برای سه سناریوی مختلف تحمل تأخیر.

DTO دارد.

شکل ۸ بهبود نسبی هزینه کلی تبادل داده نرمال شده مکانیزم‌های CEMMO [۱۴] و MCO را نسبت به مکانیزم صرفاً DTO نشان می‌دهد. وقتی که β/α کوچک است ($\beta/\alpha = 0.1$)، MCO ۹٪ نسبت به DTO بهبود دارد. با افزایش نسبت β/α ، به دلیل پرداخت هزینه مازاد به کاربران واسطه‌گر، هزینه‌های PAO نسبت به DTO با شیب تندتری افزایش پیدا می‌کند و تفاوت بین هزینه‌ها کاهش می‌یابد اما بهبود نسبی هزینه‌ها در سناریو $MCO(\text{weighting:}W3)$ در $\beta/\alpha = 0.3$ نسبت به DTO، ۶٪ افت داشته است. با افزایش β/α ، هزینه استفاده از DTO نیز بیشتر می‌شود و هزینه روش‌های DTO و PAO رو به همگرایی می‌روند. در $\beta/\alpha = 0.5$ مکانیزم پیشنهادی برای سناریوهای $MCO(\text{weighting:}W1)$ و $MCO(\text{weighting:}W2)$ هزینه مشابهی با روش DTO دارد و در سناریو $MCO(\text{weighting:}W3)$ بهبود نسبی هزینه کل نرمال شده دو درصد نسبت به DTO افت داشته است.

۳-۶-۳ سنجش تأثیر تحمل تأخیر کاربران بر میزان برون‌سپاری

با فرض نرخ پوشش WiFi برابر با ۱۵٪، در شکل ۹ بهبود نسبی برون‌سپاری مکانیزم‌های مختلف نسبت به OTSO در سه سناریو تحمل تأخیر کم، متوسط و زیاد (مطابق با مقادیر جدول ۵) نشان داده شده است. مکانیزم $MCO(\text{weighting:}W3)$ ، CEMMO [۱۴] و DTO به ترتیب ۷۳٪، ۶۲٪ و ۵۷٪ بهبود در برون‌سپاری داده برای نوع تحمل تأخیر زیاد نسبت به روش OTSO داشته‌اند. از لحاظ بهبود حجم برون‌سپاری نسبت به OTSO، مکانیزم $MCO(\text{weighting:}W3)$ در سناریوهای تحمل تأخیر بزرگ، متوسط و کوچک با ۷۳٪، ۶۵٪ و ۴۳٪ بهبود، بهترین عملکرد را در میان مکانیزم‌های مورد بررسی داشته است. میزان تحمل تأخیر کاربران بر میزان نسبت برون‌سپاری تأثیر مستقیم

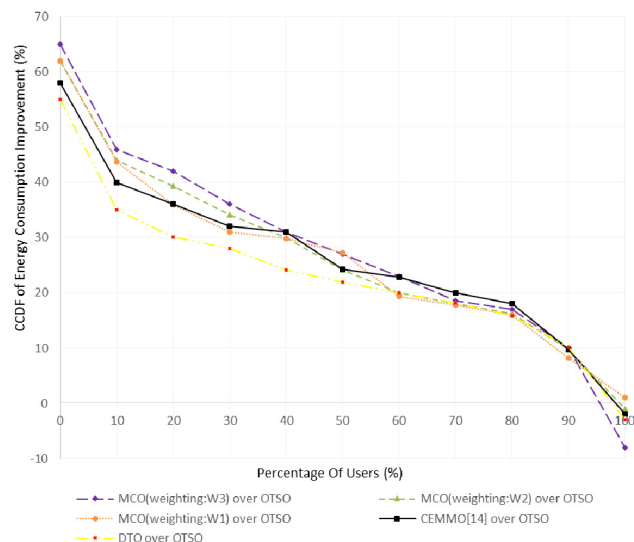
کاربران و اپراتور شبکه سلولی است. مکانیزم پیشنهادی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS و با توجه به توازن از ترجیحات اپراتور و کاربران اقدام به انتخاب کارآمدترین روش تبادل داده می‌کند. کارایی مکانیزم پیشنهادی در سناریوهایی با انواع مختلف ترافیک و تحمل تأخیر ارزیابی شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته افزایش حجم قابل برون‌سپاری، کاهش مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های مالی اپراتور سلولی مکانیزم پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های دیگر نشان می‌دهد. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که علاوه بر مزیت‌های ذکر شده، کل انرژی مصرفی توسط کاربرانی که در مکانیزم پیشنهادی مشارکت می‌کنند کمتر از ارسال مستقیم از طریق شبکه سلولی (۳G) است.

موارد زیر را می‌توان به عنوان کارهای آینده مورد مطالعه قرار داد:

- (۱) تعمیم مکانیزم پیشنهادی در حضور چندین اپراتور سلولی.
- (۲) مطالعه حالتی که اپراتور شبکه مکمل از اپراتور شبکه سلولی مجزا باشد که در این حالت تعامل اقتصادی این دو اپراتور می‌بایست مطالعه شود.
- (۳) امکان استفاده از سایر تکنولوژی‌های شبکه مکمل مانند فمتوسل در مکانیزم پیشنهادی.

مراجع

- [1] Cisco Visual Networking Index, *Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021*, White Paper, 2017.
- [2] K. Lee, J. Lee, Y. Yi, I. Rhee, and S. Chong, "Mobile data offloading: how much can WiFi deliver?," *IEEE Trans. Netw.*, vol. 21, no. 2, pp. 536-551, Apr. 2013.
- [3] J. Roh, Y. Ji, Y. G. Lee, and T. Ahn, "Femtocell traffic offload scheme for core networks," in *Proc. 4th IFIP Int. Conf. on New Technologies, Mobility and Security, NTMS'11*, 5 pp., Paris, France, 7-10 Feb. 2011.
- [4] S. M. S. Nirjan, A. Nicoara, C. H. Hsu, J. Singh, and J. Stankovi, "MultiNets: policy oriented real-time switching of wireless interfaces on mobile devices," in *Proc. IEEE 18th Real-Time and Embedded Technology and Applications Symp., RTAS'12*, pp. 251-260, Beijing, China, 16-19 Apr. 2012.
- [5] T. Pering, Y. Agarwal, R. Gupta, and R. Want, "CoolSpots: reducing the power consumption of wireless mobile devices with multiple radio interfaces," in *Proc. 4th Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys'06*, pp. 220-232, Uppsala, Sweden, 19-22 Jun. 2006.
- [6] S. Liu and A. Striegel, "Casting doubts on the viability of WiFi offloading," in *Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Cellular Networks*, pp. 25-30, Helsinki, Finland, 13-13 Aug. 2012.
- [7] F. Rebecchi, et al., "Data offloading techniques in cellular networks: a survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 580-603, Secondquarter 2015.
- [8] M. H. Cheung and J. Huang, "Optimal delayed WiFi offloading," in *Proc. 11th Int. Symp. on Modeling & Optimization in Mobile, Ad Hoc & Wireless Networks, WiOpt'13*, pp. 564-571, May 2013.
- [9] F. Mehmeti and T. Spyropoulos, "Performance analysis of mobile data offloading in heterogeneous networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 16, no. 2, pp. 482-497, Feb. 2017.
- [10] M. Amani, A. Aijaz, N. Uddin, and H. Aghvami, "On mobile data offloading policies in heterogeneous wireless networks," in *Proc. IEEE 77th Vehicular Technology Conf.*, 5 pp., Dresden, Germany, 2-5 Jun. 2013.
- [11] M. R. Ra, et al., "Energy-delay tradeoffs in smartphone applications," in *Proc. of the 8th Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services*, pp. 255-270, San Francisco, CA, USA, 15-18 Jun. 2010.
- [12] V. F. Mota, D. F. Macedo, Y. Ghamri-Doudanez, and J. M. S. Nogueira, "Managing the decision-making process for opportunistic mobile data offloading," in *Proc. IEEE Network Operations and Management Symp., NOMS'14*, 8 pp., Krakow, Poland, 5-9 May 2014.
- [13] S. Dimatteo, P. Hui, B. Han, and V. Li, "Cellular traffic offloading through wi-fi Networks," in *Proc. IEEE 8th Int. Conf. on Mobile*



شکل ۱۲: مکمل تابع توزیع تجمعی (CCDF) بهبود مصرف انرژی مکانیزم‌های برون‌سپاری مختلف نسبت به OTSO.

تحمل تأخیر، بهبود نسبی مصرف انرژی نسبت به OTSO برای همه مکانیزم‌ها افزایش می‌یابد. روش PAO به کار گرفته شده در مکانیزم‌های MCO و [۱۴] CEMMO، انرژی اضافه‌ای را بابت انتقال داده نقطه به نقطه استفاده می‌کند. لیکن به دلیل عدم نیاز به تبادل داده از شبکه سلولی، میزان انرژی مصرفی در مجموع کاهش پیدا می‌کند. مکانیزم MCO در تمامی سناریوهای وزن‌دهی معیارها (مطابق جدول ۶) و تحمل تأخیر (مطابق جدول ۵) از سایر روش‌ها مانند DTO و [۱۴] CEMMO بهبود نسبی بیشتری دارند به طوری که MCO (weighting:W3) برای ترافیک‌های با تحمل تأخیر زیاد موفق به بهبود نسبی ۵۳٪ نسبت به روش OTSO شده است. این در حالی است که در شرایط مشابه [۱۴] CEMMO و DTO به ترتیب به ۵۰٪ و ۴۹٪ درصد بهبود نسبی دست یافته‌اند.

ارزیابی بعدی مربوط به بررسی مصرف انرژی هر کاربر به صورت جداگانه است. شکل ۱۲ مکمل تابع توزیع تجمعی (ccdf) بهبود مصرف انرژی MCO، [۱۴] CEMMO و DTO نسبت به OTSO را در سناریو تحمل تأخیر زیاد (مطابق جدول ۵) ارائه می‌دهد. مطابق با نتایج شبیه‌سازی‌های صورت‌گرفته MCO (weighting:W3) نسبت به [۱۴] CEMMO برای ۶۳٪ کاربران انرژی کمتری مصرف می‌کند. با استفاده از مکانیزم MCO (weighting:W1) حدود ۴۰٪ از کاربران بیشتر از ۳۰٪ بهبود مصرف انرژی را نسبت به OTSO تجربه کرده‌اند. با استفاده از MCO (weighting:W3) همچنین ۹۱٪ کاربران مصرف انرژی کمتری نسبت به DTO داشته‌اند. مکانیزم MCO در حین بهبود فرآیند برون‌سپاری و افزایش کیفیت سرویس می‌تواند مصرف انرژی اکثریت کاربران را نیز بهبود ببخشد.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهاد کارهای آینده

در این مقاله مکانیزمی پیشنهاد شده است که می‌تواند داده‌های فراسو^۲ را از طریق سه روش برون‌سپاری کند. روش‌های ارسال داده در مکانیزم پیشنهادی عبارتند از تبادل از طریق شبکه سلولی، DTO و PAO. معیارهای مؤثر در انتخاب روش تبادل داده، ترکیبی از معیارهای منتخب

1. Complementary Cumulative Distribution Function
2. Uplink

مجید فلاح خوشبخت در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه بین الملل امام خمینی (ره) و در سال ۱۳۹۵ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات خود را از دانشگاه ارومیه دریافت نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های کامپیوتری، شبکه‌های بی‌سیم ناهمگون و الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌باشد.

صالح یوسفی مدارک کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری خود را از دانشگاه علم و صنعت ایران به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۶ اخذ نموده‌اند. ایشان از سال ۱۳۸۷ در دانشگاه ارومیه مشغول به فعالیت بوده و هم‌اکنون دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشکده برق و کامپیوتر آن دانشگاه می‌باشند. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل موارد زیر است: شبکه‌های کامپیوتری سیار و بی‌سیم، شبکه‌های نسل پنجم، تحلیل اقتصادی تعاملات ذینفعان در شبکه‌ها و ارتباطات بین خودرویی در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند.

بابک قالبساز جدی مدرک کارشناسی خود را از دانشگاه صنعتی شریف و مدارک کارشناسی ارشد را از دانشگاه‌های تهران و سین‌سیناتی، آمریکا دریافت کرده است. مدرک دکتری در "تحقیق در عملیات - فناوری اطلاعات" توسط دانشگاه جورج میسون آمریکا به ایشان اعطا شده است. از سال ۱۳۹۲ استادیار دانشکده فنی دانشگاه ارومیه و اکنون عضو گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه ارومیه است. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان مدل‌های صف، بهینه‌سازی شبکه، پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی، سیستم‌های حمل و نقل، و مدیریت زنجیره عرضه می‌باشد.

Adhoc and Sensor Systems, MASS'11, pp. 192-201, Valencia, Spain, 17-22 Oct. 2011.

- [14] I. Komnios, F. Tsapeli, and S. Gorinsky, "Cost-effective multi-mode offloading with peer-assisted communications," *Ad Hoc Networks*, vol. 25, pt. B, pp. 370-382, Feb. 2015.
- [15] L. Song, U. Deshpande, U. C. Kozat, D. Kotz, and R. Jain, "Predictability of WLAN mobility and its effects on bandwidth provisioning," in *Proc. Int. Conf. on Computer Communications. INFOCOM'06*, 13 pp. Barcelona, Spain, 23-29 Apr. 2006.
- [16] S. Scellato, M. Musolesi, C. Mascolo, V. Latora, and A. T. Campbell, "NextPlace: a spatio-temporal prediction framework for pervasive systems," in *Proc. Int. Conf. on Pervasive Computing*, pp. 159-162, San Francisco, CA, USA, 12-15 Jun. 2011.
- [17] D. Ashbrook and T. Starner, "Using GPS to learn significant locations and predict movement across multiple users," *J. Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 7, no. 5, pp. 275-286, Oct2003.
- [18] A. J. Nicholson and B. D. Noble, "BreadCrumbs: forecasting mobile connectivity," in *Proc. 14th Annual Int. Conf. on Mobile Computing and Networking, MobiCom'08*, pp. 46-57, San Francisco, CA, USA, 14-19 Sept. 2008.
- [19] A. Ishizaka and P. Nemery, *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*, Wiley, 2013.
- [20] I. Rhee, *et al.*, "On the Levy-walk nature of human mobility," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 19, no. 3, pp. 630-643, Jun. 2011.
- [21] J. Ott, E. Hyttia, P. Lassila, T. Vaegs, and J. Kangasharju., "Floating content: information sharing in urban areas," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications, PerCom'11*, pp. 136-146., Seattle, WA, USA, 21-25 Mar. 2011.
- [22] A. Rahmati and L. Zhong, "Context-for-wireless: context-sensitive energy-efficient wireless data transfer," in *Proc. 5th Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys'07*, pp. 165-178, San Juan, Puerto Rico, USA, 11-14 Jun. 2007.