

تخلیه بار تحرک آگاه با قابلیت تحمل پذیری خطا در رایانش ابری موبایل

راضیه روستایی و زینب موحدی

به کارگیری ظرفیت‌های رایانش ابری^۸ به منظور توسعه قابلیت‌های دستگاه‌های موبایل است [۱]. در واقع، دستگاه‌های متحرک می‌توانند برخی محاسبات سنگین خود را جهت اجرا به سمت ابر تخلیه^۹ نموده و پس از اجرا در ابر نتیجه را دریافت کنند. البته با توجه به شرایط شبکه دسترسی، ممکن است تنها تخلیه قسمت‌هایی از برنامه کاربردی^{۱۰} منجر به کاهش زمان^{۱۱} و انرژی مصرفی^{۱۲} جهت اجرای آن برنامه گردد. بنابراین برنامه‌ریز تصمیم باید قسمت‌هایی از برنامه را که برای تخلیه بار به سمت ابر سودمند هستند مشخص کند [۲] و [۳].

یکی از عوامل مهم در اتخاذ تصمیم تخلیه بار^{۱۳} مناسب، آگاهی از تحرک^{۱۴} می‌باشد [۴]. تحرک از دو جنبه می‌تواند بر زمان اجرا و انرژی مصرفی در فرایند تخلیه بار و در نتیجه انتخاب مؤلفه‌های^{۱۵} مناسب جهت تخلیه تأثیر بگذارد. از یک طرف، تحرک می‌تواند منجر به تغییر نقطه دسترسی^{۱۶} دستگاه موبایل و در نتیجه شرایط شبکه تحت پوشش شود. از طرف دیگر حتی در صورت حفظ نقطه دسترسی کنونی، شرایط شبکه از جمله تأخیر^{۱۷}، نوسانات تأخیر^{۱۸}، پهنای باند^{۱۹}، نرخ خطا^{۲۰} و درصد از بین رفتن بسته‌ها^{۲۱} ممکن است تحت تأثیر موقعیت دستگاه متحرک تغییر کند. بنابراین آگاهی از تحرک در اتخاذ تصمیم تخلیه بار مناسب حایز اهمیت می‌باشد.

هرچند تا کنون تحقیقاتی در زمینه تصمیم‌گیری تخلیه بار تحرک آگاه انجام شده است [۵] تا [۱۲] اما این کارها از مشکلاتی از جمله عدم استفاده از مدل تحرک مناسب، عدم لحاظ قابلیت تحمل‌پذیری خطا^{۲۲} (FT)، تخلیه یک‌جای برنامه و نادیده گرفتن دانه‌دانه‌شدگی^{۲۳} و تکرار تصمیم‌گیری در صورت تغییر شرایط شبکه بدون توجه به سربار آن رنج می‌برند. به منظور حل این چالش‌ها در این مقاله یک راه حل تصمیم‌گیری تخلیه بار تحرک آگاه ارائه شده که زنجیره مارکوف^{۲۴} شبکه‌های

چکیده: امروزه با توجه به توسعه شبکه‌ها و تکنولوژی‌های ارتباطی، اینترنت اشیا به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از فناوری اطلاعات مطرح شده است. توسعه این فناوری با توجه به محدودیت دستگاه‌های متحرک از نظر توان محاسباتی، ظرفیت باتری و حافظه با چالش‌هایی روبه‌رو می‌باشد. در راستای حل این چالش‌ها، رایانش ابری موبایل که با به خدمت گرفتن فضای ذخیره‌سازی و قدرت محاسباتی ابر، ظرفیت موبایل را برای انجام برنامه‌های کاربردی بهبود می‌بخشد، مطرح شده است. به این منظور، برخی از مؤلفه‌های برنامه کاربردی با هدف بهینه‌سازی زمان اجرا و انرژی مصرفی کل، برای اجرا به ابر تخلیه می‌شوند. با توجه به تأثیر تحرک دستگاه متحرک بر شرایط شبکه دسترسی و کیفیت اتصال، تصمیم‌گیری مؤلفه‌های مناسب جهت تخلیه به ابر باید با توجه به تحرک دستگاه انجام پذیرد. تا کنون روش‌های محدودی در زمینه تخلیه بار تحرک آگاه ارائه شده است. این روش‌ها از مشکلاتی از جمله عدم استفاده از مدل تحرک مناسب، عدم لحاظ قابلیت تحمل‌پذیری خطا، تخلیه یک‌جای برنامه و عدم توجه به تخلیه بار ریزدانه رنج می‌برند. در این مقاله به منظور رفع این مشکلات، یک روش تصمیم‌گیری تخلیه بار تحرک آگاه با استفاده از زنجیره مارکوف تحرک کاربر و قابلیت تحمل‌پذیری خطا ارائه شده است. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش اخیر مطرح در این زمینه تا ۷۵٪ در زمان اجرا و ۶۵٪ در انرژی مصرفی جهت اجرای برنامه کاربردی بهبود ایجاد می‌کند.

کلیدواژه: رایانش ابری موبایل، تخلیه بار، تحرک، قابلیت تحمل‌پذیری خطا.

۱- مقدمه

در راستای پیشرفت سریع تکنولوژی موبایل، قابلیت دستگاه‌های متحرک از جمله حسگرها^۱، گوشی‌های هوشمند^۲، تبلت‌ها^۳ و کامپیوترهای قابل حمل^۴ رشد قابل توجهی یافته است. اما با وجود محبوبیت زیاد کنونی این دستگاه‌ها توسعه کاربردهای آنها با محدودیت منابعی مانند توان پردازش، حافظه و ظرفیت باتری روبه‌رو می‌باشد. به عنوان نمونه، پردازش تصویر^۵، پردازش گفتار^۶ و مسیریابی^۷ از کاربردهای نیازمند به منابع قابل توجه از دستگاه می‌باشد. یکی از رویکردهای مهم برای حل این چالش‌ها،

این مقاله در تاریخ ۱۰ دی ماه ۱۳۹۵ دریافت و در تاریخ ۲۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ بازنگری شد.

راضیه روستایی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (email: r_roostaei@iust.ac.ir)

زینب موحدی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (email: zmovahedi@iust.ac.ir)

1. Sensor
2. Smart Phone
3. Tablet
4. Laptop
5. Image Processing
6. Speech Processing
7. Navigation

8. Cloud Computing
9. Offload
10. Application
11. Execution Time
12. Energy Consumption
13. Offloading
14. Mobility
15. Component
16. Access Point
17. Delay
18. Jitter
19. Bandwidth
20. Fault Rate
21. Packet Loss
22. Fault Tolerance
23. Granularity
24. Markov Chain

است که موبایل بتواند یک نقطه دسترسی و یک ابر مناسب را برای تخلیه بار بر اساس نیازمندی‌های کیفیت سرویس (QoS)^۷ کاربرد انتخاب کند. به این منظور، دستگاه موبایل در بازه‌های زمانی دوره‌ای به جستجوی شبکه‌های در دسترس پرداخته و بر اساس بار نسبی آن شبکه‌ها^۸ (RNL)، بهترین شبکه را برای اتصال انتخاب می‌کند. سپس به جستجو و انتخاب محیط‌های ابری در بازه‌های زمانی معین می‌پردازد و کیفیت سرویس‌های مربوط به آنها را بر اساس پارامترهایی مانند نوع نرم‌افزار کاربردی، میزان مشغول بودن واحد پردازش مرکزی^۹، حافظه مصرفی و عملکرد ورودی/خروجی رتبه‌بندی می‌کند. سپس با مقایسه کیفیت سرویس مورد نیاز و کیفیت سرویس ابرهای در دسترس و احتساب هزینه استفاده از هر ابر، محیط ابری مطلوب را انتخاب می‌کند. این مقاله به تصمیم‌گیری تخلیه بار و شکستن پردازش به قطعات کوچک‌تر توجهی ندارد و با فرض انجام تخلیه بار سعی در حفظ اتصال دارد.

در [۸] امکان دسترسی هم‌زمان دستگاه متحرک به شبکه‌های مختلف از جمله شبکه‌های موبایل و بی‌سیم محلی تحت تأثیر تحرک مورد توجه قرار می‌گیرد. به عبارتی، زمانی که دستگاه در محدوده پوشش دو شبکه قرار می‌گیرد شرایط شبکه‌های در دسترس با توجه به نیازمندی پردازش‌های در حال اجرا سنجیده شده و در صورت لزوم برخی پردازش‌ها به شبکه دیگر دگرسپاری خواهند شد. در این مقاله، ارسال یک جای کل پردازش بر روی ابر مد نظر بوده و از این جهت ممکن است نسبت به روش‌های مبتنی بر تخلیه برخی مؤلفه‌های پردازش بهینه نباشد. در ضمن، احتمال قطعی و تأثیر تحرک بر شرایط شبکه در حین فرایند تخلیه بار در نظر گرفته نشده است.

در [۹] سرویس‌دهنده ابری مناسب جهت تخلیه بار بر اساس فاصله تا دستگاه متحرک و با توجه به تاریخچه حرکت دستگاه انتخاب می‌گردد. در این راستا، نمودار مکان-زمان^{۱۰} دستگاه متحرک در طول زمان ثبت شده و نزدیک‌ترین ابر به مرکزیت نقاط طی شده در گذشته که امکان انجام پردازش مربوط را با کیفیت مورد نظر دارد جهت تخلیه بار انتخاب می‌شود. در نهایت، تصمیم‌گیری مؤلفه‌های مناسب جهت تخلیه بار با فرض تخلیه روی سرویس‌دهنده انتخابی انجام می‌گردد. با وجود این که در این روش سرویس‌دهنده مناسب جهت تخلیه بار با در نظر گرفتن تحرک پیش‌بینی می‌شود پارامترهای شبکه‌ای از جمله تأخیر، نوسانات تأخیر و پهنای باند که تحت تأثیر تحرک تغییر می‌کنند در تصمیم‌گیری در نظر گرفته نشده است. به علاوه از آنجایی که سرویس‌دهنده‌های دورتر ممکن است به لحاظ قدرت پردازش به طور قابل ملاحظه‌ای از سرویس‌دهنده‌های نزدیک بهتر باشند ممکن است معیار انتخاب ابر در این روش منجر به زمان اجرا و انرژی مصرفی بهینه نگردد.

در [۱۱] نمودار تحرک دستگاه بر اساس پیشینه تحرک آن با یک زنجیره مارکوف مدل شده و بهینگی تصمیم‌گیری تخلیه بار با در نظر گرفتن احتمال عبور دستگاه از مسیرهای مختلف به دست می‌آید. به این منظور، زمان اجرای برنامه با فرض تخلیه کامل آن و در نظر گرفتن

ملاقات شده کاربر را در مسیرهای احتمالی مختلف بر اساس تجربه کاربر به دست می‌آورد. سپس با در نظر گرفتن دانه‌دانه‌شدگی و قابلیت تحمل‌پذیری خطا، تصمیم تخلیه بار مناسب را بر اساس زنجیره مارکوف تحرک کاربر، شرایط شبکه‌های ملاقات‌شده احتمالی و پروفایل تحرک کاربر در آن شبکه‌ها انتخاب می‌کند.

در ادامه به بررسی کارهای انجام‌شده در زمینه تصمیم‌گیری تخلیه بار تحرک‌آگاه پرداخته می‌شود. سپس در بخش سوم شمای پیشنهادی تخلیه بار تحرک‌آگاه با قابلیت تحمل‌پذیری خطا^۱ (MAFO) را ارائه خواهیم کرد. در بخش چهارم الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله تخلیه بار بیان شده است. معیارهای ارزیابی و نتایج به دست آمده تحت شرایط و پارامترهای مختلف در بخش پنجم به نمایش گذاشته می‌شود و در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای کارهای آینده مطرح می‌شود.

۲- کارهای پیشین

هم‌زمان با توسعه رایانش ابری موبایل، مقاله‌های مروری متعددی به بررسی و دسته‌بندی آنها پرداخته‌اند [۱]، [۴] و [۱۳] تا [۱۶]. این مقاله‌ها عمدتاً به بررسی روش‌ها و چارچوب‌های موجود بر اساس نحوه انجام تصمیم‌گیری تخلیه بار می‌پردازند. اما با توجه به نوین‌بودن روش‌های تخلیه بار تحرک‌آگاه، این روش‌ها در مقالات مروری موجود مورد بررسی قرار نگرفته‌اند و از این رو در ادامه صرفاً به بررسی روش‌های موجود تحرک‌آگاه می‌پردازیم.

روش GACO^۲ [۵] از الگوریتم ژنتیک^۳ به منظور تصمیم‌گیری تخلیه تخلیه بار جریان کاری به سمت ابر استفاده می‌کند. در این روش، سرویس‌های تشکیل‌دهنده یک جریان کاری به ژن‌ها نگاشت شده و بر اساس اجرا روی ابر یا روی دستگاه برچسب می‌خورند. مجموعه این سرویس‌ها یک کروموزوم را تشکیل می‌دهند که جواب نهایی کروموزومی خواهد بود که میزان برازندگی آن بر اساس زمان اجرا و انرژی مصرفی مناسب‌تر باشد. این مقاله به کمک مدل تحرک RWP^۴ به پیش‌بینی مدت زمان نگهداری اتصال می‌پردازد و با لحاظ آن در محاسبه زمان و انرژی مصرفی زبان‌های ناشی از تحرک را کاهش می‌دهد.

روش پیشنهادی در [۶] راه حل تخلیه بار مناسب را بر اساس میزان ریسک و سودمندی آن انتخاب می‌کند. ریسک یک راه حل تخلیه بار، تأثیرات منفی تحرک را با پیش‌بینی مؤلفه‌هایی که در صوت وقوع قطعی از دست خواهند رفت محاسبه می‌کند. سودمندی یک راه حل تخلیه بار بر اساس انرژی مصرفی و زمان اجرای آن محاسبه می‌شود. به منظور به دست آوردن راه حل مناسب از الگوریتم کلونی مورچه‌ها^۵ و یک تابع برازندگی مبتنی بر برآیند ریسک و سودمندی استفاده شده است. در این روش، چگونگی پیش‌بینی مؤلفه‌های از دست رفته در صورت وقوع قطعی مشخص نشده که با توجه به پیچیدگی پیش‌بینی زمان وقوع قطعی در شبکه، محاسبه آن مشکل به نظر می‌رسد.

روش MYCY^۶ [۷] یکی از مقاله‌های پیشتازی است که برای مدیریت تحرک در فرایند تخلیه بار، منابع شبکه و محیط‌های ابری را در نظر می‌گیرد و جستجو و انتخاب شبکه و ابر را پشتیبانی می‌کند. هدف این

1. Mobility Aware and Fault Tolerant Offloading Scheme
2. Genetic Algorithm Based Computation Offloading
3. Genetic Algorithm
4. Random Waypoint Mobility Model
5. Ant Colony
6. A Mobility Management System for Mobile Cloud Computing

7. Quality of Service
8. Relative Network Load
9. CPU
10. Location-Time Workflow

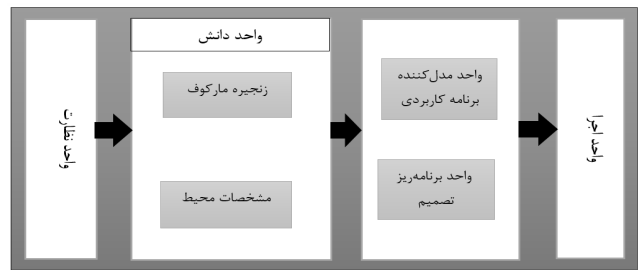
می‌پردازد. به طور خاص، این اطلاعات شامل اطلاعات مربوط به تحرک کاربر، دستگاه متحرک، برنامه کاربردی، سرویس‌دهنده ابری و شبکه موبایل می‌باشد. شبکه‌های ملاقات‌شده کاربر در طول زمان و مدت زمان توقف در هر یک از آنها به عنوان اطلاعات تحرک کاربر، سرعت واحد پردازنده مرکزی دستگاه، نرخ مصرف انرژی^۹ دستگاه متحرک در واحد زمان، نرخ مصرف انرژی در زمان ارسال / دریافت توسط دستگاه متحرک به عنوان اطلاعات مربوط به دستگاه متحرک، سرعت پردازنده سرویس‌دهنده ابر و مدت زمان انتظار در صف سرویس‌دهنده به عنوان اطلاعات مربوط به سرویس‌دهنده ابر و همچنین پهنای باند ارسال و دریافت داده به عنوان اطلاعات مربوط به شبکه جمع‌آوری می‌شوند. اطلاعات مربوط به برنامه کاربردی در بخش ۳-۳ عنوان شده است.

۳-۲ واحد دانش

این واحد به پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده توسط واحد نظارت و استخراج دانش از این اطلاعات برای استفاده در الگوریتم تصمیم‌گیری تخلیه بار می‌پردازد. به طور خاص، این دانش شامل زنجیره مارکوف تحرک کاربر، پروفایل توقف کاربر در شبکه‌های ملاقات‌شده و پهنای باند متوسط این شبکه‌ها می‌باشد. زنجیره مارکوف تحرک بر پایه تجربه کاربر، مسیرهای محتمل عبور کاربر را به صورت شبکه‌های ملاقات‌شده در هر مسیر مدل می‌کند. این زنجیره برای پیش‌بینی تحرک کاربر در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای هر یک از شبکه‌های موجود روی زنجیره مارکوف، مدت زمان توقف کاربر در آن شبکه و پهنای باند آن بر مبنای تجربه قبلی کاربر استخراج و بر روی زنجیره مارکوف پروفایل می‌شود. پهنای باند متوسط شبکه‌ها بر اساس متوسط گذردهی تجربه‌شده کاربر در ملاقات‌های قبلی آن شبکه به دست می‌آید. شکل ۲ یک نمونه زنجیره مارکوف استخراج‌شده توسط واحد دانش را که روی آن مدت زمان توقف کاربر در هر شبکه و پهنای باند متوسط ارسال و دریافت داده مربوط به آن منعکس شده است نمایش می‌دهد.

۳-۳ واحد مدل‌کننده برنامه کاربردی

با توجه به این که تخلیه کل برنامه کاربردی ممکن است بهینه نباشد، برنامه به مؤلفه‌هایی شکسته می‌شود که ممکن است هر یک در دستگاه متحرک یا ابر اجرا گردند. شکستن برنامه به ریزمؤلفه‌ها می‌تواند به دو صورت پویا و ایستا انجام شود. در شکستن پویا، برنامه با توجه به شرایط زمان اجرا شکسته می‌شود و این در حالی است که شکستن ایستا از پیش تعریف شده و در زمان پیاده‌سازی برنامه انجام شده است [۱۸]. واحد مدل‌کننده برنامه کاربردی، گراف رابطه^{۱۰} مؤلفه‌های برنامه کاربردی را بر اساس سطح دانه‌دانه‌شدگی از پیش تعریف شده مدل می‌کند. دانه‌دانه‌شدگی یک برنامه می‌تواند در سطوح مختلفی از جمله کلاس^{۱۱}، تابع^{۱۲}، شیء^{۱۳}، سرویس و مؤلفه تعریف شود که در روش پیشنهادی به منظور امکان تعمیم‌پذیری به هر یک از سطوح ممکن، دانه‌دانه‌شدگی در سطح مؤلفه در نظر گرفته شده است. بر این اساس، هر رأس گراف برنامه نماینده یک مؤلفه برنامه و یال بین دو رأس مشخص‌کننده فراخوانی بین دو مؤلفه مجاور می‌باشد. در گراف رابطه استخراج‌شده، هر رأس بر اساس



شکل ۱: شمای پیشنهادی تخلیه بار.

احتمال حرکت در هر یک از شاخه‌های زنجیره مارکوف محاسبه می‌شود. سپس این زمان با زمان اجرای محلی روی دستگاه مقایسه شده و در صورت بهینگی، کل برنامه برای اجرا به سوی ابر تخلیه خواهد شد. در روش پیشنهادی این مقاله، احتمال قطعی و تغییر شرایط شبکه تحت تأثیر تحرک و همچنین دانه‌دانه‌شدگی برنامه کاربردی در نظر گرفته نمی‌شود. در [۱۷] یک راه حل تخلیه بار تحرک آگاه ارائه شده که از مزایای شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار^۱ برای مدیریت تحرک و کاهش زمان پاسخ بهره می‌برد. هدف مقاله داشتن تخلیه بار یکپارچه حین تحرک کاربر بین شبکه‌های بی‌سیم مختلف است. راه حل ارائه‌شده برای رسیدن به این هدف از کنترل‌کننده شبکه و ذخیره‌سازی از راه دور^۲ استفاده می‌کند.

۳-۳ شمای پیشنهادی تخلیه بار تحرک آگاه با قابلیت تحمل‌پذیری خطا (MAFO)

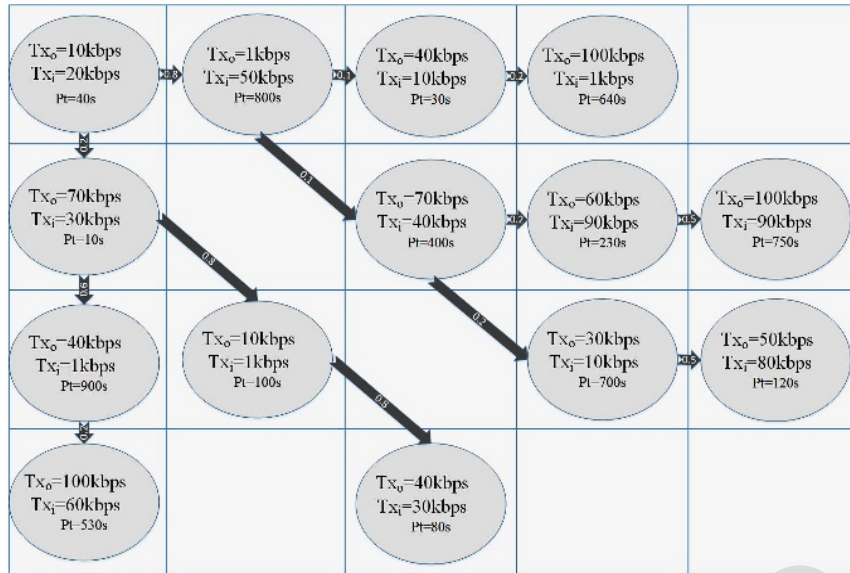
همان طور که در بخش پیشین اشاره شد کارهای انجام‌شده در زمینه تخلیه بار تحرک آگاه از مشکلاتی از جمله عدم استفاده از مدل تحرک مناسب، عدم وجود قابلیت تحمل‌پذیری خطا و تخلیه یک‌جای برنامه به جای استفاده از دانه‌دانه‌شدگی رنج می‌برند. برای حل این چالش‌ها در این بخش به ارائه یک راه حل تخلیه بار تحرک آگاه تحمل‌پذیر خطا می‌پردازیم که اطلاعات شبکه و تحرک کاربر را در طول زمان جمع‌آوری نموده و بر این اساس زنجیره مارکوف و پروفایل شبکه‌های ملاقات‌شده توسط کاربر و همچنین مدت زمان توقف^۳ در هر یک از شبکه‌ها را پیش‌بینی می‌کند. سپس مؤلفه‌های مناسب جهت تخلیه بار را با در نظر گرفتن احتمال عبور از مسیرهای مختلف پیش‌بینی شده روی زنجیره مارکوف و با لحاظ امکان وقوع قطعی در حین تخلیه بار، اجرا روی ابر و بازگشت نتایج به دستگاه متحرک انتخاب می‌کند. با توجه به پیچیدگی این تصمیم‌گیری، انتخاب مؤلفه‌های مناسب جهت تخلیه به ابر با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت می‌پذیرد. شکل ۱ نمایی از شمای پیشنهادی را نشان می‌دهد. مطابق شکل، این چارچوب از ۵ واحد به نام‌های واحد نظارت^۴، دانش^۵، مدل‌کننده مدل‌کننده برنامه کاربردی^۶، برنامه‌ریز تصمیم^۷ و اجرا^۸ تشکیل شده که در ادامه به توضیح هر یک می‌پردازیم.

۳-۱ واحد نظارت

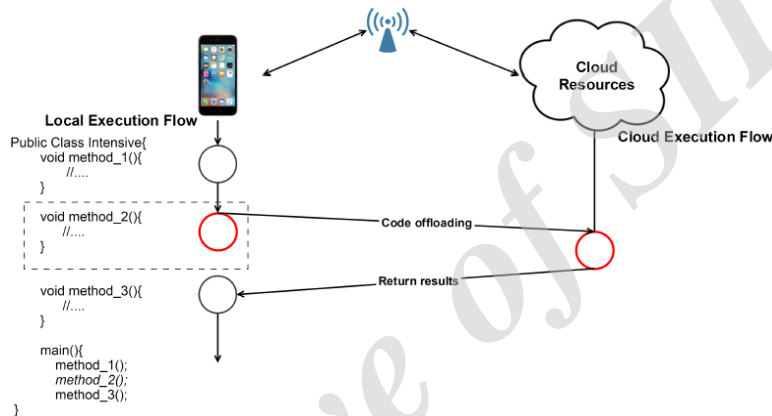
این واحد به جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری تخلیه بار

1. Software Defined Networking
2. Remote Caching
3. Pause Time
4. Monitor Module
5. Knowledge Module
6. Modeler Module
7. Decision Planner
8. Execution Module

9. Energy Consumption Rate
10. Relation Graph
11. Class
12. Method
13. Object



شکل ۲: نمونه زنجیره مارکوف پروفایل شده توسط واحد دانش.



شکل ۳: نمونه یک برنامه کاربردی و گراف رابطه مؤلفه‌ها [۱۹].

تأخیری در زمان اجرای کاربرد اعمال نمی‌کند. خروجی واحد برنامه‌ریز تصمیم به صورت $[a_1, a_2, \dots, a_n]$ نمایش داده می‌شود که در آن n نشان‌دهنده تعداد مؤلفه‌ها و a_i نشان‌دهنده محل اجرای مؤلفه i ام برنامه می‌باشد که در صورت اجرای محلی مقدار صفر و اجرای بر روی ابر مقدار یک خواهد داشت. نحوه عملکرد واحد برنامه‌ریز تصمیم به طور کامل در بخش ۴ توضیح داده خواهد شد.

۳-۵ واحد اجرا

این واحد، هر یک از مؤلفه‌های برنامه کاربردی را بر اساس تصمیم اتخاذ شده توسط واحد برنامه‌ریز تصمیم به صورت محلی اجرا یا به سوی ابر تخلیه می‌کند.

۴- الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله تخلیه بار در واحد برنامه‌ریز تصمیم

در این قسمت به تشریح الگوریتم پیشنهادی در واحد برنامه‌ریز تصمیم برای حل مسئله تخلیه بار با در نظر گرفتن تحرک و قابلیت تحمل‌پذیری خطا پرداخته می‌شود. از آنجایی که زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای مؤلفه g بر روی ابر به شرایط شبکه تحت پوشش بستگی دارد، تأثیر مسیر عبوری دستگاه متحرک و احتمال وقوع قطعی در حین مسیر در محاسبه زمان و انرژی مصرفی اجرای مؤلفه g لحاظ می‌شود. با توجه به این که دستگاه متحرک بنا به احتمالی ممکن است هر یک از مسیرهای

تعداد دستورالعمل‌های مربوط به آن و هر یال بر اساس اندازه داده فراخوانی شده بین دو مؤلفه مجاور وزن‌دهی می‌شود. بنابراین اطلاعات مورد نیاز از برنامه کاربردی جهت تصمیم‌گیری تخلیه بار شامل گراف رابطه مؤلفه‌های برنامه کاربردی و به ازای هر مؤلفه تعداد دستورالعمل‌های موجود جهت اجرا، مقدار داده مورد نیاز برای ارسال هر مؤلفه در صورت تصمیم به تخلیه بار آن مؤلفه و میزان داده خروجی دریافت شده از ابر پس از اجرای مؤلفه می‌باشد. شکل ۳ نمونه‌ای از یک برنامه کاربردی و گراف رابطه آن را بر اساس سطح داده‌دانه‌شدگی تابع نشان می‌دهد.

۳-۴ واحد برنامه‌ریز تصمیم

این واحد، مسئول تصمیم‌گیری اجرای محلی یا بر روی ابر هر یک از مؤلفه‌های برنامه کاربردی با هدف بهینه‌سازی زمان و انرژی مصرفی اجرای کل برنامه می‌باشد. به این منظور، این واحد بر مبنای گراف رابطه برنامه کاربردی محل اجرای مؤلفه‌های آن را بر اساس الگوریتم ژنتیک و با لحاظ اطلاعات استخراج شده توسط واحد دانش انتخاب می‌کند. در واقع، زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای برنامه با استفاده از زنجیره مارکوف پروفایل شده تحرک کاربر و امکان وقوع خطا در حین تخلیه بار محاسبه می‌شود. با توجه به این که زنجیره مارکوف به کمک تجربه قبلی کاربر یعنی اطلاعات به دست آمده از مسیرهای عبوری توسط وی استخراج می‌شود، حساس به نوع کاربرد نیست. همچنین با توجه به این که استخراج زنجیره مارکوف قبل از تصمیم‌گیری و اجرای برنامه صورت می‌گیرد،

جدول ۱: شرح علائم اختصاری.

شرح	نماد
تابع برازندگی یک کروموزوم	F_{ch}
برازندگی ژن g	f_g
انرژی مصرفی جهت اجرای ژن g بر روی ابر	e_g^{remote}
انرژی مصرفی در صورت اجرای محلی ژن g	e_g^{local}
زمان اجرای ژن g بر روی ابر	t_g^{remote}
زمان اجرا در صورت اجرای محلی ژن g	t_g^{local}
زمان اجرای مؤلفه g روی ابر در صورت انتخاب مسیر i	$t_{g,i}^{remote}$
انرژی مصرفی جهت اجرای مؤلفه g روی ابر در صورت انتخاب مسیر i	$e_{g,i}^{remote}$
فاکتور حذف کننده	x_g
تعداد دستورات برنامه کاربردی مرتبط با آن مؤلفه	Wl_g
سرعت واحد پردازنده مرکزی دستگاه متحرک	c_m
احتمال انتخاب مسیر $path_i$	$P(path_i)$
پهنای باند ارسال ایستگاه پایه	Tx_i
پهنای باند ارسال ایستگاه پایه در شبکه جدید	Tx'_i
پهنای باند دریافت ایستگاه پایه	Tx_o
پهنای باند دریافت ایستگاه پایه در شبکه جدید	Tx'_o
مقدار داده ورودی	d_i
مقدار داده ارسال شده تا وقوع قطعی	d'_i
مقدار داده خروجی	d_o
مقدار داده دریافت شده تا وقوع قطعی	d'_o
زمان توقف دستگاه متحرک در شبکه کنونی	Pt
نرخ مصرف انرژی دستگاه متحرک حین آپلود در واحد زمان	P_m^{up}
نرخ مصرف انرژی دستگاه حین دانلود در واحد زمان	P_m^{down}
نرخ مصرف انرژی دستگاه متحرک در واحد زمان	P_m
مدت زمان بازگشت از قطعی و اتصال مجدد به شبکه	R^*
سرعت پردازنده سرویس دهنده	c_c
مدت زمان انتظار مؤلفه در صف سرویس دهنده	Q_c

بر نسبت برازندگی آن ژن به کل کروموزوم دچار جهش شوند. این روند تا زمانی که میزان تکرار الگوریتم به حد از پیش تعیین شده‌ای نرسیده باشد و یا این که در تکرارهای متوالی بهبودی نسبت به حالت‌های قبل ایجاد نشود، تکرار می‌شود. در نهایت، بهترین جوابی که به دست آمده باشد به عنوان خروجی این الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱ و شکل ۴ به ترتیب فهرست علائم اختصاری استفاده شده در مدل‌سازی مسئله تخلیه بار و شبه کد الگوریتم پیشنهادی برای حل این مسئله نمایش داده شده است.

با توجه به اهمیت تابع برازندگی مورد استفاده در اتخاذ تصمیم بهینه تخلیه بار با در نظر گرفتن تحرک دستگاه و قابلیت تحمل‌پذیری خطا، جزئیات تابع برازندگی پیشنهادی در ادامه به طور مفصل آورده شده است. همان‌طور که پیشتر گفته شد، انتخاب بهترین جفت کروموزوم‌ها جهت تولید نسل بعد و همچنین میزان احتمال جهش یک ژن بر اساس یک تابع برازندگی صورت می‌پذیرد. این تابع، برازندگی یک کروموزوم یا ژن را به صورت زمان اجرا یا انرژی مصرفی مرتبط با آن کروموزوم یا ژن با در نظر گرفتن تحرک و قابلیت تحمل‌پذیری خطا محاسبه می‌کند. در روش پیشنهادی، تابع برازندگی یک کروموزوم به صورت برآیند برازندگی ژن‌های تشکیل‌دهنده آن از (۱) محاسبه می‌شود

```

1: begin
2: choose initial population
3: repeat
4: //Evaluate the individual fitness of a certain proportion of the
   population
   For each chromosome ch in population size
   For each gene in chromosome
   If gene == 0 //means it runs locally
       Fitness(gene) =  $t_g^{local} \parallel e_g^{local}$ 
   Else //it runs remotely
   For each path in markov chain {
       Fit(path) = Calculate  $t_{g,path}^{remote} \parallel e_{g,path}^{remote}$ 
   }
   Fitness(gene) =  $\sum \text{Fit}(\textit{path}) \times P_{\textit{path}}$ 
   } //end else
} //end for
chromosomeFit(ch) =  $\sum \text{Fitness}(\textit{gene})$ 
} //end for
For each chromosome ch in population size
{
   select_Probability(ch) =  $1 - \frac{\text{chromosomeFit}(\textit{ch})}{\sum_{i=1}^{\text{pop-size}} \text{chromosomeFit}(i)}$ 
}
5: Select pairs of best-ranking according to select_Probability to
   reproduce
6: Crossover operator
7: Mutation operator
For each gene g in chromosome {
    $\text{Pr}_{gen}^m(g) = \frac{f_{gen}}{\sum_{j=1} \text{length}(\text{chromosome}) f_j}$ 
}
Mute according to  $\text{Pr}_{gen}^m$ 
8: until terminating condition
9: end
    
```

شکل ۴: الگوریتم روش پیشنهادی.

منعکس شده روی زنجیره مارکوف را طی نماید، زمان و انرژی مصرف شده جهت اجرای مؤلفه g بر روی ابر بر اساس مجموع احتمال عبور از هر یک از این مسیرها محاسبه می‌شود. بنابراین زنجیره مارکوف برای محاسبه زمان و انرژی یک مؤلفه در صورت اجرا روی ابر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در انتها تصمیم تخلیه باری انتخاب می‌شود که زمان و انرژی مصرفی اجرای کل مؤلفه‌های برنامه کاربردی را بهینه سازد. با توجه به پیچیدگی این مسئله، در روش پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌نماییم که در آن هر کروموزوم شامل مجموعه مؤلفه‌های برنامه کاربردی است که هر کدام به یک ژن نگاشت شده و بر اساس محل اجرا (روی دستگاه متحرک یا ابر) برچسب زده می‌شود. جواب نهایی مسئله تخلیه بار کروموزومی است که منجر به بهترین زمان یا انرژی مصرفی جهت اجرای برنامه کاربردی شود. به منظور یافتن این جواب، در ابتدا یک جمعیت اولیه از کروموزوم‌ها به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای هر کروموزوم بر اساس یک تابع برازندگی مبتنی بر مجموع زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای همه مؤلفه‌های برنامه محاسبه می‌شود. بر اساس میزان برازندگی کروموزوم‌های جمعیت فعلی، بهترین جفت کروموزوم‌ها انتخاب گردیده و طی فرایندهای ادغام و جهش به کروموزوم‌های نسل بعد تبدیل می‌شوند. در مرحله ادغام‌کردن از ترکیب والد‌ها یک فرزند ایجاد می‌شود. همچنین در مرحله جهش ممکن است برخی از ژن‌ها بر اساس یک احتمال مبتنی

که در آن $P(path_i)$ احتمال انتخاب مسیر $path_i$ و $t_{g,i}^{remote}$ و $e_{g,i}^{remote}$ به ترتیب زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای مؤلفه g روی ابر در صورت انتخاب مسیر $path_i$ می‌باشد. با توجه به این که ارتباط دستگاه با شبکه در زمان عبور دستگاه متحرک از یک شبکه به شبکه دیگر در طول مسیر $path_i$ ممکن است با احتمالی دچار قطعی شود، این مسئله باید در محاسبه $t_{g,i}^{remote}$ و $e_{g,i}^{remote}$ مورد نظر قرار گیرد. به این منظور با توجه به این که فرایند تخلیه بار مؤلفه g در زمان وقوع قطعی در کدامیک از حالت‌های ارسال داده‌های ورودی به ابر، اجرای محاسبات در ابر یا فروگذاری نتایج محاسبه‌شده در ابر به دستگاه متحرک قرار داشته باشد، زمان و انرژی مصرفی جهت تخلیه آن مؤلفه محاسبه می‌شود.

از طرف دیگر با توجه به این که در این مقاله دستگاه‌های متحرک با استفاده از یکی از روش‌های تحمل‌پذیری خطا از جمله حالت‌برداری (Checkpointing) در صورت قطعی قادر به اجرای ادامه یک مؤلفه از آخرین نقطه قطع‌شده به جای باز شروع فرایند تخلیه بار از ابتدا هستند، زمان و انرژی مصرف‌شده در مسیر $path_i$ جهت اجرای یک مؤلفه با در نظر گرفتن قابلیت تحمل‌پذیری خطا و وضعیت پیشرفت فرایند تخلیه بار در زمان وقوع قطعی از طریق (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند که در آن P_i زمان توقف دستگاه متحرک در شبکه کنونی، d_i و d_o به ترتیب مقدار داده ورودی و خروجی، d'_i و d'_o مقدار داده ارسال و دریافت‌شده تا وقوع قطعی، Tx_i و Tx_o پهنای باند ارسال و دریافت داده، Tx'_i و Tx'_o پهنای باند ارسال و دریافت ایستگاه پایه در شبکه جدید، c_c سرعت پردازنده سرویس‌دهنده، Q_c مدت زمان انتظار مؤلفه در صف سرویس‌دهنده و R^* مدت زمان بازگشت از قطعی و اتصال مجدد به شبکه می‌باشد. به عبارتی اگر زمان توقف دستگاه در شبکه فعلی کمتر از زمان لازم برای ارسال کامل داده‌های ورودی باشد قطعی در حالت ارسال ورودی صورت گرفته و زمان اجرای مؤلفه g برابر مجموع زمان‌های سپری‌شده برای انتقال داده‌های ورودی ارسال‌شده قبل از وقوع قطعی، بازگشت از قطعی، ارسال داده‌های ورودی باقیمانده به ابر، مدت انتظار در صف سرویس‌دهنده ابر، اجرای پردازش در ابر و بازگشت نتایج خروجی به دستگاه متحرک می‌باشد. به همین صورت، هر یک از سطرها بعدی فرمول به ترتیب

$$F_{ch} = \sum_{g=1}^n f_g \quad (1)$$

که در آن f_g برازندگی ژن g بوده و بر اساس معیار تصمیم‌گیری تخلیه بار از (۲) یا (۳) به دست می‌آید

$$f_g = (1 - x_g) \times e_g^{local} + x_g \times e_g^{remote} \quad (2)$$

$$f_g = (1 - x_g) \times t_g^{local} + x_g \times t_g^{remote} \quad (3)$$

که در آن x_g یک فاکتور حذف‌کننده بوده که در صورتی که ژن g برچسب اجرای محلی داشته باشد مقدار صفر و در غیر این صورت مقدار یک خواهد داشت. t_g^{local} و e_g^{local} به ترتیب زمان و انرژی مصرفی در صورت اجرای محلی ژن g و t_g^{remote} و e_g^{remote} به ترتیب زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای ژن g بر روی ابر می‌باشد. t_g^{local} و e_g^{local} بر مبنای تعداد دستورات برنامه کاربردی مرتبط با آن مؤلفه (Wl_g)، سرعت واحد پردازنده مرکزی دستگاه متحرک (c_m) و نرخ مصرف انرژی دستگاه متحرک در واحد زمان (P_m) به ترتیب از (۴) و (۵) محاسبه می‌شوند

$$t_g^{local} = \frac{Wl_g}{c_m} \quad (4)$$

$$e_g^{local} = t_g^{local} \times P_m \quad (5)$$

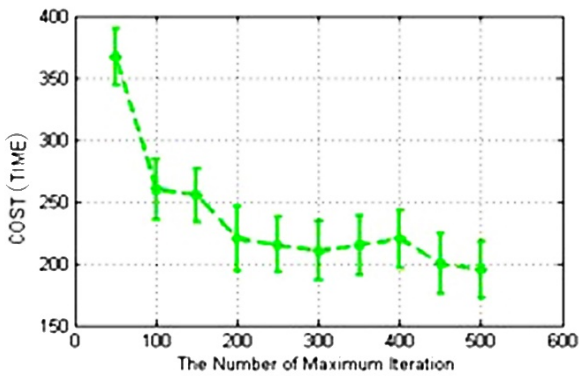
از آنجایی که زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای مؤلفه g بر روی ابر به شرایط شبکه تحت پوشش بستگی دارد، تأثیر مسیر عبوری دستگاه متحرک و احتمال وقوع قطعی در حین مسیر در محاسبه آنها لحاظ می‌شود. با توجه به این که دستگاه متحرک بنا به احتمالی ممکن است هر یک از مسیرهای منعکس‌شده روی زنجیره مارکوف را طی نماید، زمان و انرژی مصرف‌شده جهت اجرای مؤلفه g بر روی ابر بر اساس احتمال عبور از هر یک از این مسیرها به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$t_g^{remote} = \sum_i P(path_i) \times t_{g,i}^{remote} \quad (6)$$

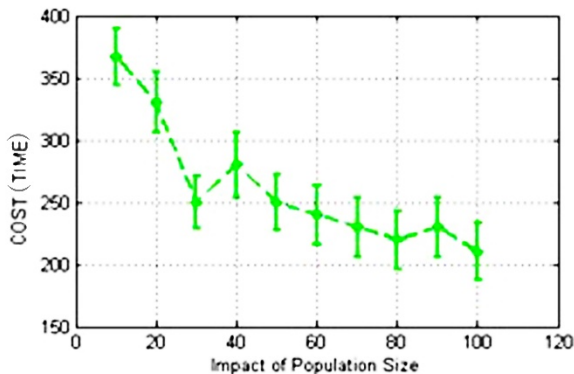
$$e_g^{remote} = \sum_i P(path_i) \times e_{g,i}^{remote} \quad (7)$$

$$t_{g,path}^{remote} = \begin{cases} \frac{d'_i}{Tx_i} + R^* + \frac{d_i - d'_i}{Tx'_i} + \frac{Wl_g}{c_g} + Q_g + \frac{d_o}{Tx'_o} & \text{if } Pt < \frac{d_i}{Tx_i} \\ \frac{d_i}{Tx_i} + R^* + \frac{Wl_g}{c_c} + Q_g + \frac{d_o}{Tx'_o} & \text{if } \frac{d_i}{Tx_i} < Pt < \frac{d_i}{Tx_i} + \frac{Wl_g}{c_g} \\ \frac{d_i}{Tx_i} + R^* + \frac{Wl_g}{c_c} + Q_g + \frac{d'_o}{Tx'_o} + \frac{d_o - d'_o}{Tx'_o} & \text{if } \frac{d_i}{Tx_i} + \frac{Wl_g}{c_g} < Pt < \frac{d_i}{Tx_i} + Q + \frac{Wl_g}{c_g} + \frac{d_o}{Tx_o} \\ \frac{d_i}{Tx_i} + Q + \frac{Wl_g}{c_g} + \frac{d_o}{Tx_o} & \text{if } Pt > \frac{d_i}{Tx_i} + Q + \frac{Wl_g}{c_g} + \frac{d_o}{Tx_o} \end{cases} \quad (8)$$

$$e_{g,path}^{remote} = \begin{cases} \frac{d'_i}{Tx_i} \times P_m^{up} + \frac{d_i - d'_i}{Tx'_i} \times P_m^{up} + \frac{d_o}{Tx'_o} \times P_m^{down} & \text{if } Pt < \frac{d_i}{Tx_i} \\ \frac{d_i}{Tx_i} \times P_m^{up} + \frac{d_o}{Tx_o} \times P_m^{down} & \text{if } \frac{d_i}{Tx_i} < Pt < \frac{d_i}{Tx_i} + \frac{Wl_g}{c_g} \\ \frac{d_i}{Tx_i} \times P_m^{up} + \frac{d'_o}{Tx'_o} \times P_m^{down} + \frac{d_o - d'_o}{Tx'_o} \times P_m^{down} & \text{if } \frac{d_i}{Tx_i} + \frac{Wl_g}{c_c} < Pt < \frac{d_i}{Tx_i} + Q + \frac{Wl_g}{c_c} + \frac{d_o}{Tx_o} \\ \frac{d_i}{Tx_i} \times P_m^{up} + \frac{d_o}{Tx_o} \times P_m^{down} & \text{if } Pt > \frac{d_i}{Tx_i} + Q + \frac{Wl_g}{c_c} + \frac{d_o}{Tx_o} \end{cases} \quad (9)$$



شکل ۵: تأثیر تعداد تکرار.



شکل ۶: تأثیر اندازه جمعیت.

۱-۵ دسته اول ارزیابی‌ها: انتخاب پارامترهای الگوریتم ژنتیک

با توجه به تأثیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک بر عملکرد دو روش GACO و MAFO، در دسته اول ارزیابی‌ها به بررسی و انتخاب بهترین مقادیر برای این پارامترها پرداخته می‌شود. به طور کلی با افزایش تعداد جمعیت اولیه و تعداد تکرار الگوریتم ژنتیک، احتمال دستیابی به نتیجه‌ای نزدیک‌تر به بهینه بیشتر می‌شود اما به موازات آن پیچیدگی و در نتیجه زمان تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد. بنابراین مقادیر بهینه این دو پارامتر مقادیری هستند که در آنها برازندگی الگوریتم نسبت به مقادیر بالاتر از آن به اندازه کافی مناسب باشد.

شکل ۵ مقدار برازندگی به دست آمده را بر اساس زمان اجرای برنامه کاربردی به ازای تعداد تکرارهای مختلف الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. از آنجایی که ارزیابی تأثیر تعداد تکرار الگوریتم ژنتیک بر برازندگی از لحاظ انرژی مصرفی نتایج مشابهی را منعکس می‌کند، از ارائه آن در ادامه خودداری شده است. به منظور دستیابی به یک نتیجه کلی، مقدار پارامترهای مرتبط با برنامه کاربردی، تحرک کاربر و شرایط شبکه به صورت تصادفی در بازه تعریف شده مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شده است.

بر اساس شکل ۵ مطابق انتظار زمان اجرای برنامه کاربردی با افزایش تعداد تکرار کاهش می‌یابد و از طرفی هرچه تعداد تکرار بیشتر باشد پیچیدگی الگوریتم بیشتر است. لذا با توجه به این که تعداد تکرار بیش از ۱۰۰ بار تأثیر قابل توجهی در مقدار برازندگی ایجاد نکرده است، این مقدار به عنوان مقدار بهینه تکرار الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۶ تأثیر اندازه جمعیت در برازندگی به دست آمده بر اساس زمان اجرای برنامه کاربردی را نشان می‌دهد. مطابق نتایج، برازندگی زمانی با افزایش اندازه جمعیت تا ۳۰ کروموزوم کاهش می‌یابد و پس از آن بهبود

جدول ۲: پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی‌ها.

پارامترهای ورودی الگوریتم ژنتیک	
تعداد تکرار الگوریتم ژنتیک	۵۰-۵۰۰
تعداد تکرار	۱۰-۱۰۰
پارامترهای ورودی روش پیشنهادی	
پهنای باند	$10^2 - 10^5$ (بایت بر ثانیه)
داده ورودی	$10^2 - 10^6$ (کیلوبایت)
تعداد دستورات برنامه کاربردی	$10^2 - 10^7$ (میلیون دستور*)
سرعت واحد پردازنده مرکزی سرویس‌دهنده	10^6 (میلیون دستور بر ثانیه)**
سرعت واحد پردازنده مرکزی دستگاه	10^4 (میلیون دستور بر ثانیه)
زمان توقف	۱۰۰-۱۰۰۰ (ثانیه)
احتمال قطعی	۰-۱۰۰
نرخ مصرف انرژی در زمان ارسال و دریافت داده	۰/۷ (مگاوات بر ثانیه)
نرخ مصرف انرژی با فرض اجرا به صورت محلی	۰/۴ (مگاوات بر ثانیه)
زمان بازگشت از قطعی	۱۰-۰/۵ (ثانیه)
تعداد تکرار آزمایش‌ها	۱۰۰۰
بازه اطمینان	%۹۵

* Millions of Instructions (MI)

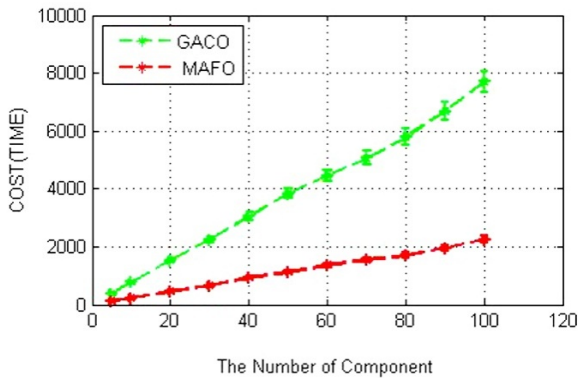
** Millions of Instructions per Second (MIPS)

حالتی را نشان می‌دهد که قطعی در زمان اجرای محاسبات بر روی ابر، فروگذاری نتایج محاسبه‌شده در ابر به دستگاه متحرک و یا پس از زمان تکمیل فرایند تخلیه بار آن مؤلفه صورت پذیرفته است.

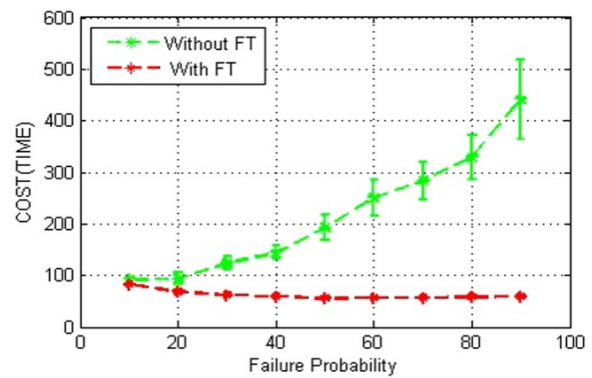
۵- ارزیابی روش پیشنهادی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، آن را در ابزار MATLAB پیاده‌سازی کرده و با روش اخیر GACO که در بخش کارهای پیشین شرح داده شده است مقایسه نمودیم. علت انتخاب روش GACO به عنوان مبنای ارزیابی‌ها، در نظر گرفتن داده‌دانه‌شدگی برنامه کاربردی و بهینگی آن نسبت به سایر روش‌ها از لحاظ پارامترهای زمان، انرژی و قطعی حاصل از تحرک در تصمیم‌گیری تخلیه بار می‌باشد. به علاوه، با توجه به هدف روش GACO در اتخاذ تصمیم‌گیری تخلیه بار با لحاظ تحرک کاربر به منظور بهینه‌سازی زمان و انرژی مصرفی اجرای برنامه کاربردی، این روش نسبت به سایر روش‌های اخیر نزدیک‌ترین رویکرد را به روش پیشنهادی دارد.

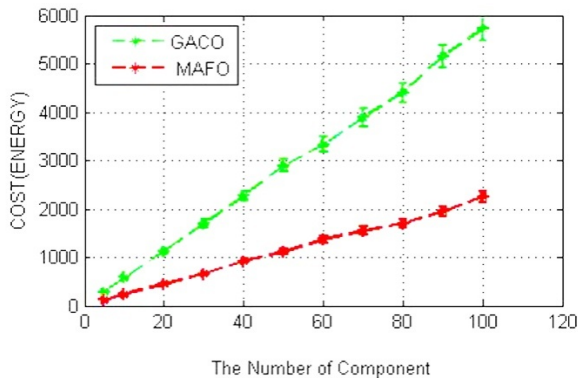
با توجه به استفاده از الگوریتم ژنتیک در روش پیشنهادی، ارزیابی‌های صورت‌گرفته در دو دسته انجام شده است. دسته اول با بررسی تأثیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک (تعداد تکرار و اندازه جمعیت) بر برازندگی دست‌یافته توسط دو روش، به انتخاب بهترین مقدار برای این پارامترها می‌پردازد. دسته دوم با استفاده از پارامترهای انتخابی الگوریتم ژنتیک به بررسی عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با روش GACO تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف برنامه کاربردی، تحرک کاربر و شرایط شبکه می‌پردازد. به این منظور، تأثیر پارامترهایی از جمله تعداد مؤلفه‌ها، اندازه داده ورودی و تعداد دستورات برنامه کاربردی، مدت زمان توقف کاربر در هر شبکه و پهنای باند مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به صورت میانگین هزار بار تکرار و با بازه اطمینان ۹۵٪ رسم شده است. جدول ۲ پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی‌ها را نمایش می‌دهد.



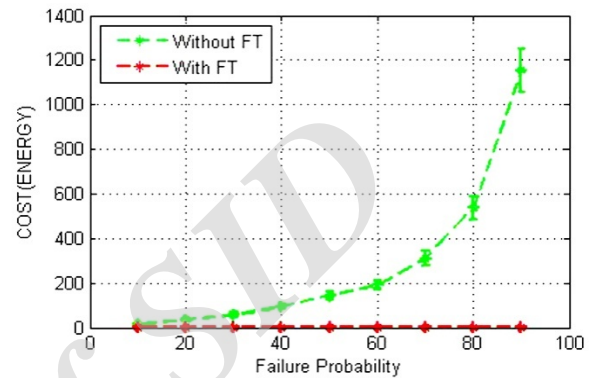
شکل ۹: تأثیر تعداد مؤلفه‌های برنامه کاربردی بر زمان اجرا.



شکل ۷: تأثیر قابلیت تحمل‌پذیری خطا بر زمان اجرا.



شکل ۱۰: تأثیر تعداد مؤلفه‌های برنامه کاربردی بر انرژی مصرفی.



شکل ۸: تأثیر قابلیت تحمل‌پذیری خطا بر انرژی مصرفی.

همان‌طور که در هر دو شکل مشاهده می‌شود با افزایش احتمال قطعی، هزینه ناشی از اجرای برنامه در صورت عدم استفاده از قابلیت تحمل‌پذیری خطا به صورت نمایی افزایش می‌یابد. علت این امر از سرگرفتن برنامه از ابتدای آن در صورت عدم استفاده از قابلیت تحمل‌پذیری خطا می‌باشد و این در حالی است که در صورت استفاده از این قابلیت، اجرای برنامه از آخرین نقطه قبل از وقوع قطعی ادامه یافته که این امر منجر به کاهش زمان و انرژی مصرفی اجرای برنامه می‌شود. مطابق هر دو شکل، تفاوت استفاده و عدم استفاده از قابلیت تحمل‌پذیری خطا با افزایش احتمال قطعی افزایش می‌یابد و در احتمال قطعی‌های پایین با توجه به خطای تصمیم‌گیری (فرض احتمال قطعی صددرصد در تصمیم‌گیری و مواجهه با احتمال قطعی پایین در واقعیت) این تفاوت قابل توجه نیست.

۲-۲-۵ ارزیابی تأثیر تعداد مؤلفه‌های برنامه کاربردی

شکل ۹ و ۱۰ زمان و انرژی مصرفی اجرای برنامه را در دو روش GACO و MAFO تحت تأثیر تعداد مؤلفه‌های موجود در برنامه کاربردی با هم مقایسه می‌کند. همان‌طور که انتظار می‌رود، زمان و انرژی مصرفی اجرای یک برنامه با افزایش تعداد مؤلفه‌های آن افزایش می‌یابد. مطابق شکل، روش پیشنهادی با توجه به پیش‌بینی مناسب تحرک و شرایط شبکه‌های مسیر و همچنین لحاظ احتمال وقوع قطعی در حین فرایند تخلیه بار عملکرد بهتری را نسبت به روش GACO مستقل از اندازه گراف از خود نشان می‌دهد. با توجه به این که در مقیاس‌های بزرگ‌تر، صحت تصمیم‌گیری از اهمیت بالاتری برخوردار می‌شود تفاوت عملکرد دو روش با افزایش تعداد مؤلفه‌ها چشم‌گیرتر می‌باشد.

۳-۲-۵ ارزیابی تأثیر اندازه داده ورودی

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به بررسی تأثیر اندازه داده فراخوانی شده بین مؤلفه‌ها بر زمان و انرژی مصرفی اجرای برنامه کاربردی به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در تصمیم‌گیری تخلیه بار می‌پردازند. همان‌طور که انتظار

قابل توجهی نشان نمی‌دهد. بنابراین در ادامه مقدار ۳۰ به عنوان اندازه جمعیت اولیه برای ارزیابی‌های آتی در نظر گرفته شده است. اندازه جمعیت نیز مانند تعداد تکرار با پیچیدگی الگوریتم رابطه مستقیمی دارد.

۲-۵ دسته دوم ارزیابی‌ها: بررسی عملکرد روش پیشنهادی

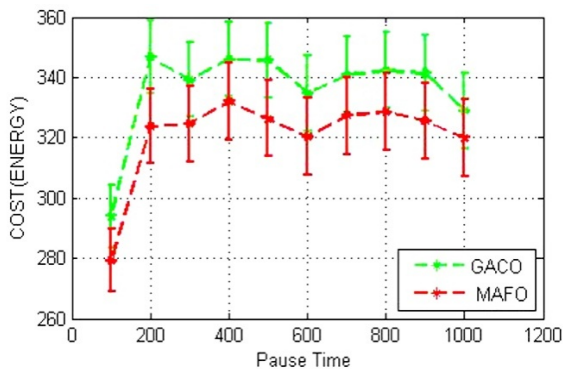
هدف از این دسته از ارزیابی‌ها، بررسی عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با روش GACO تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف برنامه کاربردی، تحرک کاربر و شرایط شبکه می‌باشد.

به این منظور در قسمت‌های زیر به ترتیب تأثیر قابلیت تحمل‌پذیری خطا با توجه به احتمال قطعی هنگام تغییر شبکه، تعداد مؤلفه‌ها، اندازه داده ورودی، تعداد دستورات برنامه کاربردی و مدت زمان توقف کاربر در هر شبکه بر زمان و انرژی مصرفی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در هر یک از این ارزیابی‌ها، به منظور حفظ استقلال نتایج نسبت به سایر پارامترهای ورودی مرتبط با برنامه کاربردی، تحرک کاربر و شرایط شبکه، مقدار این پارامترها به صورت تصادفی در بازه تعریف شده مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج قسمت قبل، اندازه جمعیت اولیه و تعداد تکرار الگوریتم ژنتیک در همه ارزیابی‌های دسته دوم به ترتیب برابر با ۳۰ و ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.

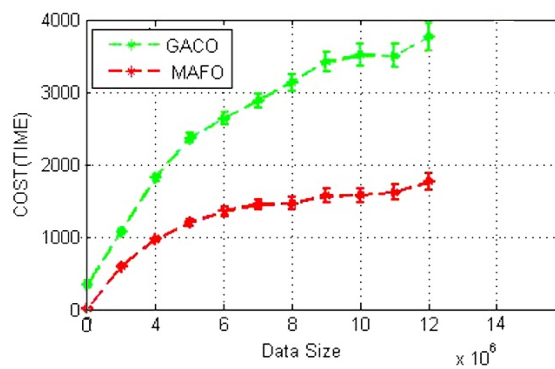
۱-۲-۵ تأثیر قابلیت تحمل‌پذیری خطا با توجه به احتمال قطعی

در این قسمت برای نشان دادن تأثیر استفاده از قابلیت تحمل‌پذیری خطا در روش پیشنهادی، نتایج زمان و انرژی مصرفی اجرای آن را در دو حالت وجود و عدم وجود قابلیت تحمل‌پذیری خطا در احتمال قطعی‌های مختلف نمایش می‌دهیم.

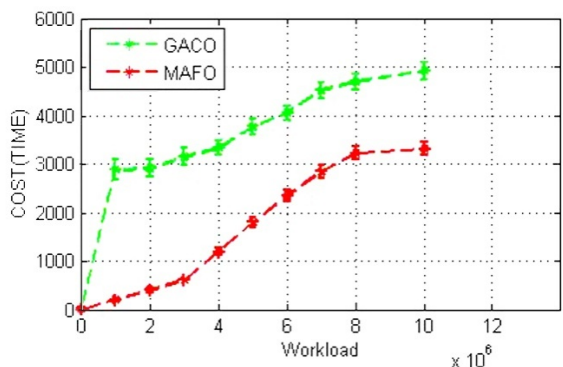
شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب زمان اجرا و انرژی مصرفی روش پیشنهادی را در دو حالت وجود و عدم وجود قابلیت تحمل‌پذیری خطا نشان می‌دهد.



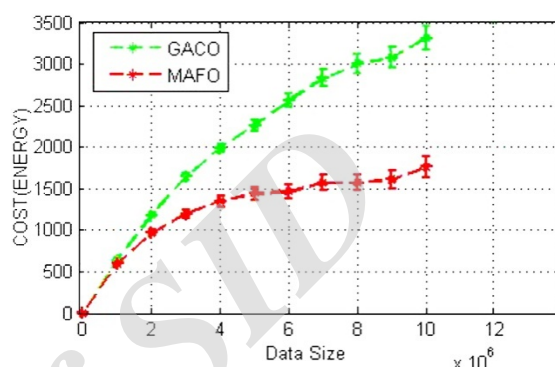
شکل ۱۴: تأثیر مدت توقف در شبکه بر انرژی مصرفی.



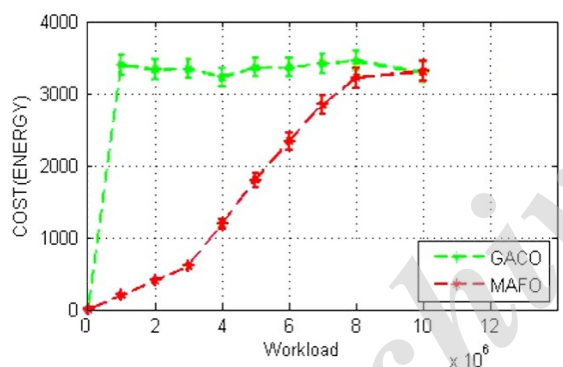
شکل ۱۱: تأثیر اندازه داده بر زمان اجرا.



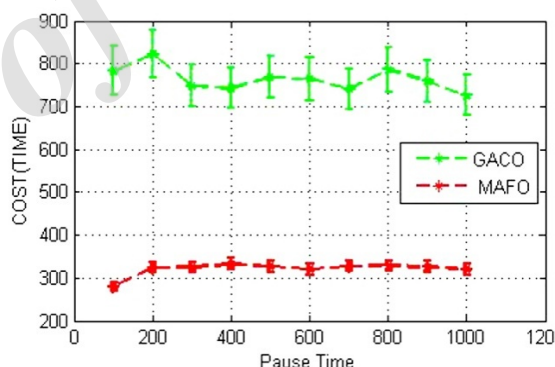
شکل ۱۵: تأثیر اندازه مؤلفه‌های برنامه کاربردی بر زمان اجرا.



شکل ۱۲: تأثیر اندازه داده بر انرژی مصرفی.



شکل ۱۶: تأثیر اندازه مؤلفه‌های برنامه کاربردی بر انرژی مصرفی.



شکل ۱۳: تأثیر مدت توقف در شبکه بر زمان اجرا.

بدیهی است که هرچه زمان توقف بیشتر باشد، قطعی اتصال کمتر و زمان کمتری مربوط به بازگشت از قطعی به زمان اجرا اضافه می‌شود. بنابراین یک روند نزولی در نمودار دیده می‌شود.

۵-۲-۵ ارزیابی تأثیر اندازه مؤلفه‌های برنامه کاربردی

شکل‌های ۱۵ و ۱۶ به بررسی تأثیر تعداد دستورات مؤلفه‌های برنامه بر زمان و انرژی مصرفی در دو روش می‌پردازند. در تمامی مقادیر، روش MAFO بهتر از روش GACO عمل می‌کند و روند هر دو روش نیز به صورت نمایی افزایش می‌یابد. زیرا هرچه اندازه مؤلفه‌های برنامه کاربردی بیشتر باشد، احتمالاً مؤلفه‌های بیشتری بر روی ابر تخلیه می‌شوند و در نتیجه آگاهی از تحرک در تصمیم‌گیری، فواید خود را به صورت بارزتر نشان می‌دهد. در اندازه‌های بالای برنامه کاربردی که در آن هر دو روش تمایل به تخلیه بار دارند، زمان و انرژی مصرفی جهت اجرای برنامه کاربردی در دو روش به هم نزدیک می‌شود.

۶- جمع‌بندی

در این مقاله روشی تحرک آگاه با قابلیت تحمل‌پذیری خطا برای تخلیه

می‌رود، هزینه هر دو روش با افزایش اندازه داده به صورت نمایی افزایش می‌یابد. مطابق شکل ۱۱ و ۱۲ روش پیشنهادی با توجه به پیش‌بینی مناسب تحرک و شرایط شبکه‌های مسیر و همچنین لحاظ احتمال وقوع قطعی در حین فرایند تخلیه بار، نسبت به روش GACO به زمان و انرژی مصرفی بهتری برای اندازه‌های مختلف داده نایل می‌آید. این برتری با افزایش اندازه داده خود را بیشتر نمایان می‌سازد زیرا با توجه به افزایش زمان ارسال داده برای داده‌های با اندازه بزرگ‌تر، هزینه تحمیلی ناشی از تصمیم‌گیری اشتباه برجسته‌تر می‌شود.

۵-۲-۴ ارزیابی تأثیر مدت زمان توقف در شبکه‌ها

شکل‌های ۱۳ و ۱۴ تأثیر مدت زمان توقف در شبکه‌های موجود در مسیر را بر زمان و انرژی مصرفی برنامه کاربردی در روش GACO و MAFO با هم مقایسه می‌کنند. همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهند روش پیشنهادی با توجه به در نظر گرفتن مناسب تحرک و احتمال قطعی در حین فرایند تخلیه بار، منجر به تصمیم‌گیری بهتر و در نتیجه زمان و انرژی مصرفی کمتری نسبت به روش GACO برای همه مدت زمان‌های توقف می‌شود.

- [6] H. Wu and D. Huang, "Modeling multi-factor multi-site risk-based offloading for mobile cloud computing," in *Proc. 10th Int. Conf. on Network and Service Management*, pp. 230-235, Rio de Janeiro, Brazil, 17-21 Nov. 2014.
- [7] K. Mitra, S. Saguna, C. Ahlund, and D. Granlund, "M2C2: a mobility management system for mobile cloud computing," in *Proc. Wireless Communications and Networking Conf.*, pp. 1608-1613, New Orleans, LA, USA, 9-12 Mar 2015.
- [8] J. Kim, Y. Morioka, and J. Hagiwara, "An optimized seamless ip flow mobility management architecture for traffic offloading," in *Proc. Network Operations and Management Symp.*, pp. 229-236, Maui, HI, USA, 16-20 Apr. 2012.
- [9] M. R. Rahimi, N. Venkatasubramanian, and A. V. Vasilakos, "Music: mobility-aware optimal service allocation in mobile cloud computing," in *Proc. IEEE 6th Int. Conf. on Cloud Computing*, pp. 75-82, Santa Clara, CA, USA, 28 Jun.-3 Jul. 2013.
- [10] A. Gani, et al., "A review on interworking and mobility techniques for seamless connectivity in mobile cloud computing," *J. of Network and Computer Applications*, vol. 43, pp. 84-102, Aug. 2014.
- [11] K. Lee and I. Shin, "User mobility model based computation offloading decision for mobile cloud," *J. of Computing Science and Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 155-162, 2015.
- [12] C. Shi, M. H. Ammar, E. W. Zegura, and M. Naik, "Computing in cirrus clouds: the challenge of intermittent connectivity," in *Proc. of the 1st Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, pp. 23-28, Helsinki, Finland, 17-17 Aug. 2012.
- [13] A. R. Khan, M. Othman, S. A. Madani, and S. U. Khan, "A survey of mobile cloud computing application models," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 393-413, First Quarter 2013.
- [14] K. Kumar, J. Liu, Y. H. Lu, and B. Bhargava, "A survey of computation offloading for mobile systems," *Mobile Networks and Applications*, vol. 18, no. 1, pp. 129-140, 2013.
- [15] A. C. Olteanu and N. Tapus, "Offloading for mobile devices: a survey," *UPB Scientific Bulletin*, vol. 76, no. 1, pp. 3-16, Feb. 2014.
- [16] S. Abolfazli, Z. Sanaei, M. H. Sanaei, and A. Gani, "Mobile cloud computing: the-state-of-the-art, challenges and future research," in *Encyclopedia of Cloud Computing*, Wiley & Sons, pp. 1-16, 2015.
- [17] W. Junior, A. Franca, K. Dias, and J. N. Souza, "Supporting mobility-aware computational offloading in mobile cloud environment," *J. of Network and Computer Applications*, vol. 94, pp. 93-108, 15 Sept. 2017.
- [18] A. ur Rehman Khan, M. Othman, and F. Xia, "Context-aware mobile cloud computing and its challenges," *IEEE Cloud Computing*, vol. 2, no. 3, pp. 42-49, May-Jun. 2015.
- [19] B. Zhou and R. Buyya, "Augmentation techniques for mobile cloud computing: a taxonomy, survey, and future directions," *ACM Computing Surveys*, vol. 51, no. 1, Article 13, Feb. 2018.

زینب موحدی مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۸۴ از دانشگاه سن دنی فرانسه و مدارک کارشناسی ارشد و دکتری خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۰ از دانشگاه پیر و ماری کوری فرانسه با امتیاز بسیار افتخار آمیز در رشته مهندسی کامپیوتر دریافت نمود. دکتر موحدی پس از آن در دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران به عنوان هیأت علمی فعالیت نمود و در طول این مدت بارها به عنوان محقق مدعو در دانشگاه پیر و ماری کوری و دانشگاه پاریس شرقی فرانسه اقامت تحقیقاتی کوتاه‌مدت گزید. زمینه‌های علمی مورد علاقه نام‌برده شبکه‌های کامپیوتری و سیستم‌های توزیعی از جمله اینترنت اشیاء، شهر هوشمند، رایانش فراگیر، رایانش ابری، رایانش لبه، رایانش ابری موبایل، ارتباطات دستگاه-به-دستگاه، شبکه‌های مبتنی بر نرم‌افزار، شبکه‌های بی‌سیم، ارتباطات و محاسبات سبز، شبکه‌های اتونومیک، مدیریت و مدل‌سازی اعتماد می‌باشد.

راضیه روستائی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی در رشته مهندسی فناوری اطلاعات و کارشناسی ارشد در رشته شبکه‌های کامپیوتری به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ از دانشگاه‌های فسا و علم و صنعت ایران به پایان رسانده و هم‌اکنون دانشجوی دکتری در رشته کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های کامپیوتری، رایانش لبه، رایانش ابری موبایل، ارتباطات دستگاه-به-دستگاه، تخلیه بار، رایانش سبز و تخصیص منابع.

بار در رایانش ابری موبایل ارائه شده است. آگاهی از تحرک از این جهت اهمیت دارد که تحت تأثیر تحرک ممکن است نقطه دسترسی و شرایط شبکه‌ای که کاربر در طول حرکت تجربه می‌کند تغییر کند. در نتیجه آگاهی از تحرک می‌تواند بهینگی تصمیم‌گیری تخلیه بار را به دنبال داشته باشد. روش‌های موجود در این زمینه از مشکلاتی از جمله عدم استفاده از مدل تحرک مناسب، عدم لحاظ قابلیت تحمل‌پذیری خطا، تخلیه یک‌جای برنامه و عدم توجه به امکان تخلیه برخی مؤلفه‌ها بر اساس سطح دانه‌دانه‌شدگی رنج می‌برند. به منظور رفع این چالش‌ها، روش پیشنهادی زنجیره مارکوف تحرک را بر اساس تجربه تحرک کاربر به دست می‌آورد. سپس زمان و انرژی مصرفی جهت اجرا بر اساس یک تابع برازندگی با لحاظ احتمال عبور از هر یک از مسیرهای پیش‌بینی شده روی زنجیره مارکوف و همچنین احتمال وقوع قطعی در حین مسیر محاسبه می‌شود. با توجه به امکان وقوع قطعی از قابلیت تحمل‌پذیری خطا استفاده شده که با از سرگیری روند اجرا از محل وقوع قطعی می‌تواند به کاهش تأثیرات منفی تحرک بر روند تخلیه بار منجر شود. نتایج مقایسه روش پیشنهادی با روش تحرک آگاه مطرح دیگر در این زمینه بر اساس پارامترهای متنوعی مانند تعداد مؤلفه‌های برنامه کاربردی، اندازه مؤلفه‌های برنامه کاربردی، اندازه داده ورودی و زمان توقف در شبکه نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند به ترتیب تا ۷۵٪ بهبود در زمان و ۶۵٪ بهبود در انرژی مصرفی جهت اجرای برنامه کاربردی ایجاد کند.

به عنوان چشم‌انداز آتی در نظر داریم بهینگی تکرار تصمیم‌گیری را در صورت تفاوت قابل ملاحظه شرایط شبکه‌های ملاقات‌شده با پیش‌بینی‌های انجام‌شده مورد بررسی قرار دهیم. البته این امر باید با لحاظ سربار مکانیزم تصمیم‌گیری و مزیت حاصل از تکرار آن صورت پذیرد. به علاوه در صورت تصمیم‌گیری مجدد، مؤلفه‌هایی که پیش از این در حال اجرا بر روی ابر و یا دستگاه متحرک بوده‌اند تأثیرات اجتناب‌ناپذیری را بر بهینگی تصمیم‌گیری جدید خواهند گذاشت که در محاسبه راه حل تخلیه بار باید مورد توجه قرار گیرد. به عنوان پیشنهاد دیگر در نظر داریم به بررسی تأثیر دگرسپاری برخی جریان‌ها به سایر شبکه‌های پیرامون با استفاده از اطلاعات کاملی که ابر شبکه دسترسی می‌تواند از کیفیت سرویس قابل ارائه و میزان بار شبکه‌های تحت مدیریت خود ارائه نماید بهره‌برداریم.

مراجع

- [1] K. Ravindranath and K. Raja Sekhara Rao, "A survey on energy aware offloading techniques for mobile cloud computing," *International J. of Computer Trends and Technology*, vol. 4, no. 7, pp. 2081-2086, Jul. 2013.
- [2] Z. Sanaei, S. Abolfazli, A. Gani, and M. Shiraz, "SAMI: service-based arbitrated multi-tier infrastructure for mobile cloud computing, SAMI: service-based arbitrated multi-tier infrastructure for mobile cloud computing," in *Proc. IEEE 1st Int. Conf. on Communications in China Workshops*, pp. 14-19, Beijing, China, 15-17 Aug. 2012.
- [3] S. Abolfazli, Z. Sanaei, M. Alizadeh, A. Gani, and F. Xia, "MOMCC: market-oriented architecture for mobile cloud computing based on service oriented architecture," in *Proc. IEEE 1st Int. Conf. on Communications in China Workshops*, pp. 8-13, Beijing, China, 15-17 Aug. 2012.
- [4] Z. Sanaei, S. Abolfazli, A. Gani, and R. K. Buyya, "Heterogeneity in mobile cloud computing: taxonomy and open challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 369-392, First Quarter 2014.
- [5] S. Deng, L. Huang, J. Taheri, and A. Y. Zomaya, "Computation offloading for service workflow in mobile cloud computing," *IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, no. 12, pp. 3317-3329, Dec. 2015.