ارائه‌ی روشی برای تخصیص قابل اطمینان منابع در رایانش ابری سیار

زهرا نجف آبادی سامانی[۱]، محمدرضا خیام‌باشی[۲]

[۱] گروه معماری کامپیوتر، دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، najafabadizahra@gmail.com
[۲] دانشیار، گروه معماری کامپیوتر، دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، M.R.Khayyambashi@eng.ui.ac.ir

چکیده

با توجه به محدودیت‌های وسایل موبایل در رایانش ابری سیار، برنامه‌های‌کاربردی با حجم بالا به محیط ابر واگذار می‌شوند. در این مقاله لایه‌ی سوم از رایانش ابری سیار استفاده می‌شود که در آن وسایل اطراف به عنوان منابع بکار گرفته می‌شوند. اما وسایل سیار به عنوان ارائه‌دهندگان منابع دارای مشکلاتی از قبیل اتصالات بی‌سیم ناپایدار، ظرفیت محدود باتری، پهنای باند کم و تغییر مکرر مکان هستند. این مشکلات می‌توانند منجر به ایجاد خطا در سیستم شوند، از این روی بهره‌گیری از روش‌های تحمل‌پذیری خطا در رایانش ابری سیار یک امر حیاتی است. در این پژوهش با استفاده از یک روش نظارتی، حالات منابع بر طبق حالات گذشته پیش‌بینی می‌شود و با توجه به ویژگی‌های وسایل موبایل و بهره‌گیری از روش تاپسیس به هر دستگاه رتبه‌ای اختصاص داده می‌شود. سپس وسایل در گروه‌هایی قرار داده می‌شوند؛ آنگاه کار به‌طور همزمان در گروه‌هایی با بالاترین درجه‌ی قابلیت اطمینان تکرار می‌شود. همچنین یک میان‌افزار واگذاری در ابر سیار طراحی و پیاده‌سازی شده است که اطلاعات زمینه‌ای را جمع‌آوری کرده، تخصیص وظایف را انجام داده و در نهایت فرایند واگذاری را مدیریت می‌کند. نتایج آزمایش، توانایی الگوریتم پیشنهادی را برای کاهش خطا در محیط واقعی رایانش ابری سیار نشان می‌دهد، بطوریکه نرخ موفقیت به طور قابل ملاحظه ای بهبود پیدا کرده است، زمان اتمام عملیات نیز کمتر شده است است و همچنین درصد کارهای شکست خورده کاهش قابل ملاحظه ای داشته است.

کلمات کلیدی

رایانش ابری سیار، تحمّل‌پذیری خطا، تحرک، قابلیت‌اطمینان، روش تاپسیس، تکرار.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در فناوری ارتباطات و مخابرات، وسایل موبایل هنوز هم با کمبود منابع (قدرت پردازشی محدود، حافظه، عمر باتری) روبرو هستند. از این روی برای غلبه بر این محدودیت منابع، واگذاری[۱] محاسبات از وسایل موبایل به ابر پیشنهاد شد[۱]. یک معماری سه لایه‌ای برای رایانش ابری سیار[۲] تعریف شده‌است که شامل سرورهای راه دور در اینترنت، سرورهای محلی[۳] و لایه‌ی سوم که متشکل از وسایل موبایل مجاوری است که در همسایگی کاربر وجود دارند (لایه محلی) می‌باشد[۱و۲]. با این حال سرورهای راه دور همیشه در دسترس نیستند و موجب ایجاد هزینه و تاخیر می‌شوند و استفاده از سرورهای محلی، قابلیت تحرک کاربران موبایل را محدود می‌سازد[۱،۴،۳]. بنابراین در این مقاله لایه-ی سوم از رایانش ابری سیار در نظر گرفته می‌شود که متشکل از وسایل موبایل مجاور است که به صورت تصادفی با یکدیگر دیدار کرده و متعلق به افراد مختلف هستند. با وجود مزیت‌های فراوان رایانش ابری سیار، مشکلاتی از قبیل اتصال بی‌سیم ناپایدار، ظرفیت محدود انرژی و تغییر مکرر مکان در وسایل موبایل به عنوان ارائه دهندگان منابع وجود دارد. لذا تحمل‌پذیری[۴] خطا در رایانش ابری سیار امری حیاتی است[۱و۶و۷و۸]. یکی از مسائل چالش برانگیز در رایانش ابری سیار، انتخاب منابع قابل اطمینان از میان وسایل موبایل مجاور برای واگذاری کار به آنها می‌باشد. علاوه براین به منظور تخصیص پویا و دقیق منابع، جمع‌آوری اطلاعات زمینه‌ای در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد تا با پیش‌بینی حالات وسایل موبایل، سیستم را در مقابل خطای ناشی از نوسانات موبایل، مقاوم سازد[۷و۶و۱]. تحرک از جمله ویژگی‌های وسایل موبایل است که موجب خطا در سیستم می‌شود. با توجه به تحقیقات پیشین، بسیاری از کاربرانِ وسایل موبایل دارای الگوی حرکت منظمی هستند[۱۱و۱۰]. در این پژوهش نیز محیط رایانش ابری سیار، محیط دانشگاه در نظر گرفته شده است که کاربران وسایل موبایل دارای الگوی حرکت منظمی هستند. بنابراین با توجه به تاریخچه‌ی حرکت، الگوی حرکت کاربران را تا حدی می‌توان پیش‌بینی نمود. از دیگر ویژگی‌ها و مشکلات وسایل موبایل ظرفیت محدود باتری است که تمام شدن انرژی

---

1 Offloading
2 Mobile Cloud Computing
3 cloudlet
4 Fault Tolerance

باتری باعث خطا در سیستم می‌شود. بنابراین باید از واگذاری کار به وسایلی با نرخ مصرف انرژی بالا یا انرژی اولیه کم اجتناب شود. یکی از روش‌های تحمل‌پذیری خطا که به صورت گسترده در سیستم‌های توزیعی استفاده می‌شود، روش تکرار[5] است. روش تکرار، کارها را در چندین وسیله تکرار می‌کند. در این پژوهش نیز برای دستیابی به تحمل‌پذیری خطا در ابر سیار از روش تکرار استفاده شده است.

در این مقاله یک روش تحمل‌پذیری خطا ارائه شده است که از یک الگوریتم تخصیص منابع با هدف بالا بردن قابلیت اطمینان[6] استفاده می‌کند و به منظور تخصیص پویای منابع، اطلاعات زمینه‌ای وسایل، برنامه‌های کاربردی و محیط را جمع‌آوری می‌کند. سپس با استفاده از روش تاپسیس[7] و اطلاعات زمینه‌ای جمع‌آوری شده، به هر دستگاه رتبه‌ای اختصاص داده می‌شود و وسایل در گروه‌هایی قرار داده می‌شوند. آنگاه کار به طور همزمان در گروه-هایی با بالاترین درجه‌ی قابلیت اطمینان تکرار می‌شود و به دستگاه با قابلیت اطمینان بیشتر تعداد زیرکار[8] بیشتری واگذار می‌شود. به گونه‌ای که وسایلی با کمترین نسبت مصرف انرژی با انرژی اولیه بالا، بیشترین شانسِ باقی ماندن در اشتراک مکانی تا پایان انجام کار و بیشترین دسترسی‌پذیری[9] بالاترین درجه‌ی قابلیت اطمینان را خواهند داشت. به‌علاوه یک میان‌افزار واگذاری آگاه به زمینه در محیط رایانش ابری سیار طراحی و پیاده‌سازی شده‌است. این میان‌افزار، اطلاعات زمینه‌ای وسایل موبایل، برنامه‌های‌کاربردی و محیط را جمع‌آوری می‌کند. سپس با توجه به اطلاعات زمینه‌ای جمع‌آوری‌شده، تخصیص وظایف را انجام می‌دهد و کل فرآیند واگذاری را مدیریت می‌کند.

۲- فعالیت‌های مرتبط

در سال‌های اخیر مرورهایی بر روی بحث واگذاری در ابرِ سیار انجام گرفته‌اند. در مرجع [۱] روش‌های مختلف واگذاری، سرویس‌های آگاه به زمینه که توانایی وسایل موبایل را افزایش می‌دهند، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین برای واگذاری در رایانش‌ابری‌سیار یک معماری سه لایه‌ای درنظر گرفته شده است: واگذاری به ابر راه دور، واگذاری به سرورهای محلی، واگذاری به وسایل موبایل مجاور.

بسیاری از محققان در رایانش ابری سیار برای واگذاری کار، وسایل مناسبی را با جمع‌آوری اطلاعات زمینه‌ای، انتخاب می‌کنند ولی در اغلب این کارها خطا و روش‌های تحمل‌پذیری خطا لحاظ نشده‌اند. در مراجع [۴و۵] روشی برای تخصیص وظایف چند هدفه در لایه‌ی سوم از رایانش ابری سیار با جمع‌آوری اطلاعات زمینه‌ای با هدف کمینه کردن دو معیار زمان و انرژی ارائه می‌کنند و برای مدیریت فرآیند واگذاری یک میان‌افزار آگاه به زمینه را ارائه می‌دهند. در مرجع [۹] هر سه لایه از رایانش ابری سیار را در نظر می‌گیرد. کارها به لایه‌ای از ابر که در دسترس است تخصیص داده می‌شوند بطوریکه زمان اجرای کل و انرژی مصرفی در میان منابع به حداقل برسد. در صورتی که هر سه لایه در دسترس باشند باتوجه به اطلاعات زمینه‌ای و با هدف کمینه شدن زمان اجرای کل و انرژی مصرفی در میان منابع، انتخاب می‌کند که واگذاری در کدام لایه از ابر سیار صورت گیرد. در مقالات [۴و۵و۹] خطا و حرکت وسایل موبایل را درنظر نگرفته‌اند.

در مرجع [۱۰] یک طرح انتخاب منبع محتوا برای شبکه‌های نظیر به نظیر بر اساس اشتراک منابع در وسایل نقلیه عمومی ارائه شده است که هدف شناسایی منابع مناسب از میان وسایل موبایل مجاوری است شانس بیشتری در ماندن در محل و کامل کردن کار را دارند. در واقع از رفتار منظم و تاریخچه افراد برای پیش‌بینی حالات و رفتار آینده آنها استفاده می‌کند.

در رایانش ابری سیار و گرید سیار روش‌های مختلفی برای تحمل‌پذیری خطا ارائه شده است. در مراجع [۶و۷] در رایانش ابری سیار برای تحمل‌پذیری خطا یک روش نظارتی بر اساس زنجیره مارکوف پیشنهاد می-کنند که در این روش‌ها اطلاعات منابع برای پیش‌بینی وضعیت آینده منابع جمع‌آوری می‌شوند. طرح نظارت به‌صورت پویا و در زمان واقعی به منظور نظارت درست اطلاعات حالت و انعکاس ویژگی وسایل موبایل به عنوان منابع انجام می‌گیرد. بطوریکه خطای موجود در وسایل موبایل را با استفاده از الگوی گذشته‌ی و پیش‌بینی حالت‌های آینده‌ی وسایل موبایل کاهش می‌دهند که در هر دو از یک پراکسی برای انجام کارهای نظارتی استفاده کرده است.در مرجع [۱۲] یک الگوریتم انتخاب منابع برای تحمل‌پذیری خطا در گرید سیار ارائه شده است که وسایل موبایل با توجه به انرژی باقی‌مانده، تحرک و کارایی رتبه‌بندی و سپس گروه‌بندی می‌شوند و یک کار به‌طور همزمان به چند گروه اختصاص داده می‌شود. در مرجع [۱۳] وسایل موبایل را در گریدِ سیار براساس دسترسی‌پذیری گروه‌بندی می‌کند و کار را به وسایل با بالاترین درجه‌ی دسترسی می‌دهد و از یک پروکسی برای تخصیص وظایف و تحمل-پذیری خطا استفاده می‌شود. در مرجع [۱۱و۸] وسایل موبایل را به منظور مدیریت قابل اطمینان وسایل موبایل بر حسب دو ویژگی دسترسی و تحرک که از جمله ویژگی‌های وسایل موبایل هستد که باعث ایجاد خطا در سیستم می‌شوند به گروه‌هایی طبقه بندی کرده‌اند. گروه‌بندی در محیط پویا در نظر گرفته شده است. روش‌های ارائه شده گروه‌بندی پویا را با قرار دادن نقاط برش که منعکس کننده تغییرات وسایل موبایل است پس از محاسبه آنتروپی فراهم می‌کنند. بالاترین گروه از لحاظ قابلیت اطمینان گروهی است که دسترسی بالا و تحرک کم داشته باشد. در[۸]، علاوه بر این، برای تحمل-پذیری خطا در گروه با قابلیت اطمینان بالا از روش نقاط بازرسی و در گروه با قابلیت اطمینان پایین از روش تکرار استفاده می‌کند. در [۱۱و۸] برای انجام کارهای نظارتی از یک پروکسی استفاده کرده‌اند و انرژی وسایل موبایل که از جمله مشکلات و محدودیت‌های وسایل موبایل ویکی از عوامل خطا است در گروه بندی وسایل لحاظ نشده است.

---

5 Replication
6 Reliability
7 TOPSIS
8 SubTask
9 availability

در طرح پیشنهادی ما یکی از عوامل خطا که محدودیت انرژی وسایل موبایل است در نظر گرفته شده است و از هیچ جز مرکزی برای مدیریت و جمع آوری اطلاعات زمینه‌ای استفاده نشده است در حالیکه در اغلب کارهای پیشین در زمینه تحمل‌پذیری خطا در رایانش ابری سیار انرژی را به عنوان عامل خطا در نظر نگرفته‌اند و همچنین از پروکسی برای مدیریت و جمع آوری اطلاعات زمینه‌ای استفاده کرده‌اند که این موجب ایجاد گلوگاه و محدودیت حرکت وسایل موبایل می‌شود.

۳- مدل سیستم

۳-۱- معماری محیط رایانش ابری سیار

در این مقاله لایه‌ی سوم رایانش ابری سیار در نظر گرفته شده‌است که متشکل از وسایل موبایل مجاور است که به طور تصادفی با یکدیگر دیدار کرده و متعلق به افراد مختلف هستند و هم سرویس‌دهنده و هم سرویس-گیرنده هر دو وسایل موبایل هستند. محیط رایانش ابری سیار، محیط دانشگاه در نظر گرفته شده‌است که اعضای این محیط متشکل از کارکنان، استادان، دانشجویان و مهمانان است که وضعیت حرکت آنها در طی روزهای هفته از نظم خاصی پیروی می‌کند مثلاً کارکنان در ساعات اداری کمتر حرکت می-کنند و برنامه درسی دانشجویان نیز مشخص است.

۳-۲- معماری سیستم

به منظور فراهم نمودن امکان واگذاری برنامه‌های کاربردی و اعمال روش‌های تحمل‌پذیری خطا در ابر سیار یک نرم‌افزار طراحی و پیاده‌سازی شده است که اطلاعات زمینه‌ای را جمع‌آوری، مراحل واگذاری را مدیریت و روش‌های تحمل‌پذیری خطا را اعمال می‌کند. این نرم‌افزار دارای دو بخش مشتری و سرویس‌دهنده است که هر دستگاه هر دو بخش از نرم‌افزار را داراست و با توجه به اینکه کدام بخش را بخواهد اجرا کند بخش مربوطه را به اجرا در می‌آورد. سمت مشتری نرم‌افزار شامل قسمت‌های زیر است:

۱. **شناسایی وسایل موبایل مجاور**: زمانی که دستگاه سیار مشتری تصمیم می‌گیرد کار خود را به وسایل موبایل مجاورش واگذار کند. یک پیام به همسایگانش می‌فرستد. دستگاه‌های سیار مجاور در صورت تمایل پیامی حاوی اطلاعات زمینه‌ای خودشان را در پاسخ به دستگاه مشتری می‌فرستند.

۲. **مدیریت اطلاعات زمینه‌ای**: اطلاعات مورد نیاز درباره وسایل، برنامه کاربردی و شبکه را به کمک جمع‌آوری کننده هر یک بدست می‌آورد.

- اطلاعات وسایل: شامل اطلاعاتی در مورد انرژی مصرفی و انرژی باقیمانده باتری، تاریخچه حضور در محل و نرخ موفقیت دستگاه سیار است.
- اطلاعات برنامه: شامل اطلاعاتی ازجمله زیربرنامه‌های قابل واگذاری و اندازه‌ی ورودی و خروجی هر زیر برنامه است.

۳. **پیش‌بینی خطا و اعمال روش‌های تحمل‌پذیری خطا**: با استفاده از اطلاعات زمینه‌ای وسایل مجاور شناسایی شده، وسایلی را که امکان شکست دارند شناسایی می‌کند و به وسایل موبایل با توجه به قابلیت اطمینانشان رتبه‌ای اختصاص می‌دهد. آنگاه وسایل در گروه‌هایی قرار داده می‌شوند و کار به‌طور همزمان در گروه‌هایی با بالاترین درجه‌ی قابلیت اطمینان تکرار می‌شود.

۴. **تخصیص وظایف**: با توجه به واحد پیش‌بینی و تحمل‌پذیری خطا در چگونگی واگذاری کار به وسایل ، کارها را به وسایل موبایل مجاور اختصاص می‌دهد.

سمت سرور نرم‌افزار نیز شامل قسمت‌های زیر است:

۱. **جمع‌آوری کننده پروفایل وسیله:** اطلاعات زمینه‌ای هر وسیله را جمع‌آوری می‌کند و آنها را در یک پایگاه داده در وسیله ذخیره می‌کند.

۲. **واحد انجام کار:** کار را از مشتری دریافت می‌کند و نتیجه را به مشتری تحویل می‌دهد.

۳. **مدیریت ارتباطات:** واحد مدیریت ارتباطات که هم در طرف مشتری و هم در طرف سرویس‌دهنده وجود دارد و ارتباط بین وسیله‌ی مشتری و وسایل سرویس‌دهنده را برقرار می‌کند و این ارتباط را مدیریت می-کند.

۴. **مدیریت سرویس‌دهنده:** وظیفه هماهنگی بین اجزای سرویس-دهنده را بر عهده دارد و فرآیند انجام کار در سرویس‌دهنده را پیگیری می‌کند.

۴- تخصیص منابع با پشتیبانی از تحمل‌پذیری خطا

در محیط رایانش ابری سیار، زمانیکه موبایل مشتری بخواهد یک نرم‌افزار فشرده‌ای را اجرا کند یک درخواست سرویس واگذاری می‌دهد. برای انجام واگذاری ابتدا موبایل مشتری از شیوه‌ی شناسایی برای یافتن وسایل موبایل مجاورش استفاده می‌کند سپس موبایل مشتری اطلاعات زمینه‌ای را جمع-آوری می‌کند و با استفاده از این اطلاعات رفتار وسایل پیش‌بینی می‌شود و به منظور بهره‌گیری از تحمل‌پذیری خطا از روش تکرار استفاده می‌شود و زیرکارها به طور همزمان در چند وسیله قابل اطمینان تکرار می‌شوند. سپس هر یک از سرویس‌دهندگان زیرکارهای اختصاص داده شده به آنها را اجرا می‌کنند و نتیجه را به مشتری باز می‌گردانند لازم به ذکر است، زمانی که اجرای یک زیرکار در یکی از کپی‌ها تمام شود و نتیجه به مشتری بازگردانده شود، کار در سایر کپی‌ها متوقف یا حذف خواهد شد و در صورتی که زیرکار واگذار شده به یکی از کپی‌ها شکست بخورد کار در سایر کپی‌ها انجام می-شود. سرانجام مشتری تمامی نتایج را جمع‌آوری و آنها را با هم ادغام می‌کند و در صورتی که اجرای یک زیرکار در منابع واگذار شده ناموفق باشد آن زیرکار دوباره به وسایل اطراف برای اجرا واگذار خواهد شد.

۴-۱- مدل‌سازی مسئله

در این مقاله فرض شده است که ارتباط دستگاه‌های سیار به صورت مستقیم (یک گامی) و از طریق شبکه بی‌سیم Wifi است. زیربرنامه‌های قابل واگذاری مستقل بوده و قابلیت اجرا به صورت موازی را دارند. بنابراین یک کار از n زیرکار مستقل تشکیل شده‌است $T= \{t_i|1\leq i\leq n\}$ و محیط ابر متشکل از h وسیله موبایل است $S=\{s_k|\ 1\leq k\leq h\}$ (که در این مقاله hامین وسیله، وسیله-ی موبایل مشتری در نظر گرفته شده است که کار واگذاری را انجام می‌دهد و با s_h نشان داده می شود).

۴-۲- پارامتر انرژی

به دلیل محدودیت انرژی وسایل موبایل ممکن است انرژی باتری منابعی که کار به آنها واگذار شده است در طول پردازش کار تمام شود و نتوان نتایج اجرای کار روی منابع را دریافت کرد و موجب شکست سیستم می‌شود. یا اینکه به گره‌ای که انرژی اولیه زیادی دارد ولی مصرف انرژی بالایی دارد، تعداد وظیفه زیادی داده شود، در این صورت، این گره مستعد خطر تمام شدن باتری در آینده شده و منجر به شکست سیستم می‌شود. در [۱۲] فقط از دادن وظیفه به گره‌هایی که انرژی اولیه کمی دارند اجتناب شده و مصرف انرژی در نظر گرفته نشده است که این باعث می‌شود که به گره‌ای که مصرف انرژی بالایی دارد، تعداد وظیفه‌های زیادی نسبت داده شود و این گره در معرض تمام شدن باتری در آینده قرار بگیرد. بنابراین در این مقاله از مدل انرژی ارائه شده در [۴] استفاده شده است. در واقع وسایل سرویس دهنده اطلاعات انرژی خود را برای مشتری میفرستند. آنگاه مشتری در ابتدا با استفاده از رابطه (۱) گره‌هایی که با واگذاری کار به آنها انرژی اولیه‌شان از ٪۲۰ انرژی کل‌شان کمتر شود، در واگذاری شرکت نمی‌دهد. سپس با استفاده از رابطه (۲)، از انتساب وظیفه به گره‌هایی که دارای انرژی کم و یا مصرف انرژی زیادی هستند اجتناب می‌کند. بدین ترتیب از شکست ناشی از محدودیت انرژی در وسایل موبایل جلوگیری می‌شود.

$$E0_j - predicted\ Ej \geq \alpha \qquad \text{for all } j= 1,\ldots, h\text{-}1 \qquad (۱)$$

$$Energyj = \frac{predicted\ Ej}{E0j - predicted\ Ej} \qquad (۲)$$

$$predicted\ Ej = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n} b_{ij} * (t_{ij} * e_{ij}) + \sum_{j=1}^{h-1}\sum_{i=1}^{n} b_{ij} * (et_i * Vin_i) + algE, & j = h \\ \sum_{i=1}^{n} b_{ij} * [t_{ij} * e_{ij} + et_j * Vout_i], & h > j \geq 1 \end{cases} \qquad (۳)$$

انرژی مصرفی در هر وسیله با استفاده از رابطه (۳) بدست می‌آید، بطوریکه انرژی مصرفی در مشتری (j=h) شامل انرژی مصرفی برای اجرای وظیفه‌هایی که محلی اجرا می‌شوند، انرژی لازم برای ارسال داده‌های مربوط به وظیفه‌های واگذار شده و انرژی مصرفی برای اجرای الگوریتم تخصیص وظایف می‌باشد. انرژی مصرفی سرویس‌دهنده ($j\geq 1,\ j<h$) شامل انرژی مصرفی برای اجرای وظیفه‌های انتساب داده به گره‌ی jام و انرژی‌مصرفی برای ارسال نتایج به مشتری است. $E0_j$ انرژی اولیه در دستگاه jام است، Vin و Vout به ترتیب اندازه‌ی ورودی و خروجی هر زیرکار واگذار شده هستند، et_j و e_{ij} به ترتیب انرژی انتقال و انرژی انجام زیرکار iام در واحد زمان در منبع jام هستند، t_{ij} زمان لازم برای انجام زیرکار iام در منبع jام است و b_{ij} تعداد زیرکارهای انجام شده در منبع jام است. لازم به ذکر است که به ازای هر دستگاه موبایل اطلاعات زمان و انرژی مصرفی ده بار اجرای اخیر هر زیرکار در پروفایل آن دستگاه ذخیره می‌شود، که از میانگین این اطلاعات برای اطلاعات انرژی مصرفی استفاده می‌شود.

۴-۳- پارامتر حرکت

از جمله ویژگی‌های وسایل موبایل این است که به صورت غیر قابل پیش‌بینی محیط را ترک می‌کنند و به آن می‌پیوندند که این تحرک موجب خطا در سیستم می‌شود [۱]. در بسیاری از تحقیقات قبلی از ویژگی تحرک وسایل موبایل برای تحمل‌پذیری خطا استفاده کرده‌اند[۸،۱۱،۱۲]. با توجه به تحقیقاتی که انجام گرفته است بسیاری از کاربران وسایل موبایل دارای الگوی حرکت منظمی هستند؛ مثلاً کاربرانی که برای رفتن به سر کار خود هر روز در مترو در یک زمان خاص سوار و پیاده می‌شوند و یا کارمندان یک شرکت و یا افرادی که در یک دانشگاه هستند[۱۱،۱۰]. در این مقاله محیط رایانش ابری سیار، محیط دانشگاه در نظر گرفته شده است و اعضای این محیط شامل کارکنان، استادان، دانشجویان و مهمانان هستند که دارای الگوی حرکت منظمی هستند. برای مثال کارکنان در ساعات اداری کمتر حرکت دارند و دانشجویان نیز برنامه درسی مشخصی دارند . بنابراین با توجه به تاریخچه حرکت و رفتار کاربران، الگوی حرکت آنها را تا حدی می‌توان پیش-بینی کرد. در اینجا با استفاده از تاریخچه مکان کاربران، طول زمان اشتراک مکانی کاربر را در لحظه واگذاری می‌توان پیش‌بینی کرد. در طرح ارائه شده در هر یک از وسایل موبایل یک پروفایل وجود دارد که مکان کاربر در هر لحظه را نگهداری می‌کند. زمانی که وسیله‌ای پیام درخواست واگذاری از وسیله مشتری را دریافت کرد درصورت تمایل به انجام واگذاری در پروفایل خود جست‌وجو می‌کند که در هفته‌های پیشین چند بار در این زمان مشخص در این مکان حضور داشته است به‌طوریکه طول زمان این اشتراک مکانی به اندازه‌ای باشد که بتواند کار واگذار شده را پردازش کند و تا پایان زمان انتقال در آن مکان بماند. سپس وسیله سرویس‌دهنده این اطلاعات را برای وسیله موبایل مشتری می‌فرستد. که این تعداد دفعات اشتراک مکانی وسیله هرچه بیشتر باشد امکان ترک کردن وسیله در هنگام انجام کار بسیار کمتر خواهد بود و واگذاری قابلیت‌اطمینان بیشتری خواهد داشت. بنابراین ما طرحی را پیاده کرده‌ایم که کاربران به صورت خودکار بتوانند بهترین منابع را از بین وسایل موبایل مجاور برگزینند به‌طوری که بیشترین شانس در باقی ماندن در اشتراک مکانی را داشته باشند و تا آخر زمان انتقال در آن مکان باقی بمانند.

۴-۴- پارامتر دسترسی‌پذیری

دسترسی‌پذیری احتمالی است که یک وسیله موبایل در زمان ارائه منابع به درستی عمل کند. دسترسی‌پذیری از جمله ویژگی‌های وسایل موبایل است

که موجب ایجاد خطا در سیستم می‌شود. بسیاری از تحقیقات قبلی در تحمل‌پذیری خطا در محیط رایانش ابری سیار یا محیط گرید از ویژگی دسترسی‌پذیری برای گروه‌بندی وسایل موبایل استفاده کرده‌اند [۸،۱۱،۱۳،۱۴]. دسترسی‌پذیری با طولانی شدن زمان شکست کاهش پیدا می‌کند. پس دسترسی‌پذیری با احتمال خطا مرتبط است. در [۸] برای اطلاعات دسترسی‌پذیری ، از تعداد خطا در وسیله استفاده کرده است. بنابراین در این مقاله برای بدست آوردن دسترسی‌پذیری، احتمال و نرخ موفقیت درنظر گرفته شده‌است. به طوریکه هرچه نرخ موفقیت یک وسیله در گذشته بیشتر بوده باشد احتمال دسترسی‌پذیری و موفقیت آن وسیله در آینده بیشتر خواهد بود. زمانیکه به وسیله‌ای کار واگذار می‌شود نتیجه موفقیت یا عدم موفقیت انجام کار در پروفایل وسیله نگه‌داری می‌شود، بنابراین مشتری می‌تواند وسایلی را به عنوان منابع انتخاب کند که بالاترین نرخ موفقیت را دارند و یا به عبارتی دسترسی‌پذیری بالاتری دارند و احتمال اینکه در زمان ارائه سرویس به درستی عمل کنند بیشتر خواهد بود.

$$\text{نرخ موفقیت} = \frac{\text{تعداد کارهایی که با موفقیت انجام شده است}}{\text{تعداد کل کارهای واگذار شده}} \qquad (۴)$$

۴-۵- رتبه‌بندی و گروه‌بندی وسایل موبایل با استفاده از روش تاپسیس

روش تاپسیس یکی از روش‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چند معیاره است. در این روش تعدادی گزینه و تعدادی معیار برای تصمیم‌گیری وجود دارد که باید با توجه به معیارها گزینه‌ها رتبه‌بندی شوند و یا اینکه به هر یک از آنها یک نمره اختصاص داده شود[۱۵]. سه معیار مصرف انرژی نسبت به انرژی اولیه، تعداد دفعات اشتراک مکانی موبایل سرویس‌دهنده با موبایل مشتری و دسترسی‌پذیری برای رتبه‌بندی وسایل موبایل در نظر گرفته می‌شود. برای اینکار در ابتدا ماتریس تصمیم ساخته می‌شود که دارای h-1 سطر و سه ستون است که r_{ij} درایه‌های این ماتریس را تشکیل می‌دهد. سطرها وسایل موبایل شناسایی شده در اطراف وسیله مشتری و ستون‌ها نیز شاخص‌های تصمیم‌گیری هستند. دو شاخص تعداد دفعات اشتراک مکانی موبایل سرویس‌دهنده با مشتری و دسترسی‌پذیری، شاخص‌های مثبت هستند چون هرچه میزان این دو شاخص بیشتر باشد وسیله موبایل قابل اطمینان‌تر خواهد بود و شاخص انرژی شاخص منفی درنظر گرفته شده است چون هرچه میزان آن کمتر باشد وسیله امن‌تر خواهد بود. ابتدا با استفاده از رابطه (۵) ماتریس تصمیم‌گیری را نرمال می‌کنیم.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum r_{ij}^2}} \qquad \begin{matrix} i=1,2,\cdots,h-1 \\ j=1,2,3 \end{matrix} \qquad (۵)$$

پس از آن ماتریس نرمال وزن‌دار از رابطه (۶) بدست می‌آید که حاصل‌ضرب ماتریس تصمیم نرمال در وزن هر یک از شاخص‌هاست.

$$v_{ij} = n_{ij} * w_j \qquad (۶)$$

مرحله بعد تعیین نمودن گزینه‌های فرضی ایده‌آل مثبت و منفی است که از رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$A^+ = \{(\min v_{ij} \,|j=1), (Max\ v_{ij} | j=2,3) = \{v_1^+, v_2^+, v_3^+\}$$
$$A^- = \{(\text{Max}\, v_{ij} \,|j=1), (min\ v_{ij} | j=2,3) = \{v_1^-, v_2^-, v_3^-\} \qquad (۷)$$

و سپس فاصله هر یک از گزینه‌ها تا گزینه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی از رابطه (۸) بدست می‌آید.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^{3}(v_{ij} - v_j)^{\frac{1}{2}} \quad i = 1,2,\cdots,h-1$$
$$d_i^- = \sum_{j=1}^{3}(v_{ij} - v_j)^{\frac{1}{2}} \quad i = 1,2,\cdots,h-1 \qquad (۸)$$

و در نهایت نزدیک‌ترین گزینه به گزینه‌ی ایده‌آل و محاسبه‌ی رتبه‌ی وسایل موبایل از طریق رابطه (۹) بدست می‌آید.

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad i = 1,2,\ \cdots, h-1 \qquad (۹)$$

آنگاه وسایل موبایل با رتبه بالاتر که دارای قابلیت اطمینان بالاتری هستند در یک گروه قرار می‌گیرند و وسایل موبایل با رتبه‌ی پایین‌تر که دارای قابلیت اطمینان کمتری هستند در گروه دیگر با قابلیت اطمینان پایین‌تر قرار داده می‌شوند. گروه با بالاترین قابلیت اطمینان گروهی است که کمترین نسبت مصرف انرژی با انرژی اولیه بالا، بیشترین شانس در باقی ماندن تا پایان انجام کار در اشتراک مکانی و بیشترین نرخ موفقیت را داشته باشد. با توجه به ویژگی پویای وسایل موبایل اطلاعات زمینه‌ای جمع‌آوری شده به صورت مداوم به روز رسانی می‌شوند در نتیجه رتبه‌بندی و گروه‌بندی وسایل موبایل به صورت پویا خواهد بود. آنگاه هنگام واگذاری، موبایل مشتری زیرکارها را به گروه با قابلیت اطمینان بالاتر واگذار می‌کند که تعداد زیرکارهای واگذار شده به هر وسیله با توجه به قابلیت اطمینان و رتبه اختصاص داده‌شده با استفاده از رابطه (۱۰) تعیین می‌شود. که m در اینجا تعداد وسایل موبایل در هر گروه و n تعداد زیرکارهای قابل واگذاری است.

$$nT_{R_i} = n \times \frac{CL_i}{\sum_{j=1}^{m} CL_i} \qquad i = 1,\cdots,m \qquad (۱۰)$$

۴-۶- بهره‌گیری از روش تکرار

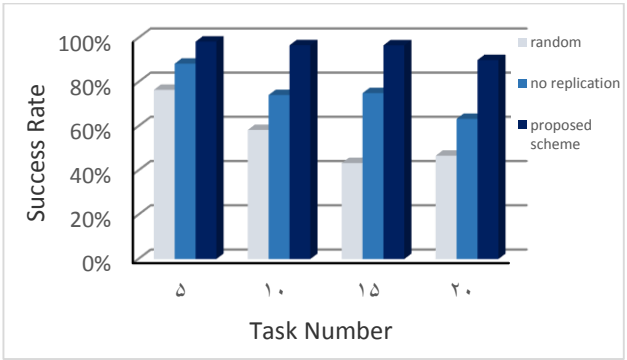
روش تکرار یکی از شناخته شده‌ترین روش‌ها برای تحمل‌پذیری خطا و بهبود قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیعی است. روش‌های تکرار وظایف را تکرار می‌کنند بطوری که کارهای مشابه در چندین وسیله می‌توانند بطور همزمان اجرا شوند. در این مقاله از روش تکرار برای بهبود قابلیت اطمینان منابع و تحمل‌پذیری وسایل در مقابل خطای ناشی از نوسانات وسایل موبایل استفاده می‌شود. پس از اینکه کارها به وسایل در گروهی با بالاترین درجه‌ی قابلیت اطمینان واگذار شد، همین کارها به‌طور همزمان در گروه با قابلیت اطمینان کمتر تکرار می‌شوند بطوری‌که تعداد زیرکارهای تکرار شده با توجه به قابلیت اطمینان و رتبه اختصاص داده شده به آن وسیله که با استفاده از رابطه (۱۰) بدست می‌آید، تعیین می‌شود. زمانی که اجرای یک زیرکار در یکی از کپی‌ها تمام شود و نتیجه به مشتری بازگردانده شود، کار در سایر کپی‌ها متوقف یا حذف خواهد شد و در صورتی که زیرکار واگذار شده به یکی از کپی‌ها شکست بخورد کار در کپی دیگر انجام شده و نتیجه به مشتری بازخواهد گشت.

۵- ارزیابی نتایج

برای ارزیابی روش پیشنهادی، آزمایش‌هایی در محیط واقعی و بر روی پنج دستگاه موبایل انجام شده است: SAMSUNG Galaxy Core با پردازنده

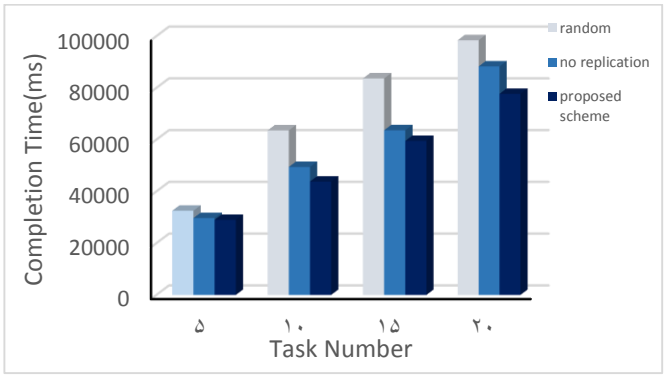
۲هسته‌ای 1.2GHZ و حافظه داخلی 1GB، SAMSUNG Galaxy Grand2 با پردازنده ۴هسته‌ای 1.2GHZ و حافظه داخلی 1GB، SAMSUNG Galaxy Note 800 با پردازنده ۴هسته‌ای 1.4GHZ و حافظه داخلی 1.5GB، LG L Fine با پردازنده ۴هسته‌ای 1.2GHZ و حافظه داخلی 1GB و Huawei Ascend 6730 با پردازنده‌ی ۴هسته‌ای 1.3 GHZ و حافظه داخلی 1GB. برای انجام چنین‌کاری یک میان‌افزار با بهره‌گیری از روش چند ریسمانی برروی سیستم‌عامل اندروید پیاده‌سازی شده‌است. در آزمایش‌ها از یک برنامه‌کاربردی تشخیص چهره به عنوان برنامه کاربردی مورد نظر برای واگذاری استفاده شده است. این برنامه کاربردی تعدادی عکس به‌عنوان زیرکار از ورودی می‌گیرد و تمام چهره‌های موجود در هر عکس را شناسایی می‌کند. برای اندازه‌گیری میزان انرژی مصرفی در تلفن‌های هوشمند از نرم‌افزار PowerTutor[۱۶] استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری مکان جغرافیایی دستگاه‌ها از GPS هر دستگاه استفاده می‌شود. وزن مربوط به هر یک از شاخص‌ها در روش تاپسیس بستگی به اولویت کاربر دارد، در این‌جا وزن‌ها [۰,۳۳، ۰,۳۳، ۰,۳۳] درنظر گرفته شده‌است. وزن‌ها به ترتیب مربوط به انرژی مصرفی نسبت به انرژی اولیه، تعداد اشتراک مکانی سرویس‌دهنده با مشتری در لحظه‌ی سرویس و دسترسی‌پذیری سرویس-دهنده می‌باشد.

به منظور ارزیابی، دو الگوریتم دیگر با درنظر گرفتن تعداد زیرکارهای متفاوت، با الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرارداده شده‌اند. الگوریتم تصادفی برای انجام واگذاری به طور تصادفی وسایل موبایل را به عنوان منبع انتخاب می‌کند و زیرکارها را به آنها انتساب می‌دهد و از هیچ‌گونه روش تحمل‌پذیری خطا استفاده نمی‌کند. در الگوریتم تخصیص منابع قابل اطمینان بدون روش تکرار مشتری وسایل قابل اطمینان را برای انجام واگذاری انتخاب می‌کند ولی در این الگوریتم از روش تکرار برای تحمل‌پذیری خطا استفاده نشده است و در الگوریتم پیشنهادی علاوه بر انتخاب منابع قابل اطمینان برای واگذاری از روش تکرار هم برای تحمل پذیری خطا استفاده شده است.



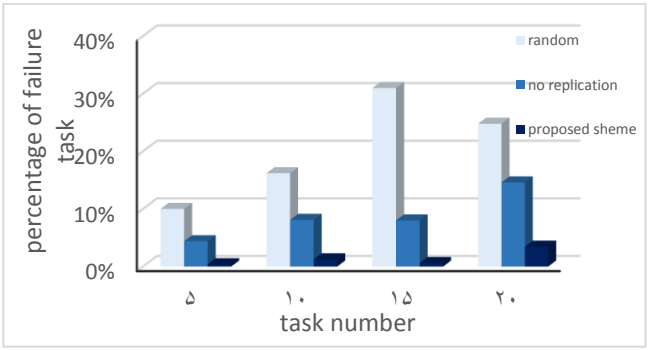
شکل(۱): نرخ موفقیت برای سه الگوریتم تخصیص تصادفی، تخصیص قابل اطمینان بدون اعمال روش تکرار و الگوریتم پیشنهادی

نتایج آزمایش در شکل (۱)، نرخ موفقیت را در سه الگوریتم مذکور، مورد بررسی قرار می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در الگوریتم تخصیص منابع قابل اطمینان بدون تکرار نسبت به روش تصادفی تا حدودی نرخ موفقیت بیشتر می‌شود ولی زمانی که در روش تخصیص قابل اطمینان منابع تکرار هم افزوده شده است، نرخ موفقیت به صورت چشمگیری بالا رفته است، بطوریکه نرخ موفقیت نسبت به الگوریتم واگذاری تصادفی حدود ۷۶٪ بهبود پیدا کرده است.



شکل(۲): زمان اتمام عملیات برای سه الگوریتم تخصیص تصادفی، تخصیص قابل اطمینان بدون اعمال روش تکرار و الگوریتم پیشنهادی

در شکل (۲) زمان اتمام عملیات در سه الگوریتم مذکور نشان داده شده است و مشاهده می‌شود در الگوریتم تخصیص منابع قابل اطمینان بدون تکرار نسبت به الگوریتم تصادفی زمان اتمام عملیات به دلیل بالاتر بودن نرخ موفقیت و اجتناب از تکرار مجدد زیرکارهای شکست خورده کمتر شده است و این زمان در روش تخصیص قابل اطمینان منابع همراه با اعمال روش تکرار بسیار کمتر شده است و این می‌تواند به این دلیل باشد اگر نودی شکست بخورد، زیرکار شکست خورده هنوز شانس دیگری برای تکمیل عملیات در همان زمان دارد .



شکل(۳): درصد کارهای شکست خورده برای سه الگوریتم تخصیص تصادفی، تخصیص قابل اطمینان بدون اعمال روش تکرار و الگوریتم پیشنهادی

در شکل (۳) درصد کارهای شکست خورده در سه الگوریتم مذکور نشان داده شده‌است که نشان دهنده تعداد زیر کارهایی است که پس از واگذاری به وسایل موبایل مجاور شکست می‌خورند. همانطورکه مشاهده می‌شود در الگوریتم تخصیص منابع قابل اطمینان بدون تکرار نسبت به الگوریتم تصادفی تعداد زیرکارهای شکست خورده به دلیل واگذاری زیرکارها به منابع قابل اطمینان کمتر شده است و این تعداد در روش تخصیص قابل اطمینان منابع همراه با اعمال روش تکرار به دلیل تکرار زیرکارهای شکست خورده علاوه

بر واگذاری زیرکارها به منابع قابل اطمینان بسیار کمتر شده است به گونه‌ای که به‌طور میانگین حدود ۸۵٪ بهبود داشته است.

۶- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر یک الگوریتم تخصیص قابل اطمینان منابع در رایانش ابری سیار پیشنهاد شده است که از وسایل موبایل به عنوان منابع برای واگذاری استفاده می‌کند. در این الگوریتم محدودیت انرژی باتری، تحرک و در دسترس بودن وسایل موبایل به عنوان عوامل خطا در نظر گرفته شده‌اند و از این اطلاعات برای واگذاری کار به وسایل موبایل استفاده می‌شود، بطوریکه به هر یک از وسایل با توجه به این اطلاعات و با استفاده از روش تاپسیس، رتبه‌ای اختصاص داده می‌شود. سپس وسایل با توجه به این رتبه‌ها در گروه-هایی قرار داده می‌شوند، آنگاه کار به‌طور همزمان در گروه‌هایی با بالاترین درجه‌ی قابلیت‌اطمینان تکرار می‌شود. علاوه بر این یک میان‌افزار آگاه به زمینه طراحی شده‌است که اطلاعات زمینه‌ای را جمع‌آوری و فرآیند واگذاری را با بهره‌گیری از روش‌های تحمل‌پذیری خطا در ابر سیار مدیریت می‌کند. نتایج آزمایش در مقایسه با الگوریتم‌های واگذاری تصادفی و واگذاری قابل اطمینان بدون اعمال روش تکرار، حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی در واگذاری، دارای نرخ موفقیت بیشتری است بطوریکه نرخ موفقیت نسبت به الگوریتم واگذاری تصادفی بسیار بهبود پیدا کرده است و زمان اتمام عملیات نیز کمتر شده است همچنین درصد کارهای شکست خورده نیز کاهش قابل ملاحظه ای داشته است و بطور میانگین حدود ۸۵٪ بهبود نسبت به الگوریتم تخصیص تصادفی پیدا کرده است . در ادامه این پژوهش می‌توان امنیت در واگذاری را برای مقابله با کاربران خرابکار با واگذاری کار به وسایل قابل اعتماد در رایانش ابری سیار بررسی نمود .

مراجع

[1] N. Fernando, S. W. Loke, and W. Rahayu, “Mobile cloud computing: A survey,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 1, pp. 84-106, 2013.

[2] V. Cardellini, V. De NitoPersoné, V. Di Valerio, F. Facchinei, V. Grassi, F. Lo Presti and V. Piccialli, “A game-theoretic approach to computation offloading in mobile cloud computing,” Technical Report, available online@http://www.optimizationonline.org/DBHTML/2013/08/3981.Html, 2013.

[3] G. F. Huerta Cánepa, “A context-aware application offloading scheme for a mobile peer to peer environment,” Ph.D. dissertation, Department of Information and Communication Engineering, KAIST, South Korea, 2012.

[4] S. G. Falavarjani, M. Nematbakhsh, and B. S. Ghahfarokhi, "Context-aware multi-objective resource allocation in mobile cloud," *Computers & Electrical Engineering*,vol. 44, pp. 218-240, 2015.

[5] S. G. Falavarjani, M. Nematbakhsh, and B. S. Ghahfarokhi, "A Multi-criteria Resource Allocation Mechanism for Mobile Clouds." *Computer Networks and Distributed Systems*. Springer International Publishing, pp. 145-154, 2013.

[6] J. Park, H. Yu, K. Chung, and E. Lee, “Markov Chain based Monitoring Service for Fault Tolerance in Mobile Cloud Computing," in *Proceedings of IEEE Workshops of International Conference on Advanced Information Networking and Applications*,2011, pp.520-525.

[7] P. Patel and V. Prakash, “FTAB: Fault Tolerance Approach by Using HMM with BAUM-WELCH Algorithm in MCC,” in *Proceedings of Tenth international conference on Wireless and Optical Communication Network (WOCN)*, 2013, pp.1-4.

[8] J. Park, H. Yu, H. Kim, and E. Lee, “Dynamic group-based fault tolerance technique for reliable resource management in mobile cloud computing,” *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, John Wiley & Sons, vol. 26, no. 17, January2014.

[9] B. Zhou, A. V. Dastjerdi, R. N. Calheiros, S. N. Srirama, and R. Buyya. "A context sensitive offloading scheme for mobile cloud computing service." in *Proceedings of IEEE of 8th International Conference* on In *Cloud Computing (CLOUD)*, 2015, pp.869-876.

[10] L. McNamara, C. Mascolo,L. Capra, "Media sharing based on colocation prediction in urban transport," In: Proceedings of the 14th ACM international conference on mobile computing and networking, ACM, 2008. p. 58–69.

[11] J. S. Park and E. Y. Lee. "Entropy-based grouping techniques for resource management in mobile cloud computing." *Ubiquitous Information Technologies and Applications*. Springer Netherlands, 2013, pp. 773-780.

[12] S. Choi, I. Cho, K. Chung, B. Song, H. Yu, “Group-based resource selection algorithm supporting fault-tolerance in mobile Grid,” in *Proceedings of the Third International Conference on Semantics, Knowledge and Grid*, 2007,pp. 426-429.

[13] J. H Lee, S. Choi, T. Suh, J. Gil, W. Shi, and H. Ch. Yu, "A Mobile Device Group Based Fault Tolerance Scheduling Algorithm in Mobile Grid." *Embedded and Multimedia Computing Technology and Service*. Springer Netherlands, 2012, pp. 485-492.

[14] J. Park, H. Yu, E. Lee,“ Resource allocation techniques based on availability and movement reliability for mobile cloud computing,” *Distributed Computing and Internet Technology*, Springer Berlin Heidelberg, 2012,pp. 263–264.

[15] Ch. L. Hwang, and K. Yoon, "*Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*," Springer Science & Business Media, Vol. 186, 2012.

[16] L. Zhang, et al. "Accurate online power estimation and automatic battery behavior based power model generation for smartphones." *Proceedings of the eighth IEEE/ACM/IFIP international conference on Hardware/software codesign and system synthesis*. ACM, 2010.