

تحلیل کارایی الگوریتم‌های انتخاب شبکه در شبکه‌های بی‌سیم ناهمگن نسل پنجم

رضا هنرور^۱ دانشجوی دکتری؛ علیرضا ذوالقدر اصلی^۲، استاد تمام

۱- بخش مهندسی مخابرات و الکترونیک- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شیراز- شیراز- ایران - honarvar.reza@shirazu.ac.ir

۲- بخش مهندسی مخابرات و الکترونیک- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه شیراز- شیراز- ایران - zolghadr@shirazu.ac.ir

چکیده: یکی از ارکان نسل جدید شبکه‌های بی‌سیم امکان دسترسی به شبکه‌های ناهمگن با فن‌آوری‌های مختلف و امکان دست‌به‌دست شدن بین آن‌هاست. در این فرآیند یکی از کلیدی‌ترین گام‌ها، مسئله «انتخاب شبکه» از بین بهترین گزینه در دسترس است. اگرچه روش‌ها و الگوریتم‌های متنوعی جهت حل این مسئله مطرح گردیده است، اما یک مبنای استاندارد و جامع جهت ارزیابی کارایی این روش‌ها وجود ندارد. در این مقاله با ارائه تعریفی فراگیر از درجه رضایت مشتری و «کیفیت تجربه استفاده از سرویس»، «شاخص جامع کارایی» جهت مقایسه کارایی شبکه‌ها پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی مبتنی بر «تحلیل سلسله‌مراتبی»^۱ بوده و تمامی عوامل مؤثر در رضایت نهایی مشتری در گزینش شبکه هدف به‌نحوی سیستماتیک و پویا لحاظ می‌گردد. این ایده خود منجر به طرح یک الگوریتم جدید به نام ACANS^۲ در انتخاب شبکه گردیده که یک الگوریتم «کاربر محور» «به کمک اطلاعات شبکه» است و «با آگاهی از شرایط و مقتضیات کاربر» به شکل خودکار ملاحظات ویژه هر کاربر را در انتخاب شبکه اعمال می‌کند. با انجام شبیه‌سازی، روش پیشنهادی با الگوریتم‌های شناخته‌شده رایجی چون TOPSIS^۳، TRUST^۴، MEW^۵ و SAW^۶ مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. در نهایت نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در شاخص‌های متعددی از جمله تعداد دست‌به‌دست شدن‌ها، حجم ترافیک دریافتی کاربر، هزینه سرویس و مصرف انرژی منطبق با ترجیحات کاربر بوده و کارایی بالاتری در مقایسه با روش‌های قبلی دارد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب شبکه، دست‌به‌دست شدن عمودی، شبکه‌های بی‌سیم ناهمگن، شاخص جامع کارایی، نسل پنجم شبکه سیار.

Performance Analysis of the Network Selection Algorithms in 5G Heterogeneous Wireless Networks

Reza Honarvar¹, PhD Student; Alireza Zolghadr Asli², Professor

- 1- Department of Communication and Electronics Engineering, School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, Email: reza.honarvar@shirazu.ac.ir
- 2- Department of Communication and Electronics Engineering, School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, Email: zolghadr@shirazu.ac.ir

Abstract: Vertical handover is the essential feature of the next generation heterogeneous wireless networks. Network selection among accessible candidates is the most critical step in vertical handover procedure. Although various algorithms for network selection have been proposed, due to different approaches and diversity of parameters corresponding to this complicated problem, no unified benchmark or global indicator exists to evaluate the performances. In this paper, we define a global performance indicator (GPI) which comprehensively considers all subscriber satisfaction factors to assess users' quality of experience (QoE). Our method is inspired by "Analytic Hierarchical Process" (AHP) and systematically utilizes both customer and network side parameters. This idea was led to propose a novel "automatic context-aware network selection" (ACANS) algorithm. ACANS is a "network-assisted", "user centric" approach which dynamically and automatically affects customer context in the decision of the best network. A practical simulation platform evaluates and compares ACANS to well-known network selection algorithms such as SAW (Simple Additive Weighting), MEW (Multiplicative Exponential Weighting), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) and TRUST (TRigger-based aUtomatic Subjective weighTing). Simulation results show that the proposed algorithm is compatible to customer preference and has superior performance in "No. of handovers", "user's volume of download", "consumed energy" and "service cost".

Keywords: vertical handover, network selection, heterogeneous wireless network, global performance indicator, 5G.

تاریخ ارسال مقاله: ۹۷/۳/۱۲

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۴

نام نویسنده مسئول: علیرضا ذوالقدر اصلی

نشانی نویسنده مسئول: شیراز- میدان نمازی - دانشگاه شیراز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - بخش مهندسی مخابرات و الکترونیک

۱- مقدمه

گردد. لذا نوع شبکه و پراکندگی شبکه‌های پیش‌فرض مطابق داده‌های واقعی یک محیط شهری متوسط در نظر گرفته شده است. پروفایل کاربران اعم از نوع سرویس، ترجیحات و مدل حرکتی آن‌ها نیز به شکل تصادفی تعریف گردیده‌اند. در طی مدت شبیه‌سازی کاربران زیادی با پروفایل‌های تصادفی با چندین الگوریتم معروف و شناخته شده اقدام به تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب شبکه نموده و در هر حالت شاخص کیفیت تجربه سرویس ذخیره می‌گردد تا در پایان مورد مقایسه و قضاوت قرار گیرد.

در ادامه این مقاله در بخش ۲ مروری بر پژوهش‌های پیشین و نکات پرداخت شده در آن‌ها صورت می‌گیرد. در بخش ۳ شاخص کلیدی رضایت‌مندی مشتریان تعریف می‌شود. جزئیات روش و الگوریتم پیشنهادی در بخش ۴ به تفصیل ارائه می‌گردد. در بخش ۵ چارچوب شبیه‌سازی و مفروضات آن تشریح شده و نتایج آن مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. بالاخره در بخش ۶ هم نتایج به دست آمده در این مقاله و پیشنهادهایی برای کارهای آینده به شکل خلاصه ارائه خواهد شد.

۲- مروری بر پژوهش‌های انجام شده

دست‌به‌دست شدن یکی از ویژگی‌های کلیدی در شبکه‌های رادیویی سلولی است که ضمن حفظ پیوستگی در ارتباط، امکان جابه‌جایی حداکثری را فراهم می‌کند [۵]. به‌طور کلی دست‌به‌دست شدن یک مکانیزم با مدیریت متمرکز است که مابین ایستگاه‌های مختلف یک شبکه واحد انجام می‌گیرد که به آن دست‌به‌دست شدن افقی گویند؛ و معیار ضرورت اقدام به آن، قدرت سیگنال دریافتی از ایستگاه پایه است؛ بدین ترتیب که اگر قدرت سیگنال دریافتی از حد معینی کمتر گردد ادامه ارتباط با هماهنگی مرکز کنترل از طریق ایستگاه پایه دیگری که بیشترین قدرت سیگنال را دارد انجام خواهد شد.

امروزه با برخورداری پایانه‌های همراه و رایانه‌های قابل حمل به فناوری‌های گوناگون ارتباطات بی‌سیم، دسترسی رادیویی از طریق یکی از فناوری‌های رایج مانند، وای‌فای، وای‌مکس، GPRS، 3G، LTE انجام می‌شود. این شبکه‌ها دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند که غالباً مستقل از یکدیگر بوده و امکان هماهنگی و مدیریت متمرکز آن‌ها جهت دست‌به‌دست شدن بین آن‌ها وجود ندارد.

یکی از ارکان و امکانات اساسی نسل پنجم شبکه‌های سیار سلولی امکان دست‌به‌دست شدن بین شبکه‌های با فناوری‌های متفاوت است که آن را دست‌به‌دست شدن عمودی می‌نامند. غالب راه‌کارهای پیشنهادی مکانیزم تصمیم‌گیری غیرمتمرکز و توزیع شده است [۳]. در هر صورت فرآیند دست‌به‌دست شدن شامل سه گام اساسی زیر است [۴]:

- اندازه‌گیری شاخص‌ها و تشخیص ضرورت انجام دست‌به‌دست شدن
- تصمیم‌گیری در خصوص انجام یا عدم‌انجام و یا انتخاب نقطه دسترسی مطلوب جایگزین

امروزه استفاده از دسترسی رادیویی به دلیل سهولت استفاده، انعطاف‌پذیری زیاد و امکان جابه‌جایی به‌شدت فراگیر گشته و به امری غیرقابل اجتناب تبدیل شده‌است. در حال حاضر فناوری‌های متعددی نظیر وای‌فای، وای‌مکس و LTE^v در حوزه دسترسی پهن باند رادیویی وجود دارند که به‌موازات در شرف توسعه و تکامل هستند. رویکرد نسل جدید شبکه‌ها و به‌طور خاص نسل پنجم شبکه سیار، بهره‌گیری توأم از تمامی این فناوری‌ها به‌نحو مؤثر و انعطاف‌پذیر می‌باشند [۱]. با توجه به این‌که گوشی‌های هوشمند و رایانه‌های قابل حمل امروزی از چندین واسط رادیویی مختلف برخوردار هستند، در شبکه‌های آتی فرض می‌گردد که کاربر در هر لحظه به شبکه‌های متعدد و عمدتاً ناهمگن دسترسی دارد که امکان جابه‌جایی و دست‌به‌دست شدن بین آن‌ها فراهم است [۲]. دست‌به‌دست شدن عمودی شعار «همیشه اتصال به بهترین» را محقق می‌سازد.

فرآیند دست‌به‌دست شدن مشتمل بر مراحل مختلفی است که کلیدی‌ترین گام آن انتخاب مناسب‌ترین شبکه از بین شبکه‌های در دسترس است [۳]. تصمیم‌گیری جهت انتخاب شبکه بر مبنای ملاحظات گوناگونی نظیر وضعیت ترافیکی و کیفی شبکه‌ها، اقتضای سرویس یا برنامه کاربردی مورد استفاده و همچنین پیش‌فرض‌ها و ارجحیت‌های کاربر، وضعیت پایانه رادیویی کاربر از لحاظ باتری، وضعیت حرکتی و ... است.

از این‌رو مسئله تصمیم‌گیری در انتخاب شبکه تبدیل به یک مسئله چندوجهی پیچیده مشتمل بر شرایط، پارامترها و کمیت‌های گسترده‌ای می‌گردد که لحاظ کلیه آن‌ها مشکل و در دسرساز است.

مروری بر پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد اگرچه فعالیت‌های ارزشمند زیادی تاکنون به انجام رسیده اما هر کدام از زاویه خاصی، پارامترهای محدودی را مدنظر قرار داده‌اند [۳،۴].

از این گذشته مبنای استاندارد و مشترکی به‌عنوان مرجع ارزیابی این الگوریتم‌ها وجود ندارد. معمولاً الگوریتم‌های پیشنهادی تنها با نمونه‌هایی از مدل‌های مشابه قبلی مقایسه شده‌اند و معیار مقایسه یک یا چند پارامتر خاص مثل هزینه یا پهنای باند در اختیار، یا تعداد دست‌به‌دست شدن‌ها است. [۴].

در این مقاله کلیه عوامل مؤثر در رضایت مشتری به شکل ساختاریافته‌ای لحاظ گردیده‌اند. این عوامل از یک‌سو به ویژگی‌های شبکه‌های در دسترس مانند حداکثر پهنای باند، میزان ترافیک شبکه، میزان تأخیر، هزینه، شعاع پوشش و قدرت سیگنال بستگی دارد و از سوی دیگر به شرایط و مقتضیات کاربر مانند حالت کاری کاربر که در حالت کسب‌وکار، تفریح یا اضطرار، یا ارجحیت‌های او که هزینه یا کیفیت است بستگی دارد. لذا با تعریف یک شاخص فراگیر برای میزان رضایت کاربران یک شبکه، نه تنها الگوریتم‌های مختلف تصمیم‌گیری قابل مقایسه و ارزیابی می‌گردند بلکه خود منجر به مبنایی برای ابداع یک الگوریتم تصمیم‌گیری جدید برای انتخاب شبکه می‌گردد. جهت تحقیق عملکرد این روش تلاش گردیده است یک شرایط عملی و واقعی شبیه‌سازی

رایج‌ترین رهیافت مسئله تصمیم‌گیری مدل MADM است که در بخش بعد روش‌های رایج آن در انتخاب شبکه ارائه می‌گردند.

نظریه بازی‌ها نیز به شکل گسترده‌ای در مدیریت منابع ناهمگن به کار رفته است و مسئله انتخاب بهترین شبکه در قالب مدل‌های مختلفی از بازی‌ها پیاده‌سازی گردیده‌اند [۱۴ و ۱۵].

علاوه بر این، روش‌ها و مدل‌های ریاضی دیگری مانند بهینه‌سازی ترکیبی و زنجیره مارکوف نیز در پژوهش‌ها [۱۶] ارائه شده‌است.

جدای از روش‌ها و رهیافت‌های گوناگون حل مسئله انتخاب شبکه، شاخص ارزیابی کارایی عملکرد الگوریتم، نیز از وجوه تمایز پژوهش‌های انجام شده است. برخی یک یا دو پارامتر مورد نظر کاربر مانند حجم بارگذاری یا هزینه را به عنوان شاخص بهینه‌سازی مدنظر قرار داده‌اند [۱۷]. برخی شاخص‌های مدنظر اپراتور شبکه مانند درآمد کلی و یا توازن بین منابع را در نظر گرفته‌اند [۱۸]. بعضی نیز با ادغام چند پارامتر مورد نظر یک کاربر یک معیار رضایت‌مندی ترکیبی را تعریف کرده‌اند [۱۸]. اما در حال یک معیار فراگیر و استاندارد جهت ارزیابی کارایی الگوریتم‌های مختلف وجود ندارد.

۳- روش‌های انتخاب شبکه با مدل تصمیم‌گیری برمبنای

ویژگی‌های چندگانه

در این مدل مجموعه ویژگی‌های شبکه‌ها در قالب یک ماتریس $X = [x_{ij}]_{N \times N_A}$ در اختیار مرکز تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند که در آن x_{ij} ویژگی i ام از شبکه j ام است. N تعداد شبکه‌های در دسترس و N_A تعداد ویژگی مورد نظر است. از آنجاکه مقادیر ویژگی‌ها کمیت‌هایی با واحدهای متفاوت هستند که مقیاس عددی آن‌ها کاملاً با هم تفاوت دارد لازم است X به ماتریس جدید A هنجارسازی شود. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد [۴] که نمونه آن رابطه ساده (۱) است که طی آن کلیه مقادیر x به بازه $[0, 1]$ نگاشت می‌گردند. با این روش بیش‌ترین مقدار ویژگی در بین شبکه‌های در دسترس مقدار یک و کمترین مقدار ویژگی مقدار صفر را به دست خواهد آورد.

$$a_{ij} = (x_{ij} - \min_i(x_{ij})) / (\max_i(x_{ij}) - \min_i(x_{ij})) \quad (1)$$

هدف گزینش برترین شبکه با استفاده از ماتریس ویژگی‌های A است.

۳-۱- روش جمع وزنی ساده

در این روش برای هر یک از ویژگی‌های شبکه‌ها اهمیت وزنی معینی در نظر گرفته می‌شود که به روش‌های مختلفی تعیین می‌شوند و بردار $W = [w_j]_{1 \times N_A}$ را تشکیل می‌دهند. بردار وزن به دو روش کلی محاسبه می‌شوند:

- وزن‌دهی شهودی^{۱۰}

که در آن ضرایب وزن از روی خود ماتریس ویژگی‌ها محاسبه می‌شوند و کاربر در محاسبه آن‌ها دخالتی ندارد. برای مثال در روش واریانس ضرایب از رابطه (۲) محاسبه می‌شوند [۴].

• اجرای عمل دست‌به‌دست شدن و انتقال کانال ارتباطی از یک

ایستگاه پایه به ایستگاه جدید

در این رهگذر، پژوهش‌های بسیار زیادی با دیدگاه‌های مختلف انجام شده است. برخی پژوهش‌ها مسئله دست‌به‌دست شدن را از دیدگاه اپراتور شبکه و به هدف استفاده بهینه از منابع رادیویی یا ارتباطی شبکه در نظر گرفته‌اند و شاخص ارزیابی خود را پارامتری مانند توازن در بار ترافیکی ایستگاه‌های پایه [۶] و یا بهره‌وری طیف فرکانسی [۲۵] بنانهاده‌اند. در این رویکرد دست‌به‌دست شدن یک مکانیزم متمرکز است که توسط اپراتور کنترل می‌گردد. در مقابل، گروهی این مسئله را از دیدگاه کاربر دیده‌اند که می‌بایست بهترین گزینه را از بین گزینه‌های در دسترس انتخاب کند [۷]. از این رو تصمیم‌گیری به شکل توزیع شده و غیرمتمرکز صورت می‌گیرد [۸].

یکی از چالش‌های عمده پژوهش‌ها، گزینش شاخص‌ها و پارامترهای مبنا جهت تصمیم‌گیری است. برخی یک شاخص کلیدی مانند قدرت سیگنال دریافتی^۸ را به عنوان ریشه سایر پارامترها لحاظ کرده و بر آن متمرکز شده‌اند [۹]؛ چراکه قدرت سیگنال می‌تواند در نسبت سیگنال به نویز^۹ و به تبع آن در نرخ خطای بیت و نرخ ارسال که شبکه می‌تواند فراهم کند، تأثیر داشته باشد.

در مقابل، برخی پارامترهای بیش‌تری از شبکه‌ها را به شکل ترکیبی لحاظ می‌کنند [۱۰]. به عنوان مثال در مرجع [۲۶] ترکیبی از ملاحظات انتشار سیگنال و میزان بار ترافیکی شبکه به عنوان معیار دست‌به‌دست شدن مطرح شده است. با توجه به تصادفی بودن پارامترها و احتمال تغییر آن در طول زمان، مسئله پیش‌بینی و یا پردازش نرم‌افزاری کمیت‌های اندازه‌گیری شده خود به موضوع پژوهش‌های عده‌ای دیگر تبدیل شده‌است [۱۱].

بخش تصمیم‌گیری و انتخاب شبکه کلیدی‌ترین گام در فرایند دست‌به‌دست شدن است. مدل‌های ریاضی متعددی جهت دستیابی به بهترین انتخاب پیشنهاد گردیده‌اند [۴]. این بخش نقش اساسی در تأمین انتظارات کاربر، بهره‌برداری حداکثری و هماهنگی و توازن بین منابع شبکه را در پی دارد. لذا نقطه تمرکز پژوهش‌ها در این حوزه به شمار می‌رود.

انتخاب شبکه یک مسئله «تصمیم‌گیری با ویژگی‌های چندگانه»^{۱۰}

محسوب می‌شود. برخی پارامترهای فنی و کیفی شبکه‌ها را به عنوان مبنا برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته‌اند. به عنوان نمونه شبکه‌های فمتوسل که امروزه کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند به دلیل شعاع پوششی بسیار محدود نیازمند تدابیر ویژه‌ای در مسئله دست‌به‌دست شدن است [۲۷]. برخی سایر پارامترها مانند هزینه، امنیت و میزان بار ترافیکی را نیز لحاظ کرده‌اند. برخی الگوریتم‌ها با اطلاع از شرایط و موقعیت کاربر اقدام به تصمیم‌گیری می‌کنند [۱۲].

گروهی از پژوهشگران روش‌های هوشمندسازی مانند منطق فازی یا شبکه عصبی را جهت انجام بهترین انتخاب به کار گرفته‌اند [۱۳].

۴-۳- روش مرتب‌سازی اولویت‌ها از طریق شباهت‌یابی با راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) [۶]

در این روش ابتدا یک گزینه ایده‌آل فرضی از بین گزینه‌های موجود در نظر گرفته می‌شود. این گزینه ایده‌آل فرضی در هر ویژگی بهترین مقدار را در بین گزینه‌های موجود داراست. همچنین بدترین گزینه فرضی نیز به همین روش در نظر گرفته می‌شود. سپس فاصله اقلیدسی هر یک از شبکه‌های عملی در دسترس با بهترین شبکه و بدترین شبکه فرضی محاسبه می‌شود. پس امتیاز نهایی نسبت فاصله به بهترین شبکه به مجموع دو فاصله است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد مطلوبیت بیش‌تر و هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد مطلوبیت کم‌تری خواهد داشت.

$$A^+ = [a_{11}^+, a_{21}^+, a_{31}^+, \dots, a_{41}^+] = \max_i(a_{ij})$$

$$A^- = [a_{11}^-, a_{21}^-, a_{31}^-, \dots, a_{41}^-] = \min_i(a_{ij})$$

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_j w_j^2 (a_{ij} - A_j^+)^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_j w_j^2 (a_{ij} - A_j^-)^2}$$

$$S_i = \frac{D_i^+}{D_i^+ + D_i^-}$$

۴-۴- تعریف شاخص جامع رضایت‌مندی مشتری

رضایت‌مندی هر کاربر در استفاده از یک شبکه سیار به پارامترهای متعددی وابسته است. کیفیت سرویس، هزینه، امنیت و مصرف توان از شاخص‌های مهم ارزیابی کاربران است. البته اهمیت شاخص‌های فوق برای کاربرانی با مقتضیات مختلف یکسان نیست. از این گذشته برای هر کاربر نیز تعریف ثابت و واحدی وجود ندارد. زیرا بسته به شرایط و موقعیت کاربر، نوع برنامه کاربردی، میزان ذخیره باتری و وضعیت حرکتی، شاخص بهینگی تغییر می‌کند. پس ملاحظه می‌شود که شاخص‌های رضایت‌مندی نه‌تنها برای کاربران مختلف متفاوت است بلکه تعریف آن برای هر کاربر در هر موقعیت زمانی و مکانی نیز ممکن است عوض شود.

در این مقاله کلیه جوانبی که می‌تواند در رضایت‌مندی مشتری نقش داشته باشد طی یک ساختار منطقی و به شکلی پویا لحاظ می‌گردند ایده کار پیشنهادی، مبتنی بر تکنیک شناخته‌شده «تحلیل سلسله‌مراتبی» است [۲۰]؛ با این تفاوت که محاسبه ضرایب وزن و اهمیت هر یک از سنج‌ها در هر لایه لزوماً خطی نیست؛ به‌علاوه متأثر از شرایط کاربر و سرویس مورد‌استفاده و ارجحیت‌های کاربر است. ملاحظه می‌شود که برخی پارامترها به هم وابسته هستند و ماهیت مستقلی ندارند. همچنین اهمیت همه شاخص‌ها یکسان نبوده و اهمیت برخی پارامترها به مقدار برخی پارامترهای دیگر بستگی دارد. به‌عنوان مثال اهمیت پارامتر توان مصرفی شبکه‌ها به میزان ذخیره باتری، و اهمیت شعاع پوششی شبکه به وضعیت حرکتی کاربر وابسته است؛ یا

درواقع هر ویژگی که در بین شبکه‌های موجود تغییرات و پراکندگی بیشتری داشته باشد از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌شود.

$$w_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (a_{ij} - \bar{a}_j)^2} / N}{\bar{a}_j} \quad (۲)$$

- وزن‌دهی دستوری^{۱۲}

در این روش نظر کاربر در تعیین ضرایب وزن دخالت دارد؛ بدین ترتیب که یک کارشناس خبره بر اساس تجربیات خود اقدام به مقایسه اهمیت نسبی ویژگی‌ها و تشکیل ماتریس مقایسه جفتی^{۱۳} $B_{N_A \times N_A}$ می‌نماید. درایه‌های b_{ij} این ماتریس عددی بین ۱ تا ۹ هستند که بیان‌گر اهمیت نسبی ویژگی i ام در مقایسه با ویژگی j ام از دیدگاه کارشناس است. ۱ به‌معنی اهمیت یکسان و ۹ به‌معنی اهمیت بسیار زیادتر است. ثابت می‌شود بردار ضرایب وزن، بردار ویژه متناظر با بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه جفتی B خواهد بود [۱۹].

پس از محاسبه ضرایب وزن، امتیاز هر شبکه مجموع وزن یافته کلیه مقادیر ویژگی‌های آن شبکه در نظر گرفته می‌شود. بردار امتیاز شبکه‌ها از رابطه (۳) به‌دست می‌آید:

$$S_{SAW} = A_{N \times N_A} \times W_{N_A \times 1} \quad (۳)$$

پس شبکه‌ای انتخاب می‌شود که بیش‌ترین امتیاز را داشته باشد.

۳-۲- روش «ضربی با وزن‌دهی نمایی»

در این روش امتیاز هر شبکه از ضرب مقادیر ویژگی‌های هر شبکه به توان وزن مربوطه به‌دست می‌آید:

$$[S_{MEW}]_i = \prod_{j=1}^{N_A} a_{ij}^{w_j} \quad (۴)$$

که با لحاظ کردن لگاریتم تابع امتیاز، این روش شبیه روش «جمع وزنی ساده» خواهد بود با این تفاوت که کمیت‌هایی که به صفر نزدیک می‌شوند تأثیر زیادی در امتیاز کلی خواهند داشت [۱۰].

۳-۳- روش وزن‌دهی خودکار مبتنی بر وضعیت کاربر

در روش‌های ذکرشده قبلی یا ملاحظات کاربر در نظر گرفته نشده‌اند و یا این ملاحظات حداکثر به شکل ایستایی در ضرایب وزن لحاظ می‌شوند و تغییر شرایط کاربر به‌طور خودکار اعمال نمی‌گردند. از این‌رو در این روش موقعیت‌ها و شرایط جدید کاربر به شکل خودکار تأثیر خود را بر محاسبه ضرایب وزن ویژگی‌های شبکه‌ها منعکس می‌کند [۱۹].

$$W = (W_e \odot E) \times R \quad (۵)$$

که در آن $E_{1 \times e}$ بردار رخدادهاست که درایه‌های ۱ و ۰ آن بیان‌کننده وجود یا عدم‌وجود یک حالت معین از مجموعه حالت‌های کاربر است. e تعداد حالت‌ها یا موقعیت‌های کاربر است که تغییر هرکدام یک رخداد محسوب می‌شود. W_e بردار وزن یا اهمیت رخدادهاست؛ و از همه مهم‌تر ماتریس وابستگی $R_{e \times N_A}$ است که هر درایه آن وابستگی یا عدم‌وابستگی هر رخداد به هر ویژگی را با اعداد ۰ یا ۱ بیان می‌کند؛ که ۰ نشانه عدم‌وابستگی و ۱ نشانه وابستگی است. به‌این‌ترتیب وزن هر ویژگی برابر مجموع رخدادهای مؤثر در آن ویژگی است.

$$Q_{os} = \prod_i \prod_j (U_{ij}(a_j))^{\delta_i} \quad (10)$$

در این رابطه S_i ها برای هر سرویس چهارگانه استاندارد فعال ۱ و برای سایر سرویس‌های غیرفعال صفر خواهد بود. توابع فایده‌مندی نیز به شکل خطی کران‌دار در نظر گرفته می‌شوند که کرانه‌های آن طبق استاندارد ETSI TS 122 105 V14.0.0 [۲۲] معین می‌شود. a_j مقدار ویژگی j ام است که در کیفیت سرویس مؤثر است.

میزان در دسترس بودن 15 یک شبکه بستگی به شعاع پوششی شبکه، سرعت حرکت کاربر و به تبع آن شعاع حرکتی کاربر و فاصله کاربر از ایستگاه پایه دارد. مطابق شکل (۲) و بر اساس محاسبات انجام‌شده در پیوست ۱ احتمال قرارگرفتن کاربر در محدوده سلول ایستگاه پایه که به شکل دایره فرض می‌شود به قرار زیر است:

$$P_{ac} = \frac{S_r - S_b}{S_r} = \frac{(\pi - \alpha)r^2 - \beta R^2 + Rd \sin \beta}{\pi r^2}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{R^2 - r^2 - d^2}{2rd} \right)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{R^2 - r^2 + d^2}{2Rd} \right)$$

$$r = V \cdot T_s$$

در این روابط V سرعت حرکت کاربر و T_s مدت‌زمان بین هر بار تصمیم‌گیری، r حداکثر شعاع حرکتی کاربر در مدت T_s شعاع سلول شبکه و d فاصله کاربر تا ایستگاه پایه است. میزان دراختیاربودن 16 یک شبکه علاوه بر در دسترس بودن آن بستگی به وضعیت باتری و توان مصرفی شبکه نیز دارد. لذا ترکیب ضریبی (۱۰) برای آن در نظر گرفته می‌شود:

$$P_{av} = P_{ac} \eta \cdot P_{sus}^{1-\eta} \quad (12)$$

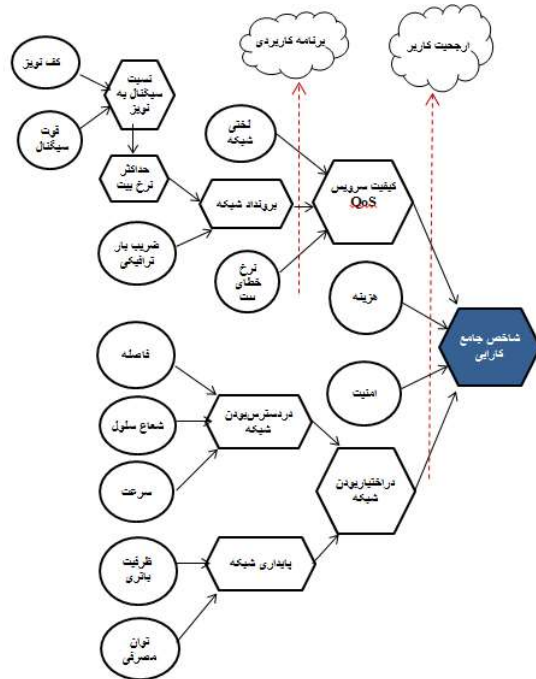
در این رابطه ضریب η با مقداری بین ۰ و ۱ توازن بین این دو پارامتر را معین می‌کند. P_{sus} احتمال دوام ارتباط، به‌واسطه انرژی کافی در باتری است که مشابه احتمال طول عمر یک وسیله است. این احتمال در مراجع آمار و احتمالات به شکل تابع نمایی با پارامتر λ بیان شده که λ معکوس میانگین طول عمر است [۲۵]. میانگین دوام شارژدهی باتری T_b از رابطه (۱۳ الف) از تقسیم انرژی باتری بر توان مصرفی محاسبه می‌شود. احتمال آن که رخداد اتمام شارژ باتری بعد از زمان شبیه‌سازی T_s باشد به شکل رابطه (۱۳ ب) درمی‌آید:

$$T_b = \frac{3.7C_b i}{P_c} \quad (13 \text{ الف})$$

$$P_{sus} = e^{-\frac{T_s}{T_b}} \quad (13 \text{ ب})$$

C_b ظرفیت باتری ۳/۷ ولت برحسب میلی‌آمپر ساعت و P_c مصرف توان پایانه برحسب میلی‌وات است. در رابطه (۱۳) $C_{bl} = 0.1C_b$, $C_{bm} = 0.5C_b$, $C_{bh} = 0.9C_b$ به ترتیب برآورد ظرفیت باتری در وضعیت‌های پر، متوسط و خالی هستند.

میزان نرخ بیت وابسته به نسبت سیگنال به تداخل و نویز 14 و ضریب بار ترافیکی شبکه دارد. از این‌رو کلیه پارامترها در درختواره شکل ۱ سامان‌دهی شده‌است.



شکل ۱- درختواره ارتباط بین پارامترهای مؤثر در رضایت نهایی کاربر

در این گراف نحوه وابستگی انواع پارامترهای ذکرشده نمایش داده شده است. نسبت سیگنال به نویز و تداخل از تقسیم توان سیگنال دریافتی بر توان تداخل و نویز در محدوده پهنای باند کانال به دست می‌آید:

$$SINR = \frac{P_r}{P_n + P_i} \quad (7)$$

حداکثر نرخ بیتی که توسط هر شبکه قابل ارائه است از رابطه شانون محاسبه می‌شود [۲۱].

$$R_{max} = B \log_2(1 + SINR) \quad (8)$$

B پهنای باند کانال برحسب هرتز است. در عمل هرچه $SINR$ بزرگ‌تر باشد مدولاسیون‌های سطح بالاتری امکان‌پذیر بوده که سبب افزایش تعداد بیت در هر سمبل ارسالی می‌شود که نهایتاً موجب افزایش نرخ بیت خواهد بود. اما میزان نرخ بیتی که عملاً شبکه برای هر کاربر می‌تواند فراهم کند به میزان بار آن شبکه نیز ارتباط دارد.

$$R_{net} = R_{max}(1 - L_f) \quad (9)$$

که L_f ضریب بار شبکه است. کیفیت سرویس شبکه بنا به اقتضای سرویس برنامه کاربردی، به حداکثر نرخ بیت در اختیار کاربر، میزان تأخیر شبکه و نرخ خطای بیت بستگی دارد. مقدار درجه کیفیت سرویس را با الهام از مرجع [۸] به شکل حاصل ضرب توابع فایده‌مندی تعریف می‌شود که برای هر ویژگی و هر نوع سرویس متفاوت است:

جدید A هنجارسازی^{۱۷} شود. البته کمیت بعضی ویژگی‌ها مانند «هزینه سرویس» یا «تأخیر شبکه» هرچه مقدار بزرگ‌تری داشته باشد مطلوبیت کمتری پیدا می‌کند. لذا جهت سادگی، مقادیر این ویژگی‌ها در ماتریس ویژگی X با علامت منفی ذخیره می‌شوند تا فرمول هنجارسازی برای کلیه ویژگی‌ها یکسان اعمال گردد.

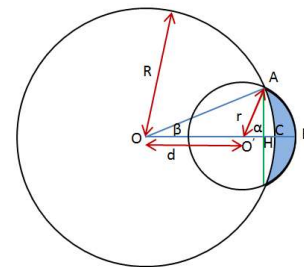
(ب) داده‌های مربوط به کاربر

در تعیین مطلوبیت شبکه‌ها ملاحظات مختلفی از دیدگاه کاربر می‌بایست در نظر گرفته شود. این ملاحظات شامل نوع برنامه کاربردی، وضعیت باتری پایانه کاربر، وضعیت حرکتی کاربر، حالت کاری کاربر و در نهایت پیش‌فرض‌ها و ارجحیت‌های کاربر می‌باشند. به جهت سادگی و سهولت انعکاس وضعیت کاربر و سرعت عمل در اعمال ملاحظات کاربر به الگوریتم، مجموعه داده‌های سمت کاربر به شکل یک بردار $U_{20 \times 1}$ از صفر و یک تعریف می‌شود که هر درایه آن به صورت یک پرچم برای نشان دادن وضعیت‌های مختلف کاربر عمل می‌کند (جدول ۱). عدد یک بیان‌گر انتخاب فعال بودن آن وضعیت و صفر نشانه غیرفعال بودن است. این داده‌ها شامل موارد زیر است:

- باتری که ممکن است پر متوسط یا خالی باشد.
- وضعیت حرکتی که می‌تواند ساکن، پیاده‌روی، یا رانندگی باشد.
- جهت حرکت که نزدیک‌شونده، دورشونده یا بی‌حرکت باشد.
- نوع برنامه کاربردی بر اساس استاندارد IEEE که یکی از ۴ نوع سرویس استاندارد شامل سرویس مکالمه‌ای، رشته‌ای، تعاملی و یا پس‌زمینه است، انتخاب می‌شود.
- حالت کاری که می‌تواند اضطرار، کسب‌وکار و یا تفریح باشد.
- ارجحیت کاربر که می‌تواند کیفیت سرویس، هزینه یا امنیت یا صرفه‌جویی انرژی باشد.

جدول ۱- عوامل تعیین‌کننده وضعیت کاربر

Layer-1	Layer-2	Layer-3	User Context Vector
User Side Context	Context parts	Context Status	
Terminal	Battery	low	1
		Medium	0
		High	0
	Velocity	Stationary	0
		Walking	0
		Driving	1
	Direction	Closing	0
		Constant	0
		Taking away	1
Application	Application	Background	0
		Conversation	0
		Streaming	1
		Interactive	0
User Constraint	Mode	Emergency	0
		Business	1
		Hubby	0
	Preference	Cost	0
		QoS	1
		Security	0
		Energy Saving	0



شکل ۲- رابطه فاصله و شعاع حرکتی کاربر با شعاع پوششی سلول در محاسبه احتمال در دسترس بودن شبکه

و نهایتاً شاخص کلی به شکل ترکیبی از حاصل ضرب پارامترها با وزن دهی نمایی پیشنهاد می‌شود:

$$GPI = (Q_{OS})^{P1} (C_{cosT})^{P2} (S_{sec})^{P3} (P_{av})^{P4} \quad (14)$$

که در آن Pi ها، پیش‌فرض‌های ارجحیت‌های کاربر هستند که عددی بین صفر و یک می‌تواند باشد. صفر نشانه عدم اهمیت و ارجحیت کاربر و صرف‌نظر از امتیاز یک زیر شاخص معین است. یک نشانه بیشترین اهمیت و اولویت کاربر در امتیاز کیفی شبکه است.

علت انتخاب ترکیب ضریبی مقادیر، بدین جهت است که در صورتی که پارامتر موردنظر کاربر مقدار خیلی کمی (نزدیک به صفر) داشته باشد مقدار شاخص کلی نیز که بیان‌گر درجه رضایت است به سمت صفر میل کند. در صورتی که در ترکیب وزن‌دهی شده جمع‌شونده، صفر بودن یک پارامتر می‌تواند با بزرگی سایر پارامترها جبران شود.

۵- شرح الگوریتم پیشنهادی ACANS

الگوریتم ACANS که در این مقاله پیشنهاد می‌شود یک روش تصمیم‌گیری کاربر محور است که کاربران به شکل توزیع شده بنا به مصالح و شرایط خود به گزینش شبکه مطلوب خود اقدام می‌کنند. البته در هر لحظه ممکن است چندین برنامه کاربردی به شکل موازی در حال اجرا باشند که هر کدام مقتضیات ویژه خود را دارند، پس شبکه مطلوب برای هر برنامه کاربردی ممکن است متفاوت باشد. از این رو الگوریتم پیشنهادی با فرض یک برنامه کاربردی معین عمل می‌کند و لازم است برای هر برنامه کاربردی این الگوریتم به طور جداگانه اجرا گردد. در این روش که مبتنی بر راه‌کار تصمیم‌گیری برمبنای ویژگی‌های چندگانه MADM است، داده‌های ورودی الگوریتم به دو بخش تقسیم می‌گردند:

(الف) داده‌های مربوط به ویژگی‌های شبکه‌های در دسترس

این داده‌ها در قالب یک ماتریس ویژگی‌ها به نام $X_{n \times N_A} = [x_{ij}]$ در اختیار هستند که در آن x_{ij} ویژگی i ام از شبکه j ام است. N_A تعداد ویژگی‌های مدنظر شامل قدرت سیگنال دریافتی (RSS)، شعاع پوشش رادیویی سلول (R)، توان مصرفی پایانه‌های مشترکین (P_c) در شبکه مفروض، حداکثر نرخ بیت قابل ارائه (R_{max}) در ایستگاه پایه، میزان ضریب ترافیکی شبکه (L_f)، میزان تأخیر یا لختی شبکه (D_{ly})، هزینه اتصال به شبکه (C) و درجه امنیت شبکه (S) است. n نیز تعداد شبکه‌های در دسترس است. البته ماتریس ویژگی‌ها باید طبق رابطه (۱) به ماتریس

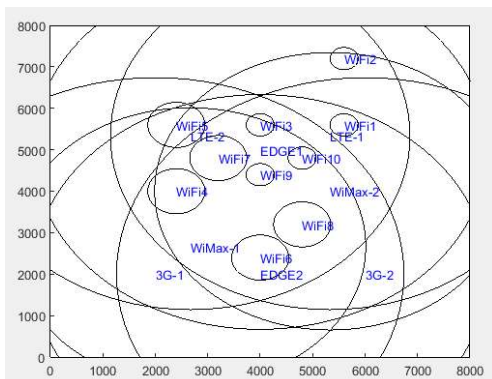
جدول شماره ۲- ماتریس وابستگی بین وضعیت‌های کاربر و ویژگی‌های شبکه‌ها

User Context	Network Attributes	RSSI	Radius	Power Cons.	throughput	Traffic Load	cost	delay	security
	Context Status								
Battery	low	3	0	9	0	0	0	0	0
	Medium	0	0	5	0	0	0	0	0
	High	0	0	3	0	0	0	0	0
Velocity	Stationary	0	1	0	0	0	0	0	0
	Walking	0	5	0	0	0	0	3	0
	Driving	0	9	0	0	0	0	7	0
Direction	Closing	0	0	0	0	0	0	3	0
	Constant	0	1	0	0	0	0	0	0
	taking away	0	9	3	0	0	0	3	0
Application	Background	3	0	3	3	3	7	1	3
	Conversation	5	0	5	5	5	3	9	7
	Streaming	7	0	3	9	9	9	7	1
	Interactive	5	0	1	5	5	5	5	7
Mode	Emergency	9	5	0	5	5	0	5	3
	Business	9	3	5	7	7	3	5	9
	Hubby	5	1	7	5	5	7	3	1
Preference	Cost	0	0	0	5	3	9	0	0
	QoS	9	5	0	9	9	0	7	0
	Security	0	0	0	0	0	0	1	9
	Energy Saving	7	3	9	5	5	0	1	3

یک ماتریس وابستگی بین هر یک از شرایط کاربر و مجموعه ویژگی‌های شبکه‌ها نیز تعریف شده است. در ماتریس وابستگی D ، d_{ij} وابستگی وضعیت کاربری i ام به ویژگی j ام را نشان می‌دهد. این ماتریس می‌بایست از قبل و برای یک‌بار تعریف شود. این وابستگی و میزان آن توسط یک کارشناس خبره تعریف شود که ما بر اساس تجربه خود مقادیر آن را تعیین کرده‌ایم. برای مثال اگر وضعیت باتری در حالت کم باشد، ویژگی توان مصرفی اهمیت زیادی پیدا می‌کند. و یا اگر متحرک و در حالت رانندگی باشد شعاع پوشش اهمیت زیادی دارد و برعکس برای یک مشترک ساکن شعاع پوششی اهمیتی ندارد. در جدول ۲ ماتریس وابستگی مفروض نشان داده شده است که در آن صفر نشان‌دهنده عدم وابستگی و ۹ بیش‌ترین مقدار اهمیت وابستگی را نشان می‌دهد. مسئله کلیدی در MADM ضریب اهمیت هر ویژگی است که بسته به شرایط کاربر تغییر می‌کند. از طرف دیگر هر یک از شرایط کاربر قطعاً از لحاظ اهمیت و وزن یکسان نیستند. برای مثال وضعیت «باتری کم» خیلی بااهمیت‌تر از حالت «باتری پر» است. یا حالت کاری اضطرار اهمیت بیشتری نسبت به حالت تفریح دارد. لذا به روش «تحلیل سلسله‌مراتبی» یک سری ضرایب وزن برای ۲۰ حالت وضعیت مفروض کاربر در قالب بردار W_u محاسبه می‌شود. محاسبه وزن گزینه‌ها در هر لایه، از روش محاسبه بردار مقادیر ویژه ماتریس مقایسه جفتی به دست آمده است. در نهایت ماتریس وزن ویژگی‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

۶- شبیه‌سازی و مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با سایر الگوریتم‌ها

به منظور تحلیل عملکرد الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با الگوریتم مرجع، شبیه‌سازی جامعی در محیط MATLAB مطابق شکل (۵) انجام شده است. ساختار مفروض در شبیه‌سازی منطبق با یک منطقه شهری متوسط به ابعاد ۸ کیلومتر در ۸ کیلومتر در نظر گرفته شده است. در این محدوده از فن‌آوری‌های وایمکس، نسل ۳، نسل ۴ و نسل ۲/۷۵ از هر کدام ۲ ایستگاه پایه و ۱۰ نقطه دسترسی Wi-Fi با چیدمان شکل (۳) قرار دارند.



شکل ۳- چیدمان شبکه‌های مفروض در محدوده شبیه‌سازی (m)

$$W_a = (W_u \odot U) \times D \quad (15)$$

$$(w_a)_j = \sum_i (w_u)_i (u)_i (d_{ij})$$

به زبان ساده هر درایه بردار وزن که ابعادی برابر با بردار ویژگی‌های شبکه‌ها دارد برابر با مجموع ضرایب وابستگی است که وضعیت متناظر آن به وقوع پیوسته است. از آنجاکه عناصر این بردار بسته به وضعیت کاربر مقادیر نامتوازی پیدا می‌کنند، با روش ریشه مربعات به‌هنگام می‌شوند [۲۳].

$$(w_a_n)_i = (w_a)_i / \sqrt{\sum_i (w_a)_i^2} \quad (16)$$

در پایان با در اختیار داشتن بردار وزن ویژگی‌ها- که متأثر از شرایط کاربر است- مقدار امتیاز تمامی شبکه‌های در دسترس محاسبه می‌شود.

$$S = A \times W_{a_n}^T$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{N_A} a_{ij} (w_a_n)_j \quad (17)$$

در نهایت شبکه‌ای انتخاب می‌شود که بیش‌ترین امتیاز را به دست آورد.

جدول شماره ۳- مقادیر پارامترهای مفروض شبکه‌ها در شبیه‌سازی

Net. ID	Net. Name	X(m)	Y(m)	f (GHz)	Po (dB)	Rx_min (dB)
1	Wi-Max	2667	2667	3.5	47	-95
2	Wi-Max	5333	4000	3.5	47	-95
3	LTE	5333	5333	2.1	47	-93
4	LTE	2667	5333	2.1	47	-93
5	3G	2000	2000	1.8	45	-95
6	3G	6000	2000	1.8	45	-95
7	EDGE	4000	5000	0.9	40	-93
8	EDGE	4000	2000	0.9	40	-93
9	Wi-Fi	5600	5600	5.8	27	-92
10	Wi-Fi	5600	7200	5.8	27	-92
11	Wi-Fi	4000	5600	5.8	27	-92
12	Wi-Fi	2400	4000	2.4	27	-92
13	Wi-Fi	2400	5600	2.4	27	-92
14	Wi-Fi	4000	2400	2.4	27	-92
15	Wi-Fi	3200	4800	2.4	27	-92
16	Wi-Fi	4800	3200	2.4	27	-92
17	Wi-Fi	4000	4400	5.8	27	-92
18	Wi-Fi	4800	4800	5.8	27	-92

داده‌های پایه هر ایستگاه شامل مختصات جغرافیایی آن ایستگاه، فرکانس کاری، توان ارسالی و حساسیت گیرندگی مطابق جدول ۳ فرض شده‌اند. شعاع پوششی هر ایستگاه با به کارگیری مدل انتشاری «تضعیف مسیر با لگاریتم فاصله»^{۱۸} و روابط ۱۸ و ۱۹، طبق رابطه (۲۰) محاسبه و به داده‌های قبلی اضافه می‌گردد [۲۳].

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^n} \quad (18)$$

$$P_{r_dB} = P_{t_dB} + G_{t_dB} + G_{r_dB} - 20 \log(f_{GHz}) - 10n \log(d_{Km}) - 30n - 32.4 \quad (19)$$

$$R_{cell} = 10^{\left(\frac{P_{t_dB} - P_{r_min} + G_{t_dB} + G_{r_dB} - 20 \log(f_{GHz}) - 30n - 32.4}{10n} \right)} \quad (20)$$

جدول شماره ۴- مقادیر مفروض ویژگی‌هایی از شبکه‌ها که در فرآیند

تصمیم‌گیری و گزینش مؤثر هستند.

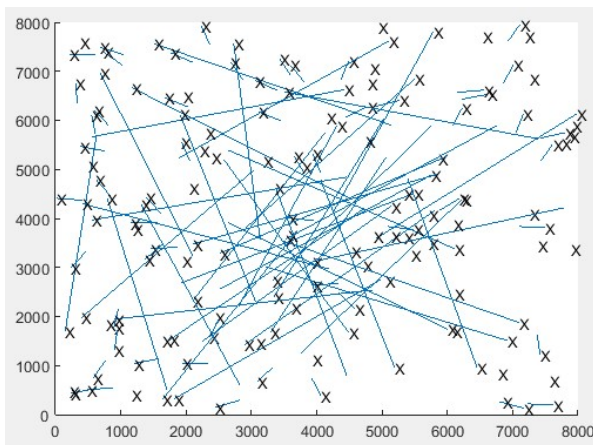
Net. ID	Net. Name	Cell Radius (m)	Power Rate (mW)	Max Bit Rate (Mbps)	Load Factor	Cost (\$/GB)	Delay (ms)	Security Grade
1	Wi-Max	3348	-1050	25	-0.6	-2.5	-200	3
2	Wi-Max	3348	-950	35	-0.6	-2.5	-200	3
3	LTE	4190	-1550	50	-0.7	-3.5	-100	5
4	LTE	4190	-1450	70	-0.7	-3.5	-100	5
5	3G	4740	-1000	5	-0.8	-3.5	-200	5
6	3G	4740	-1000	5	-0.8	-3.5	-200	5
7	EDGE	4331	-500	0.4	-0.9	-3.5	-400	4
8	EDGE	4331	-500	0.4	-0.9	-3.5	-400	4
9	Wi-Fi	4331	-200	54	-0.5	-1	-300	1
10	Wi-Fi	269	-200	54	-0.5	-1	-300	1
11	Wi-Fi	269	-200	54	-0.5	-1	-300	1
12	Wi-Fi	269	-200	30	-0.5	-1	-300	1
13	Wi-Fi	544	-200	30	-0.5	-1	-300	1
14	Wi-Fi	544	-200	30	-0.5	-1	-300	1
15	Wi-Fi	544	-200	30	-0.5	-1	-300	1
16	Wi-Fi	544	-200	30	-0.5	-1	-300	1
17	Wi-Fi	544	-200	54	-0.5	-1	-300	1
18	Wi-Fi	269	-200	54	-0.5	-1	-300	1

علاوه‌براین، ویژگی‌های دیگری از شبکه‌ها که در انتخاب شبکه برتر اهمیت پیدا می‌کنند که شامل توان مصرفی، حداکثر نرخ ارسال قابل‌ارائه، ضریب بار شبکه، هزینه، تأخیر و درجه امنیت هستند که مقادیر آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده‌است. اعداد جدول‌های ۳ و ۴ از داده‌های فنی شبکه‌های عملی گرفته شده‌است. درجه امنیت هر شبکه به شکل عددی بین ۱ تا ۵ در نظر گرفته شده که ۱ بیان‌گر کمترین درجه و ۵ بیش‌ترین درجه امنیت است.

مدل حرکتی کاربران گونه‌ای از مدل «جهت تصادفی»^{۱۹} [۲۴] است با این قید که باتوجه به موقعیت تصادفی اولیه، کاربران از محدوده موردنظر خارج نشوند. سرعت حرکت نیز به شکل تصادفی یکی از سه حالت ساکن، پیاده‌روی و رانندگی را اختیار می‌کند.

شکل ۴ مسیر حرکت کاربران که از نقطه «x» آغاز می‌شود را نشان می‌دهد. هر کاربر می‌تواند پروفایلی شامل ۲۰ وضعیت مختلف را به شکل تصادفی اختیار کند: ۳ وضعیت باتری (پر، متوسط و خالی)، ۳ وضعیت حرکتی (ساکن، پیاده‌روی و رانندگی)، چهار وضعیت برنامه کاربردی مورداستفاده (مکالمه، تعاملی، رشته‌ای و پس‌زمینه)، ۳ وضعیت فاصله‌ای (دورشونده، نزدیک‌شونده و بدون تغییر)، ۳ وضعیت کاری (کسب‌وکار، تفریح و فراغت و اضطرار)، ۴ پیش‌فرض کاربری (اقتصادی، کیفی، امنیتی و صرفه‌جویی انرژی). همه شرایط فوق در قالب یک بردار ۲۰ عضوی از ۰ و ۱ بیان می‌شود.

بر اساس روندنمای شکل (۵) هر کاربر در ابتدا با انتخاب یک پروفایل تصادفی، موقعیت خود در شبکه و توان سیگنال دریافتی از هر یک از شبکه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. شبکه‌هایی در دسترس تلقی می‌شوند که اولاً توان سیگنال دریافتی از آن‌ها از حساسیت گیرندگی‌شان بیش‌تر باشد ثانیاً میزان پهنای باند در اختیار ایستگاه‌های پایه بیش از پهنای باند موردنیاز سرویس کاربر باشد. ویژگی‌های شبکه‌هایی که در دسترس قلمداد می‌شوند به‌همراه مقدار RSS آن‌ها در ماتریس ویژگی‌ها ذخیره می‌شود.



شکل ۴ - مسیر حرکتی کاربران (ساکن، پیاده‌رو و راننده) در محدوده

شبیه‌سازی

جداگانه ثبت و نگهداری می‌کند تا در پایان عملکرد روش‌های مختلف مقایسه گردد. علاوه بر شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی، جهت مقایسه عملکرد، الگوریتم‌های زیر نیز شبیه‌سازی شده‌اند:

- روش توان سیگنال دریافتی: که در آن همانند روش‌های دست‌به‌دست شدن افقی، توان سیگنال دریافتی تنها معیار تصمیم‌گیری برای انتخاب شبکه در نظر گرفته شده است. این روش یک مرجع ابتدایی و حداقلی جهت مقایسه است.

- روش جمع وزنی ساده: این روش یک الگوریتم مبنا و مرجع در بسیاری از پژوهش‌های مشابه به شمار می‌رود. در شبیه‌سازی دو روش محاسبه وزن ویژگی‌ها یعنی روش «وزن‌دهی شهودی» و روش «دستوری» که در بخش ۲ تشریح شد، جداگانه اعمال شده است.

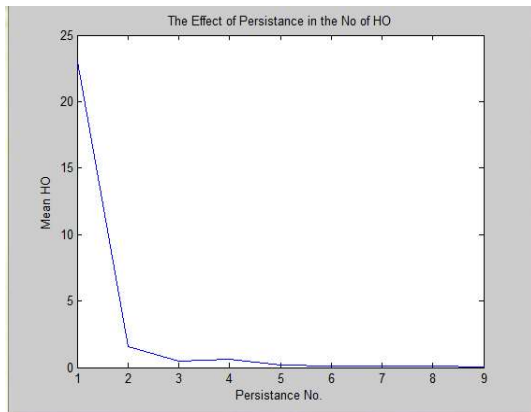
- روش ضربی با وزن دهی نمایی: جهت مقایسه عملکرد آن با مدل جمع وزنی ساده

- روش مقایسه با گزینه ایده‌آل: که به‌عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها در مقالات پیشین از آن یاد شده و در بخش ۲ نحوه کارکرد آن تشریح گردید.

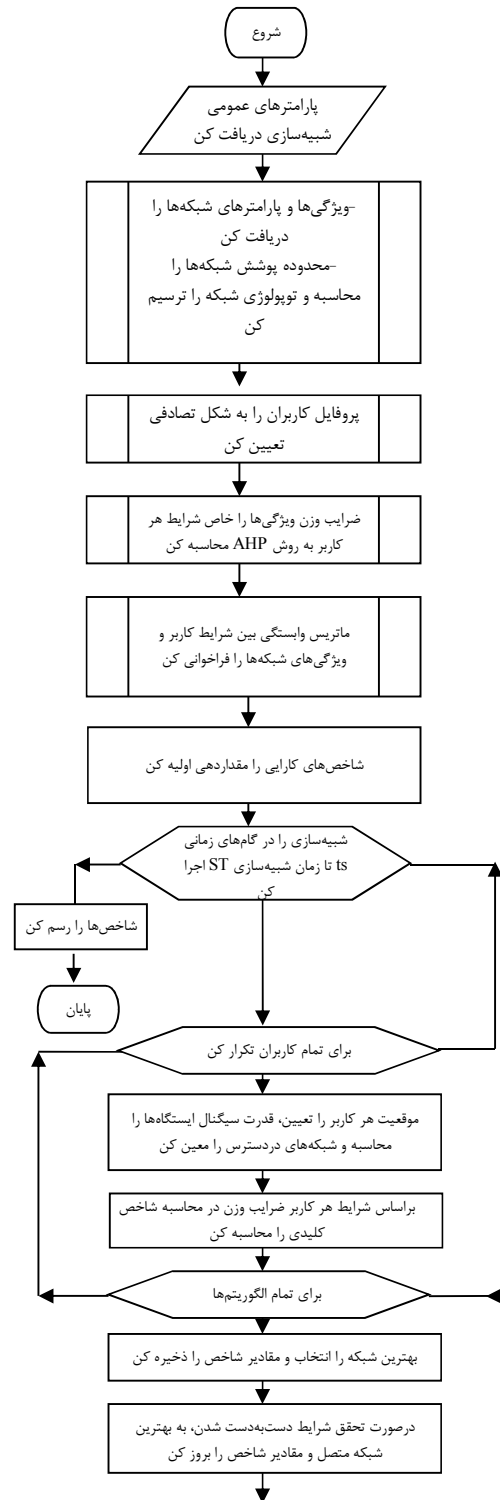
مکانیزم دست‌به‌دست شدن

اگرچه در بازه‌های منظم زمانی وضعیت شبکه‌های در دسترس و انتخاب بهترین گزینه تکرار می‌شود اما لزوماً عمل دست‌به‌دست شدن به بهترین شبکه در هر گام انجام نمی‌شود. زیرا این عمل باعث بالارفتن تعداد زیاد دست‌به‌دست شدن‌ها و هزینه‌های متعاقب آن می‌شود. از این رو در شبیه‌سازی، اتصال به بهترین شبکه به دو شرط محقق می‌شود:

اول این که در الگوریتم‌های ارزیابی شبکه‌ها، امتیاز بهترین شبکه جدید ۵ درصد بهتر از شبکه متصل قبلی باشد. دوم اینکه شبکه بهینه به شکل پی‌درپی برای دفعات معینی به‌عنوان بهترین شبکه انتخاب شود. تعداد دفعات به‌عنوان پارامتر استمرار و تداوم برتری شبکه است که در شبیه‌سازی برابر ۳ اختیار شده است. هر چه این عدد بزرگ‌تر باشد از بروز شرایط «رفت‌وبرگشتی» ۲۰٪ بیش‌تر جلوگیری به عمل می‌آید. شکل (۶) نمودار تغییرات تعداد دست‌به‌دست شدن‌ها برحسب بزرگی عدد استمرار نشان داده شده است.

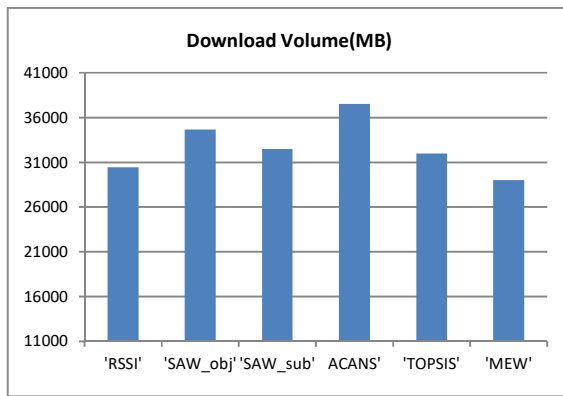


شکل ۶ - وابستگی تعداد دست‌به‌دست شدن‌ها به عدد استمرار



شکل ۵- روندنمای برنامه شبیه‌سازی

از این پس هر کاربر به روش‌های مختلفی اقدام به تصمیم‌گیری برای گزینش بهترین شبکه می‌کند و این کار را در گام‌های زمانی دوتاییه‌ای تکرار می‌کند اما نتایج هر روش و اقدام دست‌به‌دست شدن را به شکل



شکل ۷ - متوسط حجم دانلود کاربران در مدت شبیه‌سازی

۵-۶- شاخص جامع رضایت‌مندی کاربران

این شاخص که در بخش ۴ تشریح گردید کلیه پارامترهای مؤثر در رضایت‌مندی کاربران را مدنظر قرار می‌دهد همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شد. نمودار شکل (۱۱) برتری روش ACANS را بر سایر الگوریتم‌های رایج را نشان می‌دهد. علت موفقیت الگوریتم پیشنهادی در این شاخص، ناشی از تأثیر شرایط و مقتضیات کاربر در تعریف این شاخص ترکیبی دارد. به همین جهت روش «وزن‌دهی دستوری» نیز که با نظر کاربر ضرایب وزن ویژگی‌ها را - هرچند به شکل ایستا- تعیین می‌کند در مقام دوم است. در اینجا برخلاف پیش‌بینی، روش RSS که مبتنی بر تنها یک شاخص است امتیاز خیلی کمی به‌دست نیاورده است بلکه مقام سوم رضایت‌مندی را کسب کرده است. این بدین جهت است که توان سیگنال دریافتی در درختواره شکل (۱) منشأ اثر بر پارامترهای متعدد دیگری است. لذا شبکه‌ای که توان سیگنال دریافتی آن قوی باشد نسبت سیگنال به نویز بالایی داشته پس نرخ بیت بیشتر و نرخ خطای بیت کمتری را در پی خواهد داشت. همچنین مؤید فاصله کم یا شعاع پوششی وسیع شبکه است که در بالا بردن احتمال در دسترس بودن تأثیر دارد.

پس RSS نه تنها در دست‌به‌دست شدن افقی بلکه در دست‌به‌دست شدن عمودی نیز یک پارامتر بسیار کلیدی محسوب می‌شود؛ که در شرایطی که هدف کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی باشد می‌تواند به‌تنهایی تا حد زیادی رضایت‌مندی کلی کاربران را تأمین کند.

۷- خلاصه نتایج و پیشنهادهای کارهای آینده

در این مقاله، ضمن بیان اهمیت و ضرورت دست‌به‌دست شدن عمودی در شبکه‌های سیار نسل پنجم، مروری بر اقدامات پژوهشگران در این حوزه ارائه شد. باتوجه به کاستی‌های روش‌های موجود الگوریتمی پیشنهاد شد که مبتنی بر شرایط کاربران بوده و به شکلی فراگیر و پویا کلیه ملاحظات سمت کاربر را در ارزیابی و انتخاب شبکه‌های در دسترس مدنظر قرار می‌دهد. به‌علاوه شاخصی شهودی و جامع برای میزان درجه رضایت‌مندی کاربران ارائه شد که متناسب با مقتضیات کاربر است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوریتم پیشنهادی ضمن تبعیت از ارجحیت‌ها

جهت ارزیابی میزان تبعیت الگوریتم پیشنهادی از شرایط و مقتضیات کاربران، شبیه‌سازی را برای گروهی از کاربران که شرایط مشابه یا پروفایل مشترکی دارند طبق جدول (۱) در نظر گرفته و کارایی عملکرد با سایر الگوریتم‌ها در چند شاخص نمونه زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر این اساس پروفایل مفروض کاربران به‌قرار زیر است:

باتری: خالی، نوع حرکت: تصادفی، جهت حرکت: دورشونده، نوع سرویس: رشته‌ای، حالت کاری: کسب‌وکار، ارجحیت کاربر: کیفیت سرویس.

۶-۱- متوسط حجم دانلود مشترکین

این شاخص متوسط مجموع حجم داده‌های دریافتی کاربران از شبکه‌های متصل‌شده در هر یک از بازه‌های زمانی است؛ که بیان‌کننده موفقیت هر الگوریتم در اتصال کاربر به پرسرعت‌ترین شبکه است. در نمودار شکل (۷) مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی این مقاله از سایر الگوریتم‌ها حداقل ۲۰٪ برتری دارد. از آنجاکه برنامه کاربردی این گروه از کاربران از نوع رشته‌ای فرض شده که به نرخ بیت زیادی نیاز دارد، لذا الگوریتم پیشنهادی به این اقتضای کاربران پاسخ مناسبی داده است.

۶-۲- متوسط توان مصرفی کاربران

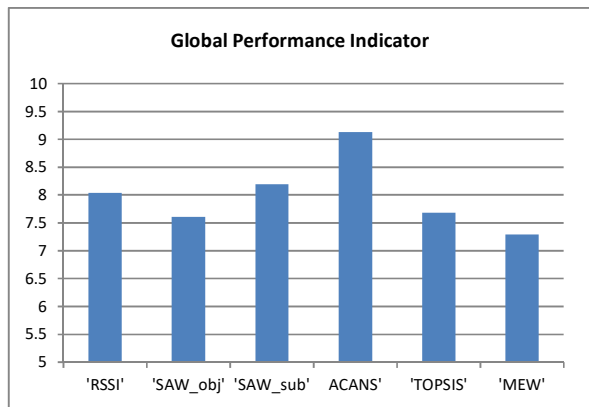
همان‌گونه‌که در نمودار شکل (۸) مشخص شده‌است به لحاظ مصرف انرژی روش ACANS کمترین مصرف انرژی را در پی داشته است. این بهینگی مصرف تحت تأثیر وضعیت خالی باتری کاربران است که نیازمند انتخاب شبکه‌های کم‌مصرف بوده‌اند.

۶-۳- متوسط تعداد دست‌به‌دست‌شدن‌ها

طبق نمودار شکل (۹) تعداد دست‌به‌دست شدن‌ها در الگوریتم پیشنهادی با اختلاف زیادی کمترین مقدار را دارا است. این موفقیت ناشی از همه‌جانبه بودن معیار تصمیم‌گیری اتخاذ شده‌است. در نقطه مقابل در روش ساده‌انگارانه RSSI که فقط به سطح سیگنال دریافتی توجه می‌شود کاربران طی حرکت خود که با فراز و نشیب سطح سیگنال شبکه‌های مختلف روبرو می‌شوند، مدام اقدام به تعویض نقطه دسترسی خود می‌کنند. روش «ترکیب ضربی با وزن نمایی» نیز به کاهش یک ویژگی حساسیت زیادی نشان داده و امتیاز کلی آن شبکه را به‌شدت کاهش می‌دهد به‌گونه‌ای که کاربر را ناگزیر به تعویض شبکه می‌کند پس مشاهده می‌شود که تعداد دست‌به‌دست شدن‌ها افزایش فراوانی در مقایسه با سایرین دارد.

۶-۴- شاخص هزینه هر گیگابایت دریافت داده

متوسط هزینه دریافت داده کاربران در روش پیشنهادی مطابق شکل (۱۰) تقریباً از همه روش‌ها بیشتر شده‌است. این بدان جهت است که اولاً کاربران مفروض در شبیه‌سازی ارجحیت کیفیت سرویس داشته‌اند نه هزینه. ثانیاً الگوریتم ارائه‌شده کلیه جوانب را باهم لحاظ می‌کند و لزوماً نمی‌تواند تمامی شاخص‌ها را هم‌زمان بهینه کند. از این‌رو بدتر شدن این شاخص را می‌توان به‌حساب هزینه سایر دست‌آوردهای این الگوریتم گذاشت.



شکل ۱۱ - متوسط شاخص جامع رضایت‌مندی کاربران

پیوست

الف) اثبات رابطه احتمال در دسترس بودن یک شبکه به شعاع پوشش R برای کاربری با شعاع حرکت r و فاصله d از ایستگاه پایه

احتمال در دسترس بودن یک شبکه در یک بازه زمانی معین این است که دامنه حرکتی کاربر در محدوده پوششی شبکه قرار گیرد. به عبارت دیگر با فرض یکنواخت بودن زاویه حرکت کاربر و دایروی بودن شعاع پوشش، هدف محاسبه احتمال عدم قرارگیری کاربر در محدوده رنگی است. روابط زیر به ترتیب صادق هستند:

$$P_{ac} = \frac{S_r - S_{blue}}{S_r}$$

$$S_r = \pi r^2$$

$$S_{blue} = 2(S_{O_{AB}} - S_{O_{AC}})$$

$$S_{O_{AC}} = S_{O_{AC}} - S_{O_{AO'}}$$

$$S_{O_{AB}} = \pi r^2 (\alpha / 2\pi)$$

$$S_{O_{AC}} = \pi R^2 (\beta / 2\pi)$$

$$S_{O_{AO'}} = \frac{1}{2} R d \sin \beta$$

$$P_{ac} = \frac{(\pi - \alpha)r^2 - \beta R^2 + R d \sin \beta}{\pi r^2}$$

$$OA^2 = OH^2 + AH^2$$

$$R^2 = (d + r \cos \alpha)^2 + (r \sin \alpha)^2$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{R^2 - r^2 - d^2}{2rd} \right)$$

$$\cos \beta = \frac{OH}{OA} = \frac{d + r \cos \alpha}{R}$$

$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{R^2 - r^2 + d^2}{2Rd} \right)$$

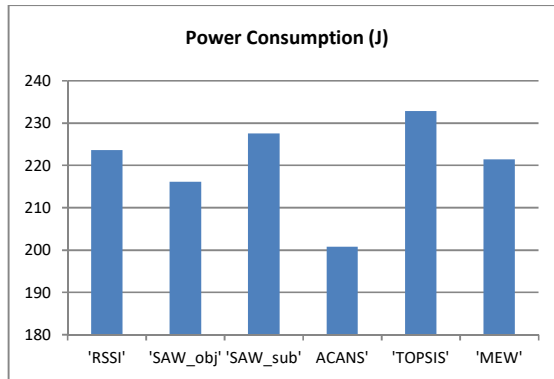
ب) تحلیل پیچیدگی محاسباتی الگوریتم پیشنهادی

در حجم محاسبات مربوط به انتخاب شبکه، پارامترهای مندرج در جدول ۱ دخالت دارند. در شمارش تعداد عملیات پایه از نمادهای درج شده در جدول ۲ استفاده شده است.

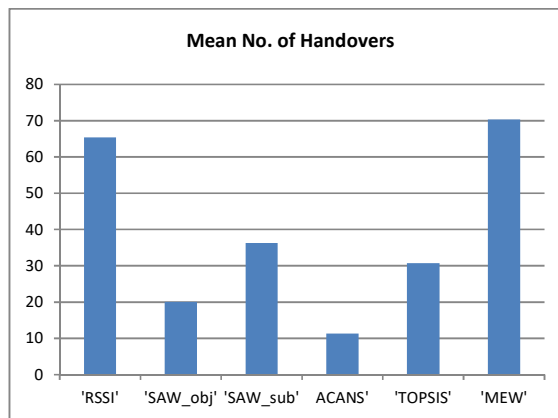
در محاسبه پیچیدگی بر اساس مرجع [۲۷] از قواعد زیر پیروی شده است:

و شرایط کاربر، در شاخص‌های مختلف برتری نسبی داشته و بیشترین رضایت‌مندی از تجربه سرویس را برای کاربران فراهم می‌کند. پیچیدگی‌های محاسباتی الگوریتم‌های این مقاله در ضمیمه ۲ نیز مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

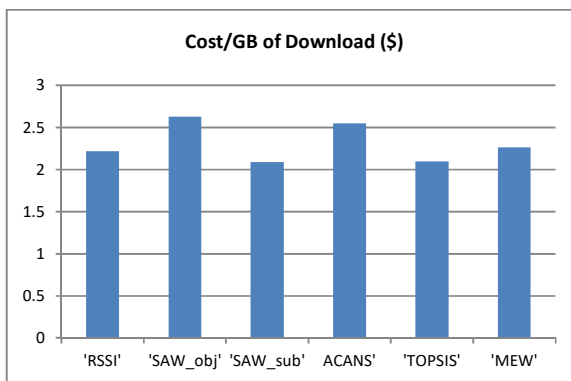
در آینده می‌توان انتخاب شبکه را از دیدگاه اپراتور شبکه با هدف بهینه‌سازی منابع به‌انجام رساند. همچنین الگوریتمی قابل‌تصور است که با تغییر وضعیت کاربر تنها محاسبات مربوط به تغییرات را به شکل مختصر انجام دهد به‌گونه‌ای که نیاز با انجام کلیه محاسبات از ابتدا نباشد و پیچیدگی محاسباتی کمتری داشته باشد.



شکل ۸ - متوسط مصرف توان کاربران



شکل ۹ - متوسط تعداد دست‌به‌دست شدن کاربران در مدت شبیه‌سازی



شکل ۱۰ - متوسط هزینه هر گیگابایت دریافت داده

مقایسه می‌کند. البته این روش جز روش‌های با معیارهای چندگانه محسوب نمی‌شود و تنها به‌عنوان یک راه‌حل بدیهی و حداقلی مطرح شده است.

روش پیشنهادی ACANS کمترین پیچیدگی را دارا است که از این جهت با روش ساده SAW برابری دارد.

جدول ۵- فهرست پارامترهایی که در حجم محاسبات دخالت دارند

پارامتر	شرح پارامتر	مقدار
n_t	تعداد گام‌های زمانی	۲۰۰
N_A	تعداد ویژگی‌های شبکه‌ها	۸
n_u	تعداد کاربران	۱۵۰
u	تعداد وضعیت‌های هر کاربر	۲۰
N	تعداد شبکه‌های در دسترس	۱۸
W_a	بردار وزن ویژگی‌های شبکه	$N_A \times 1$
A	ماتریس ویژگی‌های شبکه‌های در دسترس	$N \times N_A$
B	ماتریس مقایسه جفتی بین ویژگی‌های شبکه‌ها	$N_A \times N_A$
W_u	بردار وزن وضعیت‌های هر کاربر	$u \times 1$
D	ماتریس وابستگی	$u \times N_A$

از پیچیدگی عملیات جمع در مقایسه با ضرب در شرایط یکسان بودن ضرایب، صرف‌نظر شده‌است.

از عملیات با تعداد ثابت در مقایسه با عملیات با تعداد متغیر صرف‌نظر شده‌است.

N_A و u که به ترتیب تعداد ویژگی‌ها و تعداد حالات کاربر هستند، در مقایسه با سایر متغیرها مانند تعداد شبکه‌ها، تعداد کاربران یا تعداد گام‌های زمانی اعداد کوچک و ثابتی فرض شده‌اند که در حجم محاسبات قابل صرف‌نظر هستند.

درجه پیچیدگی محاسبه بردار ویژه ماتریس از درجه توان سوم بعد ماتریس است.

درجه پیچیدگی یافتن بیشینه و کمینه اعضای یک مجموعه N عضوی از طریق به‌ترتیب کردن، برابر با $N \log(N)$ است.

از آنجا که روش‌های مختلفی برای محاسبه ضرب وجود دارد همگی محاسبات به شکل تابعی از پیچیدگی محاسبات ضرب $O(P)$ بیان شده‌است.

در این جدول روش RSS هیچ پیچیدگی محاسباتی برای تعیین شاخص شبکه برتر ندارد و تنها به کمک سطح سیگنال دریافتی اقدام به

جدول ۶- نماد عمل‌های محاسباتی جهت برآورد پیچیدگی محاسباتی

نوع عملیات	جمع و تفریق	ضرب	تقسیم	توان	ریشه دوم	تعداد بیت نما	بردار ویژه	مرتب‌سازی
نماد	S	P	D	E	Q	k	eigen	sort

جدول ۷- تعداد عملیات اصلی و برآورد درجه پیچیدگی محاسباتی

درجه پیچیدگی	تعداد عملیات پایه	رابطه محاسبه امتیاز	
0	0	$S=A_{i1}$	RSSI
$O(n_u n_u N N_A (O(P) + O(S))) = O(n_u n_u N N_A O(P))$	$n_u n_u [(N(N_A + 2)S + N(1 + N_A)P + 2D + Q)]$	$w_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (a_{ij} - \bar{a}_j)^2} / N}{\bar{a}_j}$ $S_i = \sum_{j=1}^{N_A} A_j W_j$	SAW _{obj}
$O(n_u n_u N N_A O(P)) + O(N_A^3) = O(n_u n_u N N_A O(P))$	$n_u n_u [(N(N_A - 1)S + N N_A P) + \text{eigen}(B_{N_A \times N_A})]$	$W =$ The eigenvector of the dominant eigenvalue of B $S_i = \sum_{j=1}^{N_A} A_j W_j$	SAW _{sub}
$O(n_u n_u N N_A (2^k) O(P)) + O(N_A^3) = O(n_u n_u N N_A (2^k) O(P))$	$n_u n_u [(N(N_A - 1)P + N N_A E) + \text{eigen}(B_{N_A \times N_A})]$	$[S_{MEW}]_i = \prod_{j=1}^{N_A} a_{ij}^{w_j}$	MEW
$O(n_u n_u N N_A) + O(n_u n_u N_A N \log(N)) = O(n_u n_u N_A N \log(N))$	$n_u n_u [N((N_A - 1)S + 4N_A P + 2Q + D) + N_A \text{sort}(N)]$	$A^+ = [a_1^+, a_2^+, a_3^+, \dots, a_A^+] = \max_i(a_{ij})$ $A^- = [a_1^-, a_2^-, a_3^-, \dots, a_A^-] = \min_i(a_{ij})$ $D_i^+ = \sqrt{\sum_j w_j^2 (a_{ij} - A_j^+)^2}$ $D_i^- = \sqrt{\sum_j w_j^2 (a_{ij} - A_j^-)^2}$ $S_i = \frac{D_i^+}{D_i^+ + D_i^-}$	TOPSIS
$O(n_u n_u N_A (2u + N) O(P)) + (u + N) O(S) + N_A O(D) = O(n_u n_u N_A N O(P))$	$n_u n_u [N_A (2u + N + 1) P + (N_A (u - 1) + (N_A - 1)(N + 1)) S + N_A D + Q]$	$(w_a)_j = \sum_i (w_u)_i (u)_i (d_{ij})$ $(w_a)_i = (w_a)_i / \sqrt{\sum_i (w_a)_i^2}$ $S_i = \sum_{j=1}^{N_A} A_j W_j$	ACANS

- system,” IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 5, no. 1, pp. 176–185, Jan. 2006.
- [14] M. Cesana, N. Gatti, and I. Malanchini, “Game theoretic analysis of wireless access network selection: models, inefficiency bounds, and algorithms,” in Proc. Int. ICST Workshop on Game Theory in Commun. Net. (Gamecomm), pp. 1–10, Oct. 2008.
- [15] Ehsan Aryafar, Alireza Keshavarz-Haddad et al., “RAT selection games in HetNets,” in Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 998–1006, 2013.
- [16] C. Sun, E. Stevens-Navarro and V. W. S. Wong, “A constrained MDP based vertical handoff decision algorithm for 4G wireless networks,” in Proc. IEEE Int. Conf. Communication. (ICC), pp. 2169–2174, 2008.
- [17] J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, “A novel metric for context-aware RAT selection in wireless multi-access systems,” Proceedings of IEEE International Conference on Communications, ICC 2007, Glasgow, Scotland, June 2007.
- [18] M. Drissi and M. Oumsis, “Performance evaluation of multi-criteria vertical handover for heterogeneous wireless networks,” in Intelligent Systems and Computer Vision, ISCV 2015.
- [19] L. Wang and D. Binet, “TRUST: a trigger-based automatic subjective weighting method for network selection,” in Proc. Advanced Int. Conf. Telecommun. (AICT), pp. 362–368, 2009.
- [20] A. Mehbodniya et al., “Wireless network access selection scheme for heterogeneous multimedia traffic,” IET Networks, vol. 2, no. 4, pp. 214–223, 2013.
- [21] S. Wang, C. Fan, C. H. Hsu, Q. Sun and F. Yang, “A vertical handoff method via self-selection decision tree for internet of vehicles”, IEEE Systems Journal, vol. 10, no. 3, pp. 1183–1192, 2016.
- [22] ETSI Standard TS 122.105.V14, Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE Services and service capabilities, 2017.
- [23] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Edition, Prentice Hall PTR, 2002.
- [24] Nain, Philippe, et al. "Properties of random direction models," INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings IEEE, Vol. 3, 2005.
- [25] A. Habibzadeh, S. Shirvani Moghaddam, S.M. Razavizadeh, and M. Shirvanimoghaddam, “Modeling and Analysis of Traffic-aware Spectrum Handover Schemes in Cognitive HetNets,” Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (ETT), Wiley, Vol. 28, No. 12, Dec. 2017.
- [26] A. Habibzadeh, S. Shirvani Moghaddam, M. Razavizadeh, and M. Shirvani Moghaddam, "A Novel Handover Decision-Making Algorithm for HetNets," The 15th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT), Abu Dhabi, UAE, pp. 438–442, December 2015.
- [27] Du, Ding-Zhu, Ko. Ker-I, *Theory of Computational Complexity*, John Wiley & Sons, 2000.
- [1] António Morgado et al., “A survey of 5G technologies: regulatory, standardization and industrial perspectives,” Elsevier Digital Communications and Networks, Volume 4, Issue 2, pp. 87-97, April 2018.
- [2] W. H. Chin et al., “Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks,” IEEE Wireless Communications, vol.21, no. 2, pp. 106-112, April 2014.
- [3] A. Ahmed, L. M. Boulahia, and D. Ga’iti, “Enabling vertical handover decisions in heterogeneous wireless networks: a state-of-the-art and a classification”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 2, year 2014.
- [4] L. Wang and G. S. Kuo, “Mathematical modeling for network selection in heterogeneous wireless networks – a tutorial”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 1, pp. 271-292, 1st q. 2013.
- [5] Stefano Ferretti, Vittorio Ghini, Fabio Panzneri, “A survey on handover management in mobility architectures,” Elsevier Computer Networks, Volume 94, pp. 390-413, January 2016.
- [6] S. Lee et al., “Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 58, no. 2, pp. 865-881, February 2009.
- [7] Abdullah Gani, Golam Mokatder Nayeem, Muhammad Shiraz, Mehdi Sookhak, Suleman Khan, “A review on interworking and mobility techniques for seamless connectivity in mobile cloud computing,” Elsevier Journal of Network and Computer Applications, Volume 43, Pages 84-102, August 2014.
- [8] Q. T. Nguyen-Vuong, Y. Ghamri-Doudane and N. Agoulmine, “On utility models for access network selection in wireless Heterogeneous networks,” in Proc. IEEE Network Operations and Manage. Symp. (NOMS), pp. 144–151, 2008.
- [9] B. J. Chang and J. F. Chen, “Cross-layer-based adaptive vertical handoff with predictive rss in heterogeneous wireless networks,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 6, pp. 3679-3692, 2008.
- [10] B. R. Chandavarkar, Ram Mohana Reddy Guddeti, “Simplified and improved multiple attributes alternate ranking method for vertical handover decision in heterogeneous wireless networks,” Elsevier Computer Communications, Volume 83, pp. 81-97, June 2016.
- [11] G. Tamea, M. Biagi and R. Cusani, “Soft multi-criteria decision algorithm for vertical handover in heterogeneous networks,” IEEE Communications Letters, vol. 15, no. 11, NOV. 2011.
- [12] S. Barmounakis, A. Kaloylos, P. Spapis and N. Alonistioti, “COmpAasS: a context-aware, user-oriented radio access technology selection mechanism in heterogeneous wireless networks”, Proc. Int. Conf. on Advanced Commun. and Computation (INFOCOMP), Paris, 2014.
- [13] J. Hou and DC. O’Brien, “Vertical handover decision making algorithm using fuzzy logic for the integrated Radio-and-OW

مراجع

زیرنویس‌ها

¹² Subjective
¹³ Pair-wise
¹⁴ Sinal to Interference and Noise ratio
¹⁵ Accessibility
¹⁶ Availability
¹⁷ Normalize
¹⁸ Log-distance Path Loss Model
¹⁹ Random Direction Mobility Model
²⁰ Ping pong

¹Analytical Hierarchy Process
²Automatic Context-Aware Network Selection
³Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution
⁴TRigger-based aUtomatic Subjective weighTing
⁵Multiplicative Exponential Weighting
⁶Simple Additive Weighting
⁷Long Term Evolution
⁸Received Signal Strength (RSS)
⁹SNR (Signal to Noise Ratio)
¹⁰Multi Attribute Decision Making
¹¹Objective