Scientific Journal of Electronic & Cyber Defense
Vol. 11, No. 4, Winter 2024, Serial No. 44
ISSN: 2322-4347 , E-ISSN: 2980-8979

A Recommender System Using a Support Vector Machine and the TOPSIS Model in the Internet of Things

Mohammadmehdi hassani * | Eshrat sarmadi

* Assistant Professor, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Ayatollah Amoly branch, Amoly, Iran.

(Received: 2023/10/13, Revised: 2023/12/10, Accepted: 2023/12/13, Published: 2024/01/18)

DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.4.5.2

ABSTRACT

The Internet of Things is an emerging information architecture based on the Internet that develops interaction between things and services in a safe and reliable environment. In fact, the purpose of this structure is to reduce the distance between the things of the physical world and information systems. In the Internet of Things, it is expected that intelligent devices will become active members in business and informational and social processes, so that they are able to interact between themselves and the external environment through the exchange of data and sensed information. In fact, the Internet of Things is a network of devices in which various things can communicate with other equipment with the help of computers and through Internet connections. Recommendation technologies can help to more easily identify relevant artifacts and thus will become one of the key technologies in future IoT solutions. The main task of recommender systems is to recommend service providers that meet the different needs of users. The paper porposes a Support Vector Machine (SVM) based algorithm and the TOPSIS multi-criteria decision-making model in order to create an effective recommender system and provide suggestions to users based on their preferences and increase user satisfaction. The experimental results show that the proposed recommender system can produce a series of objective recommendations that are effective based on accuracy and variety, novelty and high coverage. Finally, the results confirm the improvement in making recommendations .

Keywords: Internet of Things, Recommender System, Internet service, Support Vector Machine (SVM), Technique of Order Preference for Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), multi-criteria, decision model .

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: m.m.hasani@iauamol.ac.ir

نشریه علمی "پدافند الکترونیکی و سایبری"
سال یازدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲، ص۶۱-۷۳
شاپا الکترونیکی: ۸۹۷۹-۲۹۸۰ شاپا چاپی: ۴۳۴۷-۲۳۲۲

علمی – پژوهشی

یک سیستم توصیه‌گر در اینترنت اشیا با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس

سید محمدمهدی حسنی[1*]، عشرت سرمدی[2]

۱. استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، آمل، ایران. ۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت‌الله آملی، آمل، ایران.

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲، انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۸)
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.4.5.2

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

نویسندگان

چکیده

اینترنت اشیا، یک معماری نوظهور اطلاعاتی مبتنی بر اینترنت است که تعامل بین اشیا و خدمات را در محیطی امن و قابل‌اطمینان توسعه می‌دهد. درواقع هدف این ساختار، کاهش فاصله بین اشیای دنیای فیزیکی و سیستم‌های اطلاعاتی است. در بحث اینترنت اشیا، انتظار می‌رود که اشیای هوشمند به عضو فعالی در کسب‌وکار و فرآیندهای اطلاعاتی و اجتماعی تبدیل شوند، به‌طوری‌که قادر باشند بین خودشان و محیط بیرونی از طریق تبادل داده و اطلاعات حس شده، تعامل داشته باشند. درواقع، اینترنت اشیا، شبکه‌ای از اشیا است که در آن اشیا مختلف می‌تواند به کمک کامپیوتر و از طریق روش‌های مختلف ارتباطی با سایر تجهیزات ارتباط برقرار کنند. در محیط اینترنت اشیا، هریک از این اشیا تحت کنترل تعدادی سرویس‌دهنده قرار دارند و به‌عبارت‌دیگر، این سرویس‌دهنده‌ها هرکدام به تعدادی از اشیا سرویس ارائه می‌دهند. کاربران باتوجه‌به نوع نیازشان هرکدام تعدادی از خدمات ارائه‌شده توسط این سرویس‌دهنده‌ها را به کار می‌گیرند. در این میان مسئله‌ای که از اهمیت بالایی برخوردار است، توصیه سرویس‌دهنده‌هایی است که استفاده از آن‌ها برای کاربران مفیدتر و بهینه‌تر است. برای رسیدن به چنین هدفی از سیستم‌های توصیه‌گر استفاده می‌شود. وظیفه اصلی سیستم‌های توصیه‌گر، توصیه سرویس‌دهنده‌هایی است که مطابق با نیازهای مختلف کاربران باشند. در این پژوهش یک سیستم توصیه‌گر جدید پیشنهاد شد که ویژگی‌های کاربران و خدمات موجود در شبکه اینترنت اشیا را در نظر گرفته و بر اساس پارامترهای ارائه شده، اقدام به توصیه خدمات بهینه متناسب با نیاز کاربران می‌کند. نوآوری این پژوهش، استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس به‌منظور ایجاد یک سیستم توصیه‌گر کارا و ارائه پیشنهادات به کاربران بر اساس ترجیحات آنها و افزایش رضایت کاربران است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که سیستم توصیه‌گر ارائه‌شده می‌تواند یک سری توصیه‌های عینی تولید کند که بر اساس دقیق و متنوع بودن، تازگی و پوشش بالایی کارایی دارد.

کلید واژه‌ها: شبکه اجتماعی برخط، عملیات اطلاعاتی، عملیات نفوذ، قدرت اطلاعات، قدرت ارتباطات، قدرت سایبری، نظریه گفتمان شناختی، قدرت شناختی سایبری.

۱- مقدمه[1]

انقلاب فناوری اطلاعات و سیستم‌های هوشمند به‌عنوان بستری برای ظهور مفهوم جدیدی به نام اینترنت اشیا درحال‌توسعه است. اینترنت اشیا شامل دستگاه‌هایی است که تحت پروتکل خاصی با استفاده از اینترنت به‌عنوان ابزار ارتباطی کار می‌کنند. اینترنت اشیا از گجت‌های کوچک و هوشمند مختلف با چارچوب‌های کاری متغیر،CPU، حافظه و غیره تشکیل شده است. به‌عنوان‌مثال، انواع متعددی از تلفن‌های هوشمند، کنترل‌کننده برق، دستگاه‌های اندازه‌گیری حرارت و انواع حسگرها که دارای پردازنده و حافظه داخلی هستند به دستگاه‌های هوشمند تبدیل شده‌اند[۱] . محققان تخمین زده‌اند که تعداد این گجت‌ها در سال ۲۰۲۵ به ۲۱۲ میلیارد خواهد رسید. درنهایت، هدف اینترنت اشیا تبادل و به‌روزرسانی اطلاعات و در نتیجه دستیابی به عملکرد مطلوب برای کل سیستم است. به‌عنوان‌مثال، فناوری‌های مختلفی مانند شناسایی فرکانس رادیویی، ارتباط میدان نزدیک، ارتباط دستگاه با دستگاه و ارتباط خودرو با خودرو خدمات ویژه‌ای را به مشتریان بر اساس نیازهای

Corresponding Author E-mail: m.m.hasani@iauamol.ac.ir

آنها ارائه می‌دهند. این آیتم‌ها با میکروکنترلرها، فرستنده و گیرنده‌ها برای فعال‌کردن تعامل، پیکربندی با پشته‌های پروتکل مونتاژ می‌شوند که تراکنش اشیا با یکدیگر را برای رسیدن به هدف مشترک بدون تداخل فردی تشخیص می‌دهند. همچنین اشیا هوشمند فیزیکی که افراد به‌صورت روزمره از آنها استفاده می‌کنند، از طریق اینترنت قابل‌تشخیص، آدرس‌پذیر و قابل‌کنترل شده‌اند. پتانسیل یکپارچه‌سازی فضای فیزیکی و سایبری فرصت-های تجاری عظیمی را ایجاد کرده است. بااین‌حال، یافتن یک مکانیسم مؤثر برای جستجو و توصیه اشیا هوشمند به کاربران همچنان یک چالش مهم است. سیستم‌های توصیه‌گر مرحله‌ای حیاتی در ترویج و بررسی مزایای اینترنت اشیا ارائه می‌دهند. آنها به‌طورکلی شامل رویه‌هایی هستند که انتخاب مصرف‌کننده را بر اساس ترجیحات آنها تسهیل می‌کند. باتوجه‌به حجم عظیمی از اطلاعاتی که از طریق اینترنت اشیا در دسترس است، کاربران احتمالاً توصیه‌های متعددی برای خدمات یا محصولات دریافت خواهند کرد[2].

آگاهی از ترجیحات کاربر برای ایجاد هر سیستم توصیه‌گر ضروری است. مهم‌ترین ویژگی چنین سیستم توصیه‌گر برای اینترنت اشیا، توانایی آن در بهره‌برداری از دانش رفتار انسان و سایر داده‌های اینترنت اشیا به‌منظور تولید توصیه‌های دقیق است. با میلیاردها منبع اینترنت اشیا متصل به اینترنت و دردسترس‌بودن آنها، یک سؤال کلیدی این است که چگونه می-توان از داده‌های اینترنت اشیا به‌عنوان منبعی برای ساخت سیستم‌های توصیه‌گر استفاده کرد؟ با توسعه رویکردهای جدید و بهبود راهکارها و تکنیک‌های توصیه‌گر مرسوم، سیستم‌های توصیه‌کننده متعددی برای اینترنت اشیا در حوزه‌های مختلفی مانند خانه‌های هوشمند، سلامت هوشمند، پارک‌های هوشمند خودرو و گردشگری هوشمند توسعه و پیاده‌سازی شده‌اند. بااین‌حال، این سیستم‌ها هنوز با چالش‌های قابل‌توجهی روبرو هستند. ساختارهای توصیه‌گر در اینترنت اشیا به سه دلیل اصلی نسبت به رویکردهای توصیه‌گر مرسوم پیچیده‌تر هستند: ۱. پرداختن و تجزیه‌وتحلیل حجم عظیمی از داده‌های بسیار ناهمگون، ۲. نیازمندی به تجزیه‌وتحلیل جامع و ۳. شناسایی برای انجام توصیه‌های دقیق و نیاز به بهره‌برداری از اطلاعات زمینه‌ای غنی برای ارائه توصیه‌هایی منطبق با ترجیحات کاربر*[3]* . داده‌های اینترنت اشیا برای پردازش گسترده در طول چرخه عمر خود باید از چندین لایه عبور کنند تا مورد پردازش قرار داده شوند. در چند سال گذشته، مطالعات زیادی در مورد سیستم-های توصیه‌گر انجام شده است. بااین‌حال، آنها بر روی تکنیک‌های توصیه‌گر مرسوم یا کاربردهای آنها (مانند سیستم‌های توصیه‌گر اجتماعی) تمرکز کرده‌اند.

در ادامه این روند، تکامل فناوری‌های مختلف از قبیل حسگرها، شناسایی و ردیابی خودکار، محاسبات نهفته، ارتباطات بی‌سیم، دسترسی با پهنای باند گسترده به اینترنت و سرویس‌های توزیع شده، پتانسیل ادغام اشیا هوشمند در زندگی روزانه ما از طریق اینترنت را افزایش داده است. همگرایی اینترنت و اشیا هوشمندی که می‌توانند به برقراری ارتباط و تعامل با یکدیگر بپردازند، منجر به توسعه سریع اینترنت اشیا شده است. این الگوی جدید به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در صنعت فناوری اطلاعات و ارتباطات[1] در سال‌های آینده تشخیص‌داده‌شده است. بسیاری از حوزه‌های کاربردی از قبیل تدارکات، فرآیندهای صنعتی، ایمنی عمومی، خودکارسازی منازل، نظارت بر محیط و مراقبت از سلامتی ممکن است با استفاده از سیستم‌های اینترنت اشیا مزایای قابل‌توجهی داشته باشند. گرایش‌های کلیدی که منجر به توسعه هر چه بیشتر این فنّاوری شدند عبارت‌اند از*[4]* :

- **کوچک‌سازی**: بر اساس قانون مور و همچنین بهینه‌سازی در مدیریت انرژی الکتریکی، دستگاه‌ها کوچک‌تر و قدرتمندتر شدند.
- **قیمت**: هزینه مؤلفه‌ها و شبکه‌های الکترونیکی نیز بر اساس قانون مور به‌صورت مداوم کاهش پیدا کرده است.

سیم زدایی: هرروزه تجهیزات بیشتری به‌صورت بی-سیم قابل‌استفاده می‌شوند و این بدان معنی است که این تجهیزات می‌توانند در هر جایی قرار گیرند. حضور فراگیر و درحال‌رشد تلفن همراه و شبکه‌های بی‌سیم دلیل اصلی این امر است.

اینترنت اشیا دارای کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف است، یک کاربرد اینترنت اشیا در نظارت مداوم بر وضعیت بیماران و علائم آن‌ها به‌منظور شناسایی و تشخیص زودهنگام بیماری و تسریع پیشرفت‌های دارویی است. گجت‌های پوشیدنی به‌واسطهٔ دادن اطلاعات تحلیلی که از فعالیت‌های بدنی، توانایی تعیین اهداف سلامت روزانه، جریان‌های درآمدی جدیدی را تولید کرده‌اند. سال‌ها است که برنامه‌های کاربردی مختلفی در حوزه سلامت وجود دارند که وضعیت خواب، وزن، تغذیه و دیگر موارد موردنظر شما را کنترل می‌کنند. نظارت بر آسانسورها و پله‌های برقی به کمک حسگر، دیگر کاربرد اینترنت اشیا است که ایمنی کاربران را ارتقا می‌دهد. حسگرهای اینترنت اشیا که اکنون قیمت کمتری به نسبت قبل دارند به ما امکان را می‌دهند که از نشت یا ترکیدگی لوله‌ها پیشگیری کنید. پهپادها با استفاده از تکنولوژی اینترنت اشیا گروه‌های جنگلبانی را قادر می‌سازند تا گزارش‌های آتش‌سوزی را به‌سرعت بررسی کنند و دیگر مجبور نباشند از طریق جاده‌های ناهموار به نقاط دور جنگل بروند. اتومبیل‌های متصل به اینترنت امکان عیب‌یابی و تعمیر آنی خودرو توسط تکنسین را فراهم می‌آورند تا ایمنی افزایش یابد*[5]* .

یکی از کاربردهای دیگر اینترنت اشیا در بازاریابی این است که شرکت‌های تجاری می‌توانند با استفاده از تعیین محدوده

[1] Information and Communication Technology (ICT)

جغرافیایی در زمان مناسب به مشتری مناسب دسترسی داشته باشند. تعیین محدوده جغرافیایی حوزه‌ای مجازی است که در آن برنامه‌های کاربردی قادر هستند باتوجه‌به ورود یا خروج کاربر از محلی خاص، هشدار ارسال کنند. علاوه بر موارد بیان شده در بالا، کاربردهای بسیار زیادی دیگری برای اینترنت اشیا وجود دارند که به‌صورت روزافزونی، حجم استفاده از آنها افزایش می‌یابد. بسیاری از کاربردهای مربوط به اینترنت اشیا، نه‌تنها روی نظارت بر رویدادهای گسسته تمرکز می‌کند، بلکه بر روی کاوش اطلاعات به‌دست‌آمده از مؤلفه‌های اینترنت اشیا نیز متمرکز می‌شوند. بسیاری از ابزارهای جمع‌آوری داده‌ها در اینترنت اشیا، ابزارهای مجهز به حسگر هستند که نیاز به پروتکل‌های سفارشی مانند انتقال پیام تله‌متری[1] و سرویس توزیع داده دارند. براین‌اساس، حسگرهایی که در تمامی صنایع استفاده می‌شوند، حجم پردازشی عظیمی را بر اینترنت اشیا تحمیل می‌کنند. داده‌های تولیدشده از ابزارهای مربوط به اینترنت اشیا، می‌توانند در پیداکردن روندهای تحقیقاتی بالقوه و بررسی تأثیر رویدادهای خاص و یا تصمیمات ویژه، مؤثر باشند. گرچه اینترنت اشیا می‌تواند فرصت‌های بی‌سابقه‌ای را در جهت افزایش سود، کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی ارائه کند، ولی جمع‌آوری مقدار زیادی از داده‌ها به‌تنهایی کافی نیست. برای کسب سود از اینترنت اشیا، سازمان‌ها باید، پلتفرم‌هایی ارائه کنند که بتواند، حجم زیادی از داده‌های حسگر را جمع‌آوری، مدیریت و تحلیل کنند و در صورت نیاز به مقاصد موردنظر ارسال نمایند*[6]* .

در این راستا، با گسترش گجت‌ها و خدمات اینترنت اشیا، انتخاب خدمات مناسب بر اساس نیاز کاربران به بحثی عظیم تبدیل شده است، زیرا کاربران معمولاً نمی‌توانند سرویسی را انتخاب کنند که برای آنها مفید است. همچنین برای ارزیابی کاربران در مورد انتخاب خدمات اینترنت اشیا مناسب بر اساس نیازهای روزانه، سیستم‌های توصیه‌گر برای کمک به کاربران در تصمیم‌گیری توسعه داده می‌شوند. تصمیم‌گیری یکی از بخش‌های اجتناب‌ناپذیر زندگی انسان است. انتخاب‌های زیاد و نبود دانش کافی از فضای تصمیم‌گیری و کمبود زمان، همگی فرآیند تصمیم‌گیری را دشوار می‌سازد. به نظر می‌رسد سیستم‌های توصیه‌گر برای حل این مشکلات از اهمیت بالایی برخوردار شوند. این سیستم‌ها به‌سرعت درحال‌توسعه هستند که اغلب به شکل سیستم‌های نرم‌افزاری ارائه می‌شوند که تصمیمات کاربر را در بسیاری از زمینه‌ها مانند گردشگری، رستوران و غیره تسهیل می‌کنند*[7]* . سیستم‌های توصیه‌گر بر اساس تکنیک‌های آماری و کشف دانش کار می‌کنند تا موارد را به کاربران توصیه کنند. عملکرد این سیستم‌ها بر اساس ترجیحات و رفتارهای کاربر است و در سطح بعدی، نتایج سیستم‌های توصیه‌گر، گزینه‌هایی هستند که با علاقه‌مندی‌های هر کاربر مناسب هستند و به آنها در انتخاب بهترین گزینه‌ها از بین انتخاب‌های خود کمک می‌کنند.

[1] MQ Telemetry Transport (MQTT*)*

در تجزیه‌وتحلیل اطلاعات کاربر سه عامل کلیدی شامل کاربر، شی و سرویس وجود دارد که ارتباط بین آنها سه‌گانه‌ای را ایجاد می‌نماید، به این معنی که هر کاربر از دستگاه‌هایی استفاده می‌کند که هر کدام متعلق به شرکت‌های خاصی است. در این راستا، مشتریان با گزینه‌های متعددی مواجه می‌شوند که سیستم توصیه‌گر به آنها در یافتن یک انتخاب مناسب کمک می‌کند. به‌طورکلی اهمیت استفاده از سیستم‌های توصیه‌گر در اینترنت اشیا بهبود فرایندهای استفاده از امکانات ارتباطی بین اشیا و ارائه توصیه‌های بهتر به کاربران به‌منظور افزایش میزان رضایت استفاده از فناوری‌های ارائه شده است.

تکامل فناوری اطلاعات باعث ایجاد مفهوم جدیدی به نام اینترنت اشیا شد که در آن برخی از دستگاه‌ها نیازهای کاربران را به‌صورت آنلاین برآورده می‌کنند. سرورهایی که توسط برخی شرکت‌ها ارائه می‌شوند، هر یک از این دستگاه‌ها را کنترل می‌کنند و کاربران بر اساس نیاز خود، اشیا را انتخاب می‌کنند. امروزه رویکردهای مختلفی برای ارائه پیشنهادات بهینه به کاربران در محیط اینترنت اشیا ارائه شده است. در این پژوهش نیز یک سیستم توصیه‌گر جدید پیشنهاد می‌شود که ویژگی‌های کاربران و خدمات موجود در شبکه اینترنت اشیا را در نظر گرفته و بر اساس پارامترهای ارائه شده، اقدام به توصیه خدمات بهینه متناسب با نیاز کاربران می‌کند. نوآوری این پژوهش، استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس به‌منظور ایجاد یک سیستم توصیه‌گر کارا و ارائه پیشنهادات به کاربران بر اساس ترجیحات آنها و افزایش رضایت کاربران است.

ساختار کلی مقاله به این صورت است که در بخش دوم سیستم‌های توصیه‌گر ارائه شده توسط محققان در محیط اینترنت اشیا به همراه و مزایا و معایب هر یک از این سیستم‌ها، مطالعه و بررسی می‌شوند. در بخش سوم مدل پیشنهادی سیستم توصیه‌گر در اینترنت اشیا با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس به‌عنوان یک روش جدید بیان خواهد شد. در بخش چهارم شبیه‌سازی‌ها و نتایج شبیه‌سازی‌ها به‌منظور بررسی و ارزیابی کارایی رویکرد پیشنهادی بیان خواهند شد و در بخش پنجم نتیجه‌گیری کلی و کارهای آتی بیان می‌شوند.

۲. پیشینه تحقیق

در این بخش الگوریتم‌های توصیه‌گر در اینترنت اشیا مطالعه و بررسی می‌شوند؛ مزایا و معایب هرکدام مطرح شده و در نهایت یک مقایسه کلی بین الگوریتم‌ها صورت می‌گیرد. با توسعه اینترنت اشیا، دستگاه‌ها و خدمات هوشمند بیشتری در زندگی مردم ظاهر شدند.

گروه تحقیقاتی کائو و همکارانش محققان*[8]* یک رویه توصیه‌گر سرویس آگاه از کیفیت سرویس بر اساس مدل موضوع

ارتباطی و ماشین‌های تجزیه برای کاربردهای مشاب اینترنت اشیا ارائه می‌شود. این روش می‌تواند از مدل موضوع ارتباطی برای مشخص کردن ارتباط بین خدمات مشاپ و ارتباط‌های آن‌ها استفاده کرده و موضوعات ارائه شده توسط ارتباط‌ها را مورد کاوش قرار دهد. دوم این‌که این روند می‌تواند ماشین‌های تجزیه را برای آموزش موضوعات پنهان برای پیشگویی ارتباط بینک بین مشاپ و سرویس‌ها برای توصیه واسطهای برنامه‌ریزی کاربردی وب مناسب برای تولید مشاب اینترنت اشیای هدف توسعه دهد. درنهایت، محققان در این پژوهش یک ارزیابی جامع برای اندازه‌گیری عملکرد روش خود ارائه می‌کنند. در مقایسه با سایر رویکردهای توصیه‌گری، نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دارای بهبود قابل‌توجهی در مؤلفه‌های، دقت، فراخوانی و اندازه‌گیری F است.

در *[9]*، معماری اینترنت اشیای توزیع‌شده را در راستای یک سیستم توصیه‌گر سیار توسعه می‌دهند. در اصل، محققان روی ساختارهای چندمنظوره مبتنی بر ماشین تمرکز می‌کنند که در آن مسافران، یک مسیر را با خودروی خود شروع می‌کنند و نیاز به مسیریابی برای رسیدن به مقصد دارند. در این سناریو، محققان یک معماری توزیع‌شده برای یک سیستم توصیه‌گر سیار[1] ارائه می‌کنند که به رانندگان کمک می‌کند تا نیازهای سیار خود را با ارائه راه‌حل‌های مناسب حل کرده و ترجیحات کاربران و وضعیت و قوانین شهر را نیز در نظر می‌گیرند. برای حل این مسئله، یک معماری مبتنی بر برنامه‌ریزی محاسباتی مسیر ارائه می‌گردد که درآن، ارزیابی مسیرهای چندگانه در ابر انجام می‌شود. با کسب اطلاعات از برنامه‌ریزی محاسباتی مسیر ویژه توسعه داده شده، سیستم توصیه‌گر سیار، برای استفاده در مسیرهای متفاوت و پیشنهاد ساختارهای مناسب استفاده می‌شود. هدف کلی روش پیشنهادی، ارائه معماری مقیاس‌پذیر سطح بالا از سیستم برای توسعه منابع داده‌ای اینترنت اشیای چندگانه است که درآن ماژول‌های هسته‌ای برنامه‌ریزهای محاسباتی مسیر چند ماژوله و سیستم توصیه‌گر سیار هستند.

معماری چارچوب پیشنهادی وریس و همکارانش *[10]* متشکل از سه بخش عمده کاربران، سرویس‌ها و دستگاه‌ها است. این چارچوب کاربرانی را در نظر می‌گیرد که هر یک از آن‌ها دارای یک پروفایل اختصاصی است و از دستگاه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌کند و این دستگاه‌ها توسط برخی از سرورهای موجود در شرکت‌ها پشتیبانی می‌شوند. هر سرویس متشکل از چندین شیء اینترنت اشیا و کاربرانی است که از این شیها استفاده می‌کنند. سیستم توصیه‌گر، اطلاعات کاربران را بر اساس سه فاکتور کاربر، سرویس و دستگاه آنالیز می‌کند و گزینه‌های مناسب را به آنها توصیه می‌کند و در استفاده از سایر دستگاه‌های اینترنت اشیا به آنها کمک می‌کند.

در اولین سطح، سیستم توصیه پیشنهادی شروع به آنالیز رفتار کاربر می‌کند که شامل اطلاعات استفاده از تجهیزات اینترنت اشیا است، سپس، سیستم شباهت رفتارهای کاربران را پیدا کرده و درنهایت شی های اینترنت اشیا را بر اساس شباهت پروفایلشان توصیه می‌کند.

در *[11]*، یک سیستم توصیه‌گر مبتنی بر چارچوب کلان داده و سیستم مبتنی بر قاعده در زمینه اینترنت اشیا پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی به‌منظور آنالیز الگوهای مصرفی در زمان نیمه واقعی بر اساس معماری سیستم کلان داده ارائه شده است و همچنین یک چارچوب توصیه در نظر گرفته شده است که توصیه‌های استفاده‌شده از دستگاه را طبق معماری سیستم مبتنی بر قاعده با الگوهای مصرف آنالیز شده ارائه می‌کند. این چارچوب توصیه برمبنای آنالیز مبتنی بر بخش‌بندی و بر اساس الگوهای مصرف است.

در *[12]* یک را حل سیستماتیکی چندعاملی *(MAS)* برای تولید سیستم توصیه‌گر شخصی شده در ابزارهای سیار ارائه می‌شود که از داده‌های به‌دست‌آمده از اینترنت اشیا برای توصیه-گری استفاده می‌کنند. برای پردازش داده‌های حجیم و ارائه مدل‌های شخصی شده در سمت سرور، معماری *MAS* برای پردازش داده‌های بزرگ استفاده می‌شود. برای ارائه توصیه‌های آگاه از محتوا برای داده‌های ورودی بسیار پراکنده بر اساس اطلاعات حسگرهای متفاوت و اینترنت اشیا، استفاده از *CARS2*، پیشنهاد می‌شود. فرض اصلی در مورد دستگاه سیار در معماری ارائه شده، کانال ارتباطی غیرقابل‌اعتماد بین طرف سیار و سرور است. این نتیجه پارادایم جدیدی از محاسبات کامپیوتری مدل پایه به نام «مدل به داده‌ها» است که در آن سیستم‌های توصیه گر، تمام محاسبات برای کاربر فعال و زمینه فعلی را با استفاده اطلاعات به‌دست‌آمده از سمت سرور دریافت می‌کنند.

در پژوهش گروه تحقیقاتی ون و همکارانش *[13]*ابتدا، استخراج ویژگی محلی الگوریتم تبدیل ویژگی تغییر ناپذیر مقیاس، برتری طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم *Fast-RCNN* مبتنی بر یادگیری عمیق در استخراج ویژگی چند مقیاسی برای طراحی توضیح داده می‌شود، سپس یک سیستم پس زمینه هوشمند مبتنی بر یادگیری عمیق و فناوری اینترنت اشیا توسعه داده شد. بر این اساس این پژوهش، یک الگوریتم استخراج ویژگی مبتنی بر ساختار ویژگی سطح میانی پیشنهاد کرده است که ویژگی‌های اساسی تصاویر صحنه را استخراج می‌کند. پس از آن، اجزای عملکردی حیاتی سیستم پس‌زمینه هوشمند توضیح داده می‌شوند که ضمن بهبود کارایی سیستم توصیه‌گر، زمان اجرای سیستم را نیز بهبود می‌دهد.

گروه تحقیقاتی کایی و سایر همکارانش *[14]* سیستم توصیه‌گری پیشنهاد کردند که از ویژگی‌های کیفیت و رویه‌های جایگزین استفاده می‌کند. سیستم با استفاده از یک الگوریتم تخمین درخت استینر پیاده‌سازی شده است که می‌تواند ترکیبی

[1] Mobility Recommender System (MRS)

از واسط‌های برنامه‌ریزی کاربردی وب و ابزارهای اینترنت اشیای مناسب برای مشاپ‌ها را ارائه کند. راهکار پیشنهادی در دو جنبه ارزیابی شد که شامل ارزیابی اعتبار و عملکرد الگوریتم بود. ارزیابی اعتبار روش پیشنهادی، با اجرای سیستم در یک گراف واقعی از واسط‌های برنامه‌ریزی کاربردی وب و ابزارهای اینترنت اشیا انجام شد. عملکرد با استفاده از گراف‌های بزرگ تولید شده که توسط یک مولد عدد شبه تصادفی ارائه شده بود، تأیید می‌شود. سیستم می‌تواند نتایجی از ۲۸۲۰۰ گره را در ۸ ثانیه ارائه کند که بسیار کوتاه‌تر از سایر مواردی است که در آن توسعه‌دهنده‌ها برای ترکیب مؤلفه‌ها صرف می‌کنند.

جدول ۲-۱ شامل راه‌کارهای سیستم‌های توصیه‌گر در شبکه‌های اینترنت اشیا است که مزایا و معایب هر یک از الگوریتم‌های مورد بررسی در این فصل را بیان می‌کند. در این جدول ابتدا مزایا و معایب روش‌های قبلی بیان شده و به‌منظور رفع معایب روش‌های قبلی، در فصل بعدی ایده جدید پیشنهاد می‌شود.

جدول (۲): مقایسه روش های موجود

مؤلفین	مزایای الگوریتم	معایب الگوریتم
[8]	بهبود قابل‌توجهی در مؤلفه‌های، دقت، فراخوانی و اندازه‌گیری F	نیازمند به طراحی پیچیده و پیچیدگی ایجاد مدل ارتباطی موضوعی
[9]	سرعت بالای ارائه نتایج توصیه‌گری و دقت زیاد در تولید گراف‌های ارزیابی	پیچیدگی بالا به دلیل تنوع واسط‌های برنامه‌ریز کاربری و دستگاه‌های اینترنت اشیا
[10]	بهبود ساختارهای پردازش موازی و کاهش هزینه در سیستم افزایش کارایی و کاهش زمان اجرا	سطح انعطاف پایین در مقیاس‌های بزرگ
[11]	بهبود سیستم توصیه‌گر با افزایش تعداد کاربران و حجم پردازش‌ها	هزینه بالای سیستم در شرایط با مولفه‌های پیچیده
[12]	امکان افزودن یا اعمال قاعده جدید را در سیستم توصیه‌گر مبتنی بر کلان‌داده‌ها بدون ایجاد تغییراتی در سیستم	استفاده از ساختارهای سنتی برای تشخیص الگو بر روی چارچوب کلان‌داده به‌منظور تجزیه‌وتحلیل الگوهای مصرف
[13]	زمان‌بندی دقیق محاسباتی در یک دستگاه سیار روبرویی مناسب با مسائل پراکندگی داده و مسئله شروع سرد	پیچیدگی محاسباتی زیاد و هزینه بالا
[14]	بهبود زمان اجرای مدل پیشنهادی، افزایش دقت و کاهش هزینه توصیه‌ها	پیچیدگی بالا به دلیل تنوع واسط‌های برنامه‌ریز کاربری و دستگاه‌های اینترنت اشیا

۳ . تجزیه و تحلـیل روش پیشنـــهادی

ازآنجایی‌که در سیستم اینترنت اشیا برای ارائه تصمیمات اساسی به سیستم‌های توصیه‌گر تکیه می‌شود، ارزیابی عملکرد سیستم‌های توصیه‌گر یک کار حیاتی است. سیستماتیک‌ترین راه برای ارزیابی، تقسیم مجموعه‌داده‌ها به مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی، ساختن یک مدل بر روی مجموعه آموزشی، و سپس استفاده از مجموعه تست برای ارزیابی است. معیارهایی مانند میانگین خطای مطلق، خطای میانگین مربعات ریشه و دقت و فراخوانی معمولاً برای تعیین کمیت عملکرد یک سیستم توصیه-گر مبتنی بر اینترنت اشیا استفاده می‌شوند [15]. امروزه رویکردهای متنوعی در زمینه سیستم‌های توصیه‌گر در محیط اینترنت اشیا ارائه شده است که هریک از رویکردها مزایا و معایبی دارند، در این راستا و به‌منظور پوشش معایب رویکردهای موجود، یک سیستم توصیه‌گر در اینترنت اشیا با استفاده از ماشین بردار پشتیبان و مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس ارائه می‌شود که ضمن بهبود دقت، باعث کاهش تأخیر محاسباتی با ارزیابی پارامترهای کیفیت سرویس اشیا و کاهش زمان اجرا و بهبود رضایت کاربران می‌شود.

روش پیشنهادی، یک سیستم توصیه‌گر در ساختار اینترنت اشیا هست که ضمن بهبود فرایندهای توصیه خدمات به کاربران، قادر به افزایش رضایت و کاهش زمان اجرا و تأخیر در شبکه هست. به‌طورکلی روش پیشنهادی در دوفاز اجرا می‌شود. در فاز اول، داده‌های کیفیت سرویس مربوط به اشیا یا گره‌های پردازشی به‌صورت یک مجموعه‌داده از ویژگی‌های اشیا دریافت شده و با استفاده از ماشین بردار پشتیبان پردازش و طبقه‌بندی می‌شوند:

ماشین بردار پشتیبان، داده‌ها را باتوجه‌به دسته‌های از پیش تعیین شده آنها به یک فضای جدید نگاشت می‌دهد، البته به‌گونه‌ای که داده‌ها به‌صورت خطی (ابر صفحه) قابل‌تفکیک و دسته‌بندی باشند و سپس با یافتن خطوط پشتیبان (صفحات پشتیبان در فضای چندبعدی)، سعی در یافتن معادله خطی دارد که بیشترین فاصله را بین دودسته ایجاد می‌کند. به‌صورت ریاضی، دسته‌بندی ماشین بردار پشتیبان یک ابر صفحه $h()$ در فضای ویژگی با ابعاد بزرگ است که یک محدب بهینه‌شده در طول آموزش است و در نتیجه قادر به ایجاد بیشترین فضا بین کلاس‌های مختلف است. مرحله آموزش را می‌توان با استفاده از یک معادله ساده $a = h(x)$ بیان نمود که در آن a نشان‌دهنده روند فعال‌سازی ابر صفحه است و X نشان‌دهنده بردار ویژگی شی مورد آزمایش است. مقدار به‌دست‌آمده از این معادله، نشان می‌دهد که کدام کلاس به‌درستی پیش‌بینی‌شده است و علاوه بر این مشخص می‌کند که مقدار مطلق شاخص اطمینان تصمیم در کجا قرار دارد. با استفاده از الگوریتم بردار پشتیبان بهبودیافته،

پیچیدگی زمانی آموزش برای یک ابر صفحه برابر $O(m_{train})$ می‌شود که در آن m_{train} نشان‌دهنده تعداد نمونه‌های آموزشی است. در روش تصمیم‌گیری با استفاده از ماشین بردار پشتیبان، برای هر کلاس، یک ابر صفحه جداگانه توسط نمونه‌های آزمایشی از کلاس‌ها که مقدار آن‌ها مثبت است، آموزش می‌بینند و مابقی نمونه‌ها در مجموعه داده به‌صورت منفی در نظر گرفته می‌شوند. در طول آموزش مدل، یک شی آموزشی به کلاسی تخصیص داده می‌شود که مقدار a آن از بقیه بیشتر باشد. پیچیدگی محاسباتی کل مدل در این حالت برابر $O(m_{train}, N)$ است که در آن N نشان‌دهنده تعداد کل کلاس‌ها است در روند آموزش، تخصیص برچسب‌ها به M شی آموزشی را می‌توان در زمان $O(m_{train}.N)$ انجام داد. برای پایگاه داده‌های بزرگ انجام چنین عملیاتی از نظر زمان بسیار هزینه‌بر خواهد بود تا بتوان فعالیت ایجاد مدل آموزشی انجام پیش‌بینی را به‌درستی انجام داد.

ازآنجایی‌که تعداد مجموعه‌ها، تأثیر زیادی بر روی عملکرد طبقه‌بندی‌کننده دارد، راه‌حلی برای محدودسازی تعداد مقایسه‌های لازم با اصلاح طرح استاندارد یک به چند[1] پیشنهاد می‌شود. در طول آموزش ماشین بردار پشتیبان به‌جای مقایسه هر کلاس با مجموعه تمام کلاس‌ها، تنها با مشابه‌ترین کلاس‌ها مقایسه انجام می‌گیرد. این طرح، طرح یک به نزدیک[2] نامیده می‌شود که امکان محدودسازی تعداد شی‌های موردنیاز برای آموزش را در طول ساخت یک طبقه‌بندی‌کننده باینری، با کاهش مجموعه‌داده به مشابه‌ترین مجموعه‌ها، فراهم می‌سازد. این راه‌حل از فرضیه‌های خاصی استفاده می‌کند که باید برای عملکرد صحیح برقرار باشند.

- مجموعه‌داده باید حاوی تعداد زیادی مجموعه قابل‌تشخیص باشد.
- یافتن نزدیک‌ترین همسایه‌های هر مجموعه در مدت‌زمان کوتاه، باید امکان‌پذیر باشد.
- مجموعه‌های همسایه باید امکان ایجاد یک طبقه‌بندی‌کننده مناسب را فراهم سازند.

تمام این شرط‌ها باید در مجموعه‌داده پراکنده‌ای؛ مانند نمایش قابل‌پردازش ماشین ویکی‌پدیا بر اساس بسته کلمات برقرار باشند. به دلیل تعداد زیاد مجموعه‌ها، باید محدودسازی اندازه مجموعه‌داده آموزشی برای هر طبقه‌بندی‌کننده باینری امکان‌پذیر باشد. این راه‌حل باید دارای مزایای زیر باشد:

- مصرف حافظه باید محدود شود.
- کارایی آموزش باید به دلیل اندازه کوچک‌تر مجموعه آموزشی بهتر باشد.
- صحت طبقه‌بندی‌کننده حاصل باید قابل‌مقایسه با صحت طبقه‌بندی‌کننده آموزش‌دیده بر روی کل مجموعه‌داده باشد، اگر فرضیه‌های بالا برقرار باشند، یا حتی به دلیل کاهش نویز بهتر باشند.
- مشکل مجموعه‌داده‌هایی که از عدم توازن بالایی برخوردار هستند، باید به حداقل برسد.

ازآنجایی‌که ماشین بردار پشتیبان از بردارهای پشتیبان برای ایجاد ابر صفحه استفاده می‌کند، تنها نقاط داده در مرز بین مجموعه‌ها برای نتیجه از اهمیت زیادی برخوردار هستند. به این مفهوم که بخش عمده مجموعه‌داده باید افزونه باشد و تنها نقاط موجود در مجموعه‌های همسایه برای ایجاد یک طبقه‌بندی‌کننده صحیح لازم هستند. به‌طورکلی، در روش پیشنهادی نیز از ماشین بردار پشتیبان به‌منظور طبقه‌بندی اشیا استفاده خواهد شد و با طبقه‌بندی اشیا می‌توان فرایند انتخاب و توصیه سرویس به کاربران را با کارایی قابل‌توجه‌تری نشان داد.

در ادامه به‌منظور ارزیابی ترجیحات کاربران، از مدل تاپسیس استفاده می‌شود. باتوجه‌به اینکه فرایند تاپسیس یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره بود و در طرف مقابل نیز ترجیحات کاربران نیز به‌صورت پارامترهای چندمعیاره و متغیر در نظر گرفته می‌شود. به‌طورکلی راهکار تاپسیس یک روش تصمیم-گیری چندمعیاره است که از ترکیب پارامترهای مختلف برای رتبه‌بندی موجودیت‌ها استفاده می‌کند. راهکار تاپسیس مدل‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه برتر است. این مدل از سال ۱۹۸۴ بر مبنای روش توافق جمعی و با داشتن معیارهای متضاد تهیه شده و عموماً برای حل مسائل گسسته کاربرد دارد. این روش برای بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های پیچیده توسعه‌یافته است. این روش روی دسته‌بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه‌ها تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسئله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند، به‌طوری‌که قادر است تصمیم‌گیرندگان را برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. در اینجا جواب سازشی نزدیک‌ترین جواب به جواب ایده‌آل است که کلمه سازش به یک توافق متقابل اطلاق می‌گردد. درواقع مدل تاپسیس از طریق ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، گزینه‌ها را اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی می‌کند [16].

در این مدل معیارها وزن‌دهی نمی‌شوند؛ بلکه معیارها از طریق روش‌های دیگر ارزیابی می‌شوند و سپس گزینه‌ها بر اساس معیارها و با ترکیب در ارزش معیارها، ارزیابی شده و رتبه‌بندی می‌شوند. در این مدل همواره چند گزینه مختلف وجود دارد که این گزینه‌ها بر اساس چند معیار به‌صورت مستقل ارزیابی می‌شوند و درنهایت گزینه‌ها بر اساس ارزش، رتبه‌بندی می‌گردند. تفاوت اصلی این مدل با مدل‌های تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی یا

[1] One–Vs–All
[2] One–Vs–Near

شبکه‌ای این است که برخلاف آن مدل‌ها، در این مدل‌ها مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد و هر گزینه مستقلاً توسط یک معیار سنجیده و ارزیابی می‌گردد. مزیت مدل تاپسیس در این است که الزاماً در این مدل جهت ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، نیازی به استفاده از نظرات کارشناسان نیست بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده کرد. این تفاوت اصلی این مدل با روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل شبکه‌ای است که بر اساس مقایسات زوجی معیارها و گزینه‌ها طراحی شده‌اند درحالی‌که در این مدل مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد؛ بلکه هر گزینه به‌صورت مستقل بر اساس هر معیار ارزیابی می‌شود. این ارزیابی می‌تواند بر اساس داده‌های خام باشد یا بر اساس نظر کارشناس باشد؛ بنابراین هدف اصلی این مدل تعیین وزن و ارزش هر گزینه و رتبه‌بندی آن‌ها است و درنهایت تصمیم‌گیری بر اساس این رتبه‌بندی انجام می‌شود. مراحل روش تاپسیس، در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، با n معیار و m واحد به شرح ذیل است:

گام اول) اولین گام روش تاپسیس تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم یا همان ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها بر اساس معیارها تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم با X و هر درایه-های آن با Xij نشان داده می‌شوند تکنیک تاپسیس برخلاف تکنیک تاپسیس بر آمار و ارقام واقعی متکی است و کمتر برای ارزیابی از طیف لیکرت استفاده می‌شود.

گام دوم) تعیین بردار وزن معیارها (به کمک یکی از روش‌های تصمیم‌گیری مانند AHP، نظر خبرگان و ...)

گام سوم) تعیین نقطه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی. گام دوم شناسایی بهترین مقدار و بدترین مقدار در هر معیار ماتریس (جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی) است برای معیار مثبت (با ماهیت سود)، بزرگ‌ترین مقدار بهترین نتیجه است و کوچک‌ترین مقدار بدترین پاسخ است. برای معیار منفی (با ماهیت هزینه)، کوچک‌ترین مقدار بهترین مقدار است و بزرگ‌ترین مقدار بدترین نتیجه است. برای محاسبه این دو مقدار از رابطه (۱) استفاده می‌شود [16].

$$\tilde{f}_j^* = max\ \tilde{x}_{ij}\ ,\tilde{f}_j^- = min\ \tilde{x}_{ij} \quad (۱)$$

دراین‌رابط ه $\tilde{f}_j^*$ نشان‌دهنده ایده‌آل مثبت است و $\tilde{f}_j^-$نشان‌دهنده ایده‌آل منفی است.

گام چهارم) محاسبه مقدار سودمندی (Si) و مقدار نارضایتی (Ri) برای هر واحد. در این گام مقدار شاخص‌های مطلوبیت و عدم مطلوبیت برای هر یک از واحدهای موجود در مسئله محاسبه می‌شوند. مقدار سودمندی (S) بیانگر فاصله نسبی گزینه i ام از نقطه ایده‌آل و مقدار تأسف (R) بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه i ام به دلیل دوری از نقطه ایده‌آل است. برای محاسبه این مقادیر به ترتیب از روابط (۲) و (۳) استفاده می‌شود [۱۶].

$$S_j = \sum_{j=1}^{n} w_j . \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)} \quad (۲)$$

$$R_j = max\left[w_j . \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)}\right] \quad (۳)$$

دراین‌رابطه w_j نشان‌دهنده وزن معیار و به‌عبارت‌دیگر نشان‌دهنده درجه اهمیت معیار موردنظر است.

گام پنجم) محاسبه شاخص ویکور (Qi) برای هر واحد. در این گام مقدار شاخص تاپسیس با استفاده از رابطه (۴) برای هریک از واحدها محاسبه می‌شود *(Lihong, Yanping, and Zhiwei 2008)*.

$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right] + (1 - v)\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right] \quad (۴)$$

که دراین‌رابطه مقادیر S^*، S^-R^* و R^- به ترتیب با استفاده از روابط (۵)، (۶)، (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند. در این رابطه مقدار v نشان‌دهنده وزن استراتژی S_j و R_j است [16]..

$$S^* = Min\ S_i \quad (۸)$$

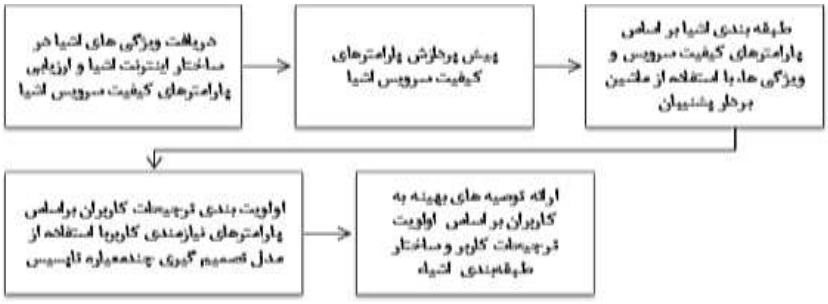
$$S^- = Max\ S_i \quad (۶)$$

$$R^* = Min\ R_i \quad (۷)$$

$$R^- = Max\ R_i \quad (۸)$$

گام ششم) مرتب‌کردن واحدها بر اساس مقادیر Si، Ri و Qi. در این مرحله تمامی واحدها بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده از روابط بالا مرتب‌سازی می‌شوند تا بر اساس شروط از پیش تعریف شده گزینه ایده‌آل انتخاب شود.

گام هفتم) پیشنهاد راهکار سازشی باتوجه‌به دو شرط: مزیت قابل‌قبول، به این معناست راهکار سازشی می‌بایست با راهکار بعدی خود تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای داشته باشد. ثبات قابل‌قبول در تصمیم‌گیری، به این معناست که راهکار سازشی انتخاب شده باید حداکثر مطلوبیت گروهی و حداقل تأثر فردی را داشته باشد. پس از اولویت‌بندی ترجیحات کاربران، نوبت به توصیه خدمات به کاربران با استفاده از مدل پیشنهادی می‌شود که در این بخش، اشیا طبقه‌بندی‌شده بر اساس ویژگی‌های موجود، بر اساس اولویت ترجیحات کاربر توصیه می‌شود و این فرایند بهبود رضایت و کاهش تأخیر را در پی خواهد داشت. . به‌طورکلی مدل روش پیشنهادی در شکل (۱) قابل نمایش هست.

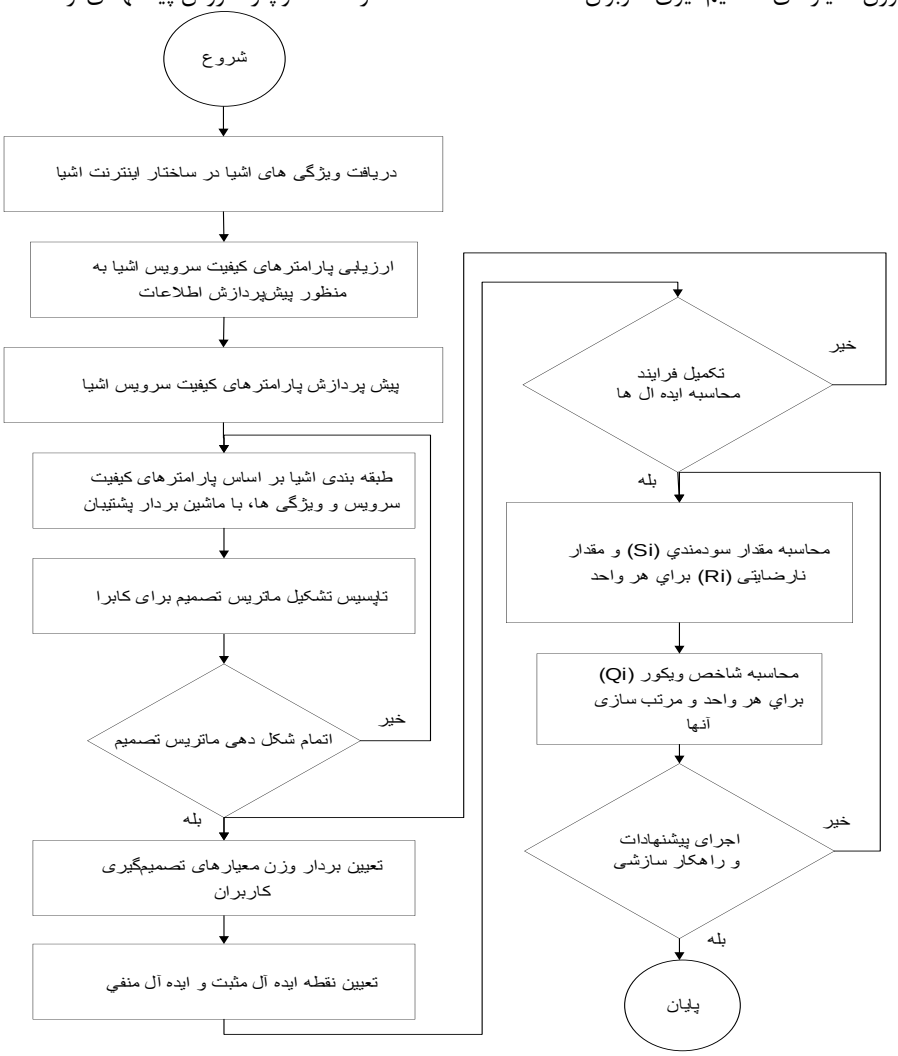


شکل (۱): مدل رویکرد پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر قابل‌توصیف است:

۰. شروع
۱. دریافت ویژگی‌های اشیا در ساختار اینترنت اشیا
۲. ارزیابی پارامترهای کیفیت سرویس اشیا به‌منظور پیش-پردازش اطلاعات
۳. پیش‌پردازش پارامترهای کیفیت سرویس اشیا
۴. طبقه‌بندی اشیا بر اساس پارامترهای کیفیت سرویس و ویژگی‌ها، با استفاده از ماشین بردار پشتیبان
۵. تاپسیس تشکیل ماتریس تصمیم برای کاربران
۶. تعیین بردار وزن معیارهای تصمیم‌گیری کاربران
۷. تعیین نقطه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی
۸. محاسبه مقدار سودمندی (Si) و مقدار نارضایتی (Ri) برای هر واحد
۹. محاسبه شاخص ویکور (Qi) برای هر واحد
۱۰. مرتب‌کردن واحدها بر اساس مقادیر Si، Ri و Qi
۱۱. پیشنهاد راهکار سازشی
۱۲. ارائه توصیه‌های بهینه به کاربران بر اساس اولویت ترجیحات کاربر و ساختار طبقه‌بندی اشیا
۱۳. پایان

در ادامه فلوچارت روش پیشنهادی ارائه شده است(شکل (۲)).



شکل (۲): فلوچارت روش پیشنهادی

۴. ارزیابی راهکار پیشنهادی

در این بخش، فرضیه‌های مربوط به شبیه‌سازی در طول طراحی شبکه و مدل شبیه‌سازی ارائه می‌شود. به‌طورکلی گره‌های به کار برده شده در شبیه‌سازی شبکه به‌صورت یکنواخت و مستقل در ساختار شبکه توزیع می‌شوند. در فرایند شبیه‌سازی تعداد کل گره‌های حسگر استاتیک به طور تصادفی در منطقه موردنظر مستقر می‌شوند. در اینجا، منطقه سنجش مربع در نظر گرفته می‌شود. کل منطقه شبکه به شبکه‌های مجازی به اندازه‌های $M \times M$ تقسیم شده است، جایی که M بعد منطقه است. در این کار، فرضیه‌های کمی مانند موقعیت و انرژی برای همه گره‌های حسگر شناخته شده است، گره‌ها همگن هستند و همه گره‌ها تحرک ندارند. تعداد دور برای درنظرگرفتن دوره پایداری شبکه و طول عمر کلی در نظر گرفته شده است. پارامترهای در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی در جدول ۲ آورده شده است.

در این پژوهش از نرم‌افزار Matlab 2015 R2 برای شبیه‌سازی استفاده شده است. همان‌طور که در جدول ۴-۱ نشان داده شد، اندازه شبکه ۱۰۰ در ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است. شعاع ارتباطی برای هر گره ۱۲ متر و تعداد گره‌ها برای کل شبکه ۱۰۰ مورد در نظر گرفته شد. اندازه هر بسته ۲۰۰۰ بیت و انرژی اولیه برای گره‌ها ۱ ژول در نظر گرفته شد.

جدول (۲): پارامترهای شبیه سازی

پارامترهای ارزیابی	مقادیر پارامتر
اندازه شبکه (زمینه	۱۰۰ متر * ۱۰۰ متر
تعداد گره‌های شبکه	۱۰۰ گره
سطح شعاع ارتباطی	۱۲ متر
سرعت حرکت اشیا	۰ تا ۰٫۵ متر در ثانیه
انرژی اولیه هر شی	۱ ژول
اندازه هر بسته	۲۰۰۰ بیت
ابعاد شبکه (M)	۴
انرژی راه‌انداز شبکه	۲۵۰۰ ژول
توان انتقالی در شبکه	۱۰۰۰ مگابیت در ثانیه
نرخ انتقال بسته در	۱۰ مگابیت در ثانیه
تعداد تکرار	۳۰۰ تکرار
محیط انجام	MATLAB 2015 R2

در نهایت نرخ انتقال در شبکه و انتقال بسته به ترتیب ۱۰۰۰ مگابیت در ثانیه و ۱۰ مگابیت در ثانیه در نظر گرفته شد. همچین برای ارزیابی روش پیشنهادی و رویکرد مقایسه شده و همچنین اجرای کدهای شبیه‌سازی، از یک سیستم خانگی با سیستم عامل ویندوز ۱۰ شرکت مایکروسافت به نسخه ۶۴ بیتی پردازنده زنون ۲ هسته‌ای و رم پردازشی ۸ گیگابایتی استفاده شد. در ادامه نتایج حاصل از ارزیابی‌ها به صورت نمودار ارائه شده و هریک به صورت خلاصه شرح داده می‌شوند. زمانی که الگوریتم یک بار اجرا شود، ضرایب اندازه جمعیت تولید خواهد شد. به طور همزمان، مجموعه متفاوتی از ضرایب نشان دهنده یک لیست توصیه متفاوت است.

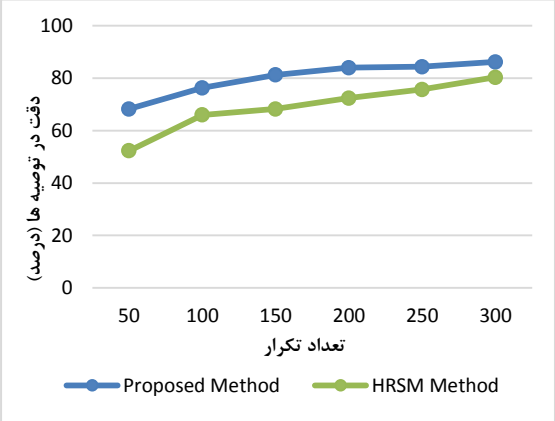
روش پیشنهادی باتوجه‌به دقت توصیه با رویکرد پیشنهادی در [14] ارزیابی می‌شود تا تحلیل شود میزان دقت شبکه به چه اندازه هست.

سرویس اینترنتی با افزایش تقاضا برای زیرساخت‌های قابل‌اطمینان و کارآمد جهت سرویس‌دهی به سیستم‌های حساس در حوزه اینترنت، مفاهیم انتقادپذیری سخت‌افزاری و پایداری بالا پیش از گذشته موردتوجه قرار گرفته‌اند و شرکت‌های ارائه‌کننده زیرساخت فناوری اطلاعات در تلاش هستند که هر چه بیشتر کیفیت خدمات ارائه شده خود را در این زمینه افزایش دهند از تنظیم و کنترل افزایش زمان لود سیستم گرفته، تا کاهش زمان قطعی، دقت و کاهش خطر خرابی به دلیل ارائه خدمات از یک نقطه، مواردی هستند که در این مفاهیم دارای اهمیت می‌باشند. در حوزه خدمات اینترنتی، اصطلاح دقت به دوره‌ای که سرویس به‌صورت کامل فعال بوده و توصیه‌های دقیقی به کاربران ارائه می‌دهد، اطلاق می‌گردد، مانند نزدیکی موردنیاز برای پاسخ‌دهی به درخواست‌های ارسال شده از سوی کاربر. دقت بالا میزان کیفیت کارکرد عملیاتی سیستم یا مؤلفه‌های آن در این زمان است. دقت بیشتر به‌صورت درصدی که از زمان عملکرد مطلوب سیستم بیان می‌شود. در واقع دقت بالا به‌عنوان یک مکانیزم شناسایی و پیشگیری از خرابی پاسخ‌دهی برای زیرساخت عمل می‌کند. روش کارکرد آن معمولاً ساده بوده و پیاده‌سازی آن از طریق برخی نرم‌افزارهای ویژه این کار و تنظیم آنها انجام می‌پذیرد.

در روش پیشنهادی، گره‌ها مستقیماً داده‌ها را به ایستگاه پایه می‌فرستند و در نتیجه باعث بهبود دقت می‌شوند. درحالی‌که مدل پیشنهادی در [14] برای افزایش معیارهای دقت در اینترنت اشیا سطح نزدیکی به توصیه‌ها را بر اساس چندین معیار برای انتخاب سرویس در نظر نمی‌گیرد؛ بنابراین موجب افزایش تأثیر مخرب کاهش دقت در شبکه شده و کارایی را کاهش می‌دهد پیشنهادی [14] برای افزایش معیارهای عملکرد و دقت در اینترنت اشیا نسبت به رویکرد پیشنهادی از نظر تعداد دور و حداکثر دوره پایداری شبکه عملکرد پایین‌تری دارد و ازاین‌رو دقت روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مقایسه شده زیاد است. این به دلیل انتخاب بهینه سر. یس بر اساس چندمعیاره

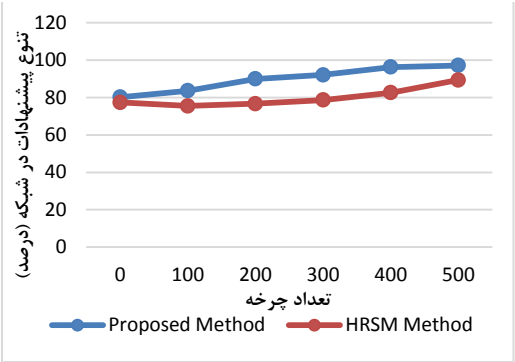
سازمان‌دهی‌شده و نرخ همگرایی بهتر رویکرد پیشنهادی نسبت به رویکرد مقایسه شده است. روش پیشنهادی پارامترهای مختلفی را انتخاب می‌کند که سرویس بهینه را به‌عنوان سرویس موردنظر انتخاب می‌کند. همچنین باتوجه‌به این که روش پیشنهادی از ساختار بهینه‌سازی مبتنی بر مدل تاپسیس به‌منظور تعیین سرویس بهینه استفاده می‌کند، ازاین‌رو، کارایی راهکار پیشنهادی نسبت به رویکرد مقایسه شده در مؤلفه تنوع سرویس‌های پیشنهادی خواهد داشت.

در ادامه مسئله مربوط به تنوع پیشنهادات برای روش پیشنهادی و مدل موجود در [14] برای افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا با درنظرگرفتن پارامترهای بیان شده در جدول ۲، ارزیابی شد و نتایج ارزیابی در شکل(۳) نشان‌داده‌شده است.



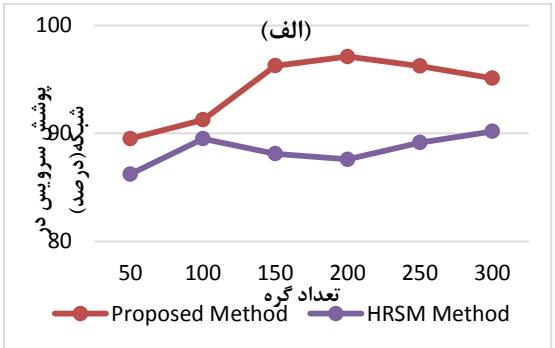
شکل (۳): مقایسه دقت توصیه سرویس رویکرد پیشنهادی و مدل [14]

تنوع پیشنهادات در ساختار شبکه، به طور وضعیتی را تعریف می‌کنند که شبکه در آن قادر به توصیه سرویس‌های متنوع به کاربر بر اساس نیاز آنها هست. به‌عبارت‌دیگر تنوع پیشنهادات به‌عنوان تنوع سرویس‌دهی عملیاتی شبکه تعریف می‌شود که در طی آن قادر به انجام وظایف اختصاصی است. همچنین زمان تمام‌شدن سرویس‌های موجود در شبکه، به معنی پایان فرایند توصیه‌گر در ساختار شبکه است.. با ارزیابی تنوع پیشنهادات شبکه برای روش پیشنهادی و رویکرد مقایسه شده، نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با استفاده از تعداد سرویس پیشنهادی بیشتر، تنوع پیشنهادات را به حداکثر می‌رساند و می‌تواند داده‌های بیشتری را به برای کاربر پردازش کند. روش پیشنهادی نسبت مدل [14] برای افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا به‌اندازه ۸ درصد عملکرد بهتری دارد. این به این دلیل است که روش پیشنهادی سرویس‌های پایدارتر را برای کاربران با استفاده از الگوریتم پیشنهادی انتخاب می‌کند. رویکرد مقایسه شده همه این پارامترها را برای انتخاب و توصیه سرویس در نظر نگرفته است که منجر به کاهش قدرت سرویس‌دهی می‌شود. ازآنجاکه انتخاب سرویس بهینه برای افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا بر اساس تعداد درخواست‌ها به‌صورت یک‌روند تصادفی است، اما به دلیل تشکیل زنجیره‌ای از درخواست‌ها ممکن است کارایی کاهش یابد و یک سیستم توصیه‌گر وظیفه مدیریت همه سرویس‌ها را دارد. درحالی‌که در روش پیشنهادی بیشتر پارامترهایی را که در نظر گرفته شده است را ارزیابی می‌کند. اما درعین‌حال روی استراتژی ادغام و تقسیم سرویس نیز فعالیت می‌کند. در ادامه، مقادیر مربوط به‌تازگی سرویس‌های ارائه شده توسط سیستم توصیه‌گر در روش پیشنهادی مدل [14] برای افزایش معیارهای عملکرد توصیه سرویس در اینترنت اشیا مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به‌دست‌آمده باهم مقایسه شدند.



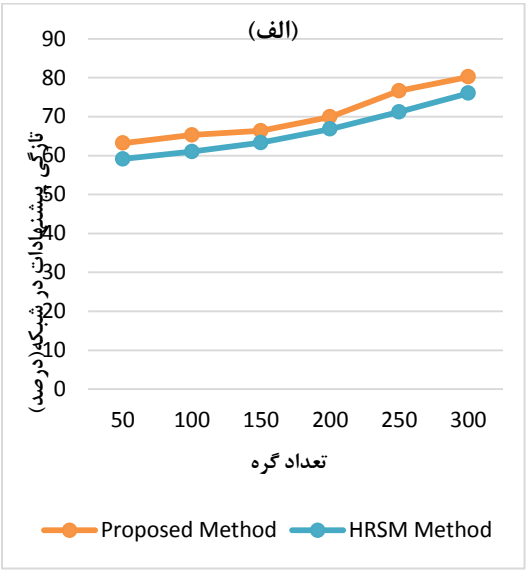
شکل (۴): مقایسه تنوع پیشنهاد سرویس رویکرد پیشنهادی و مدل [14]

شکل(۵) نشان‌دهنده نرخ مقادیر مربوط به‌تازگی سرویس‌های ارائه شده توسط سیستم توصیه‌گر است. به نظر می‌رسد روش پیشنهادی نسبت به روش پیشنهادی مدل [14] برای افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا تنوع بالایی در پیشنهاد سرویس به کاربران دارد. علت بالابودن تنوع پیشنهاد سرویس رویکرد در روش پیشنهادی نسبت به مدل [14] رای افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا، اجرای فرایند انتخاب و توصیه سرویس بر اساس معیارهای متفاوت با اولویت‌بندی بهینه مبتنی بر مدل پیشنهادی است. باتوجه‌به این نکته می‌توان بیان کرد که سطح پوشش سرویس نیز در روش پیشنهادی دارای کارایی بالاتری هست.



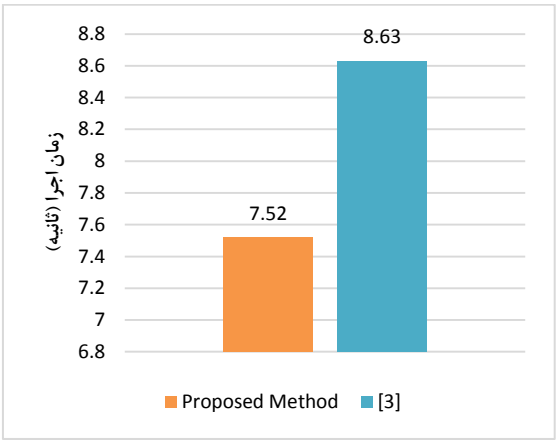
شکل (۵): مقایسه سطح پوشش سرویس‌های توصیه شده رویکرد پیشنهادی و مدل [14]

در ادامه شبیه‌سازی‌ها، نتایج مربوط به سطح پوشش سرویس‌های توصیه شده، برای روش پیشنهادی و مدل [14] برای افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند. سطح پوشش در یک سیستم توصیه‌گر نشان دهنده میزان پوشش سرویس‌های پیشنهاد شده به کاربران در یک دوره زمانی مشخص است. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از شکل(۶)، مشخص می‌شود که سطح پوشش سرویس برای روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مقایسه شده در [14] شده است، بالا می‌باشد. باتوجه‌به اینکه در پروتکل گروه تحقیقاتی [14] افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا نیاز به تبادل اطلاعات زیادتری نسبت به روش پیشنهادی به‌منظور پوشش سرویس وجود دارد، از این رو انرژی مصرفی نیز در این رویکرد نسبت به رویکردهای مقایسه شده سطح بالاتری دارد.



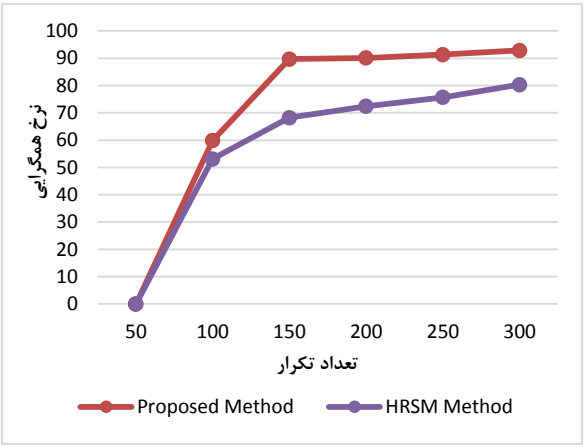
شکل (۶): مقایسه تازگی سرویس‌های پیشنهادی رویکرد پیشنهادی و مدل [14]

در نهایت، زمان اجرای هر دو رویکرد مورد بررسی قرار گرفته و در شکل (۷) نشان داده می‌شوند. بر اساس نمودار به‌دست‌آمده از زمان اجرای روش پیشنهادی و مدل [14] به نظر می‌رسد که زمان اجرا در روش پیشنهادی به دلیل استفاده از ساختار انتخاب و توصیه سرویس چندمعیاره برای بهینه‌سازی توصیه سرویس، مقدار کمتری دارد و نسبت به مدل [14] سطح بیشتری دارد. پایین بودن زمان اجرا در روش پیشنهادی نشان دهنده کارایی بالاتر این روش نسبت به مدل [14] برای بهینه‌سازی توان عملیاتی سیستم توصیه گر ردر روش پیشنهادی است.



شکل (۷): مقایسه زمان اجرا برای رویکرد پیشنهادی و مدل [14]

در ادامه و در نهایت نتایج مربوط به همگرایی روش پیشنهادی و مدل [14] برای افزایش معیارهای عملکرد در اینترنت اشیا در شکل(۸) ارائه می‌شود.



شکل (۸): مقایسه نرخ همگرایی در رویکرد پیشنهادی و مدل گروه [14]

مطابق با نتایج ارائه شده، نرخ همگرایی در روش پیشنهادی نسبت به رویکرد مقایسه شده، سرعت همگرایی بهتری دارد. باتوجه‌به این که روش پیشنهادی قبل از پیداکردن سرویس بهینه، ابتدا خوشه‌بندی را انجام داده و گره‌ها را بر اساس اولویت انتخاب می‌کند، به نظر می‌رسد، همگرایی روش پیشنهادی به جواب بهینه به دلیل انتخاب گره‌ها با معیارهای کیفیت سرویس بهینه‌تر و در نتیجه انتخاب سرویس بهینه، افزایش قابل‌توجهی نسبت به رویکرد مقایسه شده دارد.

۵. نتیجه‌گیری

اینترنت اشیا در بسیاری از صنایع، مانند مراقبت‌های بهداشتی، حمل‌ونقل، کشاورزی، تولید، خانه‌های هوشمند ظهور کرده است. این مسیر را برای برنامه‌های کاربردی گسترده در سطح کاربر برای افزایش کیفیت زندگی یا خدمات، و در سطح

تصمیم‌گیرندگان برای افزایش پایدار درآمد هموار می‌کند. اینترنت اشیا اصولاً اشیا فیزیکی مختلف (مانند حسگرها) را به هم متصل می‌کند و آنها را قادر می‌سازد تا با یکدیگر ارتباط برقرار کنند، جمع‌آوری کنند و داده‌ها را به اشتراک بگذارند. در عصر اینترنت اشیا، سیستم‌های توصیه، توصیه‌های شخصی‌سازی شده را بر اساس مجموعه‌داده‌های تاریخی کاربر جمع‌آوری‌شده از دستگاه‌های اینترنت اشیا ارائه می‌کنند. این توصیه‌ها با پیشنهاد محصولات، منابع و اطلاعات مرتبط، فرآیند تصمیم‌گیری کارآمد را ممکن می‌سازد.

محققان و همچنین صنایع و بازارهای بزرگ در چند دهه اخیر. اینترنت اشیا دستگاه‌های فیزیکی ناهمگن را برای جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از (حسگرها، محرک‌ها و غیره) به هم متصل می‌کند. از داده‌های جمع‌آوری‌شده در بسیاری از برنامه‌ها برای بهبود نتایج فرآیند تصمیم‌گیری در برنامه‌های مختلف مانند سیستم‌های نظارتی، مراقبت‌های بهداشتی، حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی داده‌ها، خانه‌های هوشمند استفاده می‌کند. با حجم فراوان مجموعه‌داده‌های مرتبط با اینترنت اشیا، سیستم‌های توصیه برای ارائه پیشنهادات به کاربران و شرکت‌ها یا سازمان‌ها می‌آیند. این توصیه‌ها بر اساس ترجیحات کاربر تنظیم می‌شوند، بنابراین تجربه کاربر و همچنین هدف شرکت را افزایش می‌دهند. سیستم‌های پیشنهادی فعلی را می‌توان به‌عنوان فیلتر مبتنی بر محتوا، فیلتر مبتنی بر مشارکت، سیستم‌های توصیه مبتنی بر دانش، مبتنی بر جمعیت‌شناسی و سیستم‌های توصیه ترکیبی طبقه‌بندی کرد.

سیستم فیلترینگ مبتنی بر محتوا از اطلاعات محتوای آیتم‌ها برای ساخت یک مدل توصیه استفاده می‌کند. موارد را بر اساس نمایه هر کاربر و تاریخچه تصمیمات و ترجیحات توصیه می‌کند. از مدل‌های مختلف برای یافتن شباهت بین آیتم‌ها استفاده می‌کند. معمولاً در فیلم‌ها، فیلم‌ها و توصیه‌های موسیقی استفاده می‌شود. می‌تواند به‌سرعت با پروفایل‌های جدید تنظیم شود. بااین‌حال، محدودیت‌هایی دارد، زیرا برای ارائه یک توصیه نیاز به نمایه کاربر بسیار سازمان‌یافته دارد . در مقابل، توصیه‌کنندگان مشارکتی به‌صورت نظریه دهان‌به‌دهان عمل می‌کنند. آنها اطلاعات را به سطح کاربر با درنظرگرفتن ترجیحات مشابه سایر کاربران توصیه می‌کنند. گروهی از کاربران مشابه، همسایه نامیده می‌شوند، به‌طوری‌که یک محله مجموعه‌ای از کاربران هم‌فکر است. توصیه‌کنندگان مبتنی بر دانش از دانش صریح در مورد ترجیحات کاربران، طبقه‌بندی اقلام و روابط تطبیق کاربر با آیتم استفاده می‌کنند. این تکنیک توصیه با مشکل شروع سردی که توصیه‌کنندگان فیلتر مشارکتی با آن مواجه هستند مواجه نیست. بااین‌حال، به تعریف دانش توصیه صریح نیاز دارد. سیستم‌های توصیه‌گر مبتنی بر جمعیت‌شناسی، کاربران را بر اساس ویژگی‌های جمعیتی آنها، مانند سن، شغل و جنسیت طبقه‌بندی می‌کنند. مسائل امنیتی و حریم خصوصی از معایب اصلی این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود. سیستم‌های فیلتر هیبریدی دو یا چند تکنیک فیلتر را ترکیب می‌کنند و عملکرد اصلی آن‌ها کاهش محدودیت‌هایی است که هر رویکرد فیلتری با آن مواجه می‌شود. به‌عنوان‌مثال، ترکیب فیلتر مبتنی بر محتوا و سیستم‌های فیلتر مبتنی بر مشارکت، دقت توصیه‌ها را افزایش می‌دهد. سیستم‌های توصیه با چالش‌ها و محدودیت‌هایی مانند (مقیاس‌پذیری داده‌ها، پراکندگی داده‌ها و شروع سرد) مواجه هستند.

۶. مراجع

[1] *A. Mattioli, and F. Patern, "A Visual Environment for End-User Creation of IoT Customization Rules with Recommendation Support," In Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020, pp.1-5.*

[2] *A.S. Devasthali, et al., "IoT Based Inventory Management System with Recipe Recommendation Using Collaborative Filtering," Evolutionary Computing and Mobile Sustainable Networks, Vol. 53, pp. 543–550, August 2020.*

[3] *A. Gyrard, and S. Amit, "IAMHAPPY: Towards an IoT Knowledge-Based Cross-Domain Well-Being Recommendation System for Everyday Happiness," Smart Health, Vol. 15, pp. 100-118, March 2020.*

[4] *S. Beg, et al., "A Privacy-Preserving Protocol for Continuous and Dynamic Data Collection in IoT Enabled Mobile App Recommendation System (MARS)," J. Netw. Comput. Appl, Vol. 174, pp. 102-124, January 2021.*

[5] *I. Mashal, T. -Y. Chung and O. Alsaryrah, "Toward service recommendation in Internet of Things," 2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 2015, pp. 328-331.*

[6] *N. Sachdeva, R. Dhir, and A. Kumar, "Empirical Analysis of Machine Learning Techniques for Context Aware Recommender Systems in the Environment of IoT," In Proceedings of the International Conference on Advances in Information Communication Technology & Computing, AICTC '16, 2016, pp. 1–7.*

[7] *J. Pashaei, S. Yousefi, and B. Masoum, "Efficient Service Recommendation Using Ensemble Learning in the Internet of Things (IoT)," J Ambient Intell Humaniz Comput, Vol. 11, No. 3, pp. 1339–1350, 2020.*

[8] *B. Cao, et al., "QoS-Aware Service Recommendation Based on Relational Topic Model and Factorization Machines for IoT Mashup Applications," J Parallel Distrib Comput , Vol. 132, pp. 177–189, October 2019.*

[9] *S. Di Martino, and S. Rossi, "An Architecture for a Mobility Recommender System in Smart Cities," Procedia Comput. Sci., Vol. 98, pp. 425–430, 2016.*

[10] *S. Forouzandeh, et al., "Recommender system for Users of Internet of Things (IOT)," Int. J. Netw. Secur, Vol. 17, No. 4, pp. 47-56, 2017.*

[11] *H. Jeong, et al., "Big Data and Rule-Based Recommendation System in Internet of Things," Cluster Comput, Vol. 22, pp. 1837–184, 2019.*

[12] *B. Twardowski and D. Ryzko, "IoT and Context-Aware Mobile Recommendations Using Multi-agent Systems," 2015 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2015, pp. 33-40.*

[13] *X. Wen, "Using Deep Learning Approach and IoT Architecture to Build the Intelligent Music Recommendation*

System," Soft Comput, Vol. 25, pp. 3087–3096, October 2020

[14] *X. Cai, et al., "A Hybrid Recommendation System with Many-Objective Evolutionary Algorithm," Expert Syst. Appl, Vol. 159, pp. 113-148, November 2020.*

[15] *W. Gong, et al., "Diversified and Compatible Web APIs Recommendation in IoT," arXiv:2107.10538 [cs], 2021*

[16] *M. Lihong, Z. Yanping and Z. Zhiwei, "Improved VIKOR Algorithm Based on AHP and Shannon Entropy in the Selection of Thermal Power Enterprise's Coal Suppliers," 2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, 2008, pp. 129-133.*