ACECR - Sharif University Branch
Quarterly Journal of
Industrial Technology Development

Evaluation of the performance of the Internet of Things system under the cloud computing model

■ **Mohammad Shirdel**
Ph.D. Candidate, Department of information technology, Faculty of Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

■ **Maghsoud Amiri**[+*]
Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

■ **Mohamad Ali Afshar Kazemi**
Associate Prof., Department of Management, Faculty of Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

■ **Mohamad Reza Motadel**
Assistant Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Receive date: 07 April 2024, Revise date: 19 January 2025, & Accept date: 02 February 2025
10.22034/jtd.2025.2024680.1926

Abstract
Due to the absence of standardized scientific evaluation criteria and effective evaluation methods for assessing the overall performance of Internet of Things (IoT) systems, the industry and market of IoT are currently in a state of disarray, with varying levels of product quality. This lack of clarity makes it challenging for users to select a suitable application system, thereby impeding the industrialization and advancement of IoT technology. Consequently, it is imperative for us to conduct research on methods for evaluating the performance of IoT systems. In this article, we focus on the performance evaluation of IoT systems and develop an evaluation framework. Specifically, we propose a cloud-based approach for evaluating the performance of IoT systems using three key indicators. These indicators encompass the perception layer, which includes factors such as information awareness reliability, equipment reliability, perceived accuracy, perceived range, and perceived speed. The transmission layer comprises network connectivity, end-to-end delay, network capacity, error rate, and end reliability. Lastly, the application layer encompasses information security performance, business processing speed, business processing accuracy, fault tolerance, compatibility, and overall performance. Based on these indicators, we outline a set of general steps for evaluating the performance of IoT systems. These steps involve data processing and experimental simulations to achieve our goal of assessing the performance of IoT systems effectively. By comparing and analyzing the performance of the Internet of Things (IoT) system, it can be understood that when considering 3 or 4 performance indicators, the performance of the IoT system using a relatively ambiguous evaluation model is uncertain, meaning that the performance of the IoT system cannot be evaluated with higher accuracy. In our model, when considering five performance indicators, the level of performance of the IoT system using the evaluation model is relatively defined.

Keywords:
System performance, Internet of Things, cloud model, cloud computing.

× Corresponding Author
[+] Email: amiri@atu.ir

How to cite: Shirdel, M., Amiri, M., Afshar Kazemi, M. A., Motadel, M. R. (2025), Evaluation of the performance of the Internet of Things system under the cloud computing model, Quarterly journal of Industrial Technology Development, 23(61), 55-72.

فصلنامه علمی توسعه تکنولوژی صنعتی

ارزیابی عملکرد سیستم اینترنت اشیا تحت مدل رایانش ابری

■ محمد شیردل [۱]
دانشجوی دکتری، مدیریت فناوری اطلاعات ، دانشکده مدیریت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
■ مقصود امیری *+
استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران
■ محمد علی افشار کاظمی [۲]
استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
■ محمدرضا معتدل [۳]
دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۱۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰ و تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴
صفحات: ۷۲-۵۵
10.22034/jtd.2025.2024680.1926

چکیده

به دلیل فقدان استانداردهای ارزیابی علمی متناظر و روش‌های ارزیابی مؤثر برای عملکرد کلی سیستم اینترنت اشیا، صنعت و بازار اینترنت اشیا در وضعیت آشفته‌ای قرار دارد و کیفیت محصولات مختلف نابرابر است. انتخاب یک سیستم کاربردی مناسب‌تر برای کاربران دشوار است که به‌طور جدی روند توسعه صنعتی شدن فناوری اینترنت اشیاء را محدود می‌کند. بنابراین، انجام تحقیقات در مورد روش‌های ارزیابی عملکرد سیستم‌های اینترنت اشیا برای ما بسیار ضروری است. در این مقاله عملکرد سیستم اینترنت اشیا به‌عنوان شاخص ارزیابی عملکرد سیستم انتخاب شده و سیستم ارزیابی ساخته شده است. روش ارزیابی عملکرد سیستم اینترنت اشیا براساس مدل ابری توسط سه شاخص یعنی شاخص های لایه ادراک شامل قابلیت اطمینان آگاهی از اطلاعات، قابلیت اطمینان تجهیزات، دقت ادراک‌شده، دامنه ادراکی و سرعت درک شده؛ لایه انتقال شامل اتصال شبکه، تأخیر پایان به پایان، ظرفیت شبکه، میزان خطا، قابلیت اطمینان پایان؛ لایه کاربرد شامل عملکرد ایمنی اطلاعات، سرعت پردازش تجارت، دقت پردازش تجارت، تحمل خطا و سازگاری، پیشنهاد شده است و مراحل کلی ارزیابی عملکرد براساس این شاخص‌ها آورده شده است. پردازش داده‌ها و شبیه‌سازی تجربی برای دستیابی به هدف ارزیابی عملکرد سیستم اینترنت اشیا استفاده‌شده است. با مقایسه و تجزیه‌وتحلیل عملکرد سیستم اینترنت اشیا می‌توان فهمید که وقتی تعداد شاخص‌های عملکرد درنظرگرفته‌شده ۳ یا ۴ باشد، آنگاه عملکرد سیستم اینترنت اشیا با استفاده از مدل ارزیابی نسبتاً مبهم است؛ یعنی نمی‌توان عملکرد سیستم اینترنت اشیا را با دقت بیشتری ارزیابی کرد. در مدل ما وقتی تعداد شاخص های عملکرد درنظرگرفته‌شده پنج باشد، سطح عملکرد سیستم اینترنت اشیا با استفاده از مدل ارزیابی نسبتاً مشخص است.

واژگان کلیدی: عملکرد سیستم ، اینترنت اشیا ، مدل ابر، رایانش ابری.

۱ آدرس پست الکترونیکی: m.shirdel7570@iau.ac.ir
* آدرس پست الکترونیکی: Amir@atu.ac.ir
+ عهده دار مکاتبات
۲ آدرس پست الکترونیکی: M_afsharkazemi@iauec.ac.ir
۳ آدرس پست الکترونیکی: Dr.motadel@ iauec.ac.ir

نحوه استناددهی به این مقاله: شیردل، محمد، امیری، مقصود، افشار کاظمی، محمدعلی، معتدل، محمدرضا. (۱۴۰۴). ارزیابی عملکرد سیستم اینترنت اشیا تحت مدل رایانش ابری، فصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی، (۶۱)۲۳، ۷۲-۵۵.
ناشر: پژوهشکده توسعه تکنولوژی

۱- مقدمه

فناوری اینترنت اشـیا به‌طور عمده از بارکد، سـنسـورها، شـناسـایی فرکانس رادیویی، اسـکنرهای لیزری، سـیسـتم‌های موقعیت‌یابی جهانی و سـایر دسـتگاه‌های سـنجش اطلاعات برای کار مطابق با پروتکل‌های توافق شـده خاصـی اسـتفاده می‌کند و درنهایت بین افراد، افراد و اشـیا، اشـیا و دیگر اشـیا اتصـال ایجاد می‌شـود از طریق این اتصـال به تبادل و ارتباطات اطلاعات پی می‌بریم و هدف نهایی تحقق یک سـیسـتم شـبکه عظیم برای شـناسـایی هوشمندانه، مکان‌یابی، ردیابی، نظارت و مدیریت اشیا اسـت(Dong et al,2019). با اتصال همه موارد موردنیاز به شبکه سیستم، آیتم‌های موردنیاز برای ساخت یک ساختار شبکه بزرگ و پیچیـده اسـتفاده می‌شـود، به‌طوری‌که موارد موردنیاز ما قابل‌شـناسـایی و مدیریت باشـند. هسته و بنیان فناوری اینترنت اشـیا هنوز به اینترنت سـنتی متکی است که تنها عوامل و اشیا و عوامل انسـانی بیشـتری را به فناوری اینترنت اشیا اضافه می‌کند. همه این‌ها مبتنی بر اینترنت اسـت؛ بنابراین می‌توانیم به اینترنت اشـیا نیز فکر کنیم. درواقع شـبکه‌ای اسـت که براسـاس اینترنت گسترش‌یافته است. از طریق این گسترش شبکه است که اینترنت اشـیا می‌تواند سـرانجام بین اشیا و بین افراد و اشیا در هر زمان و مکـانی بـه تبادل اطلاعات و ارتباطات دسـت یابد(Shang et al,2017; Zhao ,2017).

موج سـوم عصـر اطلاعات که از آن به‌عنوان رایانش فراگیر تعبیر می‌گردد با بوجود آمدن اینترنت اشیا به این نظریه عینیت بخشید. این فناوری با استفاده از حسگرهای بی‌سیم و شبکه‌های هوشـمند توانست ارتباط با اشیا را امکان‌پذیر نماید و این ارتباط با رشـد و توسـعه فناوری ابعاد وسیع پیدا کرد. هم‌زمان با توسعه این فناوری جهت ذخیره و ویرایش اطلاعات که حجم زیادی نیز داشـت، اسـتفاده از رایانش ابری با قابلیت دسـترسـی به منابع فناوری اطلاعات در هر زمان و مکان بوجود آمد، این فناوری در اکثر حوزه‌های مدیریت قابلیت استفاده و به‌کارگیری را دارد(خاتم زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

اتحادیه اروپا به‌عنوان بزرگ‌ترین سـازمان جامع اروپا، ازجمله انگلیس، فرانسـه، آلمان و ایتالیا سـرمایه‌گذاری قابل توجهی در زمینه استفاده از اینترنت اشیا انجام داده است. این سرمایه‌گذاری در حال حاضـر در صـنایع حمل‌ونقل و نیرو مقیاس بزرگی را به خود اختصـاص داده اسـت. مانند ایالات متحده، فناوری اینترنت اشـیا در اتحادیه اروپا به‌طور عمده براسـاس فناوری‌های RFID و M2M اسـتوار اسـت و در برنامه‌های جهانی اینترنت اشـیا نقش کلیدی را ایفا می‌کند(Yan et al,2018; Zhao et sl,2017).

کاربرد اینترنت اشـیا در پلتفرم‌های خدماتی به‌طور گسـترده موردتحقیق قرارگرفته اسـت. ژانگ و همکاران سیستم جمع‌آوری اطلاعات زمین‌های کشـاورزی مبتنی بر STM32 را ارائه می‌کند که اطلاعات مربوط به رطوبت هوا، دمای هوا، شدت نور و محتوای کلروفیل را جمع‌آوری می‌کند. این سـیسـتم از سه بخش تشکیل شـده اسـت: یک برنامه تلفن همراه، یک دسـتگاه جمع‌آوری اطلاعات زمین‌های کشـاورزی و یک سـرور راه دور(Zhang et al,2019). بااین‌حال، این سـیستم فاقد خدمات توصیه لقاح است. علاوه بر این، هیچ آزمایشـی برای ارزیابی عملکرد سـیسـتم انجام نشـد. همچنین کولزا وهمکاران[4](۲۰۱۹) یک پلت فرم سـیسـتم خدمات یکپارچه برای کشـاورزی هوشمند در قالب یک پلت فرم ترکیبی محلی-ابر ارائـه کردنـد که امکان ادغام سـرویس‌های خارجی مختلف (اخبار، آب‌وهوا) را فراهم می‌کند و آن‌ها را با پلتفرم‌هـای خـدمات مرتبط می‌کند. این پلتفرم از فناوری‌های رایانش ابری مانند امنیت، انعطاف‌پذیری یا در دسترس بودن سود می‌برد و در هر زمان و هر مکان قابل‌دسـترسـی است. این امر به کشـاورزان اجازه می‌دهد تا مزارع خود را به‌طور کارآمد مدیریت کنند و دسـترسـی به انواع مختلف پیش‌بینی‌ها و آمار را فراهم می‌کند. همچنین به‌عنوان یک شـبکه اجتماعی عمل می‌کند که تعامل کشـاورزان را با یکدیگر تسـهیل می‌کند. اهمیت ارزیابی عملکرد در سـیسـتم‌های IoT به‌ویژه در حوزه‌های عملیاتی مانند اتوماسـیون صـنعتی و کشاورزی هوشمند مورد تأکید قرار گرفته اسـت(Choudhary, 2024). در این محیط‌هـا، چالش‌هایی چون مـدیریـت حجم داده و تـأخیر در انتقـال، لزوم بـه‌کـارگیری چارچوب‌های سـیسـتماتیک ارزیابی را پررنگ می‌سازد. بنابراین، عملکرد سـیسـتم اکنون بیشـتر و بیشـتر به‌عنوان شـاخص مهم ارزیابی عملکرد سیستم، به برخی از سیستم های ارزیابی عملکرد بزرگ و پیچیده وارد می‌شود(Al-Naji et al,2017).

باویوگا و همکاران[5](۲۰۱۹) معماری پلتفرم نرم‌افزاری را برای رایانش ابری و ادغام اینترنت اشـیا پیشـنهاد می‌دهند. این پلتفرم از پنج بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: احراز هویت، مدیریت داده، اجزای رابط ابر به کاربر و رابط ابر به دسـتگاه. دسـتگاه‌های اینترنت اشـیا از طریق قسـمت‌های کنسـول وب در سـرور ابری از قبل ثبت می‌شوند. قبل از انجام جلسه انتقال داده،

4 Colezea
5 Bhawiyuga

رابط ارتباطی با سرویس احراز هویت تماس می‌گیرد تا اطمینان حاصل کند که دستگاه IoT قبل از ارسال داده‌های حسگر به سرور ابری ثبت‌شده است. سپس داده‌های حسگر دریافتی در واحد ذخیره‌سازی داده‌ها جمع‌آوری می‌شود. این واحد ذخیره‌سازی داده‌ها می‌تواند داده‌هایی که توسط حسگرها دریافت شده‌اند را ذخیره کرده و برای پردازش بعدی آن‌ها را فراهم کند. تمام داده‌های ذخیره‌شده را می‌توان با یک واحد پردازش داده تجزیه‌وتحلیل کرد. این واحد پردازش داده می‌تواند تحلیل‌های مختلفی روی داده‌ها انجام دهد و نتایج را برای استفاده کاربر یا برنامه فراهم کند. به‌عبارت دیگر، کاربر یا برنامه می‌تواند دسترسی به داده‌های جمع‌آوری‌شده، داده‌های پردازش‌شده یا حتی داده‌های خام را از طریق کنسول وب و رابط برنامه نویسی (API) دریافت کند. رابط ابر به دستگاه به‌عنوان نقطه پایانی برای انتقال داده بین پلتفرم و دستگاه اینترنت اشیا عمل می‌کند. این رابط به دستگاه‌ها امکان ارسال و دریافت داده‌ها را فراهم می‌کند و در ارتباط بین دستگاه‌ها و پلتفرم نرم‌افزاری واسطه می‌شود. این معماری پلتفرم نرم‌افزاری امکاناتی را برای مدیریت و ادغام دستگاه‌های اینترنت اشیا و پردازش داده‌های آن‌ها فراهم می‌کند. با استفاده از این پلتفرم، می‌توان به‌طور موثر و مرتب با دستگاه‌های اینترنت اشیا ارتباط برقرار کرده، آن‌ها را ثبت نموده، داده‌های حسگری را جمع‌آوری کرده و آن‌ها را در سرور ابری ذخیره نمود. سپس با استفاده از واحد پردازش داده، می‌توان داده‌ها را تجزیه و تحلیل کرده و نتایج آن‌ها را به کاربر یا برنامه ارائه داد. همچنین، کاربران و برنامه‌ها می‌توانند از طریق کنسول وب و API به داده‌ها دسترسی پیدا کنند و آن‌ها را بازیابی کنند.

راه‌حل‌های آینده باید به‌طور کامل از راه‌های جدید اتصال و خدمات ابری استفاده کنند تا از یک سیستم هوشمند اینترنت اشیا بهره ببرند و واقعاً متصل شوند. بنابراین استانداردسازی، مدیریت منابع الکتریکی، امنیت، سخت‌افزار ماژولار، طراحی نرم‌افزار، هزینه و سازگاری با زیرساخت‌های موجود و مقیاس‌پذیری ازجمله چالش‌های باقی‌مانده در استفاده از اینترنت اشیا در بسیاری از فعالیت‌های خدماتی است. از طریق ارزیابی عملکرد سیستم های اینترنت اشیا می‌توان بهبود آنها را تضمین کرد. ارزیابی عملکرد سیستم می‌تواند از سه جنبه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد: لایه سنجش، لایه حمل و نقل و لایه کاربردی ساختار سیستم اینترنت اشیا. نتایج تجربی و نتایج عملکرد سیستم از طریق تحلیل و مقایسه بدست می‌آید. سپس عملکرد سیستم از دید سیستم کلی اینترنت اشیا شبیه‌سازی می‌شود و تحت تأثیر پارامترهای مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد(He et al,2019). در این پژوهش با استفاده از تحلیل توزیع خروجی و تابع چگالی احتمال بهینه، شاخص ارزیابی عملکرد با استفاده از روش همبستگی خاکستری تعریف می‌شود و به‌عنوان یک مرجع برای ارزیابی عملکرد سیستم های اینترنت اشیا استفاده می‌شود. همچنین، از این شاخص برای ارزیابی سیستم کنترل نیز استفاده می‌شود. استفاده از اینترنت اشیا در تمام زمینه‌های زندگی مرتبط با اقتصاد ملی و معیشت مردم تأثیر مهمی داشته و در آینده نیز افزایش پیدا خواهد کرد. با افزایش تقاضا در بازار، تولید محصولات اینترنت اشیا نیز افزایش خواهد یافت. با این حال، به دلیل نقص قوانین، سیاست‌ها و مقررات و استانداردهای صنعت، تعداد محصولات اینترنت اشیا نامتناسب خواهد بود. بنابراین، اجرای عملکرد سیستم اینترنت اشیا بسیار ضروری است تا بتوان عملکرد سیستم ها را بهبود و به‌صورت دقیق‌تر مورد بررسی قرار داد. در نتیجه، انجام پژوهش‌هایی در زمینه اینترنت اشیا بسیار مهم است تا بتوانیم عملکرد سیستم ها را بهتر و با دقت بیشتری ارزیابی کنیم.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

افزایش مستمر برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا منجر به حجم وسیعی از داده‌ها می‌شود که نیاز به انتقال، ذخیره و پردازش دارند. بسیاری از برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا برای رسیدگی به این نیازهای برنامه خاص به زیرساخت ابر متکی هستند. بااین‌حال، ادغام IoT و Cloud چالش‌هایی مانند تأخیر شبکه، توان عملیاتی، مصرف انرژی، قابلیت اطمینان و غیره را به همراه دارد. بنابراین، یک مفهوم محاسباتی جدید برای پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا در حال ظهور موردنیاز است. این مفاهیم جدید شامل محاسبات مه، محاسبات لبه، محاسبات لبه موبایل، محاسبات ابری سیار و کلودلت‌ها هستند. آن‌ها از رویکردهای مختلفی برای توزیع منابع، فرآیندها و خدمات در بین لایه‌های معماری سیستم اینترنت اشیا استفاده می‌کنند(Čolaković et al, 2023; Chao et al, 2021). رایانش ابری مدلی است برای فراهم ساختن دسترسی آسان براساس درخواست کاربر از طریق شبکه به مجموعه‌ای از منابع رایانشی قابل‌تغییر و پیکربندی مانند شبکه‌ها، سرورها، فضای ذخیره‌سازی برنامه‌های کاربردی و سرویس‌ها که این دسترسی

بتوانـد بـا کمترین نیـاز به مدیریت منابع و یا نیاز به دخالت مستقیم فراهم‌کننده سرویس به‌سرعت فراهم‌شده یا آزاد گردد[۶].

اسـتفاده‌کنندگان از رایانش ابری اغلب زیرساخت فیزیکی ابر را اجاره می‌دهند به جای اینکه آن را به‌صـورت مالکیت درآورند. این روش به آنها امکان می‌دهد از هزینه‌های سـرمایه‌گذاری اولیه صـرفه‌جویی کنند، زیرا هزینه‌های مربوط به خرید سـخت‌افزار، نرم‌افزار و خدمات برعهده عرضـه‌کننده خدمات رایانش ابری قرار می‌گیرد. این روش همچنین به کاهش ریسـک و عدم قطعیت در نرخ بازگشـت سـرمایه کمک می‌کند؛ زیرا اسـتفاده‌کنندگان تنها برای خدماتی پرداخت انجام می‌دهند که از آن اسـتفاده می‌کنند و مسـئولیت هزینه‌های سـرمایه‌گذاری برعهده عرضه‌کننده است. همچنین، این سـرویس‌ها تحت پوشـش سـطح سـرویس قرار می‌گیرند و در صـورت عدم رعایت تعهدات، جریمه مالی ممکن است پرداخت گردد(Fang et al, 2017, & Guo et al, 2017). در شـکل شـماره ۱ رایانش ابری و مدل پیاده‌سازی، لایه‌ها و مزایای آن نمایش داده شده است.

رایانش ابری					
مدل های پیاده سازی	ابر آمیخته	ابرگروهی	ابرعمومی	ابر خصوصی	
لایه ها	سرورها	زیرساخت	بستر	برنامه های کاربردی	مشتریان ابر
		(IaaS)	(PaaS)	(SaaS)	
مزایا	چابکی	کاهش هزینه	عدم وابستگی به تجهیزات زمان ومکان		
	چندمستاجری	اطمینان	امنیت	نگهداری آسان با هزینه کم	

شکل ۱: رایانش ابری و مدل پیاده‌سازی، لایه‌ها و مزایای آن

۲-۱- لایه‌های رایانش ابری

مشـتریان ابر[۷]: مشـتریان ابر از سـخت‌افزار و نرم‌افزار که برای تحویل برنامه‌های کاربردی از ابر استفاده می‌کنند، تشکیل شده و یا اینکه به‌صـورت ویژه برای تحویل سرویس‌های ابر طراحی‌شده اسـت که هر دو مورد بدون وجود ابر بلااسـتفاده اسـت؛ مانند رایانه‌های تلفن هوشمند، سیستم‌های عامل و انواع مرورگر وب.

برنامه‌های کاربردی[۸]: نرم‌افزار به‌عنوانSaaS، این نرم‌افزار را به‌صورت سرویس روی اینترنت تحویل می‌دهند و به همین علت نیاز به نصـب نرم‌افزار روی رایانه‌های مشتریان را از بین می‌برند و نگهداری و پشتیبانی را آسان‌تر می‌سازد.

بسـتر[۹]: بسـتر به‌عنوان سرویسPaaS، این بستر رایانشی غالبا روی زیرسـاخت ابری اجرا شده و برنامه کاربردی را تغذیه می‌کند و به‌صورت سرویس ابری استقرار برنامه کاربردی را بدون هزینه و پیچیدگی‌های مدیریت نرم‌افزار آسان می‌سازد.

زیرسـاخت[۱۰]: زیرسـاخت به‌عنوان سـرویس IaaS، این زیرسـاخت رایانه‌ای به‌صـورت سـرویس ارائه شده که عموماً یک بسـتر مجازی اسـت. در این حالت، به‌جای خرید تجهیزات سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و شبکه، همه این زیرساخت‌ها به‌صورت سرویس برون‌سپاری شده خریداری می‌گردد.

سـرورها[۱۱]: لایه سـرورها از سخت‌افزار و نرم‌افزار طراحی شده که مخصوص سرویس‌های ابر است؛ مانند پردازنده چندهسته‌ای و سیستم‌عامل‌های ابر.

۲-۲- پیشینه پژوهش

در جـدیـدترین پژوهش‌هـا در مورد ارزیـابی عملکرد اینترنت اشـیا بحث شـده اسـت. لی و همکاران[۱۲](۲۰۲۴) تجزیه‌وتحلیل عملکرد برنـامه‌های سـرویس مرکب موازی مبتنی بر ابرها را موردمطالعه قراردادند. هنگام پردازش وظایف برنامه‌های سرویس مرکب شـامل وظایف موازی، ارائه‌دهندگان سـرویس می‌توانند کیفیت خدمات خود را با اسـتفاده از مدل‌های تحلیلی براسـاس تنظیمات موازی کامل و طرح‌های تخصـیص منابع بهینه کنند. بااین‌حال، سـاخت مدل‌های تحلیلی به‌ویژه چالش‌برانگیز اسـت؛ زیرا نیاز به مدل دقیقی برای درک وابسـتگی بین سـرویس‌های متوالی یا هم‌زمان و پیش‌بینی زمان پاسـخ هر سرویس با درجات مختلف موازی‌سـازی وجود دارد. با مواجهه با این چالش‌ها، مقاله

6 http://www.businessofsoftware.ir/257/cloud-computing-definition
7 Client
8 Application
9 Platform
10 infrastructure
11 Server
12 Li et al

یک مدل تحلیلی چند کلاسه چنداستخوانه نوآورانه برای برنامه‌های سرویس مرکب مستقرشده در ابرها پیشنهاد می‌دهد. ابتدا یک شبکه صف چنداستخوانه را بررسی می‌کنند که به درنظرگرفتن وابستگی بین سرویس‌ها می‌پردازد و پارامترهای وظایف هر سرویس را تجزیه‌وتحلیل می‌کند. برای بهینه‌سازی کیفیت خدمات، یک مکانیزم پردازش موازی متفاوت را ارائه می‌دهد که می‌تواند موازی‌سازی متفاوتی برای وظایف تنظیم کند. همچنین یک روش تقسیم مدوله اصلی را برای پیش‌بینی شاخص های عملکرد مهم هر سرویس پیشنهاد می‌دهد. با استفاده از مدل پیشنهادی، ارائه‌دهندگان سرویس می‌توانند تنظیمات بهینه برای موازی‌سازی، تخصیص منابع و تعداد سرورهای ابری را برای دستیابی به سطوح عملکرد خاص بدست آورند. از طریق آزمایش‌های گسترده براساس مجموعه داده سرویس رندرینگ و ردیابی‌های خوشه باز علی‌بابا، نشان می‌دهند که مدل پیشنهادی نه‌تنها توانایی پیش‌بینی دقیقی را ارائه می‌دهد، بلکه زمان پاسخ وظایف را حداقل ۲۰٪ کاهش می‌دهد. مقاله لی تنها بر شاخص زمان پاسخ‌دهی متمرکز است و مدل را در لایه‌های مختلف موردبررسی قرار نمی‌دهد.

کولزا و همکاران[13](۲۰۱۹) مدل‌سازی و ارزیابی عملکرد سیستم‌های اینترنت اشیا را موردمطالعه قراردادند. چالش آن‌ها این است که تصمیم بگیرید، کدام سیستم تخلیه برای یک مورد خاص که بر مسئله مدل‌سازی سیستم اینترنت اشیا تأکید دارد، بهترین است. در مقاله، مدلی برای توصیف رسمی سیستم‌های اینترنت اشیا ارائه‌شده است. علاوه بر این، یک روش ارزیابی تحلیلی برای طراحی این دستگاه‌ها با استفاده از معماری، فناوری‌ها، پروتکل‌ها و مدل یکپارچه‌سازی مربوطه برای بهینه‌سازی عملکرد پیشنهاد شد. رویکرد پیشنهادی انتخاب مدل مربوطه را برای معماری سیستم تسهیل و ساده می‌کند. این رویکرد یک روش کارآمد را برای بهینه‌سازی عملکرد براساس فرآیندهای تخلیه (تعادل بار) امکان‌پذیر می‌کند. همچنین، مقاله بینش‌هایی را در مورد موضوعات و ایده‌های نوظهور خاص ارائه می‌دهد که باید توسط تحقیقات آینده موردتوجه قرار گیرند. اما مقاله شاخص‌های ارزیابی عملکرد را بیان نمی‌کند و فقط براساس میزان تخلیه بار مدل خود را ارائه می‌کند.

تنگ و همکاران[14](۲۰۲۳) مدل‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد برای یک پلتفرم اینترنت اشیاء مبتنی بر مه را ارائه کردند. یک مدل پلتفرم اینترنت اشیا مبتنی بر مه شامل سه لایه، یعنی دستگاه‌های اینترنت اشیا، گره‌های مه و ابر، با استفاده از یک شبکه جکسون باز با بازخورد پیشنهاد شد. عملکرد سیستم برای زیرسیستم‌های جداگانه تجزیه و تحلیل شد و سیستم کلی براساس پارامترهای ورودی مختلف است. معیارهای عملکرد جالب از نتایج تحلیلی بدست آمد. یک مسئله بهینه‌سازی منابع برای تعیین نرخ‌های خدمات بهینه در گره‌های مه‌گیر منفرد تحت برخی شرایط محدودیت ایجاد و حل شد. ارزیابی‌های عددی برای عملکرد و مسئله بهینه‌سازی برای درک بیشتر تحلیل ارائه شده‌اند. انتظار می‌رود مدل‌سازی و تحلیل و همچنین روش طراحی بهینه‌سازی، مرجع مفیدی برای طراحی و ارزیابی سیستم‌های محاسباتی مه باشد. در مقاله براساس الگوریتم‌های بهینه‌سازی یک ارزیابی عددی ارائه می‌شود و مساله معرفی شاخص های ارزیابی عملکرد همچنان به‌صورت مساله باقی می‌ماند.

القحطانی[15](۲۰۲۳) با هدف ارزیابی عملکرد سامانه‌های سلامت الکترونیک، یک چارچوب نوآورانه مبتنی بر ادغام اینترنت اشیاء G۵، رایانش مه‌ای و رایانش ابری را پیشنهاد و تحلیل کرده است. او یک مدل نظریه صف برای معماری پیشنهادی توسعه داد و شبیه‌سازی عددی برای ارزیابی پارامترهای کلیدی عملکرد مانند تأخیر و مقیاس‌پذیری اجرا گردید. نتایج نشان می‌دهد که این چارچوب یکپارچه، با بهره‌گیری از قابلیت برش شبکه 5G [16] و توزیع بهینه پردازش بین لایه‌های مه و ابر، می‌تواند کیفیت خدمات (QoS) را در مقایسه با سیستم‌های سنتی به‌طور معناداری بهبود بخشد. اگرچه این مطالعه بر یک سرویس سلامت الکترونیک خاص متمرکز بود، اما چارچوب ارائه‌شده پایه‌ای برای توسعه سرویس‌های متنوع آینده در نظر گرفته شده است.

در مطالعه‌ای دیگر، گوادالوپه و همکاران[17] (۲۰۲۲) معماری مشارکتی‌ای با نام اتمسفر را ارائه کردند که آگاه از زمینه و موقعیت بوده و برای محیط‌های محاسباتی لبه-مه-ابر طراحی شده است. کاربرد عملی و مزایای این معماری از طریق یک مطالعه موردی در حوزه سلامت، خاصه نظارت بر بیماران مبتلا به بیماری‌های تنفسی در بیمارستان، به‌طور ملموس نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که این معماری می‌تواند نیاز به ارتباطات کارآمد و کم‌تأخیر بین سطوح مختلف محاسباتی (ابری، مه و لبه) را در چنین سناریوهای حساس و بلادرنگی برآورده

13 Colezea
14 Tang
15 AlQahtani

16 Network Slicing
17 Guadalupe

کنـد. بـا این حال، این پژوهش شـــاخص‌های کمی برای ارزیابی عملکرد (مانند تأخیر، توان عملیاتی یا مصرف انرژی) این معماری ارائه نمی‌دهد.

حیدری و همکاران(۲۰۲۳) بررســی جامع و ســیســتماتیک ســیســتم‌های مدیریت پزشـکی مبتنی بر اینترنت اشیا: کاربردها، تکنیک‌ها، روندها و مسـائل باز را ارائه کردند. نتایج بدست‌آمده از بررسـی متون نشان داد که ارتقای امنیت، هزینه، زمان خدمات و کارایی مهم‌ترین هدف محققان در حوزه مدیریت ســیســتم‌های پزشـکی مبتنی بر اینترنت اشـیا بوده اسـت. علاوه بر این، یافته‌ها نشـان داد که اینترنت اشـیا برای دولت‌ها برای تقویت شـرایط جامعه و روابط تجاری از نظر رفاه مفید اسـت. بااین‌حال، اینترنت اشیا به زیرساخت‌های ایمنی مدرن نیاز دارد.

رودریگو و همکاران[18](۲۰۲۲) ارزیابی عملکرد مدل مبتنی بر صـف برای اینترنت افراد با پشـتیبانی از محاسـبات مه را مورد مطالعه قرار دادند. به دنبال اینترنت اشـیا (IoT) و اینترنت فضـا (IoS)، ما اکنون به IoP (اینترنت افراد) یا اینترنت افراد نزدیک می‌شـویم، با ادغام تراشـه‌هایی در داخل افراد که به تراشـه‌های دیگر و اینترنت متصـل می‌شـوند. تأخیر کم برای دسـتیابی به کیفیت خدمات عالی در این امکانات زندگی به کمک محیط مورد نیاز اسـت. از سوی دیگر، شکست‌ها قابل تحمل نیستند و ارزیابی عملکرد چنین سـیسـتم‌هایی در یک محیط واقعی دشـوار است. ممکن اسـت از مدل‌های تحلیلی برای بررسـی این نوع سیستم‌ها حتی در مراحل اولیه طراحی اسـتفاده شود. عملکرد سیستم‌های نظارت بر مراقبت سـالمندان با استفاده از شبکه صف M/M/c/K ارزیابی می‌شـود. این مدل ظرفیت منابع، ارتباطات و تاخیرهای سرویس را قادر به کالیبره شدن می‌کند. نشان داده شد که مدل پیشـنهادی قادر به پیش‌بینی MRT سـیسـتم (میانگین زمان پاسـخ) و محاسـبه مقدار منابع مورد نیاز برای برآوردن نیازهای کاربر خاص اسـت. برای تجزیه و تحلیل داده‌های راه‌حل‌های اینترنت اشـیا، معماری مورد بررسـی از منابع ابر و مه اسـتفاده می‌کند. شـرایط مختلف به‌عنوان مطالعات موردی با چهار ویژگی اصـلی مورد بررسـی قرار گرفت. این مطالعات موردی به چگونگی تفاوت منابع ابر و مه می‌پردازد. شبیه‌سازی‌هایی نیز برای آزمایش الگوریتم‌های مسـیریابی مختلف با هدف بهبود معیارهای عملکرد اجرا شـد. در نتیجه، مطالعه می‌تواند به توسـعه سـیسـتم‌های نظارتی بهداشتی پیچیده‌تر بدون متحمل شدن هزینه‌های اضافی کمـک کنـد. مجـدداً مقـالـه تنهـا بر یکی از ســرویس‌هـای خدمات‌رسـانی متمرکز اسـت و برای سایر خدمات قابلیت توسعه ندارد.

یان و همکاران[19](۲۰۱۸) تشـــخیص مصـــرف انرژی ورزش براســاس اینترنت اشــیا و رایانش ابری را موردمطالعه قراردادند. تحقیق با اسـتفاده از فناوری‌های جدید، یعنی اینترنت اشـیا و رایانش ابری برای شـناسایی مصرف انرژی ورزشی، پیشنهاد مدل معماری اینترنت اشـیا و مدل محاسـبات ابری برای تشـخیص مصـــرف انرژی ورزشـــی و روش جمع‌آوری اطلاعات در روند تشـخیص مصـرف انرژی ورزش داده شـد. همچنین به بررسـی صـحت نتایج تشـخیص انرژی مصـرف انرژی در سیستم پرداخته است. نتایج تحقیق نشان داد که سیستم تشخیص انرژی مصرفی ورزش با توجه به IoTs و رایانش ابری طراحی‌شده در این تحقیق کمتر از ۲٪ خطا داشـته که از دقت بالایی برخوردار است. مجدداً، این تلاش‌ها برای کمک به کاربران، معیارهایی که ارزیابی عملکرد را تعیین کند، در نظر نمی‌گیرد که برای کاربران مهم است.

عبدالعزیز و همکاران[20](۲۰۲۱) تکنیک پیشرفته بهینه‌سازی برای برنامه‌ریزی کاره‌ای اینترنت اشیا در محیط‌های محاسبات ابری را موردمطالعه قراردادند. یک روش برنامه‌ریزی وظیفه جایگزین برای درخواست‌های اینترنت اشیا در یک محیط ابر-مه براساس یک بهینه‌سازی مبتنی بر اکوسیستم مصنوعی اصلاح‌شده (AEO)، به نام AEOSSA، ایجادشده است. این اصلاح با استفاده از اپراتورهای الگوریتم ازدحام Salp (SSA) در تلاش برای افزایش توانایی بهره‌برداری AEO در طی فرآیند یافتن راه حل بهینه برای مسئله موردبررسی، توسعه‌یافته است. عملکرد رویکرد AEOSSA طراحی‌شده برای حل مسئله برنامه‌ریزی کار با استفاده از مجموعه داده‌های مختلف مصنوعی و دنیای واقعی در اندازه‌های مختلف ارزیابی می‌شود. علاوه بر این ، مقایسه‌ای بین AEOSSA و سایر روش‌های فراشناختی معروف برای بررسی عملکرد انجام‌شده است. نتایج تجربی نشان‌دهنده توانایی بالای AEOSSA در مقابله با مسئله زمان‌بندی کار و عملکرد بهتر از سایر روش‌ها با توجه به معیارهای عملکرد مانند زمان ساخت و تولید است. مقاله هیچ معیاری برای راهنمایی کاربر در ارزیابی عملکرد که متناسب باهدف او باشد معرفی نمی‌کند.

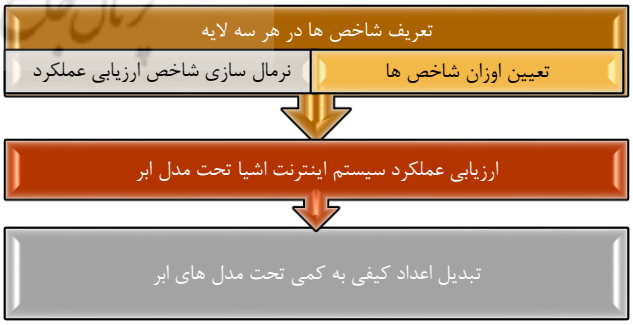
جان و همکاران[21](۲۰۲۱) یک آزمایش کنترل تصادفی برای اندازه‌گیری میزان تعامل دانش آموزان از طریق اینترنت اشیا و بازی‌های جدی ارائه کردند. مطالعه باهدف تولید یک روش مؤثر برای اندازه‌گیری میزان تعامل دانش آموزان با استفاده از اطلاعات

18 Rodrigues
19 Yan et al
20 Abd Elaziz
21 John

مبتنی بر حسگر و یک محیط بازی انجام‌شده است اما سطح تعامل دانش آموزان با برنامه دانشگاهی مربوط به آن‌ها را بهبود نمی‌بخشد. نتایج حاصل از آزمایش تجربی در مقایسه با عملکرد تحصیلی ، شواهد قابل‌درکی در اندازه‌گیری تعامل را ارائه می‌دهد یافته‌های این مقاله اثربخشی یک چارچوب نرم‌افزاری برای ترکیب بازی‌های جدی و اینترنت اشیا را تأیید می‌کند و برنامه‌های جدید واقعی بازی‌های جدی که شامل مراقبت‌های بهداشتی ، آموزشی ، شبیه‌سازی و موارد دیگر هستند را تشویق می‌کند. همه این مارها هنوز هم راه حل های باز ارائه می‌دهند و کار انتخاب معیار ارزیابی عملکرد مناسب توسط کاربر را واقع آسان نمی‌کنند. از بررسی پیشین ادبیات فعلی، بدیهی است که کارهای زیادی بر روی تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای ارزیابی اینترنت اشیا بر اساس ویژگی‌ها، عملکردها، معماری، امنیت، پروتکل ارتباطی، تجزیه‌وتحلیل، مقیاس‌پذیری و غیره انجام‌شده است که اکثر آن‌ها نتایج ذهنی را به همراه دارد. بااین‌حال، به نظر می‌رسد که بر اساس معیارهایی مانند زمان پاسخ، توان عملیاتی، و کارایی فنی که تجربه کاربر را پایه‌ریزی می‌کند، روی تحلیل کمی و عینی‌تر عملکرد کمی یا هیچ کاری انجام‌نشده است. این کار تلاشی برای ایجاد این اقدامات است.

۳- روش پژوهش

این پژوهش به لحاظ پرداختن به مبانی نظری سیستم اینترنت اشیا یک تحقیق بنیادی تلقی شده و موجب افزودن اطلاعات ما در حوزه نظری این سیستم‌ها می‌شود. به‌علاوه به دلیل پرداختن به موضوع مدل‌های امنیتی مدلی کاربردی ارائه می‌دهد که به همین دلیل یک تحقیق کاربردی نیز به شمار می‌آید. لذا می‌توان این تحقیق را از نوع تحقیقات بنیادی ـ کاربردی دانست.نقشه راه در شکل ۲ نشان داده‌شده است.



شکل۲: نقشه راه پژوهش

۳-۱- تعریف شاخص‌ها

در یک سیستم پیچیده، برای ایجاد یک سیستم شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان علمی، لازم است که قابلیت اطمینان سیستم و ماهیت سیستم شاخص را درک و اصل سیستم شاخص را از جنبه‌های مختلف ایجاد کنیم. تنها از این طریق می‌توان مجموعه‌ای را ایجاد کرد. خلاصه ادبیات مربوطه در مورد سیستم شاخص ارزیابی گذشته و ایجاد سیستم شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم باید از اصول زیر پیروی کند کولزا وهمکاران[22](۲۰۱۹):

(۱) یکپارچگی سیستم شاخص: در سیستم شاخص ارزیابی قابلیت اطمینان، ترکیبی از همه شاخص‌ها باید قادر به توصیف کامل ویژگی‌های سیستم از همه جنبه‌ها باشد؛

(۲) کاربرد سیستم نشانگر: نشانگرهای سیستم نشانگر باید با ساختار سیستم، ماهیت کار، محیط کار و حالت‌های خرابی که ممکن است در سیستم رخ دهد سازگار باشد؛

(۳) سلسله‌مراتب سیستم نشانگر: یک سیستم پیچیده به‌طورکلی از چندین زیرسیستم با عملکردهای مختلف تشکیل شده است و زیرسیستم می‌تواند به تجزیه خود ادامه دهد. برای هر زیرسیستم در سطح، لازم است شاخص های قابلیت اطمینان مربوطه ارائه شود؛

(۴) قابلیت دسترسی به سیستم نشانگر: نشانگر باید طراحی قابلیت اطمینان سیستم را هدایت کند و مقدار شاخص تعیین‌شده باید اساساً با سطح قابلیت اطمینان واقعی سیستم سازگار باشد.

چالش اصلی در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های اینترنت اشیا، وجود شاخص‌های عملکرد متعدد و متنوعی است که هر کدام جنبه متفاوتی از سیستم را اندازه‌گیری می‌کنند. برای دستیابی به یک ارزیابی جامع، لازم است این شاخص‌ها ابتدا به‌صورت منطقی (معمولاً در یک ساختار سلسله‌مراتبی) طبقه‌بندی و سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی مناسب ادغام شوند تا سهم هر شاخص در قابلیت اطمینان کلی سیستم به‌دقت تعیین گردد.

در این پژوهش، از چارچوب مدل ابری چینی (Wang et al., 2021) به‌عنوان مبنای طبقه‌بندی و تعریف شاخص‌های عملکرد استفاده شده است. تمرکز اصلی بر شاخص‌های مرتبط با لایه سنجش و ارتباط سیستم است که عموماً شامل معیارهای عینی زیر می‌شود: توانایی ضد تداخل سنجش بی‌سیم، نرخ تشخیص/خوانش اطلاعات (مانند سرعت شناسایی برچسب‌های RFID)، دقت سنجش اطلاعات، نرخ خرابی تجهیزات، محدوده جغرافیایی تحت پوشش سنجش‌گرها و دامنه ارتباطی دستگاه‌ها.

22 Colezea

۳-۱-۱- شاخص‌های لایه ادراک

لایه اول مورد بررسی، لایه ادراک است که وظیفه اصلی آن فراهم‌آوری یک زیرساخت قابل اطمینان و آگاه از بستر برای جمع‌آوری داده است. این لایه عموماً در فضای ابری مستقر می‌شود تا داده‌های خام را برای استفاده توسط برنامه‌های کاربردی نهایی پردازش و آماده کند. حتی در معماری‌های مبتنی بر محاسبات لبه —که پردازش داده‌های حس‌شده با تأخیر کم را در منبع انجام می‌دهند — این لایه معمولاً برای داده‌های غیربلادرنگ یا تجمیع اطلاعات، با لایه ابری در تعامل باقی می‌ماند. پس از پردازش در ابر، داده‌های این لایه مبنایی برای برنامه‌های کاربردی هوشمند در حوزه‌های متنوعی همچون کشاورزی هوشمند، مراقبت سلامت، تولید صنعتی، شهرهای هوشمند و مدیریت ناوگان فراهم می‌کند و امکان نظارت بر عملکرد سیستم و شناسایی به‌موقع مشکلات را ممکن می‌سازد. در جدول شماره ۱ شاخص‌ها، توصیف هر شاخص و عامل اصلی تأثیر ارائه‌شده است.

جدول ۱: شاخص‌های لایه ادراک در مدل ابر (Sethi M.et al,2012& Wang et al,.2021)

هدف	شاخص	توصیف	عامل اصلی تأثیر
قابلیت اطمینان آگاه	قابلیت اطمینان تجهیزات	احتمال کار بدون دردسر تجهیزات	محیط کار سطح فرآیند
	دقت ادراک‌شده	مقدار صحیح اطلاعات / کلیه اطلاعات	محیط کار عملکرد تجهیزات مکانیسم و توافق
	دامنه ادراکی	پوشش مؤثر تجهیزات	عملکرد تجهیزات محیط کار
	سرعت درک شده	درک صحیح از اطلاعات	عملکرد تجهیزات محیط کار

۳-۱-۲- شاخص‌های لایه انتقال

لایه انتقال اطلاعات از طریق شبکه اطلاعات دستگاه سنجش را به پایانه یا سایر دستگاه‌های شبکه منتقل می‌کند. عملکرد اصلی شبکه، اتصال است که نشان‌دهنده توانایی اتصال شبکه است. بااین‌حال، میزان اتصال به‌طور کامل عملکرد شبکه را نشان نمی‌دهد. به‌عنوان‌مثال، در شبکه تلفن عمومی، میزان تماس بیش از ظرفیت پیوند است که باعث از بین رفتن تماس می‌شود. در این زمان، حتی اگر شبکه متصل بماند، عملکرد واقعی آن بسیار پایین است. همچنین لازم است عملکرد شبکه از جنبه‌های یکپارچگی اطلاعات و اطلاعات در زمان واقعی توصیف شود. شاخص‌های لایه انتقال جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: شاخص‌های لایه انتقال در مدل ابر .(Shrimali et al.,2020 & Wang et al,.2021)

هدف	شاخص	توصیف	عامل اصلی تأثیر
قابلیت اطمینان انتقال اطلاعات	ارتباط شبکه	احتمال اتصال همه گره‌ها	عملکرد ترمینال توپولوژی شبکه
	تأخیر پایان به پایان انتقال داده	تأخیر در محیط کار	توپولوژی شبکه
	ظرفیت شبکه	حداکثر ظرفیت انتقال شبکه	محیط کار تغییر توپولوژیک
	نرخ خطا	احتمال خطای انتقال داده‌ها	محیط کار
	قابلیت اطمینان پایان	احتمال کار عادی پایان به پایان	توپولوژی شبکه محیط کار عملکرد تجهیزات

۳-۱-۳ شاخص‌های لایه کاربرد

اطلاعات تجسم توابع خاص اینترنت اشیا است. این وظیفه عمدتاً وظیفه اجرای برنامه‌های خاص اینترنت اشیا، را دارد ، مانند پرس و جوی داده، مکان و انتقال و شناسایی دستورالعمل‌ها. قابلیت اطمینان آن به‌طور عمده در سه جنبه منعکس می‌شود: بقای حملات غیرقانونی. قابلیت پردازش تجارت و توانایی مدیریت شرایط اضطراری. شاخص‌های لایه کاربرد در جدول ۳ نشان داده‌شده است.

جدول ۳: شاخص های لایه کاربرد (Liu Z. A., 2017, & Li. et al., 2024., & Wang et al., 2021)

هدف	شاخص	توصیف	عامل اصلی تأثیر
قابلیت اطمینان پردازش اطلاعات	عملکرد ایمنی اطلاعات	امنیت سیستم	مکانیسم و پردازش قابلیت اطمینان سطح توافق‌نامه سطح کار محیط
	سرعت پردازش تجارت	زمان پردازش رویداد	عملکرد تجهیزات
	دقت پردازش تجارت	احتمال عدم خطا	عملکرد تجهیزات
	تحمل خطا و سازگاری	توانایی مدیریت وضعیت غیرعادی	عملکرد تجهیزات عملکرد محیط کار

۳-۲- ابزار و روش گردآوری داده‌ها

در این پژوهش برای مرور ادبیات از به‌روزترین مقالات استفاده‌شده است. همچنین اطلاعات در زمینه ارزیابی عملکرد سیستم که عمدتاً از طریق سنسورها و برچسب‌های الکترونیکی RFID اطلاعات اقلام را جمع‌آوری می‌کند و ویژگی آیتم‌ها را به داده‌های قابل‌انتقال و پردازش تبدیل می‌کند جمع‌آوری و به شبکه موجود منتقل می‌شود.

۳-۳- نرمال‌سازی شاخص ارزیابی عملکرد

به‌طورکلی، در مجموعه شاخص سه نوع شاخص وجود دارد: شاخص‌های متوسط، شاخص‌های بسیار کوچک و شاخص‌های بسیار بزرگ. این شاخص‌ها روندهای مختلفی دارند و هنگامی‌که انواع مختلفی در شاخص‌های یک سیستم ارزیابی وجود دارد، آن‌ها باید باهم سازگار باشند.

تغییر در مقدار واقعی برخی از شاخص‌ها باعث ایجاد نسبت مشخصی از "مقدار کمی" تغییرات می‌شود، آن‌ها خطی هستند و در این زمان از روش خطی سازی استفاده می‌شود. تغییر مقدار واقعی برخی از شاخص‌ها با "مقدار کمی" متناسب نیست. وقتی شاخص در مقادیر مختلف باشد(Jianying et sl,2019)، درجه سازگاری پردازش باید متفاوت باشد که به یک روش پردازش غیرخطی نیاز دارد.

- شاخص‌های عالی

برای ماکزیمم کردن شاخص، هرچه مقدار بزرگ‌تر باشد، بهتر است. برای مدل پردازش شاخص غیرخطی:

$$\begin{cases} f(x) = 1, x \geq Q_{min} \\ f(x) = Re^{(x-Q_{min})(Q_{max}-Q_{min}),others} \\ f(x) = 0, x < Q_{min} \end{cases} \quad (۱)$$

مدل پردازش خطی نیز به‌صورت زیر است:

$$f(x) = \frac{x - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} \quad (۲)$$

- شاخص‌های بسیار کوچک

برای شاخص‌های بسیار کوچک، مقادیر کمتر بهتر است. برای مدل پردازش شاخص غیرخطی:

$$\begin{cases} f(x) = 0, x \geq Q_{min} \\ f(x) = Re^{(x-Q_{min})(Q_{max}-Q_{min}),others} \\ f(x) = 1, x \leq Q_{min} \end{cases} \quad (۳)$$

مدل پردازش خطی نیز به‌صورت زیر است:

$$f(x) = \frac{Q_{max} - x}{Q_{max} - Q_{min}} \quad (۴)$$

- شاخص‌های میانی

برای شاخص‌های میانی، مقادیر میانی بهتر است و اثر افزایش می‌یابد اگر مقادیر افزایش یابند (یا کاهش) برای مدل پردازش شاخص غیرخطی:

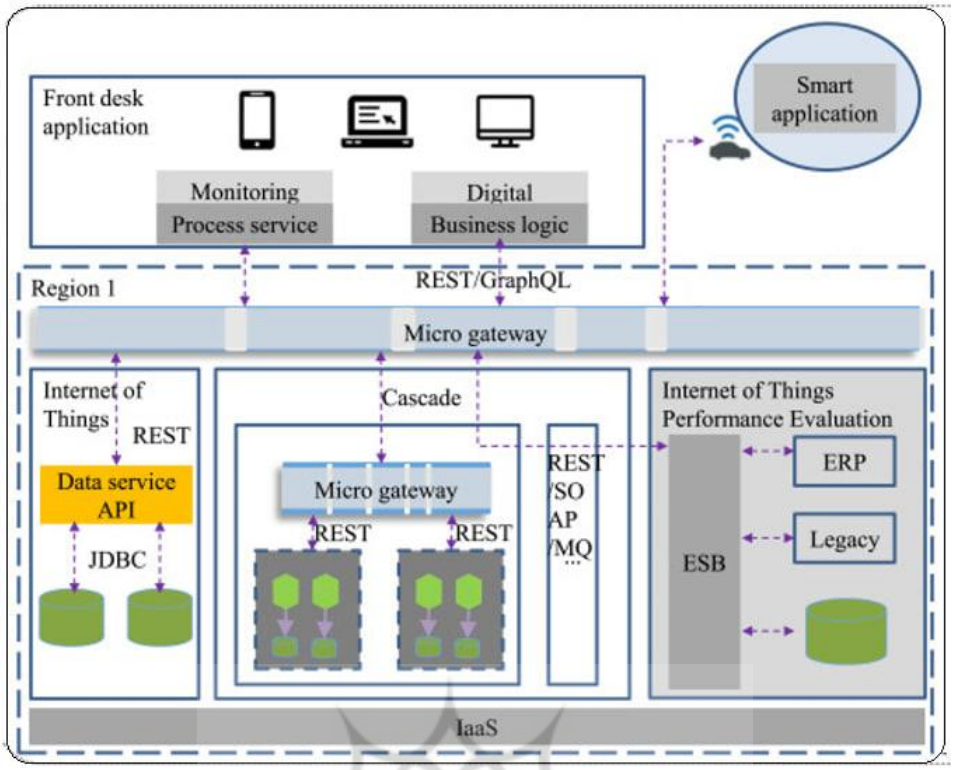
$$\begin{cases} f(x) = Re^{2(x-Q_{min})(Q_{max}-Q_{min}),} Q_{max} < x < Q_{min} \\ f(x) = Re^{2(Q_{max}-x)(Q_{max}-Q_{min})} Q_{max} < x < Q_{min} \\ f(x) = 1, x < Q_{min} \end{cases} \quad (۵)$$

پردازش مدل خطی عبارتست از:

$$\begin{cases} f(x) = 2(x - Q_{min})/(Q_{max} - Q_{min}),\ Q_{max} < x < Q_{min} \\ f(x) = 2(Q_{max} - x)(Q_{max} - Q_{min}),\ Q_{max} < x < Q_{min} \\ f(x) = 0, x < Q_{min} \end{cases} \quad (۶)$$

۴-۳- تعیین وزن مدل ارزیابی عملکرد

وزن شاخص اطلاعات مهمی برای ارزیابی جامع سیستم است و وزن بازتاب اهمیت شاخص در هدف ارزیابی است. بسته به آن، شاخص‌های مشابه نتایج مختلف ارزیابی خواهند داشت. بنابراین، تعیین وزن شاخص‌ها به‌طور علمی و معقول در ارزیابی جامع قابلیت اطمینان سیستم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش و مراحل تعیین نمودار جریان عملکرد که با استفاده از زیرساخت به‌عنوان سرویس(IaaS) که شکلی از رایانش ابری است به‌صورت شکل شماره ۳ عمل می‌کند:



شکل ۳: فلوچارت مدل ابر ارزیابی عملکرد اینترنت اشیا

۵-۳- ساخت مدل ارزیابی عملکرد سیستم اینترنت اشیا تحت مدل ابری

با توجه به انواع مدل ابری، این مطالعه از مدل ابر نرمال برای ساخت مدل ارزیابی سیستم اینترنت اشیا استفاده می‌کند. سه ویژگی عددی ابر عبارتند از: انتظار(میانگین)، آنتروپی و سوپر آنتروپی. ترکیب سه ویژگی دیجیتالی مدل ابری با یک الگوریتم خاص می‌تواند منعکس‌کننده کلی ویژگی مفهوم ابر یک مدل ابری معمولی باشد. با استفاده از سه ویژگی دیجیتال مستقل: انتظار، آنتروپی، سوپر آنتروپی، افت ابر که توزیع نرمال در جهان را از طریق توزیع نرمال مرتبه دوم ایجاد می‌کند و قطعیت قطره ابر با تابع عضویت نرمال محاسبه می‌شود. یک الگوریتم تبدیل بین مفاهیم کیفی و نمایش‌های کمی آن‌ها است(Wang et al,2021).

(۱) ماتریس عامل هدف ارزیابی باید ایجاد و از داده‌های هر شاخص عملکرد برای ایجاد ماتریس عامل مربوطه استفاده شود؛

(۲) با استفاده از وزن شاخص بدست‌آمده از روش وزن آنتروپی، برای بدست آوردن وزن هر شاخص عملکرد استفاده می‌شود؛

(۳) ایجاد یک دامنه تفسیری.

در نهایت، با اعمال عملگرهای زبانی و مجموعه‌های فازی پنج‌گانه، خروجی مدل به یک ارزیابی کیفی از عملکرد سیستم اینترنت اشیا تبدیل می‌شود. این ارزیابی در پنج سطح تعریف شده است که از پایین به بالا عبارتند از :بد، ضعیف، متوسط، خوب و عالی. هر سطح نشان‌دهنده میزان تاب‌آوری سیستم در برابر اختلالات خارجی و قابلیت حفظ عملکرد عادی است. برای شفافیت کامل، معیارهای هر سطح را می‌توان در یک ساختار جدولی ارائه کرد(جدول شماره ۴).

جدول ۴: سطوح ارزیابی عملکرد(از بد تا عالی)

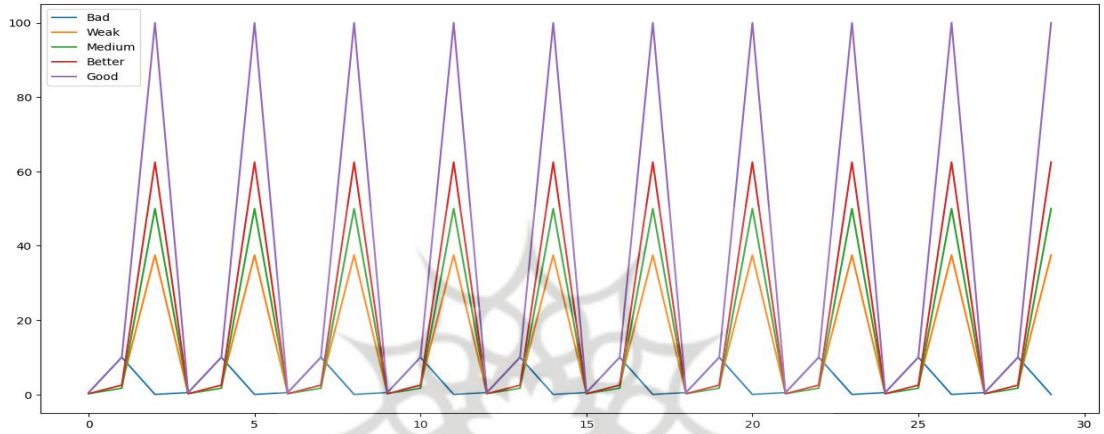
تفسیر	وضعیت عملکرد در مواجهه با اختلال خارجی	سطح ارزیابی
عملکرد سیستم به طور اساسی مختل شده است.	سیستم قادر به ادامه کار نیست.	بد
سیستم فاقد قابلیت اطمینان پایه است.	سیستم می‌تواند کار کند، اما وضعیت کاری ناپایدار و غیرمداوم است.	ضعیف
سیستم تاب‌آوری محدودی دارد.	سیستم می‌تواند کار خود را ادامه دهد و ظرفیت بافر متوسطی در برابر اختلالات رایج دارد.	متوسط
اختلال تأثیر کمی بر سیستم دارد.	سیستم پس از اختلال، ویژگی‌های اصلی خود را به خوبی حفظ می‌کند.	خوب
سیستم از تاب‌آوری و توانایی خود-ترمیمی بالایی برخوردار است.	سیستم حتی در محیط‌های پیشرفته یا پرچالش، قابلیت بازیابی قوی از خود نشان می‌دهد.	عالی

بازه عملکرد کلی سیستم اینترنت اشیا بر مبنای یک مقیاس کمّی، به صورت بازه بسته ۰ تا ۱۰۰ تعریف شده است. این بازه مطابق با اصل نسبت طلایی به بخش‌های فرعی تقسیم شده و برای هر بخش، یک مدل ابری متناظر ساخته شده است. پارامترهای این مدل‌های ابری که سطوح کیفی مختلف عملکرد را تعریف می‌کنند، در جدو ل شماره ۵ ارائه شده‌اند:

در ادامه، مجموعه ارزیابی عملکرد و این مدل‌های ابری با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون شبیه‌سازی شده‌اند. خروجی این شبیه‌سازی به‌صورت گرافیکی ترسیم شده و سطح عملکرد سیستم در قالب نموداری قابل‌ارائه است. نمودار مربوطه در شکل شماره ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۵: بازه عملکرد

پارامترهای مدل ابری(Ex, En, He)	نماد	سطح عملکرد کیفی
(0, 10, 0.5)	K1	بد
(37.5, 2.5, 0.2)	K2	ضعیف
(50, 1.67, 0.2)	K3	متوسط
(62.5, 2.5, 0.2)	K4	خوب
(100, 10, 0.5)	K5	عالی



شکل ۴: بازده سیستم اینترنت اشیا

همان‌طور که در شکل شماره ۴ به‌وضوح نمایش داده شده است، مدل ابری ساخته‌شده، تبدیل بین توصیف کیفی سطوح عملکرد (مانند "ضعیف" یا "خوب") و داده‌های کمی (مقادیر عددی در بازه ۰ تا ۱۰۰) را به‌صورت گرافیکی ممکن می‌سازد. پس از تعیین این مجموعه ارزیابی، فرآیند ارزیابی عملکرد سیستم اینترنت اشیا به شرح زیر انجام می‌شود:

۱. **مدل‌سازی سری‌زمانی:** یک مدل سری‌زمانی (مانند AR یا ARMA) از داده‌های خروجی سیستم ساخته می‌شود.
۲. **تخمین نویز:** باقی‌مانده‌های (خطاهای) این مدل، به‌عنوان تخمینی از نویز موجود در سیستم در نظر گرفته می‌شود.
۳. **فیلتراسیون:** با درنظرگرفتن عملکرد حلقه‌بسته سیستم، این نویز تخمین‌زده‌شده با استفاده از فیلتر کالمن در یک فرمول‌بندی فضای حالت فیلتر می‌شود تا ارزیابی نهایی عملکرد انجام پذیرد.

۳-۶- فیلتر کالمن

فیلتر کالمن الگوریتمی است که با توجه به اندازه‌گیری‌های مشاهده‌شده در طول زمان، تخمین‌هایی از برخی متغیرهای ناشناخته را ارائه می‌دهد. فیلترهای کالمن کاربرد خود را در زمینه‌های مختلف نشان داده‌اند. فیلترهای کالمن شکل نسبتاً ساده‌ای دارند و به توان محاسباتی کمی نیاز دارند. با مدل‌های خطی با نویزهای گاوسی افزودنی، فیلتر کالمن تخمین‌های بهینه را ارائه می‌دهد(Jianying L. et al., 2017 & Liu Q et al., 2017).

فیلترهای کالمن برای تخمین حالت‌ها براساس سیستم‌های دینامیکی خطی در قالب فضای حالت استفاده می‌شود. مدل فرآیند تکامل حالت را از زمان k-1 تا زمان k به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_k = fx_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \qquad (۷)$$

که در آن F ماتریس انتقال حالت اعمال‌شده به بردار حالت قبلی x_{k-1} است، B ماتریس کنترل-ورودی اعمال‌شده به بردار کنترل u_{k-1} است و w_{k-1} بردار نویز فرآیند توزیع گاوسی با میانگین صفر و با کوواریانس Q، یعنی $v_k \sim N(0,R)$. مدل فرآیند با مدل اندازه‌گیری که رابطه بین حالت و اندازه‌گیری را در مرحله زمانی فعلی k توصیف می‌کند متناظر می‌شود.

مانند:

$$Z_k = Hx_k + V_k \qquad (۸)$$

که در آن Z_k بردار اندازه‌گیری است، H ماتریس اندازه‌گیری است، و V_k بردار نویز اندازه‌گیری است که فرض می‌شود توزیع گاوسی با میانگین صفر و کوواریانس R دارد، یعنی $v_k \sim N(0,R)$. ذکر این نکته نیز لازم است که گاهی اوقات اصطلاح اندازه‌گیری در ادبیات مختلف «مشاهده» نامیده می‌شود. نقش فیلتر کالمن ارائه تخمین x_k در زمان k با توجه به تخمین اولیه x_0، سری اندازه‌گیری، $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$ و اطلاعات سیستم توصیف‌شده توسط Q، H، B، F و R. زیرنویس‌های این ماتریس‌ها در اینجا با فرض ثابت بودن آن‌ها در طول زمان مانند اکثر برنامه‌ها حذف می‌شوند. اگرچه ماتریس‌های کوواریانس قرار است آمار نویزها را منعکس کنند، اما آمار واقعی نویزها در بسیاری از کاربردهای عملی گاوسی شناخته‌نشده است. بنابراین Q و R معمولاً به‌عنوان پارامترهای تنظیم مورداستفاده قرار می‌گیرند که کاربر می‌تواند آن را تنظیم کند تا عملکرد موردنظر را بدست آورد(Fang et al., 2017, & Guo et al., 2017). ارزیابی عملکرد سیستم، فرآیند مقایسه بین عملکرد فعلی سیستم و عملکرد معیار است. پس از بدست آوردن عملکرد معیار، باید عملکرد فعلی سیستم محاسبه شود، تابع چگالی احتمال خطای ردیابی محاسبه می‌شود. توزیع احتمال خطای ردیابی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F(e) = \frac{Num(e_i < e)}{N} \qquad (۹)$$

که در آن N تعداد داده‌های نمونه و $Num(e_i < e)$ تعداد خطاهای نمونه است که از e کمتر است. فرمول محاسبه تابع چگالی احتمال ردیابیِ خطا به‌صورت زیر است:

$$\gamma(e) = \frac{\square F(e)}{\square e} \qquad (۱۰)$$

که در آن $\square F$ مقدار تغییر در داده‌های نمونه است و $\square e$ مقدار تغییر در خطا، تابع چگالی احتمال بهینه خطای کنترل تحت کنترل حداقل آنتروپی داده‌شده است. تابع چگالی احتمال بهینه به‌عنوان یک استاندارد برای ارزیابی عملکرد سیستم کنترل استفاده می‌شود. تابع چگالی احتمال مربوطه آن را می‌توان با بردار زیر تقریب زد:

$$Y = [y(1), \dots, (y(i), \dots y(n)] \qquad (۱۱)$$

هنگامی‌که n به بی‌نهایت نزدیک می‌شود، تابع چگالی احتمال و بردار بازنمود آن در محدوده خروجی مشخصی دقیقاً برابر هستند. روش پیشنهادی مطالعه می‌تواند ارزیابی عملکرد را بدون ایجاد اختلال در عملکرد عادی سیستم اینترنت اشیا تکمیل کند. تحت این امر، تعیین عملکرد سیستم اینترنت اشیا با استفاده از عملوندهای حلقه بسته به‌جای آزمایش عملکرد مطلوب است. از عملوندهای حلقه بسته عمدتاً از طریق مراحل زیر برای تکمیل ارزیابی عملکرد استفاده می‌شود:

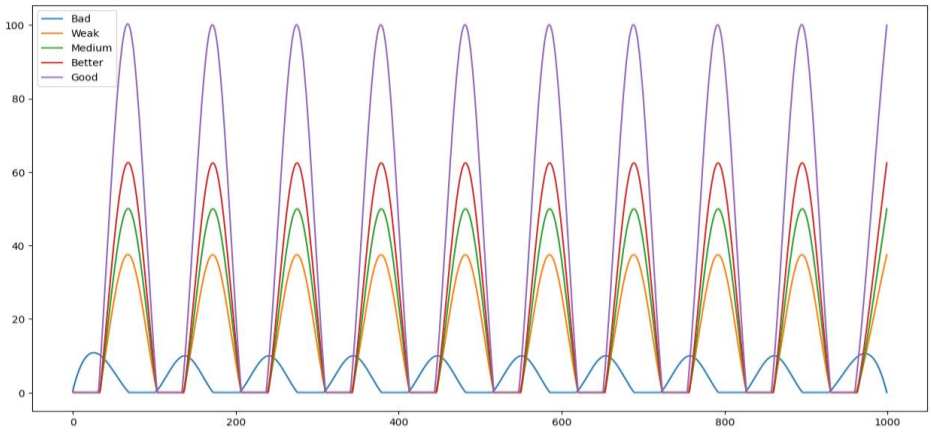
- محاسبه خطای ردیابی سیستم اینترنت اشیا از طریق مقدار تنظیم‌شده و خروجی سیستم؛
- تخمین واریانس نویز؛
- محاسبه تابع چگالی احتمال توزیع بهینه؛
- محاسبه تابع چگالی احتمال؛
- ارائه بردار نمایشی از توزیع چگالی احتمال واقعی؛
- محاسبه بردار نمایش تابع چگالی توزیع احتمال توزیع بهینه؛
- محاسبه شاخص های عملکرد سیستم.

۴- آزمایش‌ها و نتایج

۴-۱- شبیه‌سازی ارزیابی عملکرد سیستم اینترنت اشیا

با توجه به وزن شاخص‌های عملکرد لایه ادراکی بدست‌آمده در بالا، از طریق تجزیه‌وتحلیل و تحقیق بر روی چهار شاخص عملکرد نرخ موفقیت نسبت سیگنال به نویز، چگالی گره، نرخ شکست گره و نسبت سیگنال به نویز گره، عملکرد سیستم لایه ادراکی سیستم اینترنت اشیا تحقق‌یافته است.

مدل‌های ابری مربوط به شاخص‌های عملکرد اصلاح‌شده عبارتند از: [۱۵،۵،۵۰،۳،۳۶،۳]، [۵،۶۷،۳،۱۱]، [۱۰، ۵،۵۰] و [۱،۶۲، ۰،۳، ۰،۳، ۰،۳]. با توجه به تأثیر وزن بر شاخص‌های عملکرد، الگوریتم نظریه ابر مجازی برای توزیع مجدد انتظار، آنتروپی و سوپر آنتروپی چهار شاخص عملکرد استفاده می‌شود. عملکرد سیستم لایه ادراک سیستم اینترنت اشیا ارزیابی می‌شود. از طریق عملیات، انتظار، آنتروپی و سوپر آنتروپی پس از توزیع مجدد عبارتند از: EX=53.26 و EN= 3.54 و He=0.3. پوشش اصلی آن (Ex+En, Ex-En)=(۵۶،۸و۴۹،۷۲) است. آزمایش شبیه‌سازی با استفاده از پایتون در شکل شماره ۵ نشان داده‌شده است.



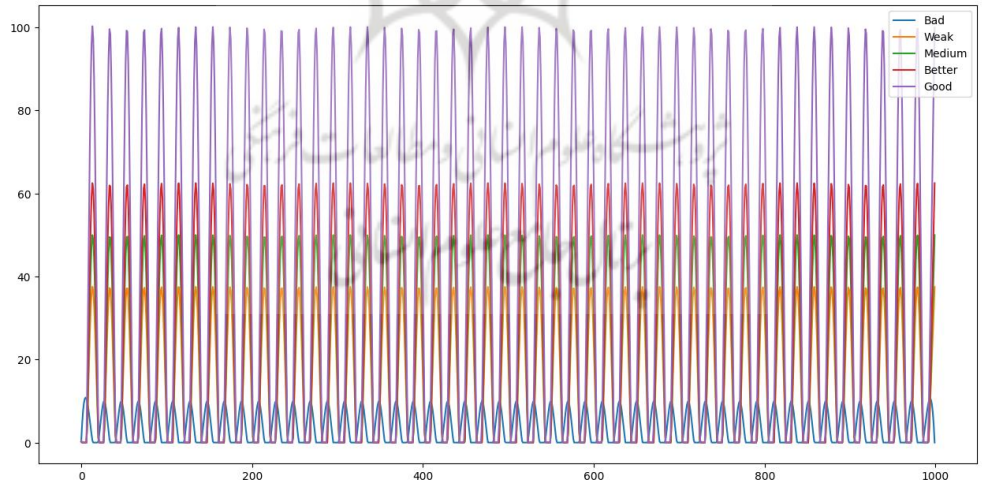
شکل ۵: مقایسه عملکرد سیستم لایه ادراک

همان‌طور که در شکل شماره ۵ (خروجی شبیه‌سازی پایتون) مشاهده می‌شود، توزیع ابرهای حاصل از ارزیابی لایه سنجش سیستم اینترنت اشیا، عمدتاً در ناحیه متوسط متمرکز شده است. تنها بخش کوچکی از ابرها در ناحیه «بد» قرار می‌گیرند و چگالی نسبی (یا احتمال تعلق) در این بخش نیز پایین است. بر این اساس، نتیجه کیفی ارزیابی عملکرد لایه سنجش، در سطح «متوسط» تعیین می‌شود.

در مرحله بعد و برای ارزیابی لایه انتقال، با درنظرگرفتن وزن ویژگی‌های دیجیتالی مدل ابری — یعنی امید ریاضی(Ex)، آنتروپی (En) و سوپر آنتروپی — (He) توزیع نهایی پارامترها محاسبه می‌گردد. مقادیر نهایی این پارامترها پس از توزیع مجدد به شرح زیر است:

- امید ریاضی (Ex) = 57.14
- آنتروپی(En) = 3.54
- سوپر آنتروپی(He) = **0.3**

بر این اساس، بازه پوشش اصلی عملکرد لایه انتقال، که بر مبنای (Ex ± En) محاسبه می‌شود، در بازه (۵۳٫۶و۶۰٫۶۸) قرار دارد.



شکل۶: مقایسه لایه انتقال

شکل شماره ۶ بازنمود ابر در عملکرد سیستم از لایه انتقال سیستم اینترنت اشیا است. طبق شکل، بیشتر ابرها می‌توانند در ناحیه وسط بیفتند، اما افت‌های نسبتاً کوچک در "وسط" به‌مراتب بیشتر از افت‌های موقعیت "بهتر" است. بنابراین، عملکرد سیستم لایه انتقال اینترنت اشیا بدست‌آمده از طریق آزمایش‌های شبیه‌سازی مناسب‌تر است و نتیجه "متوسط +" است.

برای تعیین اهمیت نسبی شاخص‌های عملکرد، از روش وزن آنتروپی بر روی سه مجموعه داده اولیه استفاده شد. مقادیر هر شاخص از طریق شبیه‌سازی در پایتون استخراج و نرمال‌سازی گردید. وزن نهایی هر شاخص از میانگین‌گیری وزن‌های حاصل از سه مجموعه داده محاسبه و در جدول ۶ ارائه شده است.

از میان این ۱۲ شاخص، **۹ شاخص کلیدی** (گذردهی، تاخیر جیتر، نرخ SNR، نرخ شکست گره، چگالی گره، تاخیر، نرخ از دست دادن بسته، نرخ خطای بیت و پهنای باند موجود) بر اساس اهمیت وزنی و نظر خبرگان برای مراحل بعدی ارزیابی انتخاب شدند(جدول شماره ۷).

جدول ۶: وزن شاخص‌های عملکرد

ردیف	عملکرد	میانگین وزن‌ها
۱	نرخ موفقیت سیگنال	۰,۰۰۵۳۶
۲	چگالی گره[۲۳]	۰,۰۶۵۸۷
۳	نرخ شکست گره	۰,۱۵۲۷
۴	نرخ NSR	۰,۱۹۸۷
۵	گذردهی[۲۴]	۰,۲۲۴۵
۶	تأخیر[۲۵]	۰,۰۷۵۶۱
۷	تأخیر jitter	۰,۱۳۵۲
۸	نرخ موفقیت ارتباط شبکه	۰,۰۰۲
۹	نرخ از دست دادن بسته	۰,۰۶
۱۰	نرخ خطای بیتی[۲۶]	۰,۰۶
۱۱	پهنای باند موجود	۰,۰۲
۱۲	فرکانس کاری[۲۷]	۰,۰۰۰۳

جدول ۷: ارزیابی خبرگان، مدل ابری و وزن نهایی شاخص‌های منتخب

#	شاخص عملکرد	ارزیابی کیفی خبرگان	مدل ابری(Ex, En, He)	وزن نهایی
۱	گذردهی	خوب	D1 (47.5, 2.5, 0.2)	۰,۲۲۴۵
۲	تاخیر جیتر	ضعیف	D2 (50, 2.5, 0.2)	۰,۱۳۵۲
۳	نرخ SNR	متوسط	D3 (37.5, 2.5, 0.2)	۰,۱۹۸۷
۴	نرخ شکست گره	خوب	D4 (50, 1.67, 0.2)	۰,۱۵۲۷
۵	چگالی گره	متوسط	D5 (62.5, 2.5, 0.2)	۰,۰۶۵۸۷
۶	تاخیر	ضعیف	D6 (50, 1.67, 0.2)	۰,۰۷۵۶۱
۷	نرخ از دست دادن بسته	متوسط	D7 (37.5, 2.5, 0.2)	۰,۰۶
۸	نرخ خطای بیت	خوب	D8 (50, 1.67, 0.2)	۰,۰۶
۹	پهنای باند موجود	خوب	D9 (62.5, 2.5, 0.2)	۰,۰۲

برای بررسی اثر تعداد شاخص‌های ورودی بر وضوح ارزیابی نهایی، یک تحلیل حساسیت انجام شد. مدل با در نظر گرفتن ۳، ۴، ۵ و نهایتاً ۹ شاخص اجرا و خروجی آن‌ها مقایسه گردید.

- با ۳ یا ۴ شاخص، خروجی مدل بسیار مبهم بود و سطح عملکرد سیستم به وضوح قابل تشخیص نبود.
- با ۵ شاخص، خروجی مدل به وضوح در محدوده "متوسط" تثبیت شد و ارزیابی معناداری ممکن گردید.
- با افزایش شاخص‌ها به ۹ مورد، نتیجه کلی تغییری نکرده اما پراکندگی (آنتروپی) خروجی افزایش یافت که نشان‌دهنده افزونگی اطلاعات و عدم افزایش وضوح است.

بر این اساس، تعداد بهینه شاخص‌ها برای این مدل ارزیابی ۵ درنظرگرفته می‌شود. این نتیجه، موید کارایی روش پیشنهادی در دستیابی به یک ارزیابی دقیق حتی با تعداد محدودی از شاخص‌های کلیدی است.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر یک چارچوب نوآورانه برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های اینترنت اشیا ارائه کرده است که برخلاف رویکردهای مرسوم مبتنی بر تحلیل واریانس(Dong et al., 2019, 2017)، از تابع چگالی احتمال (PDF) به‌عنوان معیار اصلی بهره می‌برد. حداقل شاخص‌های عملکرد واریانس به‌طور متوالی در سیستم

23Node density
24 Throughput
25Delay
26Bit error rate
27 Working frequency

کنترل پیش‌خور[۲۸]، سیستم کنترل زنجیره‌ای[۲۹]، سیستم فاز غیرمینیمم (Osebor et al., 2019, Ohura et al., 2017, & Tu et al., 2018) و سیستم چند خروجی ورودی چندگانه اعمال می‌شود(Yang et al., 2017). عملکرد حداقل واریانس برای کنترل کننده‌های PID سنتی و کنترل کننده‌های پیشرفته (مانند کنترل پیش‌بینی) نیز به‌طور گسترده مورداستفاده قرارگرفته است(Liu et al., 2019). علاوه بر این، برخی از شاخص‌های عملکرد مبتنی بر حداقل واریانس به‌طور متوالی پیشنهاد می‌شوند؛ مانند شاخص واریانس همبستگی براساس واریانس حلقه باز، حداقل واریانس تعمیم‌یافته همراه با محدودیت کمیت کنترل(همان). همان‌طور که در این مقاله مشاهده شد در مقایسه با واریانس، تابع چگالی احتمال به سیستم منتقل می‌شود. عملکرد تصادفی شرح جامع‌تری دارد. این تغییر پارادایم، امکان توصیف جامع‌تری از رفتار تصادفی سیستم را فراهم می‌آورد.

برای عملیاتی‌سازی این ایده، از مدل ابری چینی به‌عنوان هسته مرکزی چارچوب استفاده شد. توانایی ذاتی این مدل در پردازش عدم قطعیت و تبدیل مفاهیم کیفی به داده‌های کمی، آن را به ابزاری ایده‌آل برای ارزیابی سیستم‌های پیچیده اینترنت اشیا تبدیل می‌کند. ارزیابی انجام‌شده بر روی لایه‌های سنجش، انتقال و کاربرد نشان داد که نتایج حاصل از مدل پیشنهادی، همسویی بالایی با تعاریف نظری عملکرد دارد که نشان‌دهنده اعتبار علمی و منطقی بودن این چارچوب است.

یافته کلیدی این تحقیق آن است که ۵ شاخص عملکرد کلیدی (عمدتاً از لایه‌های سنجش و انتقال) برای دستیابی به ارزیابی دقیق و شفاف کافی هستند. افزایش تعداد شاخص‌ها فراتر از این تعداد، منجر به افزایش قابل‌توجهی در دقت نشده و تنها بر پیچیدگی مدل می‌افزاید.

با وجود نتایج رضایت‌بخش، مدل حاضر دارای محدودیت‌هایی است که زمینه را برای پژوهش‌های آینده فراهم می‌کند:
۱. افزایش دقت: دقت مدل را می‌توان با توسعه آن از حالت ساده یک‌بعدی به مدل‌های ابری چندبعدی یا شرطی ارتقا داد تا وابستگی‌های پیچیده‌تر بین شاخص‌ها را نیز مدل‌سازی کند.
۲. یکپارچه‌سازی با هوش مصنوعی: تلفیق چارچوب حاضر با الگوریتم‌های یادگیری ماشینی می‌تواند امکان تنظیم پویا و هوشمند شاخص‌های عملکرد را بر اساس الگوهای رفتاری سیستم و نیازهای متغیر کاربران فراهم آورد.
۳. اعتبارسنجی گسترده‌تر: آزمودن این چارچنگ در سناریوهای واقعی‌تر و متنوع‌تر صنعتی، گامی ضروری برای بلوغ و گسترش کاربرد آن است.

درمجموع، این پژوهش گامی به سوی ارزیابی دقیق‌تر و مبتنی بر داده از سیستم‌های اینترنت اشیا برداشته و چارچوبی قابل‌توسعه را برای محققان و مهندسان این حوزه فراهم می‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

28 feedforward control system

29 the cascade control system

فهرست منابع

خاتم زاده، مجتبی. تاجفر، امیرهوشـنگ، قیصری، محمد. (۱۳۹۵). مدیریت دارایی‌های سازمان بااستفاده از فناوری اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش ابری، نخستین کنفرانس بین‌المللی پارادیم‌های نوین مدیریت هوشمندی تجاری و سازمانی، تهران.

https://civilica.com/doc/500273

Al-Naji, A., Lee, S. H., & Chahl, J. (2017). Quality index evaluation of videos based on fuzzy interface system. Image Processing, 11(5), 292–300.

AlQahtani, S. A. (2023). An evaluation of e-health service performance through the integration of 5G IoT, fog, and cloud computing. Sensors, 23(12), 5006.

Bhawiyuga, A., Kartikasari, D. P., Amron, K., Pratama, O. B., & Habibi, M. W. (2019). Architectural design of IoT-cloud computing integration platform. TELKOMNIKA, 17(3), 1399–1406.

Chao, Y., & Hui, M. (2021). Detection of sports energy consumption based on IoTs and cloud computing. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 46, 101212.

Choudhary, A. (2024). Internet of Things: A comprehensive overview, architectures, applications, simulation tools, challenges and future directions. Discover Internet of Things, 4(1), Article 31. https://doi.org/10.1007/s43926-024-00084-3

Čolaković, A. (2023). IoT systems modeling and performance evaluation. Computer Science Review, 50, 100598.

Colezea, M., Musat, G., Pop, F., & Mocanu, M. (2018). CLUeFARM: Integrated web-service platform for smart farms. Computers and Electronics in Agriculture, 154, 134–154.

Dong, L., Shu, W., & Sun, D. (2019). Pre-alarm system based on real-time monitoring and numerical simulation using internet of things and cloud computing for tailings dam in mines. IEEE Access, 5, 21080–21089.

Dong, W. L., Dong, J. Q., & Liu, S. W. (2017). Contrastive analysis on the evaluation index system of national pilot demonstration areas of integrated community-based chronic diseases control and prevention in 2016 and 2011 edition. China, 51(7), 577–580.

Fang, A., Chen, W., & Dong, J. (2017). CA simulation and verification of cultivated land planning based on land suitability. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 33(8), 219–225.

Guadalupe, O., Meftah, Z., Okba, K., Alfonso, G., & Juan, B. (2022). Atmosphere: Context and situational-aware collaborative IoT architecture for edge-fog-cloud computing. Computer Standards & Interfaces, 79, 103550.

Guo, W., & Wang, Y. (2017). The definition of high-intensity mining based on green coal mining and its index system. Journal of Mining & Safety Engineering, 34(4), 616–623.

He, C., & Wang, C. (2018). Development model simulation of airport transport corridor based on system dynamics algorithm. Cluster Computing, 22(Suppl 4), 7915–7929.

Heidari, A., Navimipour, N. J., Jafari, M., Unal, M., & Zhang, G. (2023). Machine learning applications in internet-of-drones: Systematic review, recent deployments, and open issues. ACM Computing Surveys, 55(12), Article 245.

John, H., Stephen, T., Mukhopadhyay, S., & Yap, M. H. (2021). A randomised control trial for measuring student engagement through the Internet of Things and serious games. Internet of Things, 13, 100332.

Li, X., Pan, L., Song, W., Liu, S., & Meng, X. (2024). Performance analysis of parallel composite service-based applications in clouds. Future Generation Computer Systems, 153, 27–40

Liu, J., Sun, J., & Zhang, Z. (2017). Study on the characteristics of uncertain factors of electro hydraulic load simulation system based on model reference adaptive control. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 14(9), 4191–4196.

Liu, Q., Jin, Q., & Huang, B. (2017). Iteration tuning of disturbance observer-based control system satisfying robustness index for FOPTD processes. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 25(6), 1978–1988.

Liu, S., Guo, L., Webb, H., Gu, X., & Sun, Y. (2019). Internet of things monitoring system of modern eco-agriculture based on cloud computing. IEEE Access, 7, 37050–37058.

Liu, Z. A. (2017). Multi-index measurement model of English classroom teaching level in colleges and universities based on fuzzy system theory. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 14(1), 46–50.

Abd Elaziz, M., Abualigah, L., & Attiya, I. (2021). Advanced optimization technique for scheduling IoT tasks in cloud-fog computing environments. Future Generation Computer Systems, 124, 142–154.

Ohura, T., Hase, K., & Nakajima, Y. (2017). Validity and reliability of a performance evaluation tool based on the modified Barthel Index for stroke patients. BMC Medical Research Methodology, 17(1), 131.

Osebor, I., Misra, S., & Omoregbe, N. (2017). Experimental simulation-based performance evaluation of an SMS-based emergency geolocation notification system. Journal of Healthcare Engineering, 2017, Article 1379572.

Rodrigues, L., Rodrigues, J. J. P. C., Serra, A. D. B., & Silva, F. A. (2022). A queueing-based model performance evaluation for internet of people supported by fog computing. Future Internet, 14(1), 23.

Sethi, M., Arkko, J., & Keränen, A. (2012). End-to-end security for sleepy smart object networks. 2012 IEEE 37th Conference on Local Computer Networks Workshops, 964–972.

Shang, X., Ma, P., & Cheng, T. (2017). Performance evaluation of electromagnetic railgun exterior ballistics based on cloud model. IEEE Transactions on Plasma Science, 45(7), 1614–1621.

Shrimali, B., & Patel, H. (2020). Multi-objective optimization riented policy for performance and energy efficient resource allocation in Cloud environment. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 32(7), 860–869.

Tang, S. (2023). Performance modeling and optimization for a fog-based IoT platform. IoT, 4(2), 183–201.

Tu, J., Yin, Z., & Xu, Y. (2018). Study on the evaluation index system and evaluation method of voltage stability of distribution network with high DG penetration. Energies, 11(1), 79.

Wang, X. H., Gu, X. W., & Xu, X. C. (2017). Risk evaluation of break-dam in mine tailings pond based on GA-AHP and cloud-matter element model. Journal of Northeastern University, 38(10), 1464–1467.

Wang, Y. (2021). Construction and simulation of performance evaluation index system of Internet of Things based on cloud model. Computer Communications, 153, 177–187.

Yan, L., Yuan, S., & Liu, W. (2018). Fast method for reliability evaluation of ultra high voltage AC/DC system based on hybrid simulation. IEEE Access, 6, 19151–19160.

Yang, J., & Xu, Y. (2017). Comprehensive evaluation method of node voltage sag severity based on TOPSIS model and combination weights. Power System Protection and Control, 45(18), 88–95.

Zhang, Y., Kuang, Y., & Zhang, Z. (2019). High-sensitivity refractive index sensors based on Fano resonance in the plasmonic system of splitting ring cavity-coupled MIM waveguide with tooth cavity. Applied Physics, 125(1), 34–46.

Reference (In Persian)

Khatamzade, M., Tajfar, A. M., Gheisari, M. (2016). Managing organizational assets using cloud-based IoT technology, 1st International Conference of Business and Organizational Intelligence, Tehran.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی