Iran University of Science and Technology
School of Industrial Engineering

An Improved Model for Service Composition in Multi-cloud Environment

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Philosophy in Information Technology

By:

Mohammadreza Razian

Supervisor:

Mohammad Fathian

Advisors:

Rajkumar Buyya, Ahmad Akbari, Saeed Yaghoubi and Huaming Wu

January 2021

Abstract:

Since several services perform the same function, albeit with different quality of service (QoS) parameters, service composition becomes a crucial problem to find an optimal set of services to automate a typical business process. Service composition problem aims to find a set of services among functionally equivalent services with different Quality of Service (QoS) concerning users' constraints. The majority of prior research has investigated the service composition problem with the assumption that advertised QoS values are deterministic and do not change over time. However, factors like sensors failure and network topology changes cause uncertainty in the advertised QoS values. Furthermore, previous studies calculate QoS values through service logs without considering the presence of anomalies in the existing QoS values; however, the dynamicity of distributed service environments and communication networks in multi-cloud environments cause anomalies in the QoS values. Therefore, existing approaches fail to model QoS values accurately which leads to Service Level Agreement (SLA) violation and penalties for service broker. To address this challenge, we propose a novel anomaly-aware robust service composition to deal with the problem of uncertainty of QoS values in a dynamic environment of multi-cloud. The proposed approach uses *Bertsimas and Sim* mathematical robust optimization method, which is independent of the statistical distribution of QoS values, to compose services. Moreover, our approach exploits a machine learning-based anomaly detection technique to improve the stability of the solution with a fine-grained identification of abnormal QoS records. The results demonstrate that our approach achieves 14.55% of the average improvement in finding optimal solutions compared to the previous works, such as Information theory-based and Clustering-based methods.

Keywords: Service Composition, Uncertainty, Robust Optimization, Anomaly Detection, Cloud Computing, Internet of Things

فصل ۱

کلیات پژوهش

۱ـ۱ مقدمه

ورود از جامعه صنعتی به جامعه اطلاعاتی، تغییرات عمیق و وسیعی را در فعالیت‌های روزمره جامعه ایجاد کرده است. جامعه اطلاعاتی، ارائه کننده مدلی نوین از جامعه است که در آن مفاهیم سنتي آموزش، کسب و کار، اقتصاد و تجارت متحول می‌گردد و ارزش‌های اطلاعاتی جایگزین ارزش‌های مادی می‌شود. به طور کلی می‌توان اظهار داشت شاخص‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و روش‌های مدیریت و سازماندهی متحول می‌گردد. حرکت از تعامل دستی با وب به سمت وبی با تعاملات برنامه‌نویسی شده که با استفاده از وب‌خدمت‌ها انجام می‌گیرد فرصت‌های بی‌سابقه‌ای را برای شکل‌گیری کسب‌وکارهای بنگاه با بنگاه[1] برخط ایجاد کرده است. به‌طور خاص خدمات با ارزش افزوده به وسیله ترکیب خدمات موجود یک تکانه بزرگ و تأثیرگذار را ایجاد خواهد کرد. در سال‌های اخیر معماری مبتنی بر وب خدمت در طراحی نرم‌افزارهای رایانه‌ای به شدت مورد توجه قرار گرفته است فرصت‌های بی‌نظیری را برای سازمان‌ها برای ایجاد همکاری‌های چالاک‌تر با یکدیگر فراهم کرده است. وب‌خدمت‌ها سامانه‌های نرم‌افزاری خودمختاری هستند که با استفاده از آدرس یکتایشان در اینترنت، تبلیغ، مکان‌یابی و فراخوانی می‌شوند. با گسترده شدن فناوری رایانش ابری و رشد سریع مراکز داده‌ایِ رایانش ابری از طرفی و پدید آمدن و مستقر شدن فناوری اینترنت اشیا از سوی دیگر، فرصت بسیار مناسبی را برای ایجاد و ارائه وب‌خدمت‌های متنوع و گوناگون با سطوح عملکردی متفاوت پدید می‌آورد.

[1] Business to business

با گسترش عظیم فناوری اطلاعات و ارتباطات در نیم‌قرن اخیر، چشم‌انداز این‌که روزی رایانش، پنجمین ابزار (بعد از آب، برق، گاز و تلفن) شود با سرعت بیشتری مسیر تحققش را طی می‌کند. این ابزار ارتباطی، مشابه با چهار امکان موجود دیگر، سطح ابتدایی از خدمت رایانشی که نیاز ضروری روزمره است را فراهم می‌کند. برای رسیدن به این چشم‌انداز، تعدادی از نمونه‌ها و الگوهای رایانشی ارائه شده است که آخرین آن‌ها رایانش ابری است. شرکت‌ها برای کاهش هزینه‌های زیرساخت فناوری اطلاعات و افزایش انعطاف‌پذیری از رایانش ابری استفاده می‌کنند. کاهش هزینه‌های فناوری اطلاعات سازمان، زمان عرضه به بازارِ سریع‌تر [۲] و ایجاد یک کسب‌وکار با ارزش افزوده را می‌توان چرایی اهمیت استفاده از فناوری رایانش ابری دانست. فناوری رایانش ابری این‌گونه ادعا می‌کند که می‌تواند به صورت مجازی، به صورت نامحدود منابع رایانشی در اختیار کاربران نهایی قرار دهد. با همه این اوصاف، همچنان یک محدودیت در بهره‌گیری بیشتر این خدمات وجود دارد و آن رساندن خدمات به اجزای روزمره زندگی افراد در جامعه است. این محدودیت با کمک فناوری اینترنت اشیا رفع می‌گردد. اینترنت اشیا، موجی دیگر خارج از قلمروی رایانه‌های شخصی، در گستره زندگی روزمره است. اینترنت اشیا، مجموعه‌ای از گره‌های هوشمند و با قابلیت خودـ پیکربندی است که در یک زیرساخت شبکه‌ای گسترده (جهانی) و پویا به یکدیگر متصل هستند (که رایانش فراگیر[۳] و در همه‌جا حاضر را فراهم می‌کند). هرچند به علت ضعف و محدودیت‌های اشیا در منابع رایانشی، این اشیا هوشمند نیاز به منابع رایانشی ابری دارند که باعث شده است سناریوی ادغام رایانش ابری و اینترنت[۴] اشیا پدید بیاد.

معمولاً یک خدمت جدیدی که ایجاد می‌شود با نیازمندی‌های کارکردی[۵] و ویژگی‌های کیفیت خدمت[۶] (پارامترهای کیفیت خدمت) تبلیغ شود. نیازمندی کارکردی در واقع نشان‌دهنده است که "یک خدمت چه کاری را می‌تواند انجام دهد" درحالی‌که پارامترهای کیفیت خدمت مشخص می‌کنند که "عملکرد یک خدمت چطور و چگونه است". افزایش محبوبیت استفاده از وب‌خدمت‌ها، عرصه رقابتی برای توسعه هر چه بیشتر آن ها در میان فراهم‌کنندگان ایجاد کرده است. با این حال، معمولا وب‌خدمت‌هایی که در بستر یک ارائه‌دهنده خدمات رایانش ابری توسعه و نگهداری می‌شوند چه از نظر تعداد و چه از نظر کارکرد محدود هستند؛ در نتیجه برای انجام یک جریان کاری[۷] نیاز به یافتن یک طرح ترکیب خدمت از میان خدمات ارائه‌شده فراهم

[2] Time-to-market

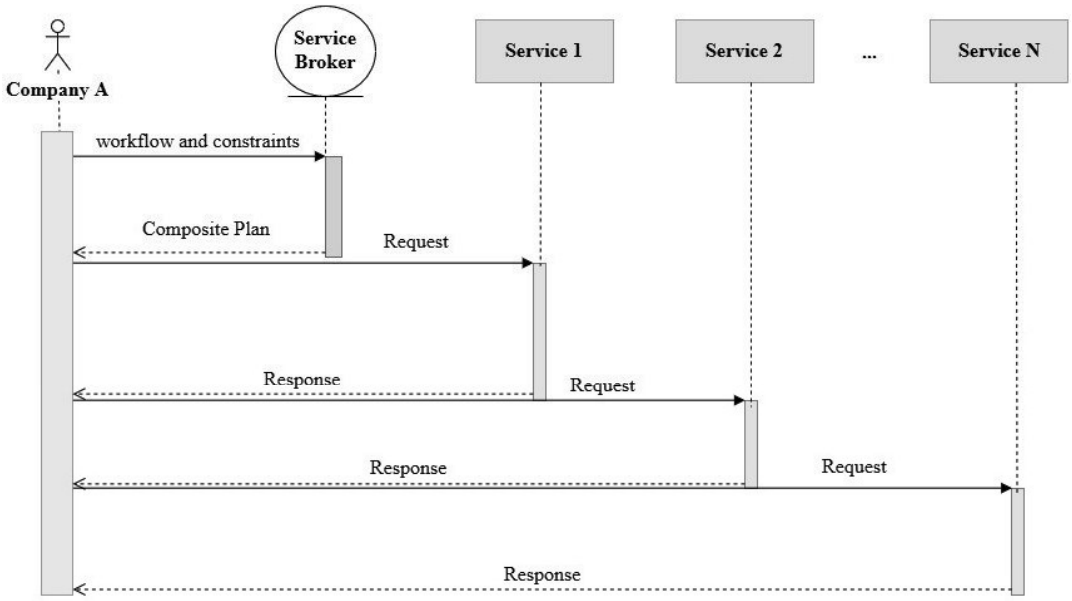
[3] Pervasive

[4] CloudIoT, Cloud-integrated IoT

[5] Functional Requirements

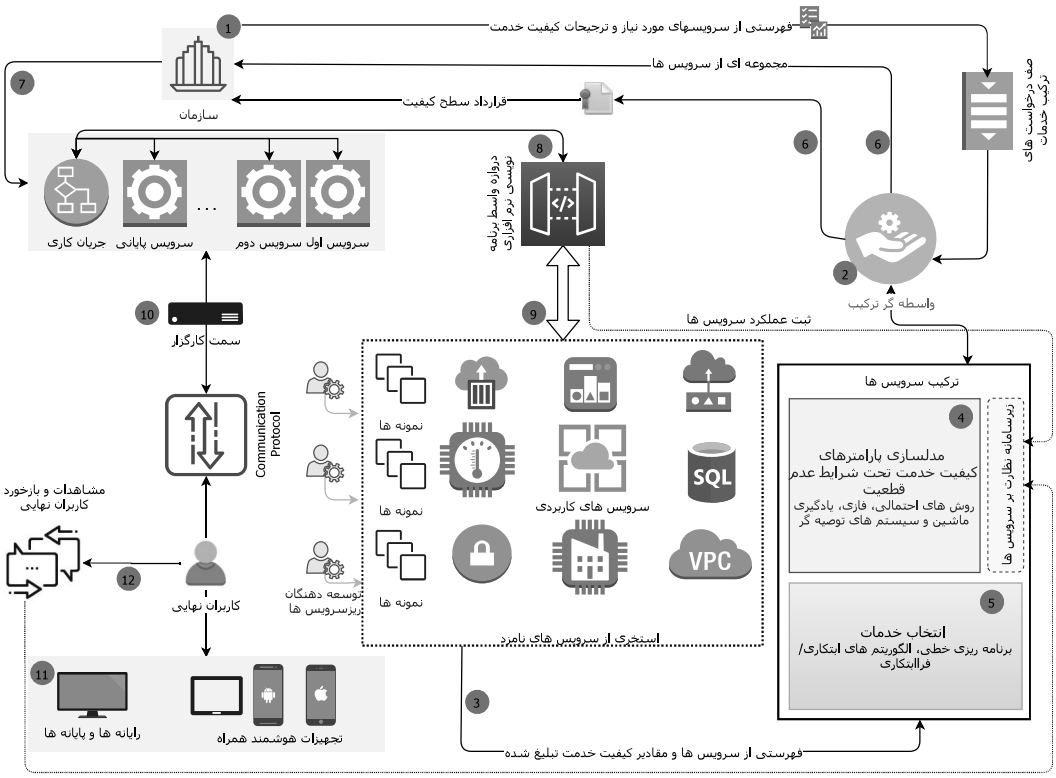
[6] Non-functional Requirements

[7] Workflow



شکل ۱ــ۱: نمودار توالی مسئله ترکیب خدمت

کنندگان مختلف ضروری است. برای یافتن یک طرح ترکیب خدمت بهینه، نه تنها باید محدودیت‌های مربوط به نیازمندی‌های کیفیت خدمت کاربر رعایت شود بلکه باید هزینه این طرح ترکیبی نیز کمینه شود. برای مثال یک نرم‌افزار مدیریت کتابخانه را در نظر بگیرید که مجموعه‌ای از وظایف را بر عهده دارد و برای انجام آن‌ها از وب‌خدمت‌های مختلفی بهره خواهد برد. برای مثال برای ثبت کتب در پایگاه داده از وب‌خدمتی با نام رجیستر استفاده می‌کند. جستجوی کتاب، طبقه‌بندی کتاب‌ها، سامانه توصیه کتاب، سامانه پرداخت الکترونیکی، سامانه مدیریت ارتباط با مشتری نیز دیگر وظایفی هستند که این نرم افزار مدیریت کتابخانه بر عهده دارد. برای داشتن مجموعه نیازمندی‌های مطرح‌شده (وظایفی که بیان شد)، نیاز به ترکیب وب‌خدمت‌هایی داریم که هرکدام به‌طور منفرد وظیفه انجام یکی از این امور را بر عهده‌دارند. از طرفی فراهم‌کنندگان مختلفی وجود دارند که وب‌خدمت‌هایی با کارکرد یکسان و ویژگی‌های کیفی متفاوت را ارائه می‌دهند. برای مثال در حال حاضر وب‌خدمت مربوط به جستجوی کتاب را چندین فراهم‌کننده ارائه می‌دهند که همه آن‌ها کارکرد یکسان اما ویژگی‌های کیفیت خدمت متفاوت دارند (مثل هزینه، قابلیت اطمینان، اعتماد، در دسترس بودن و غیره). همچنین سامانه‌های پرداخت متفاتی وجود دارند که خدمت پرداخت را ارائه می‌دهند که آن‌ها نیز ویژگی‌های کیفیت خدمت متفاوتی دارند. موفقیت این نرم‌افزار و سازمانی که آن را ارائه می‌دهد کاملاً وابسته به یافتن یک طرح ترکیب وب‌خدمت بهینه از میان این خدمات منفرد است. یک طرح ترکیب خدمت کارا و مؤثر از



شکل ۱ـ۲: مؤلفه های اساسی مسئله ترکیب خدمات وبی تحت شرایط عدم قطعیت پارامترهای کیفیت خدمت.

میان این وب‌خدمت‌ها به دنبال یک ترکیب بهینه (با کمترین هزینه) با توجه به محدودیت‌های درخواست‌کننده و ویژگی‌های کیفیت خدمت وب‌خدمت‌ها است.

در شکل ۱ـ۲ مؤلفه های اصلی و روابط آن‌ها در مسئله ترکیب خدمات در شرایط عدم قطعیت پارامترهای کیفیت خدمت آورده شده است. از جمله ویژگی‌های بارز این معماری این است که در آن سعی شده است نقش تمامی بازیگران مسئله ترکیب خدمت دیده شود که بویژه برای صاحبان صنایع و مدیران می‌تواند در برنامه‌ریزی راهبردی کمک شایانی بنماید.

در یک دهه اخیر، به دلیل اهمیت بحث ترکیب خدمات، مسئله تعیین طرح ترکیب بهینه وب‌خدمت‌ها مبتنی بر پارامترهای کیفیت خدمت، هم توجه صنعت و هم دانشگاه را به خود جلب کرده است. پژوهش‌های فراوانی به حل مسئله ترکیب خدمات با این فرض که مقادیر پارامترهای کیفیت خدمتِ تبلیغ شده، قطعی هستند به ارائه راه‌حل برای مدل‌سازی کیفیت خدمات و یافتن طرح ترکیبی پرداخته‌اند (آن‌ها فرض می‌کنند که مقادیر

پارامترهای کیفیت خدمت تبلیغی از سوی ارائه دهندگان خدمات با گذشت زمان تغییر نمی‌کند و ثابت است). با این حال، در واقعیت، عواملی مانند بار ایستگاه کاری[۸]، چند اجارگی[۹]، مهاجرت در لحظه بارگنج‌ها[۱۰]، حداکثرسازی استفاده از ماشین‌های مجازی[۱۱] و تغییرات به‌هم‌بندی شبکه[۱۲] باعث عدم قطعیت در مقادیر کیفیت خدمت می‌شوند. به طور سنتی، واسطه‌گر خدمت[۱۳]، وظیفه ترکیب خدمات را بر اساس مقادیر کیفیت خدمت تبلیغ شده و محدودیت های کاربران بر عهده دارد (شکل ۱ــ۱). اما، به دلیل عدم قطعیت در مقادیر کیفیت خدمت ممکن است ترجیحات مورد نیاز کاربر ارضا نشود که در این شرایط واسطه‌گر خدمات مطابق توافق‌نامه سطح خدمات[۱۴] جریمه می‌شود. به منظور رفع این چالش، اخیراً، برخی از مطالعات بر روی مسئله ترکیب خدمات برای مقادیر غیرقطعی پارامترهای کیفیت خدمت متمرکز شده‌اند. با این حال، سه محدودیت عمده در این رویکردها وجود دارد: آنها فرض می‌کنند که سوابق تاریخی کافی و قابل اطمینان از مقادیر کیفیت خدمت برای کلیه خدمات وجود دارد. هرچند، در محیط پویا، خدمات از ارائه دهندگان مختلف ارائه می‌شوند و خدمات جدیدی به شبکه اضافه می‌شوند و برخی از خدمات منسوخ می‌شوند. بنابراین، کارگزار مقادیر کیفیت خدمت تاریخچه‌ای کافی و قابل اطمینان در مورد یک خدمت جدید که اخیراً به شبکه پیوسته است را ندارد. در نتیجه، شروع سرد[۱۵] (به دلیل نادر بودن داده‌ها)[۲۵] مشکل اساسی است که عملکرد این روش‌ها را به طور چشم‌گیری تحت تاثیر قرار می‌دهد. دوم اینکه، آنها فرض می‌کنند که مقادیر کیفیت خدمت از توزیع آماری ثابت یا شناخته شده در طولانی مدت پیروی می‌کنند. در محیط واقعی و عملیاتی، مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت ممکن است دقیقاً به یک تابع توزیع احتمال ثابت نگاشت نشوند. در نهایت، این روش‌ها، پویایی محیط رایانش ابری را که عوامل داخلی و خارجی، باعث ایجاد ناهنجاری در مقادیر کیفیت خدمت نظارت شده می‌شود در نظر نمی‌گیرند.

[8] Machine Workload
[9] Multitenancy
[10] Live Migration
[11] Virtual Machine (VM) Consolidation
[12] Network Topology Change
[13] Service Broker
[14] Service Level Agreement (SLA)
[15] Cold-start

۱ـ۲ کلیدواژگان

وب سرویس (وب خدمت): خدمات تحت شبکه‌ای هستند خودکفا، خود توصیف، ماژول‌های کاربردی که می‌توانند نشر یابند، جایابی شده و قابل فراخوانی و دستیابی از سراسر وب باشند [۲]. به عبارت دیگر وب‌خدمت یک سیستم نرم‌افزاری است که به منظور پشتیبانی از تعاملات از بین ماشینی در بستر شبکه طراحی شده است. ظهور فناوری رایانش ابری فرصت کم‌نظیری را برای افزایش وب‌خدمت‌ها چه از نظر تعداد، چه از نظر قابلیت‌های عملکردی و چه از نظر ویژگی‌ها کیفی فراهم کرده است. بدین ترتیب که وب‌خدمت‌ها می‌توانند در محیط رایانش ابری مستقر شوند و از زیست‌بوم فناوری رایانش ابری نهایت بهره را ببرند.

ترکیب وب‌خدمت: انتخاب مجموعه ای از خدمات با توجه به ویژگی های کیفیت خدمت، محدودیت های (ترجیحات) کاربر و کمینه کردن هزینه [۱۵۱، ۲۲، ۴۶، ۱۲۱، ۵۷]

عدم قطعیت: در تعریف عدم قطعیت، به اصطلاح به فاصله بین واقعیت و چیزی که ما می‌دانیم عدم قطعیت می‌گویند. به عبارت دیگر حالتی است که اطلاعات کافی در مورد یک واقعه و نتایج آن وجود ندارد، به نحوی که نتوان وضعیت واقعه یا نتایج آتی حاصل از آن را به طور دقیق توضیح داد. گالبریس عدم قطعیت را به فاصله و تفاوت بین مقدار اطلاعات لازم برای انجام کاری (واقعیت) و مقدار اطلاعات موجود تعریف می‌کند [۱۴]. همچنین عدم قطعیت را می‌تواند به صورت‌های زیر دسته بندی کرد: عدم قطعیت محیط که شامل عدم قطعیت‌هایی است که در ورای فرایند تولید نظیر عدم قطعیت موجود در عرضه و تقاضا وجود دارند؛ و عدم قطعیت سیستم شامل عدم قطعیتی که در درون یک سیستم تولیدی مانند زمان پردازش، آماده سازی و خرابی وجود دارد. ما در این پژوهش عدم قطعیت سیستم را در نظر گرفته‌ایم. دلایل اصلی وجود عدم قطعیت در یک سیستم را این‌گونه می‌توان دید: برخی از داده های مسئله در زمان حل موجود نیستند که در این حالت باید پیش بینی شوند. در این حالت خطای پیش بینی وجود دارد. برخی از مقادیر پارامترها را هم نمی‌توان به صورت دقیق اندازه گرفت و آن‌ها را حول یک مقدار اسمی گرد می‌کنند. در این حالت خطای اندازه گیری وجود دارد.

بهینه سازی استوار: بهینه سازی استوار یکی از روش‌های جدید در برنامه ریزی ریاضی است که اخیراً توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است. بهینه سازی استوار پاسخی است به عدم قطعیت در داده های ورودی به طوری که تصمیم گیرندگان را قادر می‌سازد که در تصمیم گیری‌ها، منطبق بر سطح ریسک پذیری و ریسک گریزی خود عمل نمایند [۱۵، ۱۳]. این رویکرد، در نهایت منجر به ایجاد یک سری از جواب‌هایی

می‌شود که به طور چشمگیری حساسیت کمتری به عدم قطعیت در داده های ورودی داشته باشند. در صورتی که جواب بهینه ارائه شده توسط مدل بهینه سازی استوار، با تغییر داده های رودی، حتی‌الامکان شدنی و نزدیک به جواب بهینه باقی بماند، یک جواب استوار نامیده می‌شود. این حالت را معمولاً در ادبیات استواری جواب می‌نامند.

شناسایی ناهنجاری: در پژوهش [۷۸] ، که اخیرا منتشر شده است محققان نشان می‌دهند که در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت خدمات ابری، مقادیر غیرعادی (معروف به ناهنجاری) وجود دارد (ثابت می‌کنند که نقاط داده غیرطبیعی در زمان پاسخ وجود دارد) *ناهنجاری*. نقاط ناهنجار، نقاط داده ای که کم و متفاوت هستند و به تعبیری در انزوا قرار می گیرند [۶۹]. اساساً، جمع آوری داده ها در شرایط عملیاتی مختلف مانند بار زیاد، خطای داخلی سیستم و یا شبکه [۱۲۹] منجر به ناهنجاری در مقادیر تاریخچه‌ای پارامترهای کیفیت خدمت می‌شود. به عنوان نمونه، می‌توان از دست خارج شدن شبکه به دلیل ازدحام[16]، در پکن (بیجینگ) چین اشاره کرد [۴۷] که منجر به ایجاد ناهنجاری در داده‌های ثبت شده از پارامترهای کیفیت خدمت شد. با توجه به این موضوع، یکی از مراحل مهم رویکردهای داده محور، حذف ناهنجاری‌ها از داده‌های جمع آوری شده است.

رایانش ابری: رایانش ابری یک فناوری جدید است که در آن رایانش بر روی کارپذیرها[17] انجام می‌گیرد (ابرها) و نتایج روی رایانه کاربران (منظور از رایانه هر موجودیتی است که بتواند با کارپذیر ارتباط برقرار کند) ارائه می‌شود. تعریف موسسه ملی استاندارد و فنّاوری[18] از رایانش ابری عبارت است از مدلی برای رسیدن به دسترسی بنا به سفارش و آسان به مجموعه‌ای از منابع رایانشی به اشتراک گذاشته‌شده قابل پیکربندی (مثل شبکه‌ها، کارپذیرها، منابع ذخیره‌سازی، برنامه‌های کاربردی و خدمت‌ها) که می‌توانند به سرعت و با کمترین تلاش و تعامل با فراهم‌کننده خدمت مورد استفاده قرار گیرند. در شکل ۱ــ۳ معماری رایانش ابری ارائه شده توسط اِن.آی.اِس.تی نشان داده شده است. در این معماری اجزای مختلف این فناوری از درخواست دهندگان خدمت و واسطه‌ها گرفته تا اجزای فنی مثل مجازی‌سازی و ماشین‌های سخت‌افزاری (که درخواست‌ها بر مبنای قرارداد سطح خدمت پاسخ می‌دهند) و همچنین کارپذیرهای خدمت (که در قالب مراکز داده‌ای سازمان‌دهی می‌شوند) ایفای نقش می‌کنند. گسترش رایانش ابری از یک طرف و تکامل الگوهای تولید از طرف دیگر، زمینه (و یا ادبیات) جدیدی با نام رایانش تولید را ایجاد کرد [۱۵۹]. منظور از تولید در اینجا تمام اجزای

[16] Congestion

[17] Server

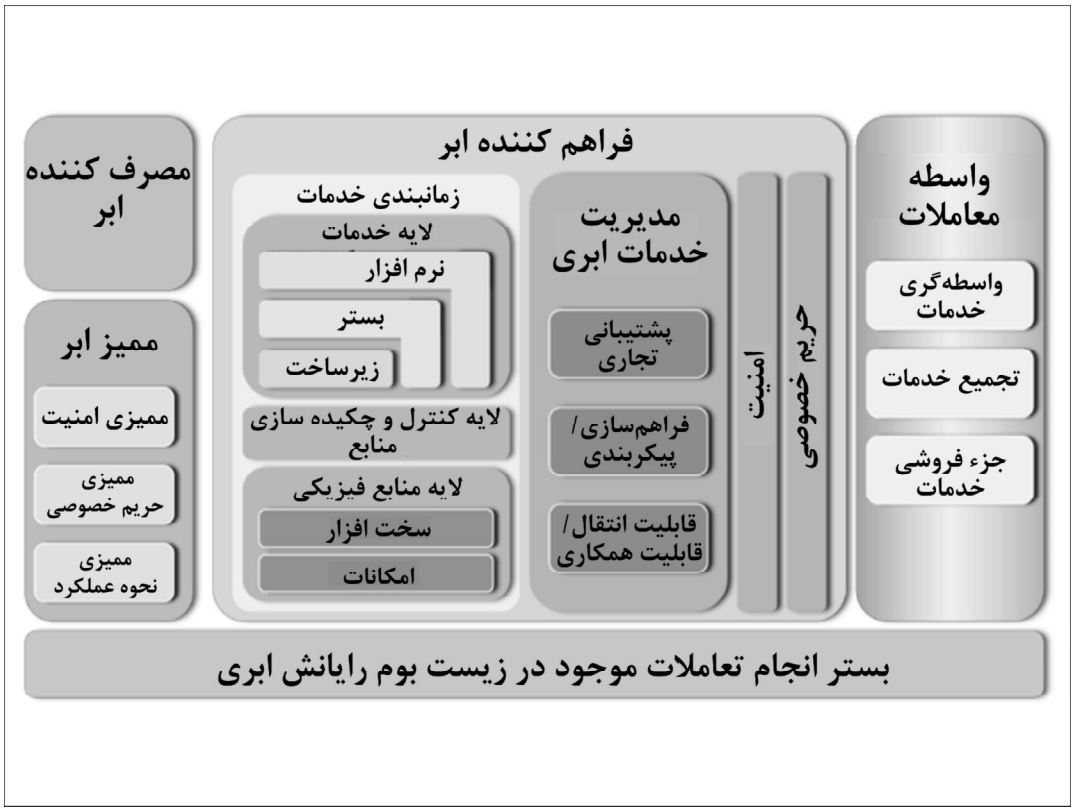
[18] NIST (National Institute of Standards and Technology)

چرخه تولید اعم از طراحی، شبیه‌سازی، تولید، آزمون و نگهداری است. فناوری رایانش ابری دارای ویژگی‌های اساسی ذیل است:

- فراهم‌سازی خدمت بنا به سفارش: مشتری به‌طور یک‌جانبه می‌تواند منابع رایانشی را فراهم کند (بدون نیاز به تعامل با هیچ فراهم‌کننده خدمتی).
- دسترسی گسترده به شبکه: منابع رایانشی از طریق شبکه و یا تجهیزات مختلفی مثل موبایل، لپ‌تاپ و دستیار دیجیتال شخصی در دسترس باشند.
- تجمع منابع: در این ویژگی با مفهوم استخری از منابع رودررو هستیم (مثل استخر آی.پی و یا استخر نخ‌ها). منابع (پردازشی، ذخیره‌سازی، حافظه، پهنای باند شبکه و ماشین‌های مجازی) به‌طور پویا و بنا به سفارش مصرف‌کنندگان تخصیص یا باز تخصیص داده می‌شوند. مصرف‌کننده دیدی از جزئیات مکان دقیق منابع فراهم شده ندارد اما می‌تواند به‌صورت انتزاعی مکان (کشور، ایالت یا مرکز داده‌ای) را مشخص نماید.
- انعطاف‌پذیری (قابلیت ارتجاعی) سریع: منابع به‌سرعت و با انعطاف می‌توانند مهیا گردند (کم یا زیاد شوند).
- خدمت‌های اندازه‌گیری شده: کنترل، نظارت و گزارش دهی (هم به فراهم‌کننده خدمت و هم به مصرف‌کننده خدمت) انجام می‌گیرد.

اینترنت اشیا: در اثنای رشد فناوری اینترنت، فناوری‌های شبکه حسگر بی‌سیم و ارتباطات میدان نزدیک با استفاده از برچسب‌های شناسایی با امواج رادیویی[19] به وجود آمدند. همگرایی این دو فناوری یعنی اینترنت و شبکه‌های بی‌سیم، افق و نگرش‌های جدیدی را حاصل کرد. امکان وجود یک چارچوب که می‌تواند به ارتباط مستقیم ماشین با ماشین از طریق اینترنت منجر شد تا محققان مزایای کنار هم قرار گرفتن برخط ماشین‌های بیشتری را بررسی کنند؛ ماشین‌هایی که می‌توانند به عنوان یک شبکه گسترده از تجهیزات خودمختار و خودسازمان‌ده با وب تعامل داشته باشند. این نگرش محققان منجر به ایجاد الگویی جدید با نام اینترنت اشیا شد . اینترنت اشیا، موجی دیگر خارج از قلمروی رایانه‌های شخصی است. مجموعه‌ای از گره‌های هوشمند و با قابلیت خود پیکربندی که در یک زیرساخت شبکه‌ای گسترده (جهانی) و پویا به یکدیگر متصل هستند (که

[19]RFID (Radio-frequency identification)



شکل ۱ـ۳: مؤلفه‌های زیست بوم رایانش ابری

رایانش فراگیر و در همه‌جا حاضر را فراهم می‌کند). ویژگی اشیا را این‌گونه می‌توان برشمرد: به‌صورت گسترده پخش شده‌اند، دارای منابع ذخیره‌سازی و به‌طورکلی منابع رایانشی محدود هستند و نگرانی‌هایی درباره قابلیت اطمینان، عملکرد، امنیت و حریم خصوصی پیرامون آن‌ها وجود دارد [۶]. اما همان‌طور که بیان شد در طرف دیگر رایانش ابری به‌صورت مجازی دارای منابع رایانشی نامحدود است؛ بنابراین، رایانش ابری و اینترنت اشیا می توانند یکدیگر را کامل کنند [۷۹]. اشیا می‌توانند اندازه بگیرند، نتیجه بگیرند، بفهمند و حتی محیط را تغییر دهند. غذا، لباس، اثاث خانه، کاغذ، آثار باستانی و نشانگرها (این‌طور نیست که تجهیزات پیشرفته‌ای مثل موبایل‌های هوشمند تنها وجود داشته باشند) می‌توانند شی های موجود در اینترنت اشیا باشند. اشیا می‌توانند به عنوان حس‌گرها و یا عامل‌هایی باشند که به تعامل با یکدیگر برای رسیدن به یک هدف مشترک می‌پردازند. ویژگی کلیدی اینترنت اشیا بدون شک تأثیر آن بر زندگی روزمره کاربران آن است و طبیعتاً در جامعه اطلاعاتی هم نقش بسزایی خواهد داشت.

۱ـ۳ تعریف مسئله

در حال حاضر ارائه‌دهندگان وب‌خدمت متعددی وجود دارند که هر کدام با ویژگی‌های کارکردی یکسان و ویژگی‌های غیرعملکردی (کیفیت خدمت) متفاوت به ارائه وب‌خدمت می‌پردازند. هدف از داشتن سناریوی چندابری، رسیدن به ویژگی‌های کیفیت خدمت مطلوب‌تر، قابلیت اطمینان بیشتر و کاهش در هزینه، با استفاده از بهره بردن از چند ابر است. از جمله مزایای سناریوی چندابری می‌توان به تنوع در موقعیت جغرافیایی، افزایش توانایی، انعطاف‌پذیری بهتر برنامه (در زمان بروز خطا در یک ابر) و جلوگیری از انحصارگرایی (در حقیقت آزادی بیشتر برای کاربر به‌منظور تعیین ابرهایی که مورد نیاز است) اشاره کرد. مزایایی که این سناریو برای فراهم‌کنندگان خدمت به همراه می‌آورد عبارت است از استفاده از ابرهای بیشتر در زمان اوج بار کاری و عقد قراردادهای بهتر با مشتریان (چرا که می‌تواند تضمین کند که حتی در زمان وجود خطا نیز می‌تواند از ابرهای آماده‌به‌کارش استفاده کند). اما در کنار این مزیت‌ها، قرار گرفتن در یک سناریوی چندابری، باعث اضافه شدن عدم قطعیت به مسئله یافتن طرح ترکیب خدمت بهینه می‌شود.

عدم قطعیت در ادبیات بدین گونه معنا شده است: مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت اعلام شده توسط فراهم‌کننده خدمت می‌تواند با کیفیت خدمتی که مشتری آن را دریافت می‌کند متفاوت باشد. این تفاوت هم می‌تواند به دلیل محیط داخلی فراهم‌کننده خدمت و یا به دلیل شرایط شبکه باشد. در این پژوهش با در نظر

گرفتن این عامل در مسئله ترکیب خدمت، برای رسیدن به یک ترکیب خدمت کارا و مؤثر مدل‌هایی توسعه و ارائه خواهیم داد. در دنیای واقعی انواع مختلفی از عدم قطعیت مانند زمان‌های پردازش، زمان‌های انتقال، خرابی سیستم‌ها و ضعف در الگوریتم‌ها وجود دارد. در سال‌های اخیر رویکردهای ترکیب خدمات در شرایط عدم قطعیت مورد استقبال قرار گرفته است. از جمله این رویکردها می‌توان به این موارد اشاره کرد:

- برنامه‌ریزی تصادفی (احتمالی): از جمله نیازمندی‌هایی که این رویکرد دارد شناخت توزیع دقیق داده‌ها و در نتیجه عددی کردن سناریوهایی که از این توزیع مقدار می‌گیرند (که در عمل دشوار است) اشاره کرد. برای این رویکرد باید داده‌های تاریخچه‌ای به صورت موجود و کافی وجود داشته باشد و همچنین داده‌ها قابل اطمینان باشند. البته همیشه اینگونه نیست که بتوان از داده‌های تاریخچه‌ای بهره برد؛ مانند داده‌های استراتژیک که ممکن است رفتار داده از داده‌های تاریخچه ای تبعیت نکند.
- بهینه سازی فازی: در برنامه‌ریزی تصادفی، عدم قطعیت از طریق توابع احتمال پیوسته یا گسسته مدل می‌شود. در مقابل در برنامه‌ریزی فازی، پارامترهای غیر قطعی به صورت اعداد فازی در نظر گرفته می‌شوند و با محدودیت‌ها به عنوان مجموعه‌های فازی رفتار می‌شود. در شرایطی که داده‌هایمان ناقص است این رویکرد می‌تواند به کار بسته شود. البته نیازمندی این رویکرد این است خبرگانی داشته باشیم تا نظراتشان را بیان کنند. به این برنامه ریزی، برنامه ریزی امکان نیز گفته می‌شود.

با توجه به ضعف‌ها و محدودیت‌های رویکردهای پیشین، به رویکردی نیاز است تا در صورتی که داده کامل و قابل اطمینان در دسترس نباشد و قواعد فازی بدست آمده از خبرگان هم وجود نداشته باشد بتوانیم مسئله ترکیب خدمت را حل بکنیم.

۱ـ۴ مفروضات پژوهش

با توجه به اینکه زیست‌بوم رایانش ابری و اینترنت اشیا حوزه‌های مختلف و تأثیرگذاری همچون تجارت الکترونیکی و شبکه‌های رایانه‌ای را شامل می‌شود بنابراین در ذیل برخی از مفروضات اساسی آورده شده‌اند:

- مدل ترکیب خدمت پیشنهادی قابلیت عملکرد کارا و مؤثر را در فضای چندابری در نظر خواهد گرفت.
- در مدل واقعی بازار، فروشنده می‌تواند به دلایل متعددی در میزان قیمت پیشنهادی‌اش تغییر ایجاد

نماید. اما در این پژوهش فرض شده است قیمت خدمت‌ها در زمان ترکیب خدمات ثابت است و شرایط مزایده وجود ندارد.

- مدل واقعی شبکه‌های کامپیوتری دارای عدم قطعیت در برخی از پارامترهای کیفی وب‌خدمت‌ها در مسیر تحویل از فراهم‌کننده وب‌خدمت‌ها به مشتریان آن است.
- تمرکز این پژوهش بر روی مسئله ترکیب خدمت است و مسائل پیش از ترکیب خدمت (مثل ارائه جریان کاری پویا) و پس از ترکیب خدمت (نحوه به‌کارگیری خدمت ترکیبی پیشنهادشده به مشتری و نحوه نظارت بر اجرای خدمات) را در نظر نخواهد گرفت.
- از میان ویژگی‌های کیفیت برای برخی از این ویژگی‌ها در ادبیات، مقادیر قطعی فرض شده است و برای برخی هم مقادیر غیرقطعی در نظر گرفته شده است. ترکیب‌کننده وب‌خدمت می‌تواند برخی از این ویژگی‌ها را در نظر گرفته و ترکیب را با توجه به آن‌ها انجام دهد. ما در این پژوهش پارامتر زمان پاسخ یک خدمت را به عنوان ویژگی کیفیت خدمت که دارای عدم قطعیت است در نظر گرفته ایم.
- نسبت پالایش مقادیر غیرعادی (ناهنجاری) به عنوان یک پارامتر قابل تنظیم ارائه می‌شود. این بدان معناست که با کمک این پارامتر، می‌توان اعلام نمود در محیط‌های مختلف با چه میزان از داده‌های کیفیت خدمت تاریخچه‌ای به عنوان موارد غیرعادی رفتار شود.

۱ـ۵ ضرورت انجام پژوهش

پارامترهای کیفیت خدمت جز جدانشدنی مسئله یافتن طرح بهینه ترکیب خدمت (از میان تمامی طرح‌های ترکیبی خدمات) است. وب‌خدمت‌هایی با کارکرد مشابه اما با ویژگی‌های کیفیت خدمت متفاوت وجود دارند که این مسئله باعث می‌شود تا بتوان از یکی به جای دیگری استفاده نمود. در عمل انتخاب بین وب‌خدمت‌های با عملکرد مشابه اما با کیفت های مختلف بر مبنای نیازمندی‌های کیفیت خدمت کاربر انجام می‌پذیرد. با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته، برخی از این ویژگی‌های کیفیت خدمت دارای عدم قطعیت هستند. یعنی ممکن است که فراهم‌کننده وب‌خدمت خاص برای ویژگی زمان پاسخ یک مقداری را به سامانه ترکیب‌کننده خدمات اعلام کرده باشد اما لزوماً این مقدار قطعی نخواهد بود و می‌تواند عدم قطعیت به همراه داشته باشد. در نظر نگرفتن این عدم قطعیت در سامانه‌های ترکیب‌کننده وب‌خدمت موجود، صحت عملکرد آن‌ها را پایین

آورده و در نتیجه یک طرح ترکیب خدمت مناسب با توجه به نیازمندی‌های کیفیت خدمت مشتری به او ارائه نخواهد شد. پویایی فضای رایانش ابری راهکارهایی که بر مبنای وجود داده‌های تاریخچه‌ای مطمئن و کافی ارائه شده‌اند را با چالش عدم کارایی و صحت مواجه می‌کند. علاوه بر این افزایش تعداد خدمت‌های اینترنتی نیازمندی به راهکارهای مقیاس‌پذیر مبتنی بر داده را ضروری می‌نماید.

۱ـ۶ اهداف و کاربردهای پژوهش

ترکیب خدمات در روند حاکمیت فناوری اطلاعات از آنجایی نقش مهم ایفا می‌کند که تعداد خدمات برخط منتشر شده در اینترنت هر روز رو به افزایش است. با توجه به این مهم، هدف و انگیزه این رساله ارائه مدلی کارا و مؤثر برای بهبود مسئله ترکیب خدمت در شرایط عدم قطعیت مقدار پارامترهای کیفیت خدمت است. در شرایط همه‌گیری کرونا در ایران و جهان، آنچه که بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت تعامل کسب و کارها بوسیله ارائه خدمت در بستر اینترنت است. دردسترس بودن، مطمئن بودن، قابل اطمینان بودن و امن بودن در کنار مقرون به صرفه بودن از جمله ویژگی‌های کیفیت خدمت هستند که رضایت کسب و کارها و کاربران نهایی از خدمات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تخطی از این ویژگی های خدمت، منجر به نقض قرارداد سطح کیفت خدمات شده و در نهایت برای فراهم کنندگان خدمات خسارت‌های مالی و خدشه‌دار شدن اعتبار و شهرت کسب و کار می شود. بنابراین نیاز است تا یک ترکیب کننده خدمات آگاه از عدم قطعیت بتواند مقادیر پاراترهای کیفیت خدمت را مدل کند و بر مبنای آن به انتخاب خدمت‌های مورد نیاز بپردازد. با توجه به اینکه مسائلی که در طراحی و برنامه‌ریزی مواجهه با عدم قطعیت به کار می‌روند از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار هستند، یکی از خروجی‌های مورد انتظار، ارائه راه‌حل برای مدل به دست آمده است. هر چه کاربردها حساس‌تر و حیاتی‌تر می‌شوند (نظیر خدمت نقشه و راهبری برای نیروهای امدادی) مسئله ترکیب خدمت آگاه از عدم قطعیت پارامترهای کیفیت خدمت ضروری‌تر می‌شود. از این منظر کاربرد مدلی برای طراحی و برنامه ریزی برای ترکیب خدمات با در نظر گرفتن عدم قطعیت، می‌تواند کاربردی وسیع و قابل توجه در الکترونیکی شدن جامعه و حاکمیت فناوری اطلاعات در ایران داشته باشد.

۱ـ۷ سوالات پژوهش

در رابطه با مسئله ترکیب خدمت پرسش‌های فراوانی نظیر ساختار وظایف موجود در یک جریان کاری، شیوه بدست اوردن و نرمال کردن مقادیر کیفیت خدمت می‌توان مطرح نمود. اما بر مبنای خلاء پژوهشی موجود و آنچه نقطه تمرکز این رساله است، در این پژوهش انتظار می‌رود پاسخ به پرسش‌های زیر فراهم شود. پرسش‌های اصلی این تحقیق را می‌توان در سؤالات ذیل خلاصه نمود:

- در شرایط رایانش ابری مسئله ترکیب خدمت چگونه خواهد شد؟
- چگونه می‌توان پارامتر عدم قطعیت را در مسئله ترکیب خدمت تعریف و مدلسازی نمود؟
- نحوه محاسبه پارامتر عدم قطعیت چگونه خواهد بود؟
- چگونه می‌توان یک سیستم ترکیب خدمت با شرایط عدم قطعیت در حالت چندابری را ارائه داد؟

همچنین سوالات فرعی نیز به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- مقیاس‌پذیری روش پیشنهادی چگونه است؟
- چگونه می‌توان یک سیستم ترکیب خدمت با شرایط عدم قطعیت در حالت چندابری را ارائه داد؟
- چگونه می‌توان یک سیستم ترکیب خدمت با در نظر گرفتن مقادیر غیرعادی (ناهنجاری) در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت را ارائه داد؟
- روش مناسب و کارای حل مدل چگونه است؟

۱ـ۸ ساختار پایان‌نامه

ساختار مابقی پژوهش به شرح زیر است: بخش ۲ روش‌های ارائه‌شده برای حل مسئله ترکیب خدمات بررسی و مزایا و ضعف‌های هرکدام احصا شده است. به علاوه، برای اولین بار این رویکردها با کمک روش مرور ادبیات سیستماتیک مطالعه و دسته‌بندی شده‌اند. در بخش ۳، مدل ها و الگوریتم های توسعه داده شده برای بهبود ترکیب وب خدمت در فضای چندابری ارائه می شود. در بخش ۴ پیاده سازی الگوریتم‌ها و روش‌های

پیشنهادی به منظور ارزیابی مدل، ارائه شده است. در نهایت در بخش ۵، پاسخ به سوالات پژوهش به همراه جمع‌بندی و پیشنهادهای پژوهشی آورده شده است.

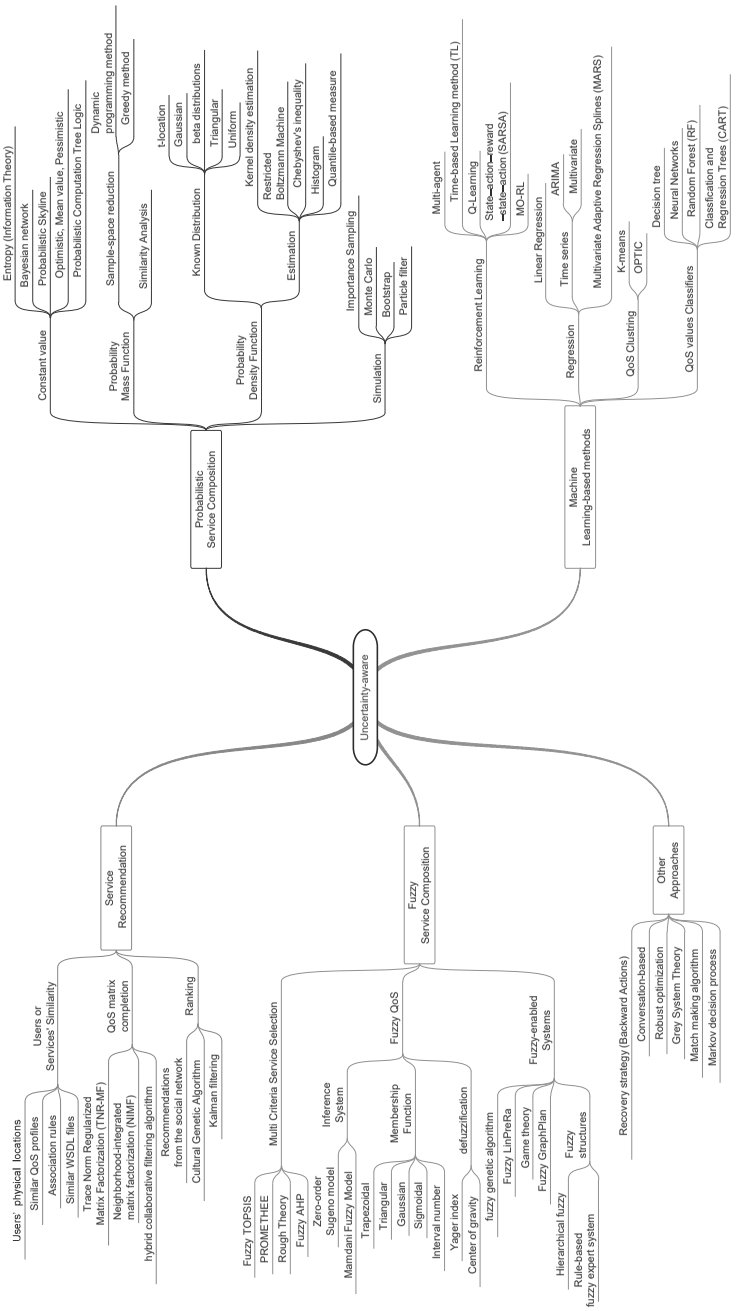
فصل ۲

ادبیات تحقیق

در این فصل روش‌های ارائه‌شده برای حل مسئله ترکیب خدمات بررسی و مزایا و ضعف‌های هرکدام احصا شده است. روش‌هایی که در ادبیات ارائه‌شده‌اند با سنجه‌های مختلف مورد مقایسه قرارگرفته‌اند. ارزیابی راه‌حل‌های ارائه‌شده نشان می‌دهد خلأهایی در مسئله تعیین طرح بهینه ترکیب خدمت وجود دارد که در این گزارش به آن‌ها پرداخته شده و بر مبنای آن موضوع تحقیق تعریف گشته است.

در این فصل، با کمک روش مرور ادبیات سیستماتیک (SLR) [۱] [۱۷] به بررسی، طبقه‌بندی و گزارش مطالعات موجود در حوزه ترکیب خدمات تحت عدم قطعیت پرداخته شده است. در این مرور ادبیات، ۹۳ مطالعه مرتبط که در بین سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۹ منتشر شده است مرور شده‌اند. هدف اصلی از این مرور پاسخگویی به سؤالات زیر است: چگونه تحقیقات موجود در زمینه ترکیب خدمات عدم قطعیت را مدل می‌کنند؟ نقاط قوت، محدودیت‌ها و کاربرد آن‌ها چیست؟ چگونه پارامترها، ابعاد و اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت خدمت با توجه به محیط متفاوت است؟ در برخورد با عدم قطعیت، الزامات/فرضیات در رویکردهای مختلف چیست؟ بنابراین، یک چارچوب مقایسه‌ای برای مقایسه رویکردها در برابر جنبه‌هایی از قبیل منبع عدم قطعیت، روش‌های مدل‌سازی کیفیت خدمات، پارامترهای استفاده شده کیفیت خدمت، مجموعه داده‌ای به کار گرفته شده و تابع هدف (مدل تک یا چندهدفه)، خدمات تک یا چند منبع، مقیاس‌پذیری و غیره ایجاد شده است. در ادامه این فصل، برای نخستین بار، طبقه‌بندی فنی از رویکردهای موجود ارائه شده است. در انتهای این فصل

[۱] مرور ادبیات سیستماتیک از حداقل دو بخش اصلی به نام های پرسش‌های پژوهش و معیارهای انتخاب و عدم انتخاب پژوهش های موجود تشکیل شده است.



شکل ۲ــ۱: رده‌بندی رویکردهای موجود در مسئله ترکیب خدمات در شرایط عدم قطعیت

نیز شکاف‌ها و محدودیت‌های موجود در کارهای پیشین شناسایی شده است و رهیافت‌هایی برای رفع این محدودیت‌ها ارائه خواهد شد.

۲ـ۱ رویکردهای ترکیب خدمات مبتنی بر کیفیت خدمت تحت عدم قطعیت

در ادبیات، برخی از رویکردهای پیشنهادی با پیش‌فرضهای مختلف برای مقابله با عدم قطعیت وجود دارد. به طور کلی، چهار دسته رویکرد برای ترکیب خدمات از منظر نحوه مدل‌سازی مقادیر پارامترهای کیفیت خدمات تحت عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. روش‌های احتمالی، سیستم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، ترکیب خدمات فازی و سیستم‌های توصیه خدمات به عنوان دسته‌های اصلی در طبقه‌بندی پیشنهادی هستند. شکل ۲ـ۱ طبقه‌بندی پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه، مطالعات مربوط به هر دسته مرور می‌شوند.

۲ـ۱ـ۱ یادگیری ماشین

در سال‌های اخیر، محققان سعی کرده‌اند با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین با پویایی محیط ترکیب خدمات مقابله کنند تا تغییرات را بدون فرضیه در مورد شکل توزیع مقادیر کیفیت خدمت بیاموزند. ما این رویکردها را به شرح زیر طبقه‌بندی کرده‌ایم:

- مدل‌سازی کیفیت خدمت با کمک یادگیری تقویتی[۲]
- مدل‌سازی کیفیت خدمت بر مبنای خوشه‌بندی[۳]
- طبقه‌بندی[۴] بر مبنای کیفیت خدمات
- پیش‌بینی مقادیر کیفیت خدمت با استفاده از رگرسیون[۵]

یادگیری تقویتی

روش یادگیری تقویتی یکی از انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین است که به طور رایج در مدل‌سازی مقادیر کیفیت خدمات در مساله ترکیب خدمت استفاده شده است [۶۲]. ونگ و همکاران [۱۱۵]، یک روش

[2] Reinforcement Learning
[3] Clustering
[4] Classification
[5] Regression

مبتنی بر یادگیری تقویتی برای رسیدن به خط مشی‌های[۶] اجرای نزدیک‌ـبه‌ـبهینه[۷] برای ترکیب خدمات بدون دانش قبلی در مورد پارامترهای کیفیت خدمت، ارائه می‌دهند. تابع جایزه[۸] با تجمیع[۹] مقادیر کیفیت خدمت با استفاده از روش جمع اوزان ساده[۱۰] ساخته می‌شود. موصطفی و ژانگ [۸۲]، از یادگیری تقویتی برای یادگیری n فعالیت خدمات جهت مقابله با تغییرات در محیط اجرا استفاده می‌کنند. علاوه بر این مطالعات، یو و همکاران [۱۳۷] مسله ترکیب خدمت را با فرایند تصمیم‌گیری مارکو [۱۱] مدل‌سازی و خط‌مشی بهینه را با استفاده از الگوریتم یادگیری‌ـ کیو [۱۲] تولید می‌کنند. فرایند تصمیم‌گیری مارکو، یک روش مفید برای مطالعه مسائل بهینه‌سازی است که با استفاده از روش یادگیری تقویتی می‌تواند حل شود. در مقاله [۱۲۱]، محققان بر روی مسئله ترکیب خدمت با کمک در نظرگرفتن عقلانیت[۱۳] ترجیحات کاربران بر مبنای اصل سه‌ـ سیگما [۱۴] تمرکز می‌کنند.

برای در نظر گرفتن داده‌های ناقص، لِی و همکاران [۶۴]، فرایند تصمیم‌گیری مارکو بخشی مشاهده‌پذیر[۱۵] به کار می‌گیرند. به علاوه، آن‌ها از یادگیری تقویتی برای مسئله ترکیب خدمت با روش یادگیری مبتنی بر زمان[۱۶] [۶۳] و معیار بیشینه‌ـ سودـ تخفیف‌ـ انتظاری [۱۷] برای مقایسه خط‌مشی‌ها استفاده می‌کنند. ونگ و دیگران [۱۱۴]، از الگوریتم یادگیری تقویتی اس.ای.آر.اس.ای (λ)[۱۸] برای فرایند تصمیم‌گیری مارکو بخشی‌مشاهده‌پذیر استفاده می‌کنند. به منظور مدل‌سازی پارامترهای کیفیت خدمت متناقض، به جای به کار بستن روش جمع اوزان ساده (که دارای محدودیت‌هایی است) از فرایند تصمیم‌گیری مارکو بخشی‌مشاهده‌پذیر چندهدفه در مقاله [۸۰] استفاده شده است. برای پیش‌بینی توزیع ترکیب خدمت در شرایط مقیاس بالا، ونگ و همکاران

[6] Policy
[7] Near-optimum
[8] Award Function
[9] Aggregation
[10] Simple Additive Weighting (SAW)
[11] Markov Decision Process (MDP)
[12] Q-learning
[13] Rationality
[14] 3σ
[15] Partially Observable MDP (POMDP)
[16] Time-based Learning method
[17] maximum-expected total-discount-benefits
[18] SARSA

[۱۱۳]، فرایند گوسین [19] را با یادگیری تقویتی تجمیع می‌کنند و از تقریب تابع کرنل [20] استفاده می‌کنند. آن‌ها یک ارزیابی گسترده بر روی مجموعه داده‌ای مقیاس بالا انجام می‌دهند. موصطفی و همکاران [۸۱] یادگیری عمیق[21] را با یادگیری تقویتی ترکیب می‌کنند تا خدمت ترکیبی را برای مسائل با مقیاس بالا حل نمایند. بیان این نکته ارزشمند است که مسئله ترکیب خدمت با مقیاس بالا، از منظر حالت ابعاد و فضای عمل‌ها[22]، یادگیری عمیق به یادگیری تقویتی کمک می‌کند تا بتواند مسائل بغرنج یا رام‌نشدنی[23] را حل نماید. اخیرا محفود و همکاران [۷۳]، یک چارچوب مبتنی بر یادگیری تقویتی چندعاملی[24] ارائه داده‌اند که الهام گرفته از مدل هماهنگی طبیعت[25] (قواعد هماهنگی شیمیایی[26]) است. آن‌ها از یادگیری‌ـ کیو[27] به عنوان یک الگوریتم یادگیری تقویتی و SAPERE [۱۴۳] به عنوان مدل هماهنگی استفاده می‌نمایند.

خوشه‌بندی

الگوریتم‌های خوشه‌بندی تلاش می‌کنند تا خدمات را بر مبنای کارکردها و یا ویژگی‌های کیفی مشابه طبقه‌بندی نمایند [۳۴، ۳]. ژیا و همکاران [۱۲۷]، از یک روش خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی[28] با نام اُپتیک [29] برای یافتن ترکیب خدمت نزدیک‌ـ به‌ـ بهینه استفاده می‌کنند. اخیرا، خانوچه و همکاران [۵۷]، حذف و پالایش خدمات بر مبنای الگوریتم خوشه‌بندی کا‌ـ میانه[30] را معرفی کرده‌اند. این روش به خوشه‌بندی و حذف خدمات نامزدی که سطح کیفیت خدمت پایینی دارند می‌پردازد. آن‌ها همچنین یک الگوریتم بهینه‌سازی لکسیکوگرافیگ [31] برای تعیین خدمت‌هایی که محدودیت‌های کیفیت خدمت کاربر را ارضا می‌کنند به همراه یک درخت جستجو [32] برای بدست آوردن خدمت ترکیبی نزدیک‌ـ به‌ـ بهینه ارائه داده‌اند.

[19] Gaussian process
[20] Kernel function approximation
[21] Deep Learning
[22] Dimensional state and action spaces
[23] Intractable Problems
[24] Multi-agent Reinforcement Learning
[25] Nature-inspired Coordination Model
[26] Chemical-based Coordination Rules
[27] Q-Learning
[28] Density-based Method
[29] OPTIC
[30] K-means
[31] Lexicographic Optimization
[32] Search Tree

دسته بندی

در ادبیات، تعداد کمی از تکنیک‌های دسته‌بندی برای یافتن مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمت استفاده شده است. ژانگ [۱۴۵] یک شبکه عصبی از نوع توابع شعاعی پایه [۳۳] با یک ایگوریتم کا.میانه تغییریافته برای پیش‌بینی مقادیر کیفیت خدمات ارائه می‌دهد. یو [۱۳۸]، از روش فاکتورسازی ماتریس [۳۴] و درخت تصمیم [۳۵] به استخراج داده از مشتریان جدید می‌پردازد. قابل ذکر است مشتری جدید با هیچ اطلاعات تعاملی قبلی، در معرض مسئله شروع سرد [۳۶] است. محققان در [۳۱] بر روی سناریوی ترکیب خدمت در شبکه ادهاک (شبکه‌های موردی) موبایلی [۳۷] که در آن گره‌های تشکیل دهنده شبکه قادر به ارائه خدمت هستند را در نظر می‌گیرند. آن‌ها از یک مدل آماری کم‌هزینه با یک مدل جایگزین [۳۸] برای پیش‌بینی پارامترهای کیفیت خدمت با استفاده از الگوریتم تکاملی NSGA-II استفاده می‌کنند. مدل‌های جایگزین، سعی می‌کنند به صورت محاسباتی [۳۹] با کمک تکنیک‌هایی نظیر جنگل تصادفی [۴۰]، دسته‌بندی [۴۱] و درخت رگرسیون [۴۲]، تخمینی برای توابع برازش [۴۳] ارائه دهند.

Regression

الگوریتم‌های رگرسیون تلاش می‌کنند تا تابع نگاشتی از مقادیر کیفیت خدمت ورودی به مقادیر عددی یا پیوسته کیفیت خدمت را تخمین بزنند. بِه و همکاران [۱۳۶] یک مدل پیش‌بینی با استفاده از سری‌های زمانی چندمتغیره [۴۴] بر مبنای داده‌های کیفیت خدمت نظارت شده پارامترهای کیفیت خدمت و محدودیت‌های کیفیت خدمت بلندمدت [۴۵] کاربران نهایی ارائه می‌دهند. سان و دیگران [۱۰۶] یک روش مبتنی بر سری‌های

[33] Radial Basis Function (RBF) Neural Networks (NN)
[34] Matrix Factorization (MF)
[35] decision tree
[36] cold start
[37] Mobile Ad-hoc Networks (MANET)
[38] Surrogate
[39] computationally
[40] Random Forest (RF)
[41] Classification
[42] Regression Trees (CART)
[43] fitness functions
[44] multivariate time series
[45] long-term QoS-aware constraints

زمانی ارائه می‌دهند تا بتوانند مقادیر کیفیت خدمت را با استفاده از داده‌های ذخیره شده از زمان اجرای خدمات تخمین بزنند. گو و همکاران [۳۸] به مطالعه سری‌های زمانی برای پیش‌بینی مقادیر کیفیت خدمت با استفاده از مدل ARIMA [۴۶] می‌پردازند. به منظور کاهش فضای جستجو، آن‌ها از روش انتخاب خدمت بهینه پارتویی یا اسکای‌لاین [۴۷] استفاده می‌کنند. بهینه پارتویی نقاطی هستند که بوسیله نقاط دیگر مغلوب نمی شوند [۱۶]. با توجه به این تعریف، غلبه بدین معناست: یک نقطه یک نقطه دیگر را مغلوب می‌کند اگر در همه ابعاد مانند یا بهتر از از نقطه دیگر باشد و در یک بعد الزاما بهتر باشد [۱۶]. اخیرا یک مدل تخمین زمان با استفاده از مدل رگرسیون برای کاربردهای ویدئویی ارائه شده است [۱۴۴]. در این مدل ویژگی‌هایی از یک ویدئو مانند رزولوشن بررسی شده است. این ویژگی‌ها به شکل log2-scale که از [۹] اقتباس شده است تبدیل شده‌اند تا یک برازش خطی کارایی بدست بیاید.

۲ـ۱ـ۲ رویکردهای احتمالی

همانطوری که در شکل ۲ـ۱ نشان داده شده است، در رده رویکردهای احتمالی، روش‌های معمول مدل‌سازی پارامترهای کیفیت خدمت عبارت‌اند از: در نظر گرفتن مقدار ثابت، تابع جرم احتمالی، تابع چگالی احتمال و روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی.

مقدار ثابت

در رده مقدار ثابت، محققان مقادیر کیفیت خدمت را به عنوان یک تک/چند مقداری در نظر می‌گیرند [۱۳۳]. در ادمه، رویکردهای اصلی این رده، بررسی و ارائه می‌شوند.

خوشبینانه، مقدار میانگین و بدبینانه ویسمان و همکاران [۱۲۳]، یک روش ترکیب خدمت چندهدفه ارائه می‌دهند تا دو هدف متناقض زمان و هزینه را بهینه نمایند. آن‌ها از معیار میانگین مقدار–در–ریسک [۴۸] برای کمّی کردن ریسک مرتبط با مقادیر غیرقطعی استفاده می‌کنند. لی و همکاران [۶۷] مسئله ترکیب خدمت در اینترنت اشیا را با کمک ماشین حالت محدود [۴۹] مدل‌سازی می‌کنند. از آن جایی که فراهم کنندگان خدمات

[46] ARIMA model (AutoRegressive Integrated Moving Average)

[47] Skyline

[48] average value-at-risk (AVaR)

[49] finite state machine

در اینترنت اشیا، تجهیزات هوشمند هستند، آن‌ها بر روی قابلیت اطمینان تمرکز می‌کنند و ویژگی‌های ترکیب خدمت را با استفاده از منطق درخت محاسباتی احتمالی [۵۰] مشخص می‌کنند. همچنین پریسم [۵۱] به عنوان یک آزمون‌گر مدل احتمالی، برای تأیید ویژگی‌های کمّی استفاده شده است. در [۳۳]، دسترس‌پذیری یک خدمت در یک بازه زمانی در ازای تعداد درخواست‌ها برای آن خدمت، مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، تأثیر تغییر زمینه بر روی دسترس‌پذیری یک خدمت در [۸۵] بررسی شده است. پارامترهای موقعیت و پهنای باند برای محاسبه دسترس‌پذیری مجموعه‌ای از خدمات در شرایط عدم قطعیت موبایل در نظر گرفته شده است.

برای تخمین مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت، چِن و همکاران [۱۹]، دو رویکرد را در نظر گرفته‌اند: تخمین بدبینانه [۵۲] برای ارائه بدترین مقدار کیفیت خدمت؛ و برآورد احتمالی، برای ارائه امید ریاضی [۵۳]. در [۵۸]، پژوهشگران مقدار میانگین، کمینه و بیشینه مقادیر کیفیت خدمت را با استفاده از اجراهای گذشته خدمات بدست می‌آورند. بنابراین، تصمیم‌گیران، قادر هستند تا از میان حالات خوش‌بینانه، مقدار میانگین و بدبینانه، انتخاب نمایند. علاوه بر این مطالعات، یک الگوریتم چندمعیاره استوار در [۹۳] با کمک الگوریتم ان.اس.جی.ای۲ ارائه شده است. برای پارامتر زمان پاسخ، با کمک داده‌های تاریخچه‌ای، پیش‌بینی انجام شده و یک مرز پارتویی برای انتخاب خدمات از میان گزینه‌های موجود در نظر گرفته شده است. وانگ و همکاران [۱۱۷]، مسئله ترکیب خدمت را در زمینه سیستم‌های اجتماعی فیزیکی‌ـ سایبری [۵۴] به کار بسته‌اند و از نظریه بُعد فرهنگی هافستد [۵۵] استفاده کرده‌اند. این نظریه شش بُعد را برای اندازه‌گیری درجه ترجیحات کاربران برای یک خدمت اندازه می‌گیرد.

آنتروپی (نظریه اطلاعات) آنتروپی[۵۶] نرخ متوسطی از اطلاعاتی است که توسط یک منبع تصادفی از داده‌ها تولید می‌شوند. معمولاً از آنتروپی و هایپرآنتروپی (که به عنوان درجه عدم قطعیت آنتروپی تعریف می‌شود) برای عدم قطعیت مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت استفاده می‌شود. مالیک و مِجاهد [۷۴]، با کمک نظریه اطلاعات یک مدل انتشار محبوبیت برای مدیریت اعتماد در ترکیب خدمت ارائه می‌دهند. در این روش، معیار

[50] Probabilistic Computation Tree Logic

[51] PRISM

[52] pessimistic estimation

[53] expected value

[54] Cyber Physical Social Systems

[55] Hofstede's cultural dimension theory

[56] Entropy

کلیدی انتخاب خدمت‌ها، محبوبیت فراهم‌کننده خدمت در نظر گرفته شده است. آن‌ها میزان محبوبیت فراهم کننده خدمت را با کمک رأی (امتیاز) استفاده‌کنندگان از خدمات ارزیابی می‌کنند [۷۵]. امتیازدهندگان به دو دسته مورد اعتماد و غیرقابل اعتماد طبقه‌بندی می‌شوند و همچنین فراهم‌کنندگان خدمات هم در پنج دسته رفتاری متفاوت (شامل فعالیت‌های بدخواهانه) طبقه‌بندی می‌شوند. به منظور یافتن عدم قطعیت، گُنگ و همکاران [۳۷]، یک معماری دو مرحله‌ای بر مبنای مدل رایانش ابری (بیان شده در [۶۵]) در نظر می‌گیرند. آن‌ها مقادیر کمّی کیفیت خدمت را که از داده‌های تاریخچه‌ای بدست آورده‌اند به سطوح کیفی عدم قطعیت تبدیل می‌کنند. در فاز دوم، آن‌ها به دنبال خدمات جایگزین که محدودیت‌های کاربران را ارضا کنند می‌گردند. اخیرا، یک روش انتخاب مطمئن خدمات [۱۱۸] ارائه شده است تا خدمات نامزدی که عدم قطعیت بالاتری دارند را حذف نماید. خدمات با عدم قطعیت بالا، آن دسته از خدماتی هستند که آنتروپی و واریانس بالاتری دارند.

اسکای لاین مفاهیم اسکای‌لاین [۵۷] از حوزه پایگاه داده برای حل مسئله ترکیب خدمت آگاه از کیفیت خدمات اقتباس شده است [۲]. یو و بوگتا [۱۳۹] مدلشان را با استفاده از درخت پی.آر [۵۸] ساختاردهی می‌کنند و سپس اسکای‌لاین با غلبه‌ـ پی[۵۹] را محاسبه می‌کنند. آن‌ها فرض می‌کنند که به اندازه کافی داده‌های تاریخچه‌ای کیفیت خدمت با استفاده از روش‌های نظارت بر کیفیت [۸، ۵۱] موجود است. در مقاله [۱۲۰]، محققان الگوریتم ژنتیک را با مفهوم محاسبه اسکای‌لاین اشتراکی [۶۰] برای بازترکیب[۶۱] خدمات ادغام می‌کنند. همچنین سان و همکارانش [۱۰۵] از الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات[۶۲] بر مبنای اسکای‌لاین برای انتخاب خدمات از میان خدمات نامزد بهره می‌برند.

شبکه بیزی شبکه بیزی [۶۳] برای ارائه توزیع احتمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. چن و همکاران [۲۴]، یک مدل وب خدمت با قابلیت مدیریت استثنا بر مبنای شبکه بیزی ارائه می‌دهند. این مدل سعی در رسیدگی به

[57] Skyline
[58] p-R-tree
[59] p-dominant
[60] share skyline computation
[61] recomposition
[62] Particle Swarm Optimization (PSO)
[63] Bayesian Network (BN)

عدم قطعیت موجود در اجرای یک خدمت ترکیبی با استفاده از احتمال شکست [۶۴] خدمات دارد. این احتمال شکست از طریق داده‌های تاریخچه‌ای بدست آمده است. علاوه بر این پژوهش، یه و همکاران [۱۳۵]، یک مدل اقتصادی با استفاده از شبکه بیزی بر مبنای شنوی‌ـشافر[۶۵] توسعه‌یافته برای ترکیب خدمت ابری در بلندمدت[۶۶] ارائه می‌دهند.

تابع جرم احتمال اگرچه ارائه مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت در قالب یک یا چند مقدار ثابت، در مدل‌سازی و محاسبه سرراست و بدون پیچیدگی است، اما بازتاب واقعی از مقادیر کیفیت خدمت در دنیای واقعی نیست [۴۳، ۱۵۳]. برای رفع این کاستی، خوانگ و همکاران [۴۲]، از تابع جرم احتمال برای ارائه پارامترهای عدم قطعی استفاده می‌کنند. آن‌ها همچنین تابع جرم احتمال را برای ساختارهای مختلف جریان کاری مانند ساختار موازی و حلقه بدست آورده‌اند. برای محاسبه تابع جرم احتمال هم دو روش حریصانه و برنامه‌ریزی پویا را ارائه می‌دهند. آن‌ها در پژوهشی دیگر [۴۱]، به بسط روش قبلی با در نظر گرفتن محدودیت‌های محلی و ماژول تنظیم‌گر می‌پردازند. محدودیت‌های محلی [۶۷] محدودیت‌های سطح وظایف جریان کاری کاربر هستند. بنابراین در این روش پیشنهادی ابتدا محدودیت سراسری به محدودیت محلی شکسته می‌شود. ماژول تنظیم‌گر [۶۸] هم وظیفه دارد انتخاب‌های محلی انجام شده را طوری تغییر دهد که مجموعه خدمات انتخاب شده که به طور محلی بهینه هستند هم به بهینگی سراسری نزدیک شود و هم محدودیت‌های سراسری رعایت شوند. گفتنی است آن‌ها برای بدست آوردن تابع جرم احتمال پارامترهای کیفیت خدمت، از شباهت بین کاربران استفاده کرده‌اند.

تابع چگالی احتمال

برخی از محققین سعی کرده‌اند تا ویژگی‌های کیفیت خدمت را با استفاده از توابع چگالی احتمال معروف (شناخته شده) و یا شناخته نشده مدل‌سازی کنند. در ادامه این روش‌ها بررسی می‌شوند.

[64] Failure Probability
[65] Shenoy-Shafer
[66] long-term
[67] local constraint
[68] adjustment module

توزیع های شناخته شده [۶۹]

وو و همکاران [۱۲۶]، مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر کیفیت خدمت را بر مبنای شبکه پتری رنگی زمان‌دار[۷۰] انجام می‌دهند. نرخ بازه درخواست‌های کاربران با کمک توزیع‌های نرمال[۷۱] [۱۷۴] یا پواسون[۷۲] در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، زمان رسیدن و زمان اجرای خدمات بر مبنای توزیع نمایی[۷۳] در نظر گرفته می‌شود. برای در نظر گرفتن مسئله حرکت[۷۴] خدمات توزیع‌شده (مانند خدماتی که توسط یک گوشی هوشمند ارائه می‌شوند) در محیط‌های موبایل[۷۵]، ونگ [۱۱۶] به پیش‌بینی در دسترس‌بودن فراهم‌کنندگان خدمات با استفاده از توزیع یکنواخت[۷۶] و توزیع نرمال می‌پردازد. شولر و همکاران [۹۹] به حذف خدمات نامزد با واریانس بالاتر می‌پردازند. آن‌ها راه‌حل بدست‌آمده را به تدریج با کمک برنامه‌ریزی خطی صحیح بهبود می‌دهند و ویژگی‌های کیفیت خدمت نوسانی را حذف می‌کنند. آن‌ها کار قبلی را با استفاده از الگوریتم ژنتیک تطابقی[۷۷] توسعه و زمان محاسبات را کاهش می‌دهند [۱۰۰]. دنگ و همکاران [۲۸]، به بررسی مسئله انتخاب آگاه از ریسک[۷۸]، برای ترکیب خدمات در محیط موبایل با استفاده از تابع چگالی احتمال می‌پردازند. آن‌ها فرض می‌کنند که احتمال ماندن یک فراهم‌کننده خدمت متحرک در فاصله مورد نیاز درخواست‌دهنده خدمت قابل پیش‌بینی است. آن‌ها مدل بدست آمده را با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی ذوب فلزات[۷۹] حل می‌کنند. پژوهشگران در [۱۳۴] همچنین فرض می‌کنند مقادیر کیفیت خدمت ویژگی‌هایی مانند دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان، از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. برای حل مدل بهینه‌سازی ریاضی بدست آمده از سی.پلکس[۸۰] و تابع lsqnonneg در نرم افزار متلب[۸۱] استفاده می‌کنند.

[69] Known Distribution
[70] stochastic timed colored Petri net
[71] Normal distribution
[72] Poisson distribution
[73] Exponential distribution
[74] mobility
[75] mobile environments
[76] Uniform distribution
[77] Genetic Adaptation algorithm
[78] risk-aware
[79] simulated annealing algorithm
[80] CPLEX
[81] MATLAB

توزیع های شناخته نشده در احتمالات، تخمین چگالی، ساخت یک تخمین بر مبنای داده‌های مشاهده‌شده است [۱۷۶]. ژنگ و همکاران [۱۵۱]، تابع چگالی احتمال ویژگی‌های کیفیت خدمت را با کاوش در داده‌های تاریخچه‌ای با استفاده از روش چگالی کرنل گوسی[۸۲] تخمین می‌زنند. این روش یک منحنی نرم[۸۳] برای یک مجموعه نقاط داده‌ای می سازد. مزنی و سلامی [۷۶] از روشی مشابه استفاده کرده‌اند؛ با این تفاوت که از هوش جمعی[۸۴] برای یافتن ترکیب بهینه بهره برده‌اند. به منظور افزایش سرعت محاسبات ضربی[۸۵] برای ویژگی‌های کیفیت خدمت، ژنگ و دیگران از تبدیل فوریه سریع[۸۶] استفاده و ابزاری[۸۷] را برای ترکیب خدمت توسعه می‌دهند [۱۵۲]. در پژوهشی دیگر [۱۵۴]، یک روش محاسبه برای ساختارهای جریان کاری متفاوت نظیر وظایف تکراری و وظایف موازی مطالعه شده است. برای مثال، تجمیع زمان اجرای دو خدمت مجزا در یک ساختار ترتیبی می‌تواند به صورت مسئله یافتن تابع چگالی احتمالی جمع دو متغیر غیروابسته در نظر گرفته شود که می‌شود ضرب هر پی.دی.اف (تابع چگالی احتمال) در یکدیگر. این روش در [۱۵۳] با استفاده از یک الگوریتم جستجوی عمق‌اول[۸۸] بسط داده شده است. آن‌ها از الگوریتم جستجوی عمق‌اول برای محاسبه پی.دی.اف یک خدمت ترکیبی استفاده کرده‌اند؛ با این فرض که توزیع ویژگی کیفیت خدمت زمان پاسخ (از سمت کارخواه، کارپذیر یا ناظر طرف سوم)[۸۹] بدست‌آوردنی است. علاوه بر این روش‌ها، از اندازه مبتنی بر چارک[۹۰] [۹۲]، ماشین محدود بولتزمن[۹۱] [۸۶] و نامعادله چبیشف inequality Chebyshev's [۳۲] برای ساخت تخمینی از پی.دی.اف ویژگی‌های کیفیت خدمت بهره برده شده است.

شبیه‌سازی

[۹۲] برای آن دسته از ویژگی‌های کییفیت خدمت که با کمک توزیع‌های استاندارد ارائه شده‌اند، رویکردهای شبیه‌سازی برای تولید مدل کیفیت خدمت به کار گرفته می‌شوند. روزاریو و همکاران [۹۸]، یک قرارداد

[82] Gaussian Kernel Density
[83] smooth
[84] swarm intelligence
[85] convolution
[86] fast Fourier transform
[87] QoS DIstribution eStimation Tool (QoSDIST)
[88] depth-first search (DFS)
[89] client-side, server-side or third-party monitoring system
[90] quantile-based measure
[91] Restricted Boltzmann Machine
[92] Simulation

نرم[۹۳] (در مقابل قرارداد سخت) بوسیله توزیع آماری ویژگی‌های کیفیت خدمت ارائه می‌دهند. در یک قرارداد سخت[۹۴]، عباراتی مانند *زمان پاسخ خدمت ترکیبی باید کمتر از یک مقدار ثابت ـ مثلا ۲۲۰ میلی‌ثانیه ـ باشد* که با سناریوهای دنیای واقعی محقق نمی‌شود را بیان می‌کند. در حالی که در قرارداد نرم عبارت‌هایی نظیر *زمان پاسخ یک خدمت ترکیبی کمتر از یک مقدار ـ مثلا ۲۲۰ میلی‌ثانیه ـ در ۹۵ درصد موارد است.* ارائه می‌شود که بسیار به سناریوهای دنیای واقعی نزدیک‌تر است. آن‌ها یک ابزار با نام TOrQuE، که بر مبنای مونت‌ـ کارلو[۹۵] است، توسعه داده‌اند تا این قراردادهای نرم (قراردادهای احتمالی) را بدست آورند. علاوه بر این پژوهش، یائو و شنگ [۱۳۲] دسترس‌پذیری یک خدمت در یک برش زمانی داده شده را بوسیله روش پالایش ذرّه [۹۶]، پیش‌بینی می‌کنند. ونگ و همکاران [۱۱۹] نیز از تکنیک نمونه‌گیری اهمیت[۹۷] برای تعیین احتمال ویژگی‌های خدمت ترکیبی با استفاده از روش پرت تصادفی[۹۸] استفاده می‌کنند.

۲ـ۱ـ۳ ترکیب خدمت فازی

[۹۹] یک مدل فازی در موقعیت‌هایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که مدل‌سازی ویژگی‌های کیفیت خدمت به دلیل فقدان داده‌های مطمئن و کامل نمی‌تواند به شیوه احتمالی ساخته شود و در نتیجه از نظرات خبرگان استفاده می‌شود [۱۷۵]. رویکردهای مورد استفاده در ترکیب خدمت فازی[۱۰۰] را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد [۴۴]: ویژگی‌های کیفیت خدمت فازی[۱۰۱]، انتخاب خدمت چندمعیاره فازی[۱۰۲] و سامانه‌های قدرت‌یافته از فازی[۱۰۳].

[93] soft contract
[94] hard contract
[95] Monte-Carlo dimensioning
[96] particle filter-based method
[97] Importance Sampling technique
[98] stochastic Project Evaluation and Review Technique (PERT)
[99] Fuzzy Service Composition
[100] Fuzzy Service Composition
[101] Fuzzy QoS
[102] Multi-Criteria Service Selection
[103] Fuzzy-enabled Systems

ویژگی‌های کیفیت خدمت فازی

ویژگی‌های کیفیت خدمت فازی[۱۰۴] با کمک اعداد فازی مدل و ارزیابی شوند[۲۷]. سورا و تودینکا [۱۰۲]، یک معماری با استفاده از ویژگی‌های کیفیت خدمت فازی طراحی می‌کنند. این معماری شامل اجزایی با نام خدمت آنتولوژی دامنه[۱۰۵] ، مؤلفه یافتن کارکرد[۱۰۶]، دایرکتوری ویژگی‌های کیفیت خدمت[۱۰۷] و رتبه‌بندی فازی[۱۰۸] است. چو و همکاران [۱۲۹]، ویژگی‌های کیفیت خدمت را با استفاده از مقادیر فازی مثلثی فازی می‌کنند[۱۰۹] و از شاخص یاگر[۱۱۰] برای فازی‌زدایی[۱۱۱] استفاده می‌کنند. مشابه کار قبلی، ویرش و همکاران [۱۱۲] از تابع عضویت مثلثی برای محاسبه امتیاز یک خدمت استفاده می‌کنند. آن‌ها از روش حداکثر حداقل‌ها [۱۱۲] برای ترکیب مقادیر ورودی غیرفازی[۱۱۳] (زمان پاسخ، انرژی، گذردهی و تعداد گام) و از روش مرکز ثقل[۱۱۴] برای فرایند فازی‌زدایی استفاده می‌کنند. در پژوهشی دیگر [۱۱۰] از استنتاج فازی نقش‌مبنا[۱۱۵] برای یک ترکیب خدمت آگاه از کیفیت استفاده شده است. در این سامانه از یک ماژول نظارت اجرای خدمات استفاده شده است به طوری که زمانی که سیگنال تطبیق[۱۱۶] تولید می‌شود بتواند برنامه‌ریزی مجدد خدمت ترکیبی را ارائه دهد. برای فراهم کردن یک نظارت ثابت از زبان مشخص نظارت[۱۱۷][۱۰۹] استفاده شده است. اخیرا، نیو و همکاران [۸۴]، مقادیر کیفیت خدمت غیرقطعی را با استفاده از یک عدد بازه‌ای ارائه می‌دهند و مسئله ترکیب خدمت بدست آمده را با استفاده از الگوریتم تکاملی چندهدفه غیرقطعی[۱۱۸] و مقایسه پارتویی بازه‌ای غیرقطعی[۱۱۹] حل می‌کنند.

---

[104] خدمت کیفیت پارامترهای Fuzzy (FQoS)

[105] domain ontology service

[106] functionality finding module

[107] QoS properties directory

[108] fuzzy ranker

[109] fuzzification

[110] Yager index

[111] defuzzification

[112] max-min

[113] crisp

[114] Center of gravity

[115] rule-based fuzzy reasoning

[116] adaption signal

[117] Monitor Specification Language

[118] non-deterministic multi-objective evolutionary algorithm

[119] uncertain interval Pareto comparison

انتخاب خدمت چندمعیاره

رویکردهای استفاده شده در دسته انتخاب خدمت چندمعیاره[۱۲۰]، مسئله ترکیب خدمت را به صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره[۱۲۱] در نظر می‌گیرند. ژانگ و همکاران [۱۴۶]، یک مدل کیفیت خدمت ترکیبی (با اعداد متفاوت مانند مجموعه‌های فازی شهودی[۱۲۲] و اعداد مثلثی) را با تاپسیس[۱۲۳] و ای.اچ.پی[۱۲۴] ادغام می‌کنند. مو و همکاران [۸۳] ترجیحات کاربران که با کمک اوزان درونی[۱۲۵] (وابسته به طرز تفکر شخص) و برونی[۱۲۶] (بدون نظر تخصصی) ارائه شده اند را تخمین می زنند. اوزان درونی، مستقیما به وسیله کاربران با استفاده از اوزان فازی تنظیم می شوند در صورتی که اوزان برونی از ترجیحات تاریخچه‌ای کاربران برای یک خدمت با کمک مجموعه راف[۱۲۷] بدست آمده است. نظریه راف ابزاری قابل استفاده برای شرایط ابهام و عدم قطعیت است و با کمک آن می‌توان تقریب و استدلال درباره داده‌ها به دست آورد. علاوه بر این رویکردها، رویکرد رتبه‌بندی فازی بازه‌ای[۱۲۸] [۴۶]، با استفاده از مفهوم غلبه[۱۲۹] ارائه شده است؛ بنابراین، به جای روش جمع اوزان ساده، از روش رتبه‌دهی پرومته[۱۳۰][۱۱] بهره برده شده است.

سامانه‌های قدرت‌یافته از فازی

سامانه‌های قدرت‌یافته از فازی[۱۳۱]، آن دسته سامانه‌هایی هستند که تکنیک‌های شناخته شده شبیه نظریه بازی‌ها[۱۳۲] را با نظریه فازی ترکیب کرده‌اند. در پژوهش [۹۰]، یک روش ترکیب خدمات با استفاده از نظریه فازی در یک شبکه موردی موبایل[۱۳۳] توسعه داده شده است. همچنین یک میان‌افزار مدیریت منابع، به منظور ارزیابی توانایی یک تجهیز برای فراهم کردن خدمت بر مبنای معیارهایی مانند قدرت سیگنال و سطح

[120] Multi-criteria Service Selection (MCSS)
[121] Multi-criteria Decision Analysis (MCDA)
[122] intuitionistic
[123] TOPSIS
[124] AHP
[125] subjective
[126] objective
[127] Rough Set
[128] interval-based fuzzy ranking
[129] dominance concept
[130] PROMETHEE
[131] Fuzzy-enabled Systems (FES)
[132] Game Theory
[133] mobile ad-hoc networks

باتری استفاده شده است. آن‌ها همچنین از روش Sugeno[۱۰۴] برای استنتاج فازی استفاده می‌کنند. برای مقابله با مشکل انفجار قواعد فازی[۱۳۴]، روش فازی سلسله‌مراتبی توسعه داده شده است [۸۷]. ژائو و همکاران [۱۵۰]، یک ترکیب کننده خدمت چندهدفه محدودشده به قرارداد سطح مبتنی بر مدل ترجیحات گفتاری (غیر عددی) فازی[۱۳۵] [۱۵۰] و فاصله وزنی چبیشف[۱۳۶] توسعه داده‌اند. از نظریه بازی فازی[۱۳۷] [۴۹]، شبکه عصبی فازی[۱۳۸] [۷۲]، ترکیب خدمت فازی با کمک گراف‌پلن تغییریافته[۱۳۹] [۱۶۰] نیز در ادبیات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اخیرا، چو و همکاران[۱۲۸]، یک مدل کیفیت خدمت چندهدفه را شامل اعداد فازی و قطعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و غلبه پارتویی ارائه داده‌اند.

۲ـ۱ـ۴ توصیه گر خدمات

سامانه‌های توصیه‌گر[۱۴۰] تا کنون به طور گسترده در توصیه محصولات در نت‌فلیکس[۱۴۱]، یوتیوب[۱۴۲]، اسپاتیفای[۱۴۳]، آمازون[۱۴۴] و یا توصیه محتوا[۱۴۵] در شبکه‌های اجتماعی[۱۴۶] نظیر اینستاگرام[۱۴۷]، فیسبوک[۱۴۸] و توئیتر[۱۴۹] مورد استفاده قرار گرفته اند [۴۸]. همان روش‌ها در ترکیب خدمات برای یافتن خدمات مورد نیاز کاربر (از منظر کیفیت خدمت) مورد استفاده قرار گرفته است. در چنین موقعیتی، سامانه‌های توصیه خدمت[۱۵۰] سعی می‌کنند تا مقادیر کیفیت خدمت ناقص را با استفاده از تجربه سایر کاربران بدست آورند [۵۶]. رویکردهای موجود

[134] problem of rule explosion
[135] fuzzy linguistic preference model
[136] weighted Tchebycheff distance
[137] Fuzzy Game Theory
[138] fuzzy neural networks
[139] modified GraphPlan
[140] Recommendation systems
[141] Netflix
[142] YouTube
[143] Spotify
[144] Amazon
[145] content recommenders
[146] social media platforms
[147] Instagram
[148] Facebook
[149] Twitter
[150] service recommender systems

در ادبیات را می‌توان در سه دسته طبقه‌بندی کرد: شباهت خدمات یا کاربران[۱۵۱]، تکمیل ماتریس کیفیت خدمت[۱۵۲] و رتبه‌بندی[۱۵۳].

شباهت خدمات یا کاربران

در پژوهش [۹۷] از روش پالایش مشارکتی[۱۵۴] برای یافتن خدمات با استفاده از مشابهت‌های کاربران[۱۵۵]، قواعد انجمنی[۱۵۶] و تراکنش‌های تاریخچه‌ای[۱۵۷] بهره می‌برند. ایده ابتدایی پژوهش [۲۲] این است که کاربران نزدیک به هم (از نظر جغرافیایی) می‌توانند کیفیت خدمت مشابهی را به نسبت کاربران دور از هم تجربه کنند. این ایده می‌تواند اینگونه توجیه بشود که کاربرانی که در یک مکان تقریبا یکسان حضور دارند می‌توانند ترافیک شبکه را در یک کیفیت تقریبا یکسان دریافت کنند. برای یافتن مشابهت بین مناطق، ضریب همبستگی پیرسون[۱۵۸][۲۲] استفاده شده است. همچنین، در پژوهش [۵۴]، شباهت بین خدمات با استفاده از بررسی پرونده‌های دابلیو.اس.دی.ال[۱۵۹] مورد بحث و بررسی قرار گرفته و از معیار شباهت جاکارد[۱۶۰] استفاده شده است.

تکمیل ماتریس کیفیت خدمت

یک مشکل بسیار مهم که روش پالایش مشارکتی به آن دچار است مواجهه مناسب برای کاربران جدید (با هیچ اطلاعات تعاملی قبلی) است [۱۳۸] که به مسئله *شروع سرد* معروف است[۱۶۱]. برای حل این مسئله، یو و همکاران [۱۴۱]، یک ماتریس بزرگ را با استفاده از بخش‌های کوچک رکوردهای کیفیت خدمت موجود بازیابی میکنند. آن‌ها این کار را با استفاده از الگوریتم فاکتورگیری ماتریس [۱۶۲] انجام می‌دهند. ژنگ و

[151] Users or services similarity (USS)
[152] QoS matrix completion methods
[153] Ranking
[154] collaborative filtering (CF)
[155] users' similarities
[156] association rules
[157] historical transactions
[158] Pearson Correlation Coefficient (PCC)
[159] WSDL files
[160] Jaccard
[161] cold-start
[162] Trace Norm Regularized Matrix Factorization

همکاران [۱۵۵] هم روش مبتنی بر قلم [۱۶۳] را با روش مبتنی بر کاربر[۱۶۴] ادغام می‌کنند. آن‌ها یک مجموعه داده‌ای بزرگ شامل ۲۱۱۹۷ وب‌خدمت عمومی را مورد بررسی قرار می‌دهند و از روش ضریب همبستگی پیرسون برای یافتن مشابهت استفاده می‌کنند. در پژوهش [۱۵۶]، برای پیش‌بینی مقادیر از دست رفته (مقادیر ناقص)، یک روش فاکتورگیری ادغام‌شده با ماتریس همسایگی برای پیش‌بینی مقادیر کیفیت خدمت ارائه شده است. این کار به وسیله در نظر گرفتن مشاهدات قبلی کاربران بر روی کیفیت خدمات انجام شده است. به منظور رسیدن به یک پیش‌بینی دقیق‌تر، آن‌ها روش مبتنی بر همسایگی را با روش مبتنی بر مدل[۱۶۵] در پالایش مشارکتی ترکیب می‌کنند. علاوه بر این روش‌ها، چن و همکاران [۲۵]، یک مدل کیفیت خدمت شخصی برای حل مسئله شروع سرد ارائه می‌دهند. آن‌ها از داده‌های موقعیت جغرافیایی کاربران و خدمات برای این کار استفاده کرده‌اند.

رتبه‌بندی

کوتر و گلبک [۶۱]، یک مدل ترکیب خدمت بر مبنای امتیازات کاربران برای یک خدمت ارائه می‌دهند. برای محاسبه اعتماد، آن‌ها از داده‌های ساخته‌شده با کمک مجموعه داده‌ای FilmTrust استفاده می‌کنند [۳۶]. لی و وانگ [۶۶] از پالایش کالمن[۱۶۶] (که البته به تخمین مربعی خطی[۱۶۷] نیز معروف است) برای پیش‌بینی مقادیر استفاده می‌کنند. برای مقیاس‌پذیر کردن روش پیشنهادی در مواجهه با مجموعه داده‌های کلان، آن‌ها یک رویکرد محاسبه شباهت بر مبنای فاصله اقلیدوسی ارائه می‌دهند. لیو و همکاران [۷۰]، یک الگوریتم ژنتیک فرهنگی[۱۶۸] برای ترکیب خدمات ارائه می‌دهند. علاوه بر این، انها برای کاهش اندازه استخر خدمات در زمان جستجو به K خدمت ترکیبی برتر، از تکنیک استدلال موردمبنا[۱۶۹] [۵۹] استفاده می‌کنند. همچنین هشمی و همکاران [۴۰]، یک روش مبتنی بر مذاکرات شبکه‌های اجتماعی[۱۷۰] ارائه می‌دهند که در آن توصیه‌های موجود در شبکه‌های اجتماعی برای یک خدمت مورد استفاده قرار می‌گیرد. آن‌ها یک روش مذاکره چندعاملی چندهدفه برای مواجهه با امتیازبندی‌های جعلی نیز ارائه داده‌اند.

[163] item-based
[164] user-based
[165] model-based
[166] Kalman filtering
[167] linear quadratic estimation (LQE)
[168] Cultural Genetic
[169] Case-based reasoning (CBR)
[170] social network-enabled negotiation

۲ـ۱ـ۵ سایر رویکردها

[۱۷۱][۱۷۲][۱۷۳] برای مقابله با اطلاعات ناقص و دادههای کیفیت خدمت نادقیق، گوپینگ و همکاران از نظریه سامانه خاکستری[۱۷۴] استفاده می‌کنند. نظریه سامانه خاکستری، روش برای مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی نمونه کوچک است. در پژوهشی دیگر، راماچر و مونخ [۹۱]، بر روی یک مدل فرایند تصمیم مارکو برای مواجهه با عدم قطعیت زمان پاسخ تحیقیق می‌کنند و مدل بدست آمده را با کمک برنامه‌ریزی صحیح ترکیبی [۱۷۵] حل می‌کنند. تان و همکاران [۱۰۷]، یک رویکرد مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه می‌کنند با نام آر.جی.ای[۱۷۶]، با طول کروموزوم پویا[۱۷۷] برای پشتیبانی از اکتشاف نیمه‌ای در پرواز[۱۷۸] فضای وضعیت [۱۷۹]؛ بنابراین بعد از تغییر مقادیر کیفیت خدمت، آن‌ها قادر هستند تا پیشنهاد یک خدمت ترکیبی جایگزین را در یک زمان معقول ارائه دهند. چن و همکاران [۲۳]، یک مدل بهینه‌سازی استوار[۱۸۰] بر مبنای روش برتسیماس و سیم[۱۸۱] [۱۴] ارائه می‌دهند. بدین ترتیب، آن‌ها یک بازه برای تغییرپذیری مقایر کیفیت خدمت در نظر می‌گیرند و خدمت ترکیبی بهینه را با توجه به تعداد پارامترهای غیرقطعی و درجه محافظه‌کاری ارائه می‌دهند. همچنین پژوهشگران [۱۱۱] از زبان توصیف وب خدمت آگاه از زمینه[۱۸۲] برای ارائه وظایف کاربر در یک چارچوب ترکیب خدمت تطبیقی[۱۸۳] بهره برده‌اند. چن و همکاران [۲۰] نیز یک ترکیب خدمت پویا[۱۸۴] به همراه یک برنامه کاربردی موبایل با نام گوکومو[۱۸۵] ارائه می‌دهند تا فرایند ترکیب خدمت خودسازمانده[۱۸۶] را ایجاد کنند. شبکه‌ای که خدمات در آن ارائه می‌شود دارای به هم‌بندی شبکه موردی موبایلی مبتنی بر بلوتوث[۱۸۷]

171

172

173

[174] Grey system theory

[175] ILOG OPL 6.3 and CPLEX solver

[176] rGA

[177] dynamic-length chromosome

[178] on-the-fly partial exploration

[179] state-space

[180] robust optimization

[181] Bertsimas and Sim robust

[182] wEASEL (contExt Aware web Service dEscription Language)

[183] adaptive service composition framework

[184] dynamic service composition

[185] GoCoMo

[186] self-organize

[187] bluetooth-based mobile ad hoc networks

است. آنیستی و همکاران [۱۷۷، ۱۷۸] استقرار مقرون به صرفه خدمات ترکیبی ابر گواهی شده را پیشنهاد داده است. آنها نه تنها مدل ترکیبی مقرون به صرفه را پیشنهاد می دهند، بلکه امنیت را نیز به عنوان پارامترهای کیفیت خدمت غیرقطعی در نظر می گیرند. برای اطمینان از پایداری پارامترهای کیفیت خدمت (یعنی امنیت) ، آنها روشهای *اطمینان مبتنی بر گواهینامه* را معرفی می کنند [۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶]. اطمینان مبتنی بر گواهینامه کیفیت ترکیب را با ارزیابی کیفیت خدمت بر اساس مجموعه مداوم شواهد در مورد رفتار سیستم تضمین می کند.

۲ـ۲ نتایج بدست آمده از مرور سیستماتیک ادبیات

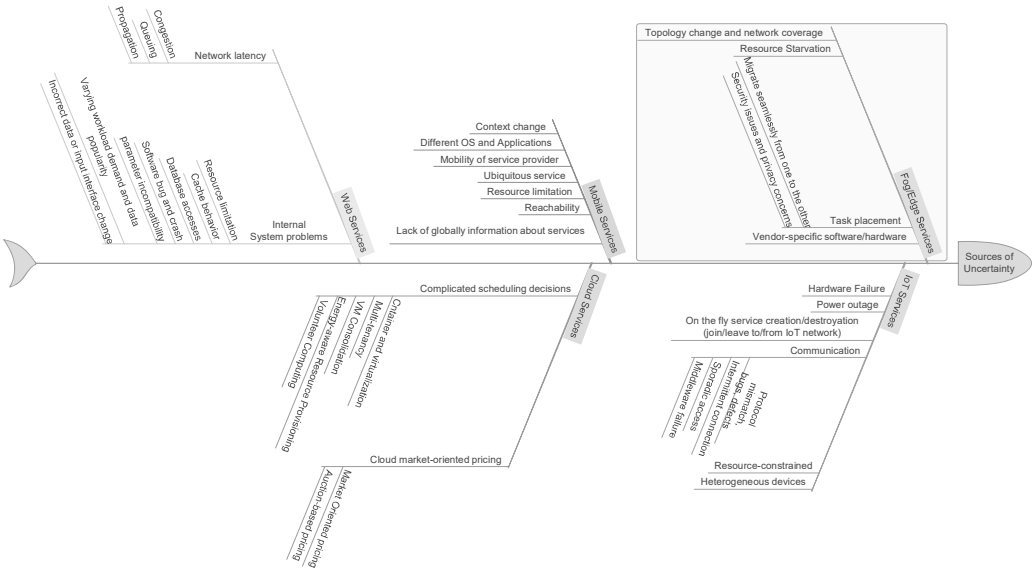
در این بخش، ما نتایج بدست آمده از مرور سیستماتیک ادبیات را ارائه می‌دهیم.

۲ـ۲ـ۱ منابع عدم قطعیت

شکل ۲ـ۲ اصلی‌ترین دلایل عدم قطعیت در مقادیر کیفیت خدمت را در وب‌خدمت‌های سنتی، خدمت‌های ارائه شده ابری، موبایلی و چیزنتی را نشان می‌دهد. در محیط های وب‌خدمت سنتی، یک خدمت در یک شبکه راه دور میزبانی می‌شد و ظرفیت منابع اختصاص داده شده ثابت بود. در این وب‌خدمت‌های سنتی، عواملی مانند تأخیر در شبکه ارتباطی و خرابی‌های داخلی کارگزاران دلایل اصلی عدم قطعیت در مقادیر کیفیت خدمت بودند. با معرفی معماری رایانش ابری، تخصیص منعطف منابع با شعار *به طور مجازی منابع به میزان نامحدود* با معماری سنتی وب‌خدمت‌ها، جایگزین شد. هر چند در این معماری نیز مفاهیمی مانند رایانش داوطلبانه [۳۲]، ابرهای فدرال [۱۰۸]، بازار خدمات ابری [؟]، حداکثرسازی بهره‌کشی از ماشین‌های مجازی [۱۰۱] و تخصیص منابع آگاه از انرژی [۱۴۹] منابعی جدید از عدم قطعیت را به مقادیر کیفیت خدمت اضافه کردند. در سناریوی رایانش موبایلی [؟] نیز تحرک دستگاه‌های تلفن همراه هوشمند، مهمترین دلیل ایجاد عدم قطعیت در مقادیر کیفیت خدمت است [۲۸، ۱۱۱؟].

در مقایسه با رایانش ابر و تلفن همراه، اکثر تأمین کنندگان خدمات در اینترنت اشیا (چیزنت)، اشیاء هوشمندی هستند که در زیرساخت های مختلف شبکه قرار دارند [۶۷؟]. به دلیل خرابی سخت افزار، دسترسی ناپایدار و اتصال متناوب شبکه، خدمات اینترنت اشیا معمولاً نسبت به خدمات ابری نامطمئن هستند. به عبارت دیگر ، به دلیل اتصال بی سیم، ممکن است گره های اینترنت اشیا گاهی اوقات قطع شوند. دلایل

دیگر عدم اطمینان خدمات اینترنت اشیا را وابستگی بیشتر به سخت افزار ارائه دهنده دانست شامل دستگاه های مجهز به سیستم عامل های مختلف و نرم افزارهایی از از تامین کنندگان متفاوت [؟].



شکل ۲ـ۲: دلایل عدم قطعیت در مقایر کیفیت خدمت

۲ـ۲ـ۲ معیارها و ابعاد مختلف مسئله

معیارها و ابعاد مختلف مسئله ترکیب خدمت با توجه به ادبیات در جدول ۲ـ۱ خلاصه شده است. در ادامه این معیارها به صورت جزئی‌تر بررسی می‌شوند.

ویژگی‌های کیفیت خدمت جدول ۲ـ۲ نشان‌دهنده ویژگی‌های کیفیت خدمت مورد استفاده در پژوهش‌ها است. با توجه به شکل ۲ـ۳ می‌توان مشاهده کرد که اکثریت پژوهش‌ها (۱۱.۶۲ درصد) زمان پاسخ را به عنوان ویژگی کیفیت خدمت دارای عدم قطعیت در نظر می‌گیرند. به علاوه، مشاهده می‌شود که دسترس‌پذیری به میزان ۴۷.۲۹ درصد، قابلیت اطمینان و گذردهی (به طور مشابه ۰۵.۲۱ درصد)، قیمت (۹۵.۱۸ درصد) و محبوبیت (۷۹.۱۵ درصد) تحت عدم قطعیت به عنوان ویژگی غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین ۲۰ درصد از پژوهش‌ها به نوع ویژگی کیفیت خدمت اشاره نکرده بودند. با وجود اهمیت بحث امنیت و انرژی، مشاهده می‌شود که این دو ویژگی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (به ترتیب ۲۹.۵ درصد و ۱۱.۲ درصد).

جدول ۲ــ۱: معیارها و ابعاد مطرح در پژوهش‌های بررسی شده

معیارها و ابعاد	پژوهش‌ها
چندهدفه بودن	[۱۲۳، ۴۶، ۱۳۹، ۳۱، ۱۲۸، ۱۵۰، ۱۰۵، ۸۳، ۸۰، ۹۳، ۳۸، ۴۰، ۸۴]
آگاه از زمینه	[۸۵، ۱۱۱، ۷۳، ۱۰۲، ۱۱۰، ۲۰، ۷۲]
انطباق‌پذیری	[۸۱، ۱۲۱، ۱۱۱، ۱۱۵، ۱۳۷، ۱۲۰، ۱۰۷، ۷۳، ۶۳، ۸۶، ۲۷، ۱۱۰، ۲۰، ۱۳۶، ۸۷، ۸۲، ۶۶، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۶۴، ۱۴۴، ۱۳۲، ۸۰، ۳۲، ۱۹، ۱۲۷]
مقیاس‌پذیری	[۸۱، ۷۶، ۱۸۵، ۱۰۷، ۱۳۹، ۸۶، ۱۱۶، ۱۱۰، ۱۲۸، ۸۷، ۱۵۰، ۲۵، ۱۰۵، ۱۱۳، ۹۳، ۳۲، ۱۹، ۳۸، ۴۰، ۱۲۹، ۷۰، ۱۵۳، ۷۲، ۱۴۱، ۱۵۵، ۱۲۷، ۲۲، ۱۵۶]
چندمنبعی (چندفراهم‌کنندگی)	[۱۳۹، ۷۳، ۱۳۵، ۳۱، ۱۱۶، ۲۰، ۱۳۶، ۸۳، ۱۱۲، ۳۲، ۴۰، ۲۸، ۵۴]
ارائه نمونه موردی	[۸۵، ۱۲۶، ۱۱۱، ۱۳۷، ۱۲۰، ۱۰۷، ۱۸۹، ۱۳۹، ۹۹، ۱۱۷، ۱۰۲، ۶۳، ۱۳۵، ۳۱، ۲۴، ۱۱۶، ۱۱۰، ۹۰، ۲۰، ۱۳۶، ۱۵۱، ۱۲۸، ۱۵۰، ۱۰۰، ۲۵، ۸۳، ۱۱۲، ۶۴، ۷۴، ۱۴۴، ۶۷، ۸۰، ۴۹، ۱۳۳، ۳۲، ۶۱، ۱۹، ۴۰، ۲۸، ۱۲۹، ۸۴، ۷۰، ۱۸۷، ۲۲، ۵۸، ۵۴، ۱۸۵، ۱۸۴]

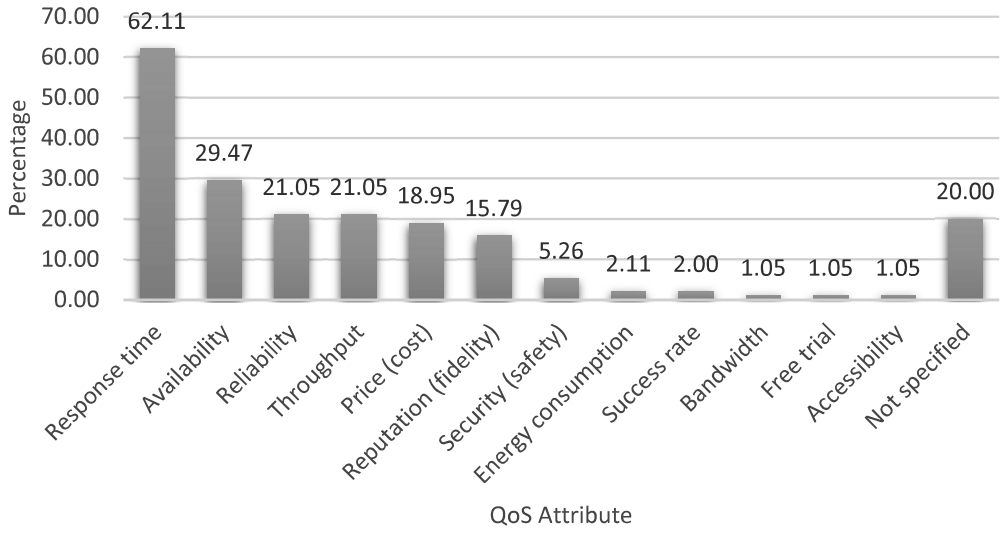
مقیاس‌پذیری با توجه به جدول ۲ــ۱ می‌توان مشاهده کرد که ۰۳.۲۹ درصد از پژوهش‌ها به صراحت بر روی مقیاس‌پذیری بحث کرده‌اند. افزایش شدید در تعداد خدمات ارائه شده در فضای چندابری باعث می‌شود تا نیاز به الگوریتم‌های کارا و مؤثر بیشتر شود. علاوه بر تعداد خدمات، افزایش ویژگی‌های کیفیت خدمت مورد نیاز مشتری و رشد داده‌های تاریخچه‌ای عملکرد خدمت نیز بر نقش مهمی در تبدیل مسئله ترکیب خدمت به یک مسئله مقیاس‌بالا ایفا می‌کند. شکل ۲ــ۴ تمایل پژوهشگران به در نظر گرفتن بُعد مقیاس‌پذیری در ارائه راه‌حل برای مسئله ترکیب خدمت را نشان می‌دهد (دو پژوهش از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ در مقابل ۱۵ پژوهش در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹).

تابع هدف با توجه به ادبیات، اکثر پژوهش‌ها از روش جمع وزن‌دهی ساده برای تجمیع ویژگی‌های کیفیت خدمت در مسئله ترکیب خدمت بهره برده‌اند (به جای رویکردهای چندهدفه مانند بهینه پارتویی). طبق نتایج این بررسی، تنها ۶۸.۱۳ درصد از پژوهش‌های موجود مسئله ترکیب خدمت را به صورت چندهدفه/چندمعیاره [۱۰۵، ۸۳] مدل‌سازی کرده‌اند. مدل‌سازی تابع هدف به صورت چندهدفه این امکان را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد تا از طریق مصالحه میان ویژگی‌های کیفیت خدمت، با انعطاف بیشتری به انتخاب خدمات بپردازد.

مثال/سناریوی انگیزشی به منظور بیان نقش ترکیب خدمت در معماری مبتنی بر خدمت [۱۰۲]، خیلی از پژوهشگران (۱۱.۴۲ درصد)، مثال انگیزشی/سناریوی انگیزشی ارائه داده‌اند. همانطوری که در شکل ۲ــ۵

جدول ۲ـ۲: ویژگی‌های کیفیت خدمت غیرقطعی در پژوهش‌ها

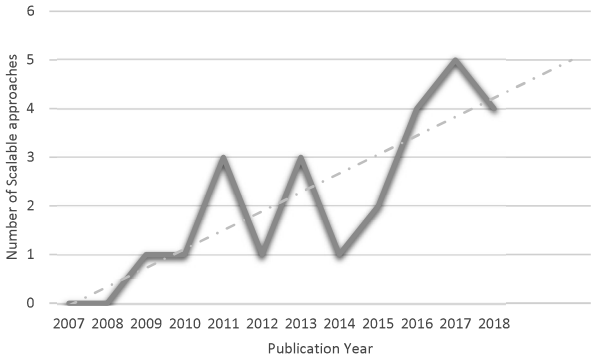
ویژگی‌های کیفیت خدمت	پژوهش‌ها
دسترس‌پذیری	[۸۱، ۱۴۶، ۸۵، ۱۴۵، ۱۱۱، ۱۶۰، ۴۶، ۹۹، ۸۶، ۲۴، ۹۰، ۱۲۸، ۸۷، ۱۰۰، ۸۲، ۱۱۳، ۶۷، ۱۳۲، ۸۰، ۴۰، ۲۸، ۱۲۹، ۸۴، ۷۰، ۱۸۷، ۳۳، ۱۳۴، ۵۷]
قابلیت اطمینان	[۸۱، ۱۴۶، ۴۲، ۱۴۵، ۱۲۶، ۱۲۰، ۳۱، ۱۱۰، ۱۲۸، ۴۱، ۸۲، ۸۳، ۱۱۳، ۴۰، ۱۸۸، ۱۲۹، ۷۰، ۱۸۷، ۱۳۴، ۵۷]
زمان پاسخ	[۸۱، ۱۴۶، ۱۰۶، ۱۱۹، ۴۲، ۱۲۱، ۲۳، ۱۴۵، ۱۲۶، ۱۲۳، ۱۱۵، ۱۳۷، ۱۶۰، ۴۶، ۱۲۰، ۹۹، ۹۱، ۱۱۸، ۳۱، ۸۶، ۱۱۶، ۲۷، ۱۱۰، ۲۰، ۱۳۶، ۹۸، ۱۵۱، ۱۲۸، ۸۷، ۴۱، ۱۰۰، ۶۶، ۲۵، ۸۳، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۴۴، ۸۰، ۹۲، ۹۳، ۳۲، ۳۷، ۱۸۸، ۱۲۹، ۴۳، ۸۴، ۷۰، ۱۸۷، ۱۵۴، ۱۵۳، ۱۳۴، ۷۲، ۱۴۱، ۱۵۵، ۵۷، ۱۳۸، ۲۲، ۱۵۶، ۵۴]
قیمت (هزینه)	[۱۴۶، ۴۲، ۱۴۵، ۱۲۶، ۱۲۳، ۱۱۵، ۹۹، ۱۳۵، ۲۷، ۱۱۰، ۱۳۶، ۱۲۸، ۸۳، ۸۰، ۴۹، ۱۸۸، ۱۳۴، ۵۷]
محبوبیت (وفاداری)	[۱۴۶، ۴۲، ۱۳۵، ۱۲۸، ۸۷، ۴۱، ۸۳، ۷۴، ۳۲، ۶۱، ۴۰، ۱۸۸، ۸۴، ۱۸۷، ۱۳۴]
گذردهی	[۱۰۶، ۲۳، ۱۳۷، ۱۶۰، ۴۶، ۱۲۰، ۹۹، ۱۳۵، ۱۱۸، ۸۶، ۱۳۶، ۱۲۸، ۱۰۰، ۶۶، ۱۱۲، ۱۱۳، ۴۰، ۱۲۹، ۵۷، ۱۵۶]
پهنای باند	[۱۴۵]
انرژی	[۳۱، ۲۷]
امنیت (ایمنی)	[۱۸۸، ۱۸۴، ۸۳، ۱۸۵]
رایگان/آزمایشی	[۸۳]
دستیابی‌پذیری	[۴۰]
نرخ موفقیت	[۱۲۸، ۱۲۹]
مشخص نشده است	[۷۶، ۱۳۷، ۱۰۷، ۱۸۹، ۱۳۹، ۱۱۷، ۱۰۲، ۱۵۰، ۱۰۵، ۱۱۳، ۱۱۴، ۶۴، ۶۷، ۱۳۳، ۱۹، ۳۸، ۶۲، ۱۲۷، ۵۸]



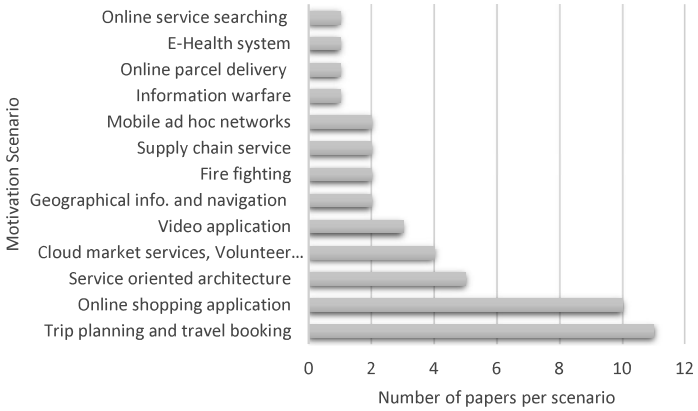
شکل ۲ــ۳: درصد هر یک از ویژگی‌های کیفیت خدمت که به عنوان ویژگی دارای عدم قطعیت در نظر گرفته شده‌اند

نشان داده شده است برنامه‌ریزی سفر [۱۰۷، ۱۸۹، ۱۳۹، ۱۳۵، ۱۲۸، ۱۵۰، ۷۴، ۱۹، ۴۰، ۱۱۱] و خرید و فروش آنلاین [۱۲۶، ۱۲۰، ۲۴، ۲۰، ۱۳۶، ۱۳۳، ۱۲۹، ۷۰، ۵۸] بیشترین سناریوهای مورد استفاده بوده‌اند. به علاوه، واسطه‌گری و معماری مبتنی بر خدمت [۸۵، ۹۹، ۱۵۱، ۱۰۰، ۸۴]، بازار خدمات ابری و رایانش داوطلبانه [۴۹، ۵۴، ۸۰، ۳۲]، کاربردهای ویدئویی [۹۰، ۱۴۴، ۲۸]، اطلاعات جغرافیایی و راهبری موبایلی [۱۸۷، ۲۵]، آتش‌نشانی [۳۱، ۶۷]، زنجیره تأمین خدمات [۱۳۷، ۶۴]، شبکه‌های موردی (موقتی) موبایلی [۱۱۶، ۱۱۲]، جنگ اطلاعاتی [۶۳]، تحویل بسته‌های پستی [۱۱۰]، جستجوی برخط خدمات [۲۲] و سامانه‌های سلامت الکترونیک [۶۱] دیگر سناریوهای هستند که در پژوهش‌ها مورد بحث قرار گرفته‌اند. با توجه به جدول ۲ــ۱، تنها ۶۸.۱۳ درصد از پژوهش‌ها صریحاً به ترکیب خدمات چندمنبعی اشاره کرده‌اند.

چندمنبعی (چندفراهم‌کنندگی) در ترکیب خدمت چندمنبعی، واسطه‌گر خدمات، خدماتی که در از طریق منابع مختلف (توزیع شده در نقاط جغرافیایی یا مراکز داده‌ای مختلف) را ترکیب می‌کند. با توجه به ادبیات، سه پارادایم برای رایانش چندمنبعی می‌توان برشمرد: چند ابری (به عنوان مثال، خدمات ارائه شده توسط مراکز داده توزیع شده یا شبکه های تحویل محتوا)، شبکه های موقت (موردی) تلفن همراه (به عنوان مثال،



شکل ۲ـ۴: تعداد رویکردهای مقیاس‌پذیر در سال‌های مختلف



شکل ۲ـ۵: scenarios motivation of Frequency

خدمات ارائه شده توسط دستگاه‌های تلفن همراه نزدیک) و دستگاه‌های اینترنت اشیا (خدمات ارائه شده توسط شهرهای هوشمند و صنعت ۰.۴).

آگاه از زمینه مدل های آگاه از زمینه در مدل‌سازی ویژگی های کیفیت خدمت بر روی اطلاعات هر حوزه کاربرد مختلف تمرکز می‌کنند (یعنی برای هر حوزه کاربرد اطلاعات را به صورت مجزا تفسیر/تحلیل می‌کنند). برای مثال، در یک برنامه حساس به تأخیر جریمه تأخیر بسیار شدیدتر است از یک برنامه معمولی که در زمان پاسخ دچار تأخیر شده است. همچنین، یک رویکرد آگاه از زمینه ممکن است پارامترهای محیطی متقاضی/ارائه‌دهنده خدمات را در مدل‌سازی ویژگی‌های کیفیت خدمت در نظر بگیرد. به عنوان مثال، در ارزیابی در دسترس‌بودن یا زمان پاسخگویی به خدمات، می‌تواند اطلاعات موقعیت مکانی کاربر تلفن همراه

را در نظر بگیرد. با توجه به جدول ۲ـ۱، می‌توان دریافت تنها بخش کوچکی از پژوهش‌ها (۳۷.۷ درصد) بُعد آگاهی از زمینه را در نظر می‌گیرند.

انطباق‌پذیری با توجه به نتایج بدست‌آمده، ۹۵.۱۸ درصد از پژوهش‌ها به صراحت اشاره کرده‌اند که راه‌حل پیشنهادی آن‌ها به صورت انطباقی کار می‌کند. به دلیل تغییرات در محیط رایانشی و پویایی محیط‌های شبکه‌های ارتباطی، ترکیب خدمات باید به طور پیوسته بر تغییرات محیط منطبق شود و به طور مداوم و مفید عمل کند [۱۵۳] که منجر به کاهش جریمه ناشی از نقض قرارداد سطح خدمت می‌شود [۲۷]؛ به ویژه در یک محیط پویا که معمولاً شکست در خدمات و تغییر در مقادیر کیفیت خدمت اتفاق می‌افتد [۹۳]. برای مثال در [۱۲۷]، در صورت شکست در یک خدمت یا تغییر در مقادیر کیفیت خدمت، رویه‌ای به سرعت سعی در جایگزینی خدمت جدید می‌نماید. هرچند، اگر خدمت‌های جایگزین قیمت بالاتری داشته باشند یا خدمت جایگزینی یافت نشود (با توجه به ترجیحات کاربران)، این روش شکست می‌خورد [۱۹]. به منظور کاهش این محدودیت، می‌توان از طریق سامانه‌های یادگیری مبتنی بر عامل [۸۰] محیط‌ها را مدل‌سازی کرده و به طور فعالانه (کنشگرانه در مقابل واکنشی) با تغییرات سازگار شد.

۲ـ۳ جمعبندی و خلاء های پژوهشی موجود

در بخش قبل رویکردها و روش‌های موجود در ادبیات مرور و دسته‌بندی شد. با توجه به مرور کارهای پیشین، به طور معمول، یک ترکیب خدمت آگاه از عدم قطعیت شامل دو مرحله مختلف است: ۱) ساخت مدل عدم قطعیت ویژگی‌های کیفیت خدمت و ۲) انتخاب خدمات. به طور دقیق‌تر، مرحله مدل‌سازی عدم قطعیت ویژگی‌های کیفیت خدمت، چگونگی تخمین یا پیش‌بینی ویژگی‌های دارای عدم قطعیت را تعیین می‌کند، در حالی که مرحله انتخاب خدمات مشخص می‌کند کدام خدمات نامزد با توجه به تابع سودمندی و محدودیت‌های کاربران بهترین ترکیب را ارائه می‌دهند. در ادامه جمعبندی و خلاء های پژوهشی موجود در هر یک از این دو مرحله ارائه می‌شود.

ساخت مدل عدم قطعیت ویژگی‌های کیفیت خدمت

طبق کارهای پیشین، می‌توانیم ببینیم که عدم قطعیت به دلیل تغییرپذیری مقادیر مشاهده‌شده ویژگی‌های کیفیت خدمت (در یک محیط باز و پویا) یا عدم آگاهی در مورد ویژگی‌های کیفیت خدمت خدمات (به عنوان مثال، یک خدمت جدید) بوجود می‌آید. در حالی که اولی از طریق نظریه احتمال[۱۸۸] کنترل می‌شود، دومی توسط تئوری امکان[۱۸۹] مدیریت می‌شود که بر بازنمایی‌های مجموعه مقادیر[۱۹۰] تمرکز کرده است [۱۰]. در رویکرد احتمالی، نمایش مدل‌های تک یا چند مقداری و توزیع‌های آماری استاندارد معمولاً برای مدل‌سازی ویژگی‌های کیفیت خدمت استفاده شده است. اگرچه این روش‌ها برای تخمین ویژگی‌های کیفیت خدمت ساده و آسان هستند، اما رفتارهای دنیای واقعی ویژگی‌های کیفیت خدمت را منعکس نمی‌کنند. علاوه بر این، در نظر گرفتن ویژگی‌های کیفیت خدمت با این فرض که آن‌ها از توزیع شناخته شده پیروی می‌کنند، در محیط‌های واقعی که توزیع آماری ویژگی‌های کیفیت خدمت می‌تواند به هر شکلی صورت پذیرد، همیشه ممکن نیست. برخی از مطالعات، بدون فرض توزیع مشخص، سعی در برآورد توزیع مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمت را دارند. هرچند، پیش‌بینی ویژگی‌های کیفیت خدمت با استفاده از روش‌های احتمالی نیاز به ایجاد یک عبارت ریاضی مشخص دارد، که همین امر، منجر به ایجاد یک مسئله غیرخطی می‌شود [۱۴۵]. روش دیگر در این رویکرد، تشکیل تابع جرم احتمال برای هر یک از ویژگی‌های کیفیت خدمت است. هدف از این روش شمارش فراوانی وقوع یک مقدار ویژگی کیفیت خدمت در داده‌های تاریخچه‌ای است. با استفاده از این روش، مقدار با بالاترین فرکانس به عنوان مقدار آن ویژگی کیفیت خدمت در نظر گرفته می‌شود. اگرچه این روش، مانند روش‌های قبلی، تخمین ویژگی‌های کیفیت خدمت را با یک مدل ساده ارائه می‌دهد، تشکیل بازه (به خصوص برای ویژگی‌های کیفیت خدمت با مقادیر پیوسته) همیشه ساده نیست و ممکن است منجر به ناکارآمدی شود.

نیاز شدید به داده‌های کافی و قابل اعتماد در این رویکرد، محققان را به استفاده از سیستم‌های مبتنی بر فازی هدایت می کند. منطق فازی در شرایطی به کار می‌رود که یک مدل باید نظر خبره را منعکس کند، در حالی که نمی‌تواند داده‌های آماری به اندازه کافی بزرگ را برای استفاده از یک رویکرد مبتنی بر نظریه احتمال جمع آوری کند[۲۶]. در ادبیات، بسیاری از محققان سعی کردند که ویژگی‌های کیفیت خدمت را عدد فازی در نظر بگیرند. آن‌ها انواع مختلفی از نمایش اعداد فازی، توابع عضویت و روش‌های فازی‌زدایی را برای

[188] probability theory

[189] possible theory

[190] set-valued representations

مدل‌سازی عدم قطعیت ویژگی‌های کیفیت خدمت اتخاذ کرده‌اند. با این حال، در عمل، ترکیب خدمت مبتنی بر فازی باید توسط کارشناسان برای تجزیه، تحلیل و تفسیر اضافی تنظیم شود. انتخاب خدمات چندمعیاره فازی در ترکیب خدمت، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. ای.اچ.پی فازی و تاپسیس فازی نمونه‌هایی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی هستند. علاوه بر این، در ادبیات مشاهده می‌شود که نظریه مجموعه فازی، گاهی اوقات با استفاده از رویکردهای شناخته شده دیگر برای شکل دادن مدل‌های ویژگی‌های کیفیت خدمت که ما آن را سیستم‌های قدرت‌گرفته از فازی می نامیم، استفاده می‌شود. نظریه بازی‌ها، الگوریتم ژنتیکی و شبکه‌های عصبی نمونه‌هایی از رویکردهای اتخاذ شده در رابطه با تئوری مجموعه فازی هستند. همچنین از سیستم‌های فازی سلسله مراتبی برای رفع مشکل مقیاس‌پذیری سیستم‌های فازی استفاده شده است.

پیچیدگی رو به رشد محیط های رایانشی خدمات و همچنین تمایل روز افزون خودکارسازی از طریق یادگیری، توجه محققان را برای ساخت مدل ویژگی‌های کیفیت خدمت بر اساس الگوریتم‌های یادگیری ماشین جلب کرده است. از شکل ۲ـ۱، روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، دومین رویکرد رایج در ادبیات را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که محققان از روش‌های یادگیری ماشین برای دو هدف بهره‌برداری کرده‌اند: پیش بینی مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمت و حذف خدمات با مقادیر غیرقطعی. به عنوان مثال، پژوهش [۳۸] از میانگین متحرک یکپارچه خودبازگشتی[۱۹۱] برای پیش‌بینی ویژگی‌های کیفیت خدمت استفاده می‌کند، در حالی که پژوهش [۵۷] از الگوریتم کا-میانه برای فیلترکردن خدمات نامطلوب استفاده می‌کند.

علاوه بر این، مشاهده شد که برخی از مطالعات موجود، سعی در الهام گرفتن از سامانه‌های توصیه‌گر برای ساخت مدل کیفیت خدمت دارند. آن‌ها با استفاده از یافتن شباهت میان کاربران و خدمات، روش‌های تکمیل ماتریس و رویکردهای رتبه‌بندی سعی در حل مساله ترکیب خدمت دارند. شباهت کاربران با استفاده از شباهت تجربیات کیفت خدمت آن‌ها محاسبه می‌شود. همچنین، شباهت بین دو خدمت بر اساس شباهت پرونده‌های دابلیو.اس.دی.ال آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. در ادبیات، رویکردهای توصیه کننده خدمات اغلب از مشکلات شروع سرد رنج می‌برند (یک مشکل رایج در تکنیک پالایش مشارکتی که در آن یک خدمت یا کاربر جدید سابقه ترکیب خدمت ندارد). در ادبیات، برای غلبه بر امتیازهای ناقص در یک ماتریس قلم-کاربر، از روش‌هایی مانند فاکتورگیری ماتریس [۱۵۶، ۱۴۱] استفاده می‌شود. ایده اصلی پیش‌بینی پارامترهای کیفیت خدمت در توصیه خدمات این است که وقتی یک خدمت به طور مشابه با یک خدمت دیگر عمل می‌کند یا یک

[191] autoregressive integrated moving average

درخواست کاربر مشابه درخواست کاربری دیگر است، ویژگی‌های کیفیت خدمت نیز می‌تواند مشابه باشد. علاوه بر مشکل شروع سرد، سیستم‌های توصیه‌گر به ویژه برای خدمات رو به رشد در سناریوی چندابری با چالش‌های زیر روبرو هستند: وجود زیرسامانه نظارت برای جمع آوری اطلاعات رتبه‌بندی خدمت‌ـ کاربر، هزینه‌های اضافی را تحمیل می‌کند و از منابع بیشتری در سمت ارائه‌دهنده خدمات استفاده می کند. همچنین، کاربران یک خدمت محدود به انسان نیستند (مثلا در محیط‌های رایانشی نظیر اینترنت اشیا، بیشتر کاربران خدمات دستگاه‌های هوشمند هستند. بنابراین، بدست آوردن ویژگی‌های کیفیت خدمت مانند محبوبیت نیاز به تفسیر بیشتری با توجه به محیط دارند. در نتیجه، قابل مشاهده است که محققان در سال‌های اخیر بیشتر علاقه‌مند به استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین بوده‌اند.

به عنوان جمع‌بندی، سه محدودیت عمده در رویکردهای ترکیب خدمت فعلی وجود دارد که به وضوح باعث می‌شود تا این رویکردها در یک محیط پویای چندابری شکست بخورند. این محدودیت‌ها عبارت اند از:

۱. آن‌ها فرض می‌کنند که سوابق تاریخچه‌ای کامل و قابل اطمینان از مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت برای کلیه خدمات وجود دارد. هرچند، در محیط پویای چندابری، خدمات جدید از ارائه‌دهندگان مختلف تبلیغ می‌شوند و خدمات مستهلک، حذف می‌گردند. بنابراین، واسطه‌گر خدمات، مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت تاریخچه‌ای کامل و قابل اطمینان در مورد یک خدمت جدید که اخیراً به شبکه پیوسته است را ندارد. در نتیجه، شروع سرد و نادر بودن داده‌ها دو مشکل اساسی هستند که عملکرد این روش‌ها را تحت تاثیر منفی قرار می‌دهند.

۲. آنها فرض می‌کنند که مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت از توزیع آماری ثابت یا شناخته شده در طولانی مدت پیروی می‌کنند. در دنیای واقعی، مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت ممکن است دقیقاً به تابع توزیع احتمال ثابت متکی نباشند [۱۵۳].

۳. آنها پویایی محیط چندابری را در نظر نمی‌گیرند که در آن تغییرات شبکه و عواملی داخلی کارپذیرها، باعث ایجاد ناهنجاری [۷۷] در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت نظارت شده می‌شود.

انتخاب خدمات

با توجه به ادبیات، در دسته رویکردهای احتمالی و فازی، اکثریت مطالعات از روش‌های بهینه‌سازی ریاضیاتی یا الگوریتم‌های (فرا)ابتکاری برای یافتن ترکیب خدمت بهینه یا نزدیک به بهینه استفاده کرده‌اند. الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری [۱۱۶] یک خدمت ترکیبی را در یک زمان مناسب (حتی در مسائل با مقیاس بزرگ) ارائه می‌دهند. هرچند، این رویکردها در یافتن بهترین خدمت ترکیبی تضمینی نمی‌کنند و معمولا با یک پاسخ نزدیک‌ـ به‌ـ بهینه[۱۹۲] تمام می‌شوند [۳۵]. به طور کلی، الگوریتم‌های ابتکاری معمولا دو ضعف را به همراه دارند: افتادن در دام بهینه محلی و فقدان کارایی حافظه‌ای. برای کاهش اثر این کاستی‌ها، الگوریتم‌های فراابتکاری با استفاده از راهبردهای سطح بالا، فرایند جستجو را با توجه به بازخوردی که از تابع سودمندی و سودمندی تاریخچه‌ای حاصل شده تا کنون، می‌گیرند الگوریتم را هدایت می‌کنند. معمولا دو سازوکار واگرایی و همگرایی در یافتن کارای مقدار بهینه (نزدیک‌ـ به‌ـ بهینه) در این الگوریتم‌ها وجود دارد. الگوریتم‌های شبیه‌سازی ذوب [۱۹۳] [۴۱، ۲۸]، بهینه‌سازی تجمعی ذرات[۱۹۴] [۱۰۵، ۷۶]، الگوریتم‌های تک هدفه یا چندهدفه تکاملی[۱۹۵] [۱۵۰، ۸۶]، الگوریتم ژنتیک[۱۹۶] [۱۰۷، ۱۰۰، ۴۰، ۷۰، ۱۲۹، ۱۰۶، ۱۲۸، ۸۴] و الگوریتم ژنتیک[۱۹۷] ۲ [۳۱] مثال‌هایی از استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای مرحله انتخاب خدمات در مسئله ترکیب خدمات هستند. برخلاف الگوریتم های فراابتکاری، روش‌های بهینه‌سازی ریاضیاتی شبیه برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط یا برنامه‌ریزی عددصحیح [۱۰۰، ۱۱۸، ۱۱۷] یک ترکیب خدمت بهینه را ارائه می‌دهند که برای محیط‌های با مقیاس کوچک بسیار مناسب هستند. گفتنی است که عمده این روش‌ها بسیار زمان‌بر هستند که برای حل مسائل در دنیای واقعی مناسب نیستند.

در جدول ۲ـ۳ کارهای مرتبط و مقایسه با مدل پیشنهادی ارائه شده است. در این جدول، از معیارهای آگاهی از عدم قطعیت، استفاده از مجموعه داده ای واقعی برای مدلسازی پارامتر غیرقطعی، درجه حفاظت، تشخیص ناهنجاری، انطباق و ارائه معماری برای سناریوی ادغام رایانش ابری و اینترنت اشیا برای مقایسه مدل پیشنهادی با کارهای مرتبط استفاده شده است.

[192] near-optimum

[193] Simulated annealing (SA)

[194] particle swarm optimization (PSO)

[195] single-objective and multi-objective evolutionary algorithm

[196] Genetic Algorithm (GA)

[197] NSGA-II

جدول ۲ـ۳: کارهای مرتبط و مقایسه با مدل پیشنهادی

معیارها	کارهای مرتبط												مدل پیشنهادی
	[۵۷]	[۲۳]	[۱۵۳]	[۱۷۶]	[۸۰]	[۴۱]	[۱۰۰]	[۱۱۸]	[۱۳۹]	[۱۲۳]	[۹۸]	[۱۷۵]	[۴۲]	[۱۷۴]	
آگاه از عدم قطعیت	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
مجموعه داده ای واقعی	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓
درجه حفاظت	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
تشخیص ناهنجاری	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
انطباق	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
معماری ادغام رایانش ابری و اینترنت اشیا	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓

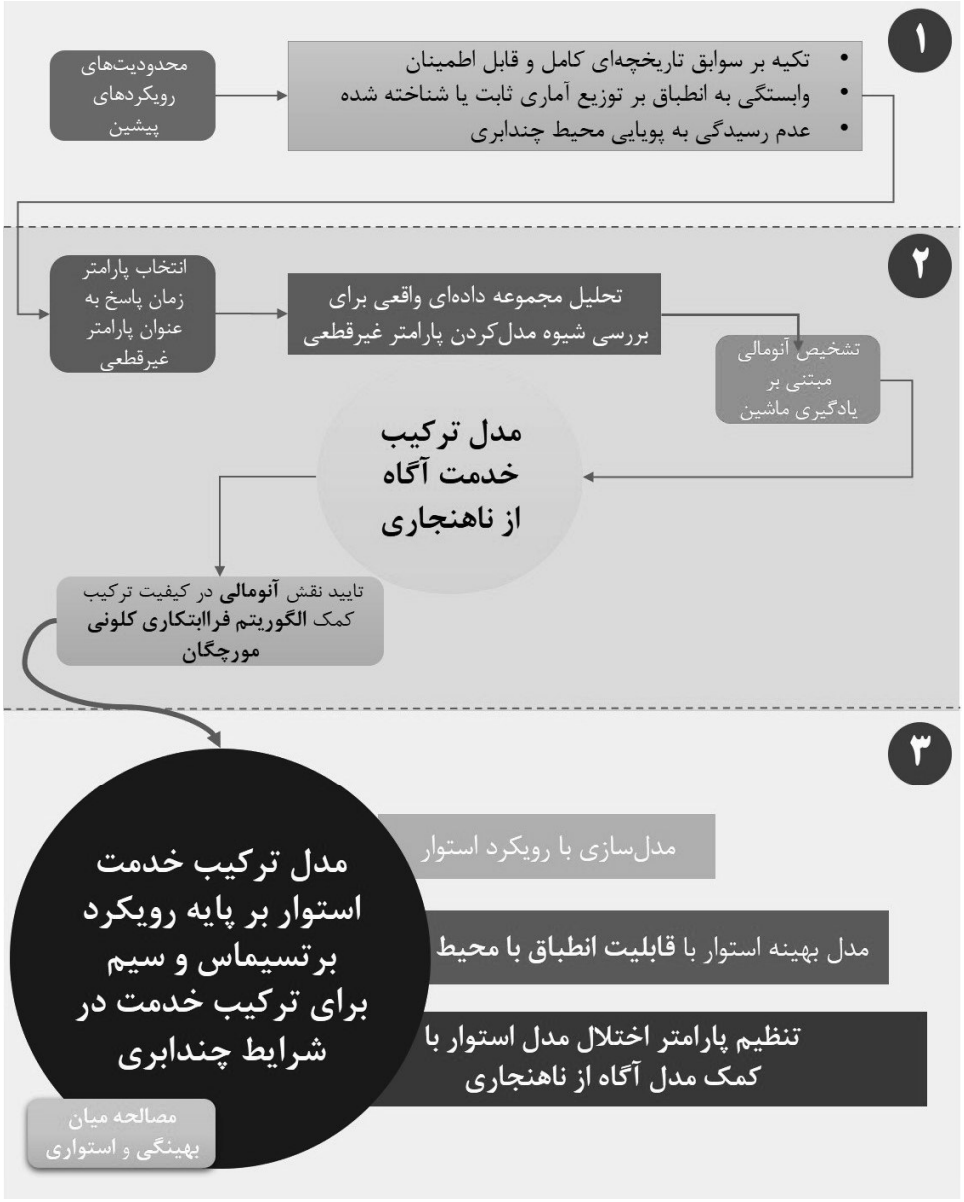
فصل ۳

مدل‌ها و الگوریتم‌های توسعه داده شده

۳ـ۱ مقدمه

در مسئله ترکیب خدمات، هدف یافتن مجموعه‌ای از خدمات در بین خدمات معادل از جهت کارکردی اما با ویژگی‌های کیفیت خدمات مختلف با توجه به محدودیت‌های کاربران است. برای این منظور، مطالعات قبلی مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمت را از طریق داده‌های تاریخچه‌ای مربوط به خدمات بدون محاسبه حضور ناهنجاری در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت موجود محاسبه می‌کنند. هرچند، پویایی محیط‌های توزیع‌شده خدمت و شبکه‌های ارتباطی در محیط چندابری باعث ناهنجاری در مقادیر کیفیت خدمت می‌شود. بنابراین، رویکردهای موجود قادر به مدل‌سازی دقیق مقادیر کیفیت خدمت نیستند که این ضعف، منجر به نقض قرارداد سطح خدمت و مجازات برای کارگزار خدمات می‌شود. برای پرداختن به این چالش، ما یک مدل آگاه از ناهنجاری مقیاس‌پذیر را ارائه می‌دهیم. مدل دومی که در این پژوهش ارائه شده است مدل بهینه‌سازی استوار آگاه از کیفیت برای مدل‌سازی عدم قطعیت در پارامتر کیفیت خدمت زمان پاسخ است که قادر است یک خدمت ترکیبی را ارائه دهد به‌طوری‌که تصمیم‌گیرنده قادر است میان بهینگی و استواری، مصالحه برقرار نماید. در ادامه این فصل، مدل‌ها و الگوریتم‌های توسعه داده شده برای بهبود ترکیب وب خدمت در فضای چندابری ارائه می‌شود.

به طور دقیق‌تر، شکل ۳ـ۱ روال کار انجام شده را به ۳ فاز تقسیم کرده است: فاز اول، یافتن خلاء ادبیات، فاز دوم تایید نقش آنومالی در مدل‌سازی کیفیت خدمت و فاز سوم توسعه مدل ریاضیاتی بهینه استوار (که



شکل ۳ـ۱: ارتباط مدل‌های توسعه داده‌شده

به عنوان مدل نهایی) است. همانطوری که در فاز دوم مشخص است، اثبات اینکه وجود آنومالی در مقادیر کیفیت خدمت منجر به یک ترکیب خدمت نادقیق می‌شود، با کمک الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان انجام شده است. نتیجه این اثبات، در مدل اصلی، یعنی در فاز سوم، در مدل بهینه استوار ترکیب خدمات مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. حال با اثبات وجود آنومالی در مقادیر کیفیت خدمت، مدل استوار که در

پاسخ به سوالات اصلی پژوهش توسعه داده شده است، به سازوکار تشخیص ناهنجاری (که از مدل میانی فاز ۲ بدست آمده است) مجهز شده است.

۳ـ۲ مدل ترکیب خدمت آگاه از ناهنجاری

۳ـ۲ـ۱ شرح مساله

بسیاری از محققان به مسئله ترکیب خدمت آگاه از پارامترهای کیفیت خدمت پرداخته‌اند [۱۰۷، ۹۶، ۲۹، ۶]. هرچند، سه محدودیت عمده در رویکردهای ترکیب خدمت فعلی وجود دارد. اول اینکه، بسیاری از کارهای قبلی مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت را با استفاده از مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمت تبلیغی ارائه‌دهنده خدمات مدل می‌کنند. علاوه بر این، آنها فرض می‌کنند که مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت تبلیغ شده با گذشت زمان ثابت می مانند. اما با توجه به پویایی ذاتی خدمات توزیع شده، مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت ممکن است به مقادیر ثابت از پیش تعریف شده باقی نماند و در محیط های دنیای واقعی تغییر کنند. بنابراین، مدل‌سازی ویژگی‌های کیفیت خدمت خدمات با مقادیر تبلیغ شده ارائه‌دهندگان منجر به یک ترکیب خدمت نادقیق و نقض توافق‌نامه سطح خدمت می‌شود. به عنوان مثال، وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپادها) بسیار حساس به تاخیر و نیازمند آگاهی از کیفیت خدمات به طور دقیق هستند زیرا برای جلوگیری از برخورد و موانع مجبور به تصمیم‌گیری در لحظه هستند [۱۴۷، ۲۱]. دوم، رویکردهای ارائه خدمات فعلی به طور مستقیم مقادیر کیفیت خدمت را از طریق تاریخچه مربوط به خدمت محاسبه می‌کنند و از وجود ناهنجاری‌ها در سوابق تاریخچه‌ای ویژگی‌های کیفیت خدمت چشم‌پوشی می‌کنند [۲، ۵۸، ۵۵، ۵۷]. واضح است که این رویکردها در سناریوی چندابری شکست خواهند خورد، جایی که عواملی مانند اتصالات متناوب و دسترسی پراکنده [۱۲۴] باعث ناهنجاری در سوابق تاریخچه‌ای ویژگی‌های کیفیت خدمت می‌شوند. سوم، اکثر مطالعات قبلی ترکیب خدمات را به خدمات مستقر در مخازن ثابت یا مراکز داده اختصاص داده‌اند. هرچند، محیط‌های چندابری از نظر پیوستن/ترک خدمات جدید/مستهلک‌شده [۹۱] محیطی کاملاً پویا و به طور مداوم در حال تغییر هستند.

این محدودیت ها دو چالش را ایجاد می‌کند. اول اینکه، برای دستیابی به یک ترکیب خدمت دقیق، ناهنجاری‌های موجود در مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمت تاریخچه‌ای باید قبل از مدل‌سازی پارامترهای

کیفیت خدمت شناسایی و برداشته شوند. دوم، یک الگوریتم کارا و کارآمد نیاز است تا توسعه یابد تا نه تنها تغییرات جریان کار را به موقع مدیریت کند بلکه خدمات را برای یک جریان کاری نزدیک‌ـبه‌ـبهینه انتخاب کند. نوآوری‌های مدل پیشنهادی به شرح زیر خلاصه می‌شود:

۱. یک مدل تحلیل داده برای یافتن ناهنجاری در سوابق پارامترهای کیفیت خدمت تاریخچه‌ای برای ارائه یک مدل دقیق کیفیت خدمت.

۲. یک فرمول ریاضی برای مسئله ترکیب خدمات چندابری به طوری که هم تابع هدف (کمینه ساختن هزینه) و هم محدودیت ها (زمان پاسخ) به وضوح تعریف شده باشد.

۳. یک ساختار داده مبتنی بر گراف برای مدل‌سازی یک جریان کاری داده شده و خدمات نامزد به صورت پویا و کارآمد.

۴. یک الگوریتم بهینه‌سازی سریع که خدمات ارائه شده توسط ابرهای متفاوت را در بین تعداد زیادی از خدمات نامزد انتخاب می‌کند تا هزینه را به حداقل برساند.

۳ـ۲ـ۲ علائم به کار رفته در مدل

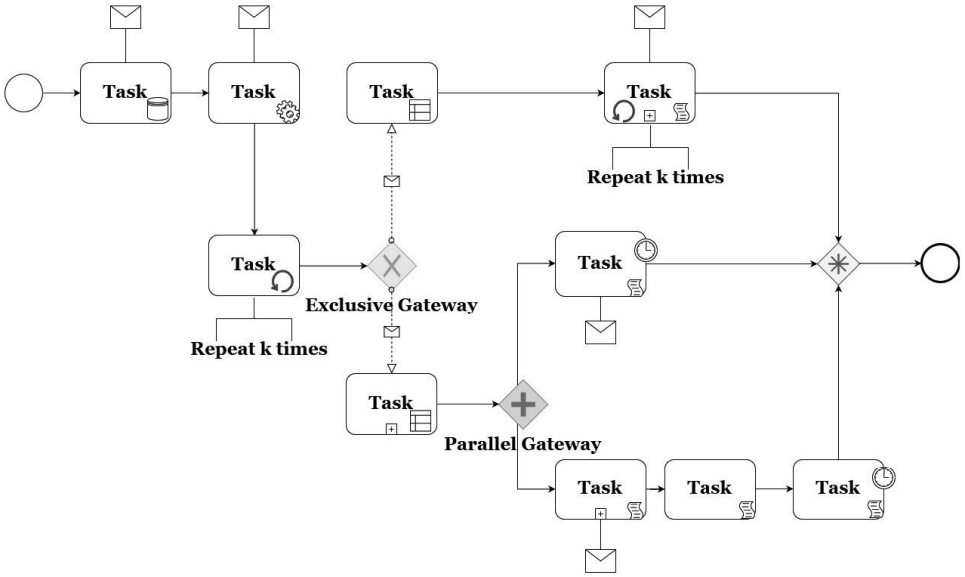
هدف اصلی ترکیب خدمات انتخاب مجموعه‌ای از بهترین خدمات منفرد با توجه به ویژگی‌های کیفی خدمات نامزد و محدودیت (ترجیحات) کاربر بر روی مقادیر کیفیت خدمت است. جدول ۳ـ۱ شرح مختصری از نمادهای مورد استفاده در این بخش را به طور خلاصه ارائه می‌کند.

جریان کاری یک جریان کاری، مجموعه‌ای از وظایفی است که از فرایند کسب و کار نشأت گرفته است. شکل ۳ـ۲ ساختارهای معروف یک جریان کاری شامل توالی، حلقه، انتخاب (انشعاب شرطی) و موازی را با کمک نمودار و علائم فرایند کسب و کار نشان می‌دهد. مجموعه $T = \{t_1, t_2, \cdots, t_n\}$ نشان‌دهنده یک جریان کاری با n وظیفه است که n بیان کننده تعداد کل وظایف موجود در یک جریان کاری است.

خدمت و خدمت نامزد یک خدمت دارای یک عملکرد واحد، با حداقل وابستگی، با قابلیت نگهداری بالا و امکان آزمون، با واسط‌ها و عملیات خوش‌تعریف که می‌تواند حول یک کسب و کار عمل بکند. یک خدمت Υ از دوتایی $\langle \chi, \psi \rangle$ تشکیل شده است که χ و ψ به ترتیب ورودی‌ها و خروجی‌های آن خدمت هستند.

جدول ۳ـ۱: علائم به کار رفته به همراه توضیحات

#	علامت	توضیح
۱	T	مجموعه‌ای از وظایف (t_i) موجود در یک جریان کاری
۲	Υ	نشان‌دهنده یک خدمت که از دوتایی $\langle \chi, \psi \rangle$ تشکیل شده است و χ و ψ به ترتیب ورودی ها و خروجی های آن خدمت هستند
۳	n	تعداد کل وظایف موجود در یک جریان کاری داده شده
۴	ζ_i	تعداد خدمات نامزد قادر به انجام وظیفه t_i
۵	Z	مجموعه‌ای شامل تعداد تعداد خدمات نامزد قادر به انجام وظیفه t_i
۶	Q	مجموعه ویژگی‌های کیفیت خدمت
۷	CS_i	مجموعه خدمات نامزد برای انجام وظیفه iام
۸	cs_i^j	نشان‌دهنده jامین خدمت نامزد برای انجام وظیفه iام
۹	B	مجموعه محدودیت‌های کاربر برای خدمت ترکیبی حاصل شده برای ویژگی‌های کیفیت خدمت Q
۱۰	b_{RTime}	محدودیت کاربر برای مقدار زمان پاسخ خدمت ترکیبی
۱۱	b_{Avail}	محدودیت کاربر برای میزان دسترس پذیری خدمت ترکیبی
۱۲	b_{Reput}	محدودیت کاربر برای میزان محبوبیت خدمت ترکیبی
۱۳	W	مجموعه شامل اوزان ویژگی‌های کیفیت خدمت بیان شده توسط درخواست کننده خدمت ترکیبی (کاربر)
۱۴	ω_{cost}	وزن مربوط به پارامتر هزینه
۱۵	ω_{RTime}	وزن مربوط به پارامتر زمان پاسخ
۱۶	ω_{Avail}	وزن مربوط به پارامتر دسترس پذیری
۱۷	ω_{Reput}	وزن مربوط به پارامتر محبوبیت
۱۸	$Cost(cs_i^j)$	تابعی است که هزینه خدمت cs_i^j را برمیگرداند
۱۹	$RTime(cs_i^j)$	تابعی است که زمان پاسخ خدمت cs_i^j را برمیگرداند
۲۰	$Avail(cs_i^j)$	تابعی است که دسترس پذیری خدمت cs_i^j را برمیگرداند
۲۱	$Reput(cs_i^j)$	تابعی است که محبوبیت خدمت cs_i^j را برمیگرداند
۲۲	k	تعداد حلقه ها در ساختار چرخشی جریان کاری
۲۳	p	احتمال انتخاب یک شاخه در یک جریان کاری
۲۴	$U(Q)$	تابع سودمندی برای نرمال سازی مقادیر کیفیت خدمت
۲۵	$s_i^{\xi_i}$	خدمت نامزد انتخاب شده در CP برای انجام t_i
۲۶	CP	خدمت ترکیبی حاصل شامل $s_i^{\xi_i}$
۲۷	x_{ij}	یک متغیر دودویی برای نمایش انتخاب یا عدم انتخاب یک خدمت نامزد
۲۸	$\eta(u,v)$	مقدار اطلاعات اکتشافی
۲۹	α	درجه همگرایی
۳۰	β	درجه واگرایی
۳۱	ρ	نرخ تبخیر
۳۲	$\tau(r,s)$	میزان فرومون موجود در یک مسیر
۳۳	$p_k(u,v)$	احتمال اینکه kامین مورچه خدمت نامزد را برای وظیفه بعدی انتخاب نماید
۳۴	$allowed_k$	مجموعه‌ای از خدمات نامزد باقی مانده که باید برای وظیفه t_{i+1} بررسی شوند



شکل ۳ـ۲: ساختارهای گوناگون وظایف در یک جریان کاری

همچنین در نظر بگیرید $CS_i = \{cs_i^1, cs_i^2, \cdots, cs_i^{\zeta_i}\}$ مجموعه خدمات نامزدی هستند که قادر به انجام وظیفه t_i هستند. همچنین $Z = \{\zeta_1, \zeta_2, \cdots, \zeta_n\}$ تعداد خدمات نامزد برای هر t_i را نگه می دارد؛ یعنی ζ_i تعداد خدمات نامزدی که می‌توانند وظیفه t_i را انجام دهند ارائه می‌دهد. علاوه بر این، cs_i^j نشان‌دهنده jامین خدمت برای انجام iامین وظیفه است.

پارامترهای کیفیت خدمت مجموعه $Q = \{cost, responseTime, availability, reputation\}$ نشان‌دهنده مجموعه پارامترهای کیفیت خدمت است. برای بحث و استدلال بیشتر، چند تابع با نام‌های $Cost(cs_i^j)$، $RTime(cs_i^j)$، $Avail(cs_i^j)$ و $Reput(cs_i^j)$ تعریف شده است که به ترتیب مقادیر هزینه، زمان پاسخ، دسترس‌پذیری و محبوبیت یک خدمت نامزد داده شده $cs_i^j \in CS_i$ را برمی‌گردانند. جدول ؟؟ توابع تجمیع کننده ساختارهای معروف جریان کاری شامل توالی، حلقه، انتخاب و موازی را برای یک جریان کاری تعریف می‌کند. علائم k و p در این جدول به ترتیب نشان‌دهنده تعداد چرخه ها و احتمال انتخاب ($\sum_{i=1}^{sn} p_i = 1$ و sn تعداد وظایف در معرض انتخاب) هستند. در این پژوهش، ساختار توالی مورد انتخاب قرار گرفته است چراکه مابقی ساختارهای جریان کاری نظیر حلقه، موازی و انتخاب می‌توانند از طریف روش هایی که در [۴] به آن‌ها اشاره شده است به مدل توالی تبدیل شوند.

به دلیل کاهش تاثیر امتیاز مقادیر در دامنه‌های مختلف جایی که پارامترهای کیفیت خدمت با مقدار بالا

تمایز آن‌هایی که دارای مقدار پایین هستند را در یک عملیات مشترک کاهش می‌دهند، نیاز به نرمال‌سازی مقادیر کیفیت خدمت وجود دارد [۱۶۱]. برای این منظور تابع $U(Q)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$U(Q) = \frac{\max(Q) - Q}{\max(Q) - \min(Q)} \quad (۱ـ۳)$$

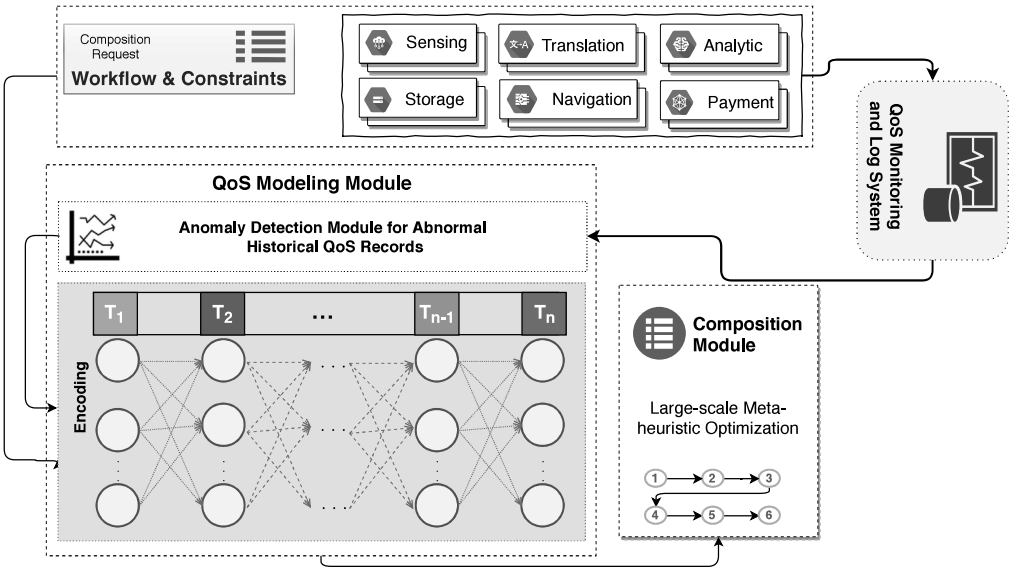
که در آن $U(Q)$ مقدار پارامترهای کیفیت خدمت نرمال‌شده را به هر $cs_i^j \in CS_i$ تخصیص می‌دهد.

محدودیت‌های کاربر مجموعه $B = \{b_{RTime}, b_{Avail}, b_{Reput}\}$ نشان‌دهنده محدودیت‌های کاربر است. به طور دقیق‌تر، این مجموعه محدودیت‌های مورد نظر کاربر برای خدمت ترکیبی نهایی شامل هزینه، زمان پاسخ، دسترس‌پذیری و محبوبیت را نگه می‌دارد. خدمت ترکیبی باید این محدودیت‌ها نظیر $\sum_{i=1}^{n} RTime(cs_i^j) \leq b_{RTime}$ را ارضا کند. تابع هدف مقدار هزینه را با توجه به این سه محدودیت کمینه می‌کند.

اوزان ویژگی‌های کیفیت خدمت مجموعه $W = \{\omega_{RTime}, \omega_{Avail}, \omega_{Reput}\}$ وزن هر کدام از پارامترهای کیفیت خدمت را تعریف می‌کند به طوریکه $\omega_{RTime} + \omega_{Avail} + \omega_{Reput} = ۱$. کاربر اوزان مورد نظرش را با توجه به دامنه کسب و کار تعیین می‌نماید. اوزان بر روی میزان برازندگی یک خدمت ترکیبی تاثیر می‌گذارند (برای مثال $U(\omega_{Reput}) * Reput(cs_i^j)$). برای یک دامنه کسب و کار حساس به زمان، ممکن است زمان پاسخ اهمیت بیشتری داشته باشد و برای دامنه دیگر میزان محبوبیت خدمات. در مورد اولی، وزنی که کاربر بر روی پارامتر زمان پاسخ می‌گذارد بیشتر است و در مورد دومی وزنی که بر روی ویژگی محبوبیت گذاشته می‌شود بیشتر خواهد بود.

ترکیب خدمت مبتنی بر کیفیت خدمت با کمک علائمی که در بالا تعریف شد، مسئله ترکیب خدمت می‌تواند به صورت رسمی به صورت زیر تعریف شود: برای یک جریان کاری داده شده T شامل n وظیفه و ζ_i خدمات نامزد برای هر t_i، مسئله ترکیب خدمت عبارت است از یافتن یک خدمت ترکیبی $CP = \langle s_1^{\xi_1}, s_2^{\xi_2}, \cdots, s_n^{\xi_n} \rangle$ برای T جایی که $s_i^{\xi_i} \in S_i$ ارائه‌دهنده خدمات انتخاب شده برای t_i است که مقدار تجمیعی نرمال‌شده هزینه و زمان پاسخ کمینه شده‌اند در حالی که دسترس پذیری و محبوبیت بیشینه خواهند شد به طوریکه محدودیت‌های سراسری کاربر ارضا خواهد شد.

۳ـ۲ـ۳ مدل مفهومی



شکل ۳ـ۳: مدل مفهومی ترکیب خدمت آگاه از ناهنجاری

مدل مفهومی ارائه شده در شکل ۳ـ۳ نمایش داده شده است. در این مدل مفهومی سه مؤلفه مختلف وجود دارد:

- مؤلفه *جریان کاری و محدودیت ها (Workflow and Constraints)* درخواست‌های ترکیب خدمات و همچنین خدمات تبلیغ شده (advertised services) و مقادیر کیفیت خدمت آنها را دریافت می‌کند. به طور معمول، یک درخواست ترکیب شامل مجموعه‌ای از کارها (جریان کاری) به همراه محدودیت/ترجیحات کاربر می‌باشد. علاوه بر این، شرکت های اینترنتی خدمات خود را به کارگزاران خدمات تبلیغ می‌کنند. کارگزار خدمات قرارداد سطح خدمت را در اختیار کاربران قرار می‌دهد و همچنین در طی انجام خدمت، انطباق با قرارداد سطح خدمت را نظارت می‌کند (با استفاده از سیستم نظارت و ثبت رخداد (QoS Monitoring and Log System) مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمت).

- مؤلفه *مدل‌سازی ویژگی‌های کیفیت خدمت (QoS Modeling)* به محاسبه سودمندی هر یک از خدمات نامزد بر مبنای مقادیر کیفیت خدمت آن خدمت می‌پردازد. این ماژول خود با استفاده از الگوریتم جنگل انزوا[1] ، که یک تکنیک تشخیص ناهنجاری مبتنی بر یادگیری ماشین است، سوابق پارامترهای کیفیت

[1] Isolation Forest

خدمت غیرطبیعی موجود را حذف می‌کند (در مورد تشخیص ناهنجاری پارامترهای کیفیت خدمت در بخش ۳ـ۲ـ۴ به تفصیل بحث شده است). این ماژول همچنین خدمات الزامی مورد نیاز را مطابق با جریان کار داده شده بر اساس گراف جهت‌دار بدون دور[۲] پارامترهای کیفیت خدمت را (با آگاهی از ناهنجاری) مدل‌سازی و جریان کار را رمزگذاری می‌کند (جزئیات بیشتر در بخش ۳ـ۲ـ۶ ارائه شده است).

- مؤلفه *ترکیب خدمات (Composition)* بهترین خدمت ترکیبی را از نظر ویژگی‌های کیفیت خدمت با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم مورچگان می‌یابد. بحث بیشتر بر روی این الگوریتم در ادامه ارائه شده است.

لازم به ذکر است مدل مفهومی ارائه شده، کلی است و قابلیت اعمال بر روی حوزه‌های مختلف کاربرد را داراست.

۳ـ۲ـ۴ مقادیر ویژگی خدمت آگاه از ناهنجاری

خدمات موجود در اینترنت ممکن است تحت تأثیر حجم کار سنگین سیستم [۳]، از کار افتادن موقت دستگاه و از کار افتادن شبکه [۴] قرار بگیرند [۵۸] که همه این مسائل منجر به بروز ناهنجاری در مقادیر موجود در پرونده های ثبت رخداد می‌شود. بنابراین، برای ساختن یک مدل دقیق کیفیت خدمت، تجزیه و تحلیل سوابق تاریخچه‌ای کیفیت خدمت برای از بین بردن ناهنجاری‌ها ضروری است. ما از الگوریتم جنگل انزوا[۵][۶۸]، به عنوان یک روش تشخیص ناهنجاری بدون نظارت برای مقابله با ناهنجاری‌ها استفاده کرده‌ایم. ناهنجاری‌ها، نقاط داده انحرافی یا غیرمعمول هستند. تشخیص ناهنجاری زمینه‌ای پربحث است و حجم زیادی از ادبیات چه در علم آمار و چه در حوزه علم داده به آن تخصصیص داده شده است. الگوریتم جنگل انزوا یک مجموعه از درختان تصادفی را برای یک مجموعه داده خاص ایجاد می‌کند. پس از اینکه این جنگل شکل گرفت، ناهنجاری‌ها، نقاطی با کمترین طول متوسط مسیر هستند [۶۸]. جنگل انزاوا، شاخصی با نام اندازه ناهنجاری را که به صورت *اندازه ناهنجاری* $= ۲^{-\frac{E(h(\chi))}{nc(n)}}$ تعریف می‌شود محاسبه می‌کند. در این شاخص، $h(\chi)$، تعداد

[2] directed acyclic graph (DAG)

[3] heavy system workload

[4] network failure

[5] Isolation Forest (IF)

یال‌های موجود در درخت برای یک نقطه داده‌ای خاص χ، $E(h(\chi))$ میانگین $h(\chi)$ در میان مجموعه‌ای از درختان انزوا و $c(n)$ ثابت نرمال سازی برای مجموعه داده‌ای به اندازه n است.

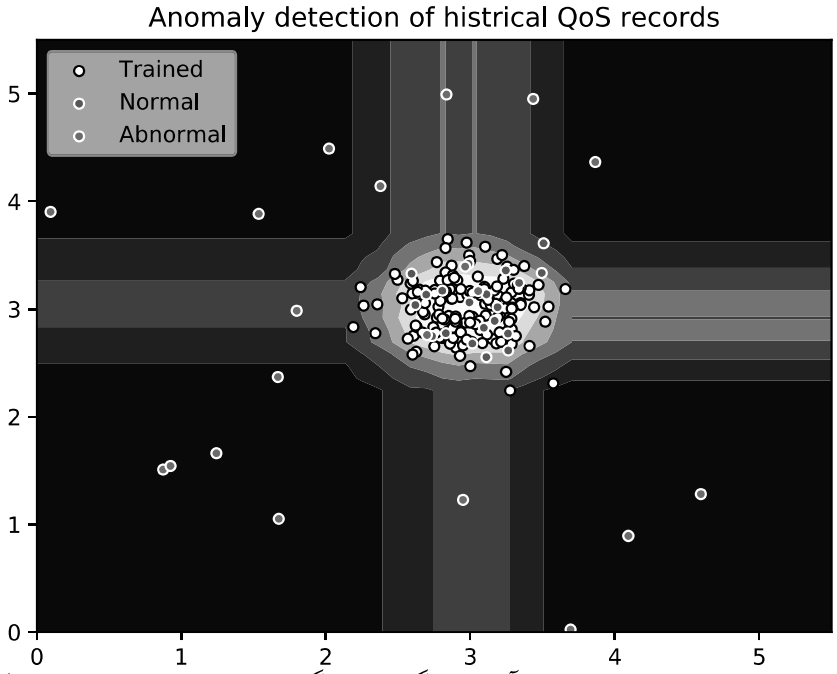
$$As \;\; E(h(\chi)) \rightarrow ۰, anomalyscore \rightarrow ۱ \qquad (۳ـ۲)$$

رابطه ۳ـ۲ نشان می‌دهد که همانطوری که میانگین تعداد یال‌های یک درخت به سمت صفر میل می‌کند، اندازه آنومالی نشان‌دهنده درجه بالاتری از ناهنجاربودن آن نقطه داده‌ای است. گره‌های درخت با کمک جداسازی نمونه‌ها بر مبنای انتخاب تصادفی ویژگی‌ها با نقاط جداسازی انتخابی تصادفی ساخته می‌شوند. به عبارت دیگر، الگوریتم جنگل انزوا مراحل زیر را دنبال می‌کند: ابتدا پارتیشن‌بندی (بخش‌بندی) تصادفی و بازگشتی از مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت انجام می‌شود که به صورت یک درخت تصادفی ارائه داده می‌شود. این مرحله آموزش است که در آن کاربر پارامترهای زیرنمونه و تعداد درختان را تعریف می‌کند. پس از اتمام پارتیشن‌بندی بازگشتی داده‌ها، ساخت درخت به پایان می رسد. این پارتیشن‌بندی تصادفی مسیرهای کوتاه‌تر قابل ملاحظه‌ای را برای ناهنجاری‌ها ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، پیش‌بینی می‌شود مسافتی که برای دستیابی به داده‌های ناهنجاری طی می‌شود بیشتر (دورتر) از داده‌های عادی باشد (احتمالاً آنها ناهنجاری هستند). برای محاسبه نمره ناهنجاری مسافت به طور متوسط و نرمال شده در نظر گرفته می‌شود.

دلایل زیادی برای استفاده از الگوریتم جنگل انزوا برای شناسایی ناهنجاری در مسئله ترکیب خدمت آگاه از کیفیت وجود دارد. اول اینکه فرض پایه‌ای الگوریتم انزوا این است که نقاط ناهنجاری اندک هستند و متفاوت [۷۷] و مظنون به انزوا؛ بنابراین، برای داده‌های بسیار کشیده شده[۶] [۵۲]بسیار مناسب است. به علاوه، ما از سیستم تشخیص ناهنجاری جنگل انزوا بهره برداری کردیم چرا که یک الگوریتم بدون نظارت است؛ به این معنی که برای شناسایی ناهنجاری‌ها در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت تاریخچه‌ای نیازی به برچسب ندارد. علاوه بر این، این روش تشخیص ناهنجاری با پردازش سبک نسبت به سایرین که به محاسبه مسافت یا چگالی می‌پردازند است [۶۹]. علاوه بر این، پیچیدگی زمانی خطی با یک ثابت و نیاز کم به حافظه، بهترین انتخاب برای خدمت‌های توزیع شده فضای چندابری است که تعداد خدمات می‌تواند به سرعت رشد کند (و بدیهی است مقادیر تاریخچه‌ای کیفیت خدمات هم که برای یافتن مقادیر ناهنجاری قرار است پردازش شوند رشد چشم‌گیری می‌کنند). همچنین، تنظیم پارامتر جنگل انزوا به سادگی، بر اساس دو پارامتر ورودی،

[6] highly skewed data

یعنی اندازه نمونه‌برداری فرعی و تعداد درختان است. پدیدآورندگان این الگوریتم مقادیر پیش فرض ۲۵۶ را برای زیرنمونه‌ها و ۱۰۰ را برای تعداد درختان پیشنهاد داده‌اند.



شکل ۳ـ۴: نمودار نمره ناهنجاری بدست آمده از الگوریتم جنگل انزوا برای مجموعه داده‌ای که منطبق بر توزیع گاوسی است

همانطوری که در شکل نشان داده شده است امتیاز ناهنجاری ۱، یعنی داده مورد نظر غیرعادی در نظر گرفته شده است. مقادیر نزدیک به صفر نیز نرمال در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین تصمیم بر روی اینکه یک داده غیرعادی است یا عادی با کمک این امتیاز انجام می‌شود (و این یعنی نیاز به برچسب برای داده‌ها وجود ندارد).

۳ـ۲ـ۵ مدل‌سازی ریاضی

ما مسئله ترکیب خدمت را به عنوان یک مدل بهینه‌سازی ریاضی مطابق با نمادهای مورد بحث در بخش ۳ـ۲ـ۲ مدل کرده‌ایم. معادلات ۳ـ۳ تابع هدف مساله ترکیب خدمت را تعریف می‌کند که عبارت است از انتخاب آن دسته از خدمات نامزد که سودمندی را حداکثر و محدودیت‌های کاربر را برآورده می‌کنند. در این پژوهش، از تکنیک جمع اوزان ساده برای تجمیع مقادیر ویژگی‌های کیفیت خدمات استفاده شده است.

پارامترهای ویژگی‌های کیفیت خدمت نیز با کمک داده‌های تاریخچه‌ای، پس از یافتن و حذف مقادیر غیرعادی (ناهنجاری‌ها) محاسبه شده‌اند. برای برآورده ساختن محدودیت‌های مورد نیاز کاربر بر روی ویژگی‌های کیفیت خدمت، معادلات ۳ـ۴ـ۳ـ۶ در نظر گرفته شده‌اند تا مدل را مجبور کنند که منطبق بر ترجیحات کاربر خدمت ترکیبی را نتیجه دهد. همچنین معادله ۳ـ۷ یک متغیر تصمیم‌گیری دودویی x_{ij} را تعریف می‌کند و تفسیر آن بدین گونه است که $x_{ij} = ۱$ اگر و تنها اگر cs_i^j انتخاب شده باشد برای انجام وظیفه t_i. توجه داشته باشید که x_{ij} باید معادله ۳ـ۸ را ارضا کند تا تضمین حاصل شود که مدل فقط یک خدمت را برای انجام یک وظیفه تخصیص می‌دهد.

$$\begin{aligned}\max \sum_{۱\le i\le n}\sum_{j\in Z} & x_{ij} * \omega_{cost} * U\big(Cost(cs_i^j)\big) + \\ & x_{ij} * \omega_{RTime} * U\big(RTime(cs_i^j)\big) + \\ & x_{ij} * \omega_{Avail} * U\big(Avail(cs_i^j)\big) + \\ & x_{ij} * \omega_{Reput} * U\big(Reput(cs_i^j)\big)\end{aligned} \tag{۳ـ۳}$$

s.t.

$$\sum_{۱\le i\le n}\sum_{j\in Z} U\big(RTime(cs_i^j)\big) * x_{ij} \le b_{RTime}\ \forall j \tag{۴ـ۳}$$

$$\prod_{۱\le i\le n}\sum_{j\in Z} U\big(Avail(cs_i^j)\big) * x_{ij} \ge b_{Avail}\ \forall j \tag{۵ـ۳}$$

$$\frac{۱}{n} * \sum_{۱\le i\le n}\sum_{j\in Z} U\big(Reput(cs_i^j)\big) * x_{ij} \ge b_{Reput},\ \forall j \tag{۶ـ۳}$$

$$\sum_{۱\le i\le n} x_{ij} = ۱, \quad \forall j \tag{۷ـ۳}$$

$$x_{ij} \in \{۰, ۱\}, \quad \forall i, j \tag{۳ـ۸}$$

$$۱ \leq j \leq \zeta_i, \ \zeta_i \in Z, \quad \forall i, \ \ ۱ \leq i \leq n \tag{۳ـ۹}$$

$$\omega_{cost} + \omega_{RTime} + \omega_{Avail} + \omega_{Reput} = ۱ \tag{۳ـ۱۰}$$

۳ـ۲ـ۶ کدگذاری جریان کاری و خدمات نامزد

در مرحله بعد، خدمات نامزد مطابق با جریان کار درخواست کننده در یک ساختار گرافیکی سبک مرتب می‌شوند. بنابراین، این ساختار سبک قادر است با توجه به استخر خدمات و مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت به سرعت به‌روز شود. برای این منظور، خدمات نامزد جریان کار داده شده با توجه به وابستگی مربوطه، در یک گراف بدون دور جهت‌دار کدگذاری می‌شوند. یک گراف جهت‌دار، گرافی است با جهت‌هایی که به یال‌های آن اختصاص یافته‌اند. گراف معمولا به صورت (V, E) نشان داده می‌شود که V و E به ترتیب نشان‌دهنده رأس‌ها و یال‌های گراف هستند. در گراف تشکیل‌شده برای ترکیب خدمت، رأس‌ها نمایانگر خدمات نامزد برای فراخوانی‌شدن برای انجام یک وظیفه هستند. همچنین یک یال از خدمت نامزد $s_i^{\xi_i}$ به $s_{i+۱}^{\xi_{i+۱}}$ کشیده می‌شود اگر اجرای $t_{i+۱}$ در جریان کاری T به اجرای t_i وابسته باشد. بدین ترتیب می‌توان ساختار توالی در جریان کاری را در ساختار گراف جهت‌دار بدون دور کدگذاری کرد. الگوریتم ۳ـ۱ مدل‌سازی ویژگی‌های کیفیت خدمت آگاه از ناهنجاری و کدگذاری جریان کاری را به صورت خلاصه تشریح می‌کند. گفتنی است که وزن روی یک یال که از $s_i^{\xi_i}$ به $s_{i+۱}^{\xi_{i+۱}}$ نشان‌دهنده مقدار تجمیع شده کیفیت خدمت مربوط به خدمت $s_{i+۱}^{\xi_{i+۱}}$ است. این اوزان از داده‌های تاریخچه‌ای کیفیت خدمت پس از حذف مقادیر غیرنرمال (ناهنجاری‌ها) بدست می‌آید.

۳ـ۲ـ۷ الگوریتم بهینه‌سازی ترکیب خدمات مبتنی بر کلونی مورچگان

به منظور حل مدل بهینه‌سازی ریاضی ارائه شده ۳ـ۳، یک الگوریتم مبتنی بر کلونی مورچگان برای ترکیب خدمات توزیع شده در فضای چندابری توسعه داده شده است (به نام ACFS). کلونی مورچه‌ها یک الگوریتم

الگوریتم ۳ـ۱ الگوریتم مدل‌سازی ویژگی‌های کیفیت خدمت آگاه از ناهنجاری و کدگذاری جریان کاری (AMWE)

Input : $T = (t_1, t_2, \cdots, t_n)$
$CS_i = \{cs_1^i, cs_2^i, \cdots, cs_i^{\zeta_i}\}$
$Q = \{cost, responseTime, availability, reputation\}$
$W = \{\omega_{cost}, \omega_{Rtime}, \omega_{Avail}, \omega_{Reput}\}$
Output : $CSGraph$: Candidate services and their QoS values structured as a DAG

$Q \leftarrow$ **AnomalyDetectionAndFiltering**(Q)
foreach $cs_i^j \in CS_i$ **do**
  $ucs_i^j \leftarrow \omega_{cost} * U(Cost(cs_i^j)) + \omega_{Rtime} * U(RTime(cs_i^j)) + \omega_{Avail} * U(Avail(cs_i^j)) + \omega_{Reput} * U(Reput(cs_i^j))$ `/* Aggregated QoS values utility */`
end
$startNode \leftarrow \varnothing, endNode \leftarrow \varnothing$
while *task* t_i *in* T **do**
  if $startNode \neq 0$ **then**
    foreach *candidate service* s_1^j *in* CS_1 **do**
      $(start, cs_1^j) \leftarrow ucs(cs_1^j)$ `/* the edge between start node to candidate services for first task */`
    end
    $startNode \leftarrow true$
  end
  if $endNode \neq 0$ **then**
    foreach *candidate service* cs_n^j *in* CS_n **do**
      $(cs_n^j, end) \leftarrow \epsilon$ `/* the edge between candidate services for end task to end node */`
    end
    $endNode \leftarrow true$
  end
  foreach *candidate service* cs_i^j *in* CS_i **do**
    foreach *candidate service* cs_i^j *in* CS_{i+1} **do**
      $(cs_i^j, cs_{i+1}^j) \leftarrow ucs(cs_{i+1}^j)$
    end
  end
  $CSGraph \leftarrow append(CSGraph, (cs_n^j, cs_n^j))$
end
Set the utility value 0 to all other edges in $CSGraph$;
return($CSGraph$)

بهینه‌سازی است که از گروه مورچه‌های طبیعی هنگام کشف کوتاه‌ترین مسیر حرکت از لانه به یک منبع غذایی (با کمک دنباله‌های فرمون به جای گذاشته در مسیر) الهام گرفته شده است [۷۱]. هر مورچه به طور

تصادفی حرکت می‌کند و فرمون در مسیر به جای می‌گذارد. به جای گذاشتن فرمون روشی است که مورچه‌ها با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. مورچه‌ها مسیر مورچه‌های با اثر بیشتر از فرومون باقی مانده را تشخیص می دهند و تمایل به پیروی از آن دارند. بنابراین با افزایش فرمون در یک مسیر، احتمال انتخاب آن مسیر افزایش می‌یابد. ما از الگوریتم مبتنی بر کلونی مورچگان استفاده کرده‌ایم چرا که توان و عملکرد آن اثبات شده است [۱۴۸، ۱۲۵، ۱۴۰، ۱۳۱]. در الگوریتم ای.سی.اف.اس، مورچه‌های مصنوعی بر روی گراف طی مسیر می‌کنند (گراف حاصل از الگوریتم ۳ـ۱) تا طرح‌های ترکیب خدمت ممکن مختلف را ارزیابی کنند. در گراف ارائه شده، گره‌ها نشان‌دهنده خدمات تبلیغاتی نامزد و وزن‌های موجود بر روی یال‌ها، بیان کننده برازندگی (سودمندی) آن خدمت نامزد از منظر ویژگی‌های کیفیت خدمت هستند. هر مورچه در یک گره تصادفی قرار می‌گیرد. سپس مورچه تصمیم می‌گیرد بر اساس احتمالات محاسبه شده از میزان انباشتگی فرومون و اطلاعات اکتشافی، به کجا برود. مقدار $\tau(u,v)$ مقدار فرومون که در حال حاضر بر روی مسیر u تا v انباشته شده است را برمی‌گرداند. مقدار فرمون سطح برازندگی تاریخچه‌ای آن خدمت نامزدی را که توسط مورچه‌های دیگر در تکرارهای قبلی الگوریتم بررسی شده اند را تعیین می‌کند. مقدار $\eta(u,v)$ ارزش اطلاعات اکتشافی یال را ارائه می‌دهد. اطلاعات اکتشافی، امتیاز برازندگی برای خدمات نامزدی است که با استفاده از فرمول ۳ـ۱۱ محاسبه می‌شود که این بدان معناست که هر چه یک خدمت نامزد از ارزش مطلوب‌تری برخوردار باشد (از منظر ویژگی‌های کیفیت خدمت)، ارزش اکتشافی آن نیز بالاتر می‌رود.

$$\eta(u,v) = \omega_{cost} * U\big(Cost(cs_v^{\xi_i})\big) + \omega_{RTime} * U\big(RTime(cs_v^{\xi_i})\big) + \omega_{Avail} * U\big(Avail(cs_v^{\xi_i})\big) + \omega_{Reput} * U\big(Reput(cs_v^{\xi_i})\big) \qquad (۳ـ۱۱)$$

هر مورچه تلاش می‌کند از طریق یافتن بهترین خدمات نامزد یکی پس از دیگری، یک طرح ترکیب خدمت را پیدا کند. پس وقتی مورچه‌ای بهترین خدمت نامزدی را برای کار t_i پیدا کند، حالا باید بهترین نامزد را در CS_{i+1} برای کار $t+1$ پیدا کند. بنابراین در معادله ۳ـ۱۲، عبارت $p_{u,v}^k(\theta)$ احتمال این است که kامین مورچه یک خدمت نامزد را برای کار بعدی انتخاب کند وقتی که مورچه در خدمت نامزد u برای وظیفه t_i است و سعی می‌کند خدمت نامزد v برای وظیفه t_{i+1} در زمان θ پیدا کند. از آنجا که هر خدمت نامزدی فقط می‌تواند به یک کار اختصاص داده شود (بر اساس معادله ۳ـ۷)، مجموعه کلیه خدمات نامزد باقیمانده که

باید برای t_{i+1} بررسی شوند با عبارت $allowed_k$ مشخص می‌شوند.

$$p_{u,v}^{k}(\theta) = \begin{cases} \frac{\left[\tau_{u,v}(\theta)\right]^{\alpha} * \left[\eta_{u,v}\right]^{\beta}}{\sum_{s \in allowed_k} \left[\tau_{u,s}(\theta)\right]^{\alpha} * \left[\eta_{u,s}\right]^{\beta}}, v \in allowed_k \\ ۰, \quad otherwise \end{cases} \qquad (۱۲ـ۳)$$

در معادله ۳ـ۱۲، پارامترهای α و β دارای یک مقدار ثابت در ابتدای اجرا هستند و به ترتیب، اهمیت نسبی انباشتگی فرومون و اطلاعات اکتشافی را تعیین می‌کنند. با استفاده از α و β، ای.سی.اف.اس قادر به تنظیم درجه همگرایی (بهره‌برداری)، یعنی با استفاده از آخرین بهترین طرح ترکیب خدمت با توجه به میزان فرمون روی یال‌ها، و درجه واگرایی (اکتشاف)، یعنی پیدا کردن یک طرح ترکیب خدمت جدید مطابق با مجموعه خدمات نامزد است.

الگوریتم ۳ـ۲ الگوریتم ای.سی.اف.اس برای یافتن طرح ترکیب خدمت نزدیک‌ـبه‌ـبهینه

Input : $CSGraph$: Candidate services and their (Anomaly-removed) QoS values structured in a DAG using ***AMWE*** algorithm

Parameter: $maxIter$: maximum number of iterations, $nAnt$: number of ants, α, β: relative importance between global and heuristic information, ρ: the evaporation rate

Output : BCP: best composite plan

Initialize using $CSGraph$

while $maxIter$ **do**

  Randomly position $nAnt$ artificial ants on some nodes `/* Each node presents a typical candidate service */`

  foreach $ant = 1$ *to* $nAnt$ **do**

    ant Builds a composite plan gradually by adding a candidate service `/* select candidate services one after the other for each task in a workflow with probability` $p_k(u,v)$ `*/`

  end

  Decay pheromone levels over time w.r.t ρ

  Pheromone is lain with strength depending on how much the composite plan is good `/* apply the global pheromone updating rule */`

  BCP = the best composite plan obtained so far

end

return(BCP)

چارچوب الگوریتم ای.سی.اف.اس همانطور که در الگوریتم ۳ـ۲ به تصویر کشیده شده است اینگونه است که: وقتی همه مورچه‌ها خدمات نامزد موردنظر را برای همه کارهای جریان کاری انتخاب کردند و یک خدمت ترکیبی (طرح خدمت ترکیبی) را ساختند، به روزرسانی فرمون جهانی (سراسری) طبق معادله ۳ـ۱۳ اتفاق می‌افتد. این بدان معنی است که سطح فرمون فعلی در تمام پیوندها کاهش می‌یابد (یعنی سطح فرمون به مرور زمان تبخیر می‌شود). فرمون توسط هر مورچه به صورت زیر قرار داده می‌شود: فرمون را بر روی تمام پیوندهای طرح ترکیب خدمت بدست آمده بسته به برازندگی طرح ترکیب خدمت قرار داده می‌شود.

$$\tau_{u,v}(\theta+۱) = (۱-\rho) * \tau_{u,v}(\theta) + \sum_{s=۱}^{nAnt} \Delta\tau_{u,v}^{k}(\theta), \forall(u,v)$$

$$\Delta\tau_{u,v}(\theta)^{k} = \begin{cases} \frac{۱}{au^{k}(\theta)}, & k \text{ ant by used is } (u,v) \text{ path if,} \\ ۰, & \text{otherwise.} \end{cases} \qquad (۱۳ـ۳)$$

جایی که $\rho \in [۰, ۱]$ پارامتری است که میزان تبخیر را کنترل می‌کند، و $au^{k}(\theta)$ مقدار تجمیع شده کیفیت خدمت (برازندگی) طرح ترکیب خدمت بدست آمده است. کل فرآیند بالا تا زمانی که ای.سی.اف.اس به شرایط خاتمه برسد تکرار خواهد شد.

۳ـ۳ مدل ترکیب خدمت استوار

۳ـ۳ـ۱ شرح مساله

معماری ریزخدمت [۷] نوعی از معماری خدمت‌محور [۸] سنتی است که با تشکیل مجموعه‌ای از خدمت‌های مستقل و ریزدانه، نرم‌افزار کاربردی را ایجاد می‌کند [۷]. اصطلاح ریزدانه به معنای آن است که هر خدمت وظیفه خاص و از پیش تعریف شده‌ای مانند گزارش دمای یک نقطه یا موجودی یا وضعیت یک کالا در انبار را بر عهده دارد. علاوه بر این، پارامترهای کیفیت خدمات نیز در کنار وظیفه یک خدمت مطرح می‌شود

[7] Microservices-based Architecture (MSA)

[8] service-oriented architecture

که عملکرد یک خدمت را از نظر در دسترس بودن، امنیت، قابلیت اطمینان و زمان پاسخگویی توصیف می‌کند. از آنجا که چندین خدمت می‌توانند عملکرد مشابهی را انجام دهند، البته با پارامترهای کیفیت خدمت متفاوت، مسئله ترکیب خدمات برای یافتن مجموعه‌ای بهینه از خدمات ابری برای خودکارسازی جریان کار در یک فرایند تجاری به یک چالش اساسی تبدیل می‌شود. در ادبیات، تعداد زیادی از پژوهش‌ها برای رفع این چالش اختصاص یافته‌اند؛ البته با این فرض که مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت تبلیغ شده قطعی هستند (یعنی فرض می‌کنند که مقادیر تبلیغی پارامترهای کیفیت خدمت ارائه دهندگان خدمات با گذشت زمان تغییر نمی‌کند) [۵۰، ۱۵۹، ۴۵]. با این حال، در واقعیت، عواملی مانند بار ایستگاه کاری، خرابی سخت‌افزارها، تغییرات توپولوژیکی شبکه، ازدحام در شبکه و حتی تغییر در خط مشی‌های اقتصادی (مدل درآمدی فراهم کننده خدمات) و سیاسی باعث عدم قطعیت در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت می‌شوند [۱۲۲، ۱۸، ۹۴].

به علاوه، اگرچه مفاهیمی مانند رایانش داوطلبانه[9] [۳۲]، ابرهای متحدشده [۱۰۸]، استفاده حداکثری از منابع ماشین مجازی[10] [۱۰۱]، چنداجارگی[11] [۶۰] و تخصیص منابع آگاه از انرژی[12] [۱۴۹] به ارائه خدمات انعطاف‌پذیر کمک می‌کند، این قابلیت‌ها، می‌توانند منجر به ایجاد عدم قطعیت در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت شوند. به طور سنتی، یک واسطه‌گر خدمات که مسئولیت ترکیب خدمات را بر عهده دارد، خدمات ترکیبی را براساس مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت تبلیغ شده و محدودیت‌های کاربران ارائه می‌دهد. اما، به دلیل عدم قطعیت مقادیر کیفیت خدمت، این خدمت ترکیبی ممکن است محدودیت کاربر را نقض کند. در این شرایط واسطه‌گر خدمات مطابق توافق‌نامه سطح خدمات جریمه می‌شود [۹۹]. شکل ۳ـ۵ مقادیر واقعی ویژگی خدمت زمان پاسخ یک خدمت که توسط ۳۳۳ کاربر مورد استفاده (مشاهده) قرار گرفته است را نشان می‌دهد [۱۵۸، ۱۵۷]. این شکل نشان می‌دهد که کاربران مختلف می‌توانند زمان پاسخ متفاوتی برای یک خدمت واحد دریافت کنند. علاوه بر این، شکل ۳ـ۶ نشان می‌دهد که حتی برای یک کاربر واحد، مقدار ویژگی خدمت زمان پاسخ ممکن در برش‌های زمانی مختلف (در اینجا ۶۴ برش زمانی) بالا و پایین برود [13] (بی‌ثبات باشد).

اخیراً، برخی از مطالعات بر روی مسئله ترکیب خدمات در شرایط عدم قطعیت مقادیر ویژگی‌های کیفیت

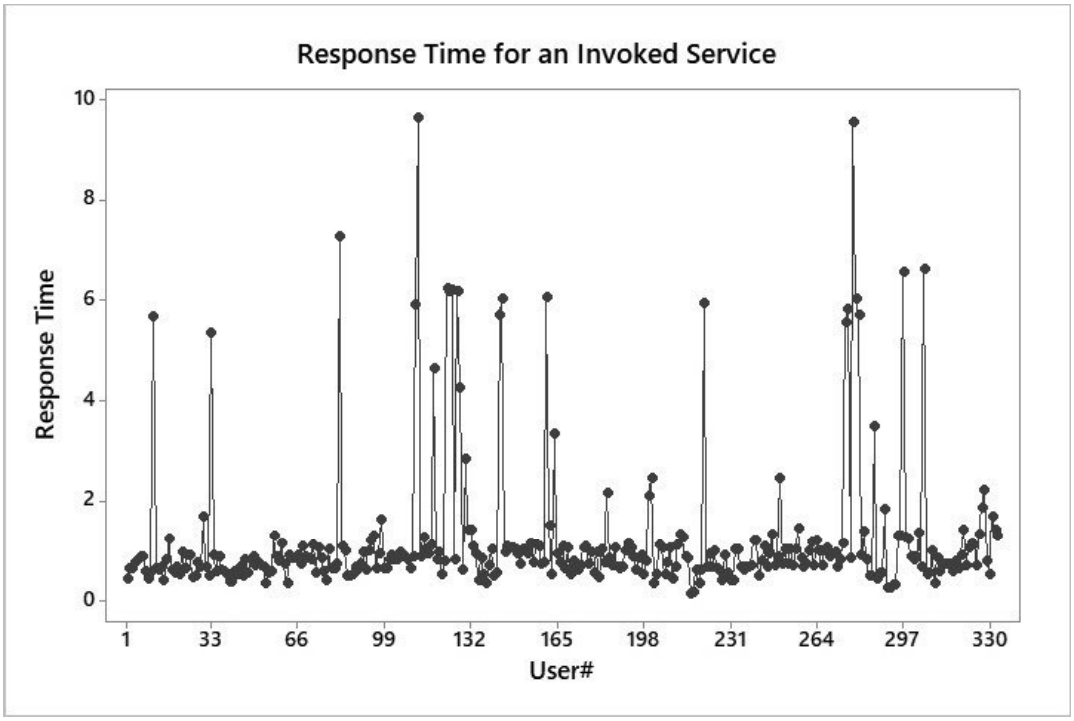
[9] Volunteer computing

[10] Federated Cloud

[11] Multi-tenancy

[12] energy-aware resource provisioning

[13] fluctuate



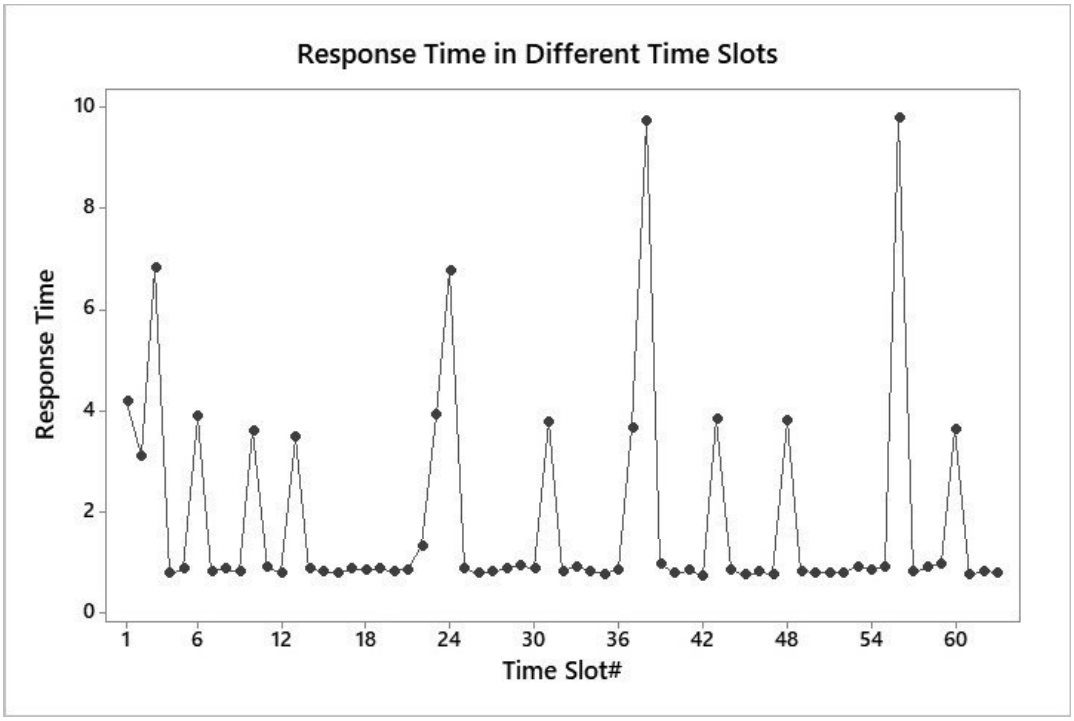
شکل ۳ـ۵: زمان پاسخ مشاهده شده توسط ۳۳۳ کاربر ـ شدت نوسانات در ویژگی زمان پاسخ (به ثانیه) برای یک خدمت داده شده. این داده‌های تاریخچه‌ای توسط جمع آوری شده است.

خدمت متمرکز شده‌اند. با این حال، دو محدودیت عمده با رویکردهای ترکیب خدمت فعلی وجود دارد:

۱. آنها فرض می‌کنند که سوابق تاریخچه‌ای کامل و قابل اطمینان از مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت برای کلیه خدمات وجود دارد. هرچند، در محیط پویای چندابری، خدماتی از ارائه‌دهندگان مختلف به وجود می‌آیند و به طور مکرر به شبکه می‌پیوندند یا شبکه را ترک می‌کنند. بنابراین، واسطه‌گر خدمت، تاریخچه کامل و قابل اطمینان در مورد یک خدمت جدید که اخیراً به شبکه پیوسته است، را ندارد. در نتیجه، شروع سرد و نادر بودن داده‌ها دو مشکل اساسی هستند که عملکرد این روش‌ها را تحت تاثیر منفی قرار می‌دهد.

۲. آنها تصور می‌کنند که مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت از توزیع آماری ثابت یا شناخته شده در طولانی مدت پیروی می‌کنند. به طور عملی، مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت ممکن است دقیقاً به یک تابع توزیع احتمال ثابت تکیه نداشته باشند [۱۵۳].

واضح است که این رویکردها در محیط پویا چندابری با شکست مواجه خواهند شد. در این پژوهش، با توجه



شکل ۳ـ۶: زمان پاسخ برای ۶۴ برش زمانی یک کاربر ـ شدت نوسانات در ویژگی زمان پاسخ (به ثانیه) برای یک خدمت داده شده. این داده‌های تاریخچه‌ای توسط جمع‌آوری شده است.

به عدم قطعیت در مقادیر کیفیت خدمت تبلیغ شده، یک ترکیب خدمت استوار با نام ای.آر.سی یا آرک ارائه می‌شود. آرک یک الگوریتم ترکیب خدمت سطح بالا را برای از حل بسیاری از این محدودیت‌ها فراهم می‌کند و باعث می‌شود فرآیند ترکیب کمتر با خطا مواجه شود. الگوریتم آرک بر اساس یک مدل خدمت انتزاعی ارائه‌دهنده خدمات نامزد، وظایف کاربر بیان شده در جریان کار، ترجیحات کاربر از نظر محدودیت ها، مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت تحت عدم قطعیت، یک مدل استوار برای ارائه خدمات ترکیبی و ساز و کار انطباق با استفاده از الگوریتم تشخیص ناهنجاری است. نوآوری‌های مدل پیشنهادی به صورت زیر خلاصه می‌شود:

۱. یک مدل بهینه‌سازی استوار ریاضی را برای مقابله با عدم قطعیت مقادیر کیفیت خدمت تحت محدودیت کاربران برای به حداقل رساندن هزینه ارائه شده است

۲. یک روش نوآورانه ریزدانه برای شناسایی میزان عدم قطعیت در خدمات با استفاده از روش مبتنی بر جنگل انزوای بدون نظارت، ارائه شده است

۳. یک پارامتر انعطاف‌پذیر به نام درجه حفاظت معرفی می‌شود که به تصمیم گیرندگان اجازه می‌دهد مصالحه بین استواری راه‌حل و بهینگی را کنترل کنند.

۳ـ۳ـ۲ علائم به کار رفته در مدل

۳ـ۳ـ۳ مدل مفهومی

شکل ۳ـ۷، مدل مفهومی ارائه شده برای حل مسئله ترکیب خدمت تحت عدم قطعیت پارامتر کیفیت خدمت زمان پاسخ را نشان می‌دهد. چهار مؤلفه اصلی این مدل عبارت‌اند از:

- مؤلفه *درخواست ترکیب انتزاعی* که به فرمول‌بندی یک جریان کاری کسب و کار به عنوان مجموعه‌ای از خدمات انتزاعی می‌پردازد. یک خدمت انتزاعی می‌تواند با فراخوانی یک خدمت نامزد برای انجام وظیفه t_i مربوطه انجام می‌پذیرد. علاوه بر این، برای خدمت ترکیبی نهایی نیز، کاربر محدودیت کیفیت خدمت مورد نیاز خود را ارائه می‌دهد. در نتیجه، این مولفه، یک سند شامل خدمات مورد نیاز و محدودیت‌های کیفیت خدمت متناظر را آماده می‌کند.

- مؤلفه *خدمات نامزد با کیفیت خدمت تبلیغ‌شده* مسئول یافتن خدمات مشخصی است که توسط شرکت‌های نرم‌افزاری برای انجام هر خدمت انتزاعی توسعه یافته است. در واقع، شرکت‌ها چندین خدمت ابری را با عملکردی یکسان و مقادیر مختلف کیفیت خدمت تبلیغ می‌کنند. خروجی این مؤلفه فهرستی از خدمات نامزد است که برای هر خدمت انتزاعی تهیه می‌شود.

- مؤلفه *ترکیب خدمت استوار* مسئول مدل‌سازی مسئله ترکیب خدمت بر مبنای مدل بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم است. این مولفه مرکزی، خود از زیرمؤلفه‌های مقدار اختلال و درجه حفاظت، به ترتیب، برای تنظیم پارامترهای $\hat{a}_{ij}$ و Γ استفاده می‌کند. جزئیات این مولفه در بخش ۳ـ۳ـ۴ ارائه شده است.

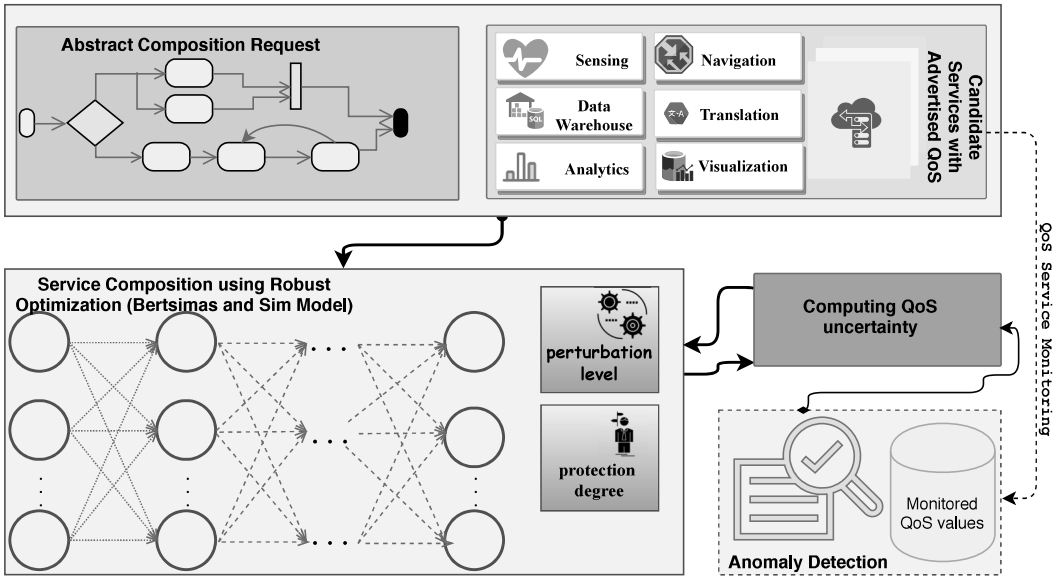
- مؤلفه *محاسبه عدم قطعیت پارامترهای کیفیت خدمت به یافتن مقدار اختلال مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت می‌پردازد. این مؤلفه از داده‌های کیفیت خدمت جمع‌آوری شده بهره می‌برد. این داده‌ها از سامانه‌های نظارتی استخراج می‌شوند. همچنین این مولفه از جنگل انزوا، که یک روش*

جدول ۳ـ۲: جدول علائم به کار رفته

علائم	توضیحات
t_i	iامین وظیفه در جریان کاری داده شده
T	مجموعه‌ای از وظایف t_i که درون یک جریان کاری قرار گرفته‌اند
N	تعداد کل وظایف موجود در یک جریان کاری داده شده
m_i	تعداد خدمات نامزد برای انجام وظیفه t_i
M	مجموعه تعداد خدمات نامزد (m_i)
S_i	مجموعه خدمات نامزد برای iامین وظیفه
s_i^j	jامین خدمت نامزد برای انجام وظیفه iام
Q	مجموعه پارامترهای کیفیت خدمت
L	تعداد پارامترهای کیفیت خدمت
B	مجموعه محدودیت‌های کاربر برای پارامترهای کیفیت خدمت
b_{RTime}	حداکثر زمان پاسخ مجاز برای خدمت ترکیبی
$Cost(s_i^j)$	تابعی برای بدست آوردن قیمت خدمت s_i^j
$RTime(s_i^j)$	تابعی برای بدست آوزدن مثدار زمان پاسخ خدمت s_i^j
x_{ij}	متغیر دودویی نشان‌دهنده انتخاب یا عدم انتخاب خدمت نامزد s_i^j
Γ	درجه محافظت (محافظه کاری)
χ	یک نقطه داده‌ای در درخت جنگل ایزوله سازی
$h(\chi)$	تعداد یال‌های درخت برای یک نقطه داده‌ای χ
$E(h(\chi))$	میانگین $h(\chi)$ از یک مجموعه درختان ایزوله
$nc(n)$	ثابت نرمالسازی برای یک مجموعه دادهای با اندازه n
a_{ij}	مقدار کیفیت خدمت تبلیغ شده (مقدار اسمی) برای خدمت s_i^j
$\hat{a_{ij}}$	مقدار اختلال برای خدمت s_i^j
J_i	مجموعه ضرایبی که مرتبط هستند با پارامترهای عدم قطعیت (دارای عدم قطعیت هستند)
Z	تابع هدف (برای کمینه سازی هزینه)
c	ضرایب تابع اهداف (هزینه خدمات)
ζ	متغیر دوگان استفاده شده در فرمول کردن به روش برتسیماس و سیم
p_{ij}	متغیر دوگان استفاده شده در فرمول کردن به روش برتسیماس و سیم
y_j	ارائه‌دهنده مقدار قدر مطلق $\|x^*{}_j\|$ as $-y_j \leq x_j \leq y_j$
Δ	دوره زمانی بین گام های انطباق
Υ	نرخ شناسایی داده‌های آنومالی در مجموعه داده‌ای
μ_i^j	مانگین مقدار داده‌های تاریخچه‌ای خدمت s_i^j پس از حذف مقادیر آنومالی
σ_i^j	انحراف معیار داده‌های تاریخچه‌ای خدمت s_i^j پس از حذف مقادیر آنومالی

شناسایی آنومالی مبتنی بر یادگیری ماشین است بهره می‌برد. جزئیات این مؤلفه در بخش ۳ـ۳ـ۵ فراهم شده است.

شایان ذکر است که مدل پیشنهادی کلی است و می‌تواند در طیف وسیعی از کاربردها به کار بسته شود.



شکل ۳ـ۷: معماری مدل ترکیب خدمت استوار آگاه از ناهنجاری (آنومالی)

۳ـ۳ـ۴ مدل ریاضی

به منظور غلبه بر مشکل عدم قطعیت در مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت، در این پژوهش از رویکرد بهینه‌سازی استوار *برتسیماس و سیم* [۱۴] در مسئله ترکیب خدمات بهره‌برداری می‌شود. *بهینه‌سازی استوار* یک تکنیک مدل‌سازی ریاضی برای حل مسائل بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت داده‌ها است [۱۲]. علت انتخاب این رویکرد در این پژوهش این است که برخلاف رویکرد احتمالی، در صورت عدم وجود داده‌های تاریخچه‌ای کامل و قابل اطمینان، هنوز هم می‌توان یک خدمت ترکیبی استوار را یافت. رویکرد مبتنی بر *برتسیماس و سیم* به یک پارامتر $\hat{a}$ متکی است که می‌تواند توسط یک متخصص حتی با داده‌های تاریخچه‌ای ناقص و غیر قابل اعتماد تعیین شود. یکی دیگر از مزیت‌های بهینه‌سازی استوار، استقلال آن در برابر پیش فرض‌های خاص (مانند توزیع احتمال منحصر به فرد) در عدم قطعیت پارامترهای کیفیت خدمت است [۸۹]. علاوه بر این، این رویکرد تلاش می‌کند تا از طریق تنظیم انعطاف‌پذیر سطح محافظه‌کاری، راه‌حل‌های استواری را از طریق پارامتری به نام درجه *حفاظت*، در مصالحه بین بهینگی و استواری برقرار کند. معادله ۳ـ۱۴ که از پژوهش [۱۴] ناشی می‌شود، روش بهینه‌سازی استوار مبتنی بر *برتسیماس و سیم* را فرمول‌بندی می‌کند.

$$
\begin{aligned}
&minimize \quad c^T x \\
&subject\ to \quad \sum_j a_{ij}x_j + \zeta_i\Gamma_i + \sum_{j\in J_i} p_{ij} \le B_i \quad \forall i \\
&\qquad \zeta_i + p_{ij} \ge \hat{a}_{ij}y_j \quad \forall i,\ j \in J_i \qquad (۱۴ـ۳) \\
&\qquad -y_j \le x_j \le y_j \\
&\qquad \zeta_i,\ p_{ij},\ y_j \ge ۰
\end{aligned}
$$

در این معادله، c ضریب تابع هدف و یا به عبارتی هزینه استفاده از خدمت s_{ij}، B بردار محدودیت کاربر بر روی پارامترهای کیفیت خدمت مانند زمان پاسخ تجمیع شده و x متغیر دودویی برای تعیین انتخاب یا عدم انتخاب خدمت s_{ij} است. در صورتی که x^* جواب بهینه معادله ۳ـ۱۴ باشد، در این حالت، به وضوح عبارت برقرار است $y_j = |x^*_j|$؛ بنابراین در معادله، عبارت $-y_j \le x_j \le y_j$ به صورت $|x^*_j|$ ارائه می‌شود. همچنین، عبارت‌های ζ و p_{ij} متغیرهای دوگان استفاده شده در فرمول‌بندی روش برتسیماس و سیم است (و به سناریوهای مورد استفاده وابسته نیستند). اطلاعات بیشتر درباره رویکرد بهینه‌سازی استوار *برتسیماس و سیم* می‌تواند در پژوهش [۱۴] یافت شود. عبارت J_i مجموعه ضرایب $\mathrm{i}a_{ij}, j \in J_i$ است (یعنی مقادیر کیفیت خدمت) که در عدم قطعیت هستند. این بدین معنی است که تنها پارامترهایی که در این مجموعه هستند اجازه دارند تا تغییر کنند و مقداری در بدترین حالت خود بگیرند. به طور دقیق تر، به این پارامترها اجازه داده می‌شود تا مقادیری در بازه $[a_{ij} - \hat{a}_{ij}, a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ بگیرند جایی که a_{ij} مقدار کیفیت خدمت تبلیغ شده (یا مقدار اسمی) است و $\hat{a}_{ij}$ مقدار اختلال است. برای مثال، مجموعه $J_i = \{۱, ۴, ۵, ۷\}$، $|J_i| = ۴$ را در نظر بگیرید. این مجموعه نشان‌دهنده این است که پارامترهای اول، چهارم، پنجم و هفتم سطر iام از ماتریس ضرایب (در اینجا مقادیر پارامتر کیفیت خدمت) عدم قطعیت دارند. ایده اصلی این رویکرد، توانایی کنترل درجه محفاظت است. درجه محاظت، تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا از میان یک طیف از پاسخ‌ها، یعنی از ریسکی‌ترین تا محافظه‌کارانه‌ترین پاسخ‌ها، یک پاسخ را انتخاب نماید. این ویژگی از وجود پارامتری به نام درجه محفاظت یا Γ نشأت می گیرد. پارامتر Γ_i لزوما از نوع عدد صحیح نخواهد بود و می‌تواند هر مقداری را در بازه $[۰, |J_i|]$ بگیرد. این پارامتر در حقیقت به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا

تعداد پارامترهایی که از مجموعه J_i باید بدترین مقدار خود را بگیرند تعیین کنند. برای مثال اگر $\Gamma = ۲/۶$ باشد، این بدین معنا است که دو پارامتر موجود در مجموعه J_i اجازه دارند تا بدترین مقدار خود را بگیرند و یک پارامتر دیگر، فرض کنید به نام a_{it_i}، می‌تواند به اندازه $[(\Gamma_i - \lfloor \Gamma_i \rfloor) * \hat{a}_{it_i}]$، یا همان $۰/۶\hat{a}_{it_i}$ تغییر کند. مقدار $\hat{a}_{ij}$ می‌تواند به صورت تجربی از داده‌های تاریخچه‌ای کیفیت خدمت موجود (که لزوما کامل و قابل اطمینان نیستند) بدست آیند. به وضوح مشخص است که اگر $\Gamma = ۰$، مدل به حالت ترکیب خدمت در شرایط قطعیت تبدیل می‌شود (چرا که هیچ‌کدام از پارامترها اجازه گرفتن بدترین مقدار خود را ندارند)؛ همچنین، اگر $\Gamma = |J_i|$ قرار داده شود، تمامی مقادیر کیفیت خدمت مجبور هستند تا بدترین مقدار خود را بگیرند.

بر مبنای معادله ۳ـ۱۴، مدل ترکیب خدمت آگاه از کیفیت خدمت استوار برای N وظیفه، $m_i \in M$ خدمت نامزد و عدم قطعیت حول مقادیر زمان پاسخ در معادله ۳ـ۱۵ تعریف می‌شود. با حل معادله ۳ـ۱۵ با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط، یک خدمت ترکیبی استوار با توجه به محدودیت‌ها بدست می‌آید. گفتنی است که در این معادله، پارمتر Γ_i درجه محافظت را تنظیم می‌کند (یعنی میزان ریسک حول خدمت ترکیبی). با استفاده از این پارامتر، تصمیم‌گیر می‌تواند مصالحه بین بهینگی و استواری را برقرار نماید. در بخش ؟؟، نشان داده خواهد شد که چگونه تغییر بر روی این پارامتر بر بهینگی اثر می‌گذارد.

$$Z = min \sum_{۰ \leq i \leq N} \sum_{j \in M} x_{ij} * Cost(s_i^j)$$

$$Subjected\ to$$

$$\sum_{۰ \leq i \leq N} \sum_{j \in M} RTime(s_i^j) * x_{ij} + \zeta * \Gamma + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} p_{ij} \leq b_{RTime}$$

$$\zeta + p_{ij} \geq \hat{a_{ij}} * x_{ij} \quad \forall i, j \in J_i$$

(۱۵ـ۳)

$$\sum_{۰ \leq i \leq N} x_{ij} = ۱ \quad \forall j \in M$$

$$x_{ij} \in \{۰, ۱\}$$

$$۰ \leq i \leq N, \qquad ۰ \leq j \leq m_i$$

$$p_{ij} \geq ۰, \qquad \zeta \geq ۰$$

راه حل پیشنهادی سعی دارد در شرایط تحقق پارامترهای نامشخص و بدون فرض توزیع در پارامترهای غیرقطعی، عملکرد "قابل قبولی" ارائه دهد. برای این منظور، محدوده دامنه اختلال پارامترهای غیرقطعی با استفاده از داده‌های موجود تعریف شده است. بهینه‌سازی استوار فقط به حداکثر و حداقل مقادیر موجود پارامترهای غیرقطعی ــ که معمولاً در دسترس هستندــ نیاز دارد. شایان ذکر است که در حالی که رویکردهای احتمالی به داده‌های تاریخچه‌ای معتبر و کامل نیاز دارند تا توزیع مناسب برای مدل‌سازی پارامترهای کیفیت خدمت ارائه دهند [۸۸، ۱۴، ۱۵]، رویکرد بهینه‌سازی استوار، برای یک پارامتر کیفیت خدمت داده شده نیاز به محدوده آن (حداکثر و حداقل مقدار) دارد که به راحتی حتی از داده‌های تاریخچه‌ای ناکافی نیز می‌توان به دست آورد. علاوه بر این، برخلاف تخمین مقادیر کیفیت خدمت با کمک بدترین حالت و مدل‌سازی آن‌ها که منجر به راه‌حل‌هایی بسیار محافظه کارانه می‌شود، مدل بهینه‌سازی استوار با استفاده از ملاحظات زیر، مسئله محافظه‌کاری بیش از حد را برطرف می‌کند:

- در مدل ارائه شده مجموعه‌ای به نام J_i وجود دارد: این مجموعه ضرایب $a_{ij}, j \in J_i$ است که

تحت پارامترهای غیرقطعی (مقادیر غیرقطعی کیفیت خدمت) قرار دارد. این بدان معناست که از بین تمامی مقادیر کیفیت خدمت زمان پاسخ، فقط پارامترهای موجود در این مجموعه مجاز به تغییر و اخذ بدترین مقدار هستند [۱۳].

- و پارامتری به نام Γ_i وجود دارد. با استفاده از این پارامتر، رویکرد بهینه‌سازی استوار، تصمیم‌گیری‌ها را در تعیین سطح محافظه‌کار بودن، انعطاف پذیر می‌کند [۱۳]. این ویژگی به تصمیم گیرندگان کمک می‌کند تا از محافظت بیش از حد جلوگیری کنند. به عبارت دیگر، این پارامتر به تصمیم گیرندگان اجازه می‌دهد تا یک مصالحه بین استواری و بهینگی برقرار کنند.

نکته دیگری که در مدل بهینه‌سازی استوار ارائه شده برای ترکیب خدمت در شرایط چندابری در نظر گرفته شده است در نظر گرفتن میزان اختلال به صورت تطبیق پذیر با محیط عملیاتی است. بهینه‌سازی استوار معمولی، با یک میزان اختلال ثابت کار می‌کند، که از قبل تعیین می‌شود و بدون واکنش نسبت به تغییرات محیط عملیاتی بدون هیچ‌گونه سازگاری (انطباق)، ثابت می‌ماند. بدون در نظرگرفتن تغییرات محیطی در یافتن کارآمد یک میزان اختلال، مدل استوار ممکن است منجر به محافظه کاری بیش از حد شود. برای رفع این مشکل در مدل پیشنهادی میزان اختلال با کمک تحلیل داده‌های تاریخچه‌ای موجود تخمین زده شده است. در ادامه چگونگی تخمین میزان اختلال تشریح خواهد شد.

۳ـ۳ـ۵ یافتن مقدار اختلال

یک سوال اساسی این است که مدل پیشنهادی چگونه مقدار اختلال را در معادله ۳ـ۱۵ محاسبه می‌کند. در نظر بگیرید برای یک خدمت داده شده، مقادیر پارامتر کیفیت خدمت زمان پاسخ تاریخچه‌ای موجود بدین صورت باشد $\langle$۱٫۵, ۱٫۶, ۰٫۹, ۲, ۲٫۲, ۱۰, ۱٫۲$\rangle$. با توجه به بازه استواری $[a_{ij}-\hat{a}_{ij}, a_{ij}+\hat{a}_{ij}]$، واسطه‌گر خدمات باید یک مقدار به‌روز را برای $\hat{a}_{ij}$ در شرایط پویای محیط چندابری در نظر بگیرد. شرایط پویایی که خرابی سخت‌افزارها، اتصالات متناوب شبکه و پراکندگی دسترسی از عوامل اختلال غیرعادی در مقادیر کیفیت خدمت هستند. می‌توان نشان داد که مقدار ۱۰ ثانیه برای زمان پاسخ خدمت غیرطبیعی (آنومالی یا ناهنجاری) است. اگر واسطه‌گر، مقادیر غیرعادی را در محاسبه میزان اختلال در نظر بگیرد، تخمین بیش از حد صورت می‌گیرد. بنابراین، واسطه‌گر قادر به ارائه خدمات کارآمد ترکیبی برای درخواست‌کننده نیست. تحلیل داده‌های تاریخچه‌ای که در بخش ۳ـ۳ـ۱ ارائه شد ثابت می‌کند که نقاط داده‌ای غیرعادی (ناهنجاری) در ویژگی زمان

پاسخ وجود دارد که این نقاط، آنومالی (ناهنجاری) نامیده می‌شوند. در مدل پیشنهادی، به منظور از بین بردن اثرات ناهنجاری در مدل بهینه‌سازی پیشنهادی استوار، از روش تشخیص ناهنجاری مبتنی بر جنگل انزوا در *فاز انطباق با محیط* استفاده شده است [۶۸] که در بخش ۳ـ۲ـ۴ تشریح شد.

۳ـ۳ـ۶ الگوریتم آرک (ARC)

در حالی که رویکردهای احتمالی با این فرض شروع می‌شوند که عدم قطعیت دارای توصیفی احتمالی است، اما در رویکرد بهینه‌سازی استوار، تصمیم‌گیرنده راه‌حلی را تشکیل می‌دهد که برای هر تحقق عدم قطعیت در یک مجموعه داده شده با محدودیت مشخص امکان پذیر است [۱۳]. مزیت ترکیب خدمات مبتنی بر بهینه‌سازی استوار دو جنبه دارد: اول اینکه، این رویکرد با فرض اینکه عدم قطعیت دارای توصیف احتمالی مانند توزیع آماری خاص است، شروع نمی‌شود. دوم، یک رویکرد بهینه‌سازی استوار در تصمیم گیری تصمیم گیرندگان در تعیین سطح محافظه کاری انعطاف پذیر است [۱۳]. بهینه‌سازی استوار در شرایطی اعمال می‌شود که مدل باید نظر متخصصان را منعکس کند، در حالی که نمی‌تواند داده‌های آماری به اندازه کافی بزرگ را برای استفاده از روش مبتنی بر نظریه احتمال جمع آوری کند (زیرا بهینه‌سازی استوار فقط به مقادیر بازه، یعنی حداکثر و حداقل ویژگی کیفیت خدمت نیاز دارد، که این بازه هم می‌تواند حتی از سوابق ناقص تاریخچه‌ای هم استخراج شود). الگوریتم ۳ـ۳ سازوکار ترکیب خدمات استوار تطبیقی پیشنهادی این پژوهش را نشان می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی از چهار قسمت مختلف تشکیل شده است:

- ورودی‌ها: قسمت ورودی الگوریتم شامل وظایفی در یک گردش کاری معین T، محدودیت کاربر B، مجموعه خدمات نامزد S_i، مقادیر کیفیت خدمت Q، مجموعه ضرایبی که تحت پارامترهای عدم قطعی J_i قرار دارند و حداکثر میزان اختلال مجاز $\hat{a_{ij}}$ برای هر s_i^j که توسط تصمیم‌گیرنده (نظر کارشناسان) مشخص می‌شوند است.
- پارامترها: قسمت بعدی الگوریتم پارامترها را ارائه می‌دهد: درجه حفاظت Γ، مدت زمانی بین فازهای انطباق Δ و نرخ آلایش Υ که بیان کننده نسبت مقادیر ناهنجاری در مقادیر کیفیت خدمت ثبت شده است.
- خروجی: قسمت سوم الگوریتم پیشنهادی یک متغیر به نام RCS معرفی می‌کند، که خدمت ترکیبی (نزدیک به) بهینه را در خود نگه می دارد.

- عملیات: قسمت آخر شامل عملیات مختلفی از جمله رویکرد برتسیماس و سیم برای ساخت مدل، انتخاب خدمت برای ترکیب و تشخیص ناهنجاری برای بدست آوردن مقدار اختلال در هر فاز انطباق با محیط است.

در مرحله اول الگوریتم، متغیری به نام MQV برای ذخیره مقادیر کیفیت خدمت تحت نظارت اعلان می‌شود. مشاهده می‌شود که مقدار این متغیر روی هیچی تنظیم شده است. به عبارت دیگر، الگوریتم آرک می‌تواند عملیات خود را بدون نیاز به داده‌های تاریخچه‌ای آغاز کند. مقدار متغیر وضعیت $aHat$ به مقدار $\hat{a_{ij}}$ مقداردهی اولیه می‌شود که بیان کننده بیشینه مقدار مجاز اختلال برای هر یک از خدمات نامزد که بوسیله تصمیم‌گیر مشخص می‌شود است. شایان ذکر است که در حالی که رویکردهای احتمالی با فرض اینکه عدم قطعیت دارای توصیف احتمالی است یا دارای توزیع آماری خاص است، شروع می‌شود، در تصمیم‌گیری به روش بهینه‌سازی استوار یک راه‌حل را برای هرگونه تحقق عدم قطعیت در یک مجموعه داده شده با محدودیت مشخص تعیین می‌کند [۱۳]. عبارت *Broker.accept()* در خط ۳، درخواست‌های ترکیب خدمت ورودی را به طور پیوسته می‌پذیرد و آن‌ها را به صف *compositionRequestQueue* اضافه می‌کند. حلقه اصلی (خط ۴ تا ۲۱) تا زمانی که هیچ درخواست ترکیب خدمت دیگری وجود نداشته باشد ادامه می‌یابد. در هر تکرار، سه مرحله اصلی طی می‌شود: ۱) ساخت مدل بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم (خطوط ۵ تا ۸)؛ ۲) انتخاب خدمات برای ترکیب (خطوط ۹ تا ۱۵)؛ ۳) شناسایی ناهنجاری و فاز انطباق با محیط (خطوط ۱۶ تا ۲۰). در مرحله اول، اولین خط حلقه (خط ۵)، الگوریتم یک درخواست ترکیب خدمت را از صف بر می‌دارد و ورودی‌های مورد نیاز را از فیلدهای مختلف درخواست (مثل وظایف T، خدمات نامزد S_i و پارامتر Γ) استخراج می‌نماید. کدگذاری وظایف T و خدمات Q برای تشکیل ماتریس ضرایب با استفاده از مقادیر کیفیت خدمت Q عملیات بعدی است که انجام می‌شود. الگوریتم، سپس به فرمول‌بندی مؤلفه‌های مجموعه عدم قطعیت J_i، درجه حفاظت Γ و میزان اختلال $aHat$ که از رویکرد برتسیماس و سیم می‌آیند (طبق معادله ۳ـ۱۵) می‌پردازد. در نهایت (خط ۸)، الگوریتم مدل بهینه‌سازی استوار را بر مبنای خروجی مرحله (خطوط) ۶ و ۷ می سازد.

بر اساس شکل ۱ـ۱، زمانی که یک کاربر درخواست خدمت ترکیبی (بنامیم R) را ارسال می‌کند، سامانه ۱) خدمات در دسترس را از مخزن خدمات بازیابی می‌کند، ۲) یک خدمت ترکیبی تصادفی ایجاد می‌کند و آن را در متغیر RCS قرار می‌دهد، ۳) هزینه تجمیع شده خدمت ترکیبی را محاسبه می‌کند؛ و ۴) جستجو برای یک خدمت ترکیبی بهتر بر مبنای محدودیت‌های کاربر را آغاز می‌کند. به طور دقیق تر حلقه *foreach*

(خطوط ۱۰ تا ۱۴) برای هر درخواست ترکیب خدمت اجرا می‌شود. این حلقه داخلی به ارزیابی مستمر کلیه خدمات ترکیبی ممکن اشاره دارد. تابع $Cost$ یک خدمت ترکیبی را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و هزینه جمع شده خدمت ترکیبی فعلی را برمی‌گرداند. پس از ارزیابی تمامی حالت‌های ممکن، در خط ۱۵، خدمت ترکیبی (نزدیک به) بهینه استوار بدست می‌آید.

آخرین قسمت الگوریتم سعی دارد تا ساز و کار انطباق سیستم را فراهم کند (خطوط ۱۶ـ۲۰). پس از بدست آمدن خدمت ترکیبی برای درخواست R، الگوریتم با بررسی یک زمان‌سنج و مقایسه آن با Δ، بررسی می‌کند که آیا زمان انطباق با محیط فرا رسیده است یا خیر. در این شرایط، اگر زمان تطبیق فرا رسد، ابتدا سیستم برای استفاده از داده‌های تاریخچه‌ای موجود به *زیر سیستم نظارت* (خط ۱۷) مراجعه می‌کند (در الگوریتم ما، متغیر MQV این داده‌ها را حفظ می‌کند). در مرحله بعدی، مقادیر کیفیت خدمت تاریخچه‌ای غیر عادی با استفاده از زیرسیستم *MQV IsolatedForest*) ، Υ) با میزان پالایش مشخص شده Υ ، از متغیر MQV حذف می‌شود. پارامتر Υ نسبت رکوردهای ناهنجار را که در شرف حذف هستند تعیین می‌کند. مقادیر کیفیت خدمت پاک‌سازی شده از ناهنجاری، در یک متغیر جدید $anomalyRemovedMQD$ (خط ۱۸) قرار می‌گیرند. برای مرحله انطباق، مقدار متغیر حالت $aHat$ با فراخوانی *aHatEstimator* ($anomalyRemovedMQV$) به‌روز می‌شود (خط ۱۹). این انطباق با محیط، پیکربندی سیستم را به طور مؤثر و کارآمد تنظیم می‌کند. این الگوریتم نه تنها با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار برتسیماس و سیم با عدم قطعیت مواجهه می‌کند، بلکه میزان اختلال را به صورت دوره‌ای با توجه به بازه زمانی Δ تنظیم می‌کند. اگر دقت در یک سیستم اهمیت فراوانی داشته باشد، می‌توان این پارامتر را روی مقدار کمتری تنظیم کرد که باعث افزایش تعداد فراخوانی‌های زیر سیستم تشخیص ناهنجاری می‌شود.

۳ـ۴ جمع‌بندی

در این فصل با توجه به نقاط ضعف و قوت موجود در ادبیات، دو مدل ارائه گردید:

۱. مدل ترکیب خدمت آگاه از ناهنجاری

۲. مدل ترکیب خدمت استوار

در مدل مدل ترکیب خدمت آگاه از ناهنجاری، مؤلفه کلیدی تحلیل داده، به یافتن ناهنجاری در سوابق

الگوریتم ۳ـ۳ تشریح الگوریتم آرک

input : $T = (t_1, t_2, ..., t_N)$: T is a workflow including N tasks
$B = (b_{RTime}, b_{Avail}, b_{Reput})$: B is user's constraints
$S_i = \{s_i^1, s_i^2, ..., s_i^{m_i}\}$: $s_i^j \in S_i$ presents jth candidate service for performing the ith task
$Q = \{q_1, q_2, ..., q_K\}$: Q defines the QoS values for s_i^j
J_i: Set of coefficients which are subject to uncertain parameters
$\hat{a_{ij}}$: Maximum allowed amount of perturbation for each s_i^j identified by decision maker (experts' opinion)
param: Γ: Protection degree,
Δ: The time period between adaption phases,
Υ: Contamination rate, i.e., the proportion of outliers in monitored QoS values
output: RCS: The resulted robust composite service

$MQV \leftarrow \varnothing$ /* At the start point, we do not have any monitored QoS values */
$aHat_{ij} \leftarrow \hat{a_{ij}}$ /* As the system continues working, the value of the state variable $aHat$ will be updated gradually */
$compositionRequestQueue.enqueue($Broker.$accept())$
while *compositionRequestQueue* $!=$ *Empty* **do**
  $compositionRequestQueue.dequeue()$ /* Picking up a composition request and extracting required inputs and parameters from it */
  $coefMat \leftarrow$ Encoding tasks of T and services of S_i into coefficient matrix using QoS values of Q
  $BertSim \leftarrow$ Formulate the parameters: uncertainty set of J_i, protection degree of Γ, and perturbation rate of $aHat$, which come from the $BertsimasandSim$ approach
  $Model \leftarrow$ Construct the robust optimization model based on the $coefMat$ and $BertSim$
  Initialize RCS using a set of arbitrary services to form a composite service
  foreach $model \in Model$ **do**
    if *Cost(model) <Cost(*RCS*)* **then**
      $RCS \leftarrow model$ /* Evaluate the the solution based on objective function of $Cost(S_i)$ and constraint B */
    end
  end
  Print (RCS) /* Resulted (near-)optimal robust composite service based on user' constraint */
  if Δ *is elapsed* **then**
    $MQV \leftarrow QoSMonitoring()$ /* Utilize historical data from the monitoring subsystem */
    $anomalyRemovedMQV \leftarrow IsolatedForest(MQV, \Upsilon)$ /* Remove the anomalies using the *Isolated Forest* with specified contamination rate Υ */
    $aHat \leftarrow aHatEstimator(anomalyRemovedMQV)$ /* Update the state variable of $aHat$ using the anomaly-removed QoS values ($anomalyRemovedMQV$) */
  end
end

پارامترهای کیفیت خدمت تاریخچه‌ای برای ارائه یک مدل دقیق کیفیت خدمت می‌پردازد. به علاوه، یک مدل ریاضی برای مسئله ترکیب خدمات چندابری به طوری که هم تابع هدف (کمینه ساختن هزینه) و هم محدودیت ها (زمان پاسخ) به وضوح تعریف شده باشد نیز ارائه شده است. به منظور غلبه بر پویایی استخر خدمات (اضافه شدن خدمات جدید و حذف شدن خدمات مستهلک) و پاسخگویی به نیازهای در حال تغییر سازمان‌ها (که منعکس می‌شود در جریان کار)، یک ساختار داده مبتنی بر گراف جهت‌دار بدون دور برای مدل‌سازی یک جریان کاری و خدمات نامزد به صورت پویا و کارآمد ارائه شده است. همچنین، یک الگوریتم بهینه‌سازی سریع که خدمات ارائه شده توسط ابرهای متفاوت را در بین تعداد زیادی از خدمات نامزد انتخاب می‌کند ارائه شده است تا در یک زمان معقول، یک خدمت ترکیبی با (تقریبا) حداقل هزینه را نتیجه دهد.

مقادیر کیفیت خدمت دارای عدم قطعیت هستند و نمی‌توان به مقادیر تبلیغی فراهم‌کننده خدمت برای ترکیب خدمات اتکا کرد. به منظور مواجهه با عدم قطعیت مقادیر پارامترهای کیفیت خدمت، در بخش دوم، ابتدا عدم قطعیت مقادیر کیفیت خدمت با تجزیه و تحلیل یک مجموعه داده واقعی تحلیل و نشان داده شد. در گام بعدی، یک مدل بهینه‌سازی استوار ریاضی برای مقابله با عدم قطعیت پارامتر زمان پاسخ (به عنوان پارامتر غیرقطعی) تحت محدودیت کاربران ارائه شده است که قادر است هزینه خدمت ترکیبی را کمینه نماید. به علاوه مدل پیشنهادی با کمک یک پارامتر انعطاف‌پذیر به نام درجه حفاظت به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا مصالحه بین استواری و بهینگی را کنترل کنند. در نهایت، یک زیرسیستم انطباق با محیط در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است تا بتواند با کمک یک ساز و کار داده‌محور، پارامتر میزان اختلال در مدل استوار ارائه شده را برای غلبه بر پویایی محیط چندابری منطبق نماید.

فصل ۴

ارزیابی عملکرد مدل های ارائه شده

۴ـ۱ ارزیابی مدل ترکیب خدمت آگاه از ناهنجاری

۴ـ۱ـ۱ پیکربندی سامانه ارزیابی

مدل پیشنهادی اول، با نام SAIoT در چندین سناریوی ترکیب خدمات ارزیابی می‌شود. طرح ترکیبی در نظر گرفته شده در سناریوهای شبیه‌سازی بر اساس ساختار توالی در جریان کاری است. برای تشخیص ناهنجاری، از الگوریتم جنگل انزوا در کتابخانه یادگیری ماشین *scikit-learn* در پایتون استفاده کردیم. الگوریتم جنگل انزوا در سال ۲۰۰۸ معرفی شد و در سال ۲۰۱۶ در scikit-learn v0.21.3 در دسترس قرار گرفت. تمام اندازه‌گیری‌ها و آزمایشات روی پردازنده Intel (R) Core (TM) i7-6650U 2.21 با ۱۶ گیگابایت حافظه اصلی انجام شده است. دستگاه تحت ویندوز ۱۰ و MATLAB R2018b در حال اجرا است. برای ارزیابی چارچوب ترکیب SAIoT و مؤلفه‌های اصلی آن (مدل‌سازی کیفیت خدمت، تشخیص ناهنجاری و انتخاب خدمت)، ابتدا معیارها و مبانی تعریف‌شده برای ارزیابی مدل خود را معرفی می کنیم. پس از آن، ما کیفیت ترکیب را با استفاده از چندین سناریو ارزیابی می‌کنیم. سپس، وجود ناهنجاری‌ها را در یک مجموعه داده واقعی در *QoS Anomaly Detection* نشان می‌دهیم و در آخر، *مقیاس‌پذیری* و همچنین بهینه‌بودن مکانیسم ترکیب خدمت را ارائه می‌دهیم. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد رویکرد پیشنهادی ۳۰٫۶۴ درصد به طور میانگین منجر به بهبود در کیفیت یک طرح ترکیبی با قیمت برابر یا حتی کمتر نسبت به کارهای قبلی می‌شود.

References

[1] Al-Masri, E. and Q. H. Mahmoud (2009). Discovering the best web service: A neural network-based solution. In *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*, pp. 4250–4255. IEEE.

[2] Alrifai, M., D. Skoutas, and T. Risse (2010). Selecting skyline services for qos-based web service composition. In *Proceedings of the 19th international conference on World wide web*, pp. 11–20.

[3] Amiri, B., M. Fathian, and A. Maroosi (2009). Application of shuffled frog-leaping algorithm on clustering. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 45*(1-2), 199–209.

[4] Ardagna, D. and B. Pernici (2005). Global and local qos guarantee in web service selection. In *International Conference on Business Process Management*, pp. 32–46. Springer.

[5] Ardagna, D. and B. Pernici (2007). Adaptive service composition in flexible processes. *IEEE Transactions on Software Engineering 33*(6).

[6] Asghari, P., A. M. Rahmani, and H. H. S. Javadi (2018). Service composition approaches in iot: A systematic review. *Journal of Network and Computer Applications 120*, 61–77.

[7] Balalaie, A., A. Heydarnoori, and P. Jamshidi (2016). Microservices architecture enables devops: Migration to a cloud-native architecture. *IEEE Software 33*(3), 42–52.

[8] Barbon, F., P. Traverso, M. Pistore, and M. Trainotti (2006). Run-time monitoring of instances and classes of web service compositions. In *International Conference on Web Services (ICWS'06)*, pp. 63–71. IEEE.

[9] Barnes, B. J., B. Rountree, D. K. Lowenthal, J. Reeves, B. De Supinski, and M. Schulz (2008). A regression-based approach to scalability prediction. In *Annual International Conference on Supercomputing*, pp. 368–377. ACM.

[10] Baudrit, C., D. Dubois, and D. Guyonnet (2006). Joint propagation and exploitation of probabilistic and possibilistic information in risk assessment. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems 14*(5), 593–608.

[11] Behzadian, M., R. B. Kazemzadeh, A. Albadvi, and M. Aghdasi (2010). Promethee: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European journal of Operational research 200*(1), 198–215.

[12] Ben-Tal, A. and A. Nemirovski (2002). Robust optimization–methodology and applications. *Mathematical Programming 92*(3), 453–480.

[13] Bertsimas, D., D. B. Brown, and C. Caramanis (2011). Theory and applications of robust optimization. *SIAM review 53*(3), 464–501.

[14] Bertsimas, D. and M. Sim (2004). The price of robustness. *Operations research 52*(1), 35–53.

[15] Bertsimas, D. and A. Thiele (2006). Robust and data-driven optimization: modern decision making under uncertainty. In *Models, methods, and applications for innovative decision making*, pp. 95–122. INFORMS.

[16] Borzsony, S., D. Kossmann, and K. Stocker (2001). The skyline operator. In *Proceedings 17th international conference on data engineering*, pp. 421–430. IEEE.

[17] Brereton, P., B. A. Kitchenham, D. Budgen, M. Turner, and M. Khalil (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of systems and software 80*(4), 571–583.

[18] Bronsted, J., K. M. Hansen, and M. Ingstrup (2010). Service composition issues in pervasive computing. *IEEE Pervasive Computing 9*(1).

[19] Chen, M., T. H. Tan, J. Sun, J. Wang, Y. Liu, J. Sun, and J. S. Dong (2016). Service adaptation with probabilistic partial models. In *International Conference on Formal Engineering Methods*, pp. 122–140. Springer.

[20] Chen, N., N. Cardozo, and S. Clarke (2018). Goal-driven service composition in mobile and pervasive computing. *IEEE Transactions on Services Computing 11*(1), 49–62.

[21] Chen, W., B. Liu, H. Huang, S. Guo, and Z. Zheng (2019). When uav swarm meets edge-cloud computing: The qos perspective. *IEEE Network 33*(2), 36–43.

[22] Chen, X., Z. Zheng, X. Liu, Z. Huang, and H. Sun (2013). Personalized qos-aware web service recommendation and visualization. *IEEE Transactions on Services Computing 6*(1), 35–47.

[23] Chen, Y., L. Jiang, J. Zhang, and X. Dong (2016). A robust service selection method based on uncertain qos. *Mathematical Problems in Engineering 2016*.

[24] Chen, Y., S. Ying, L. Zhang, and J. Wu (2013). Exception detection for web service composition using improved bayesian network. *Journal of Digital Information Management 11*(2), 109.

[25] Chen, Z., L. Shen, F. Li, and D. You (2017). Your neighbors alleviate cold-start: On geographical neighborhood influence to collaborative web service qos prediction. *Knowledge-Based Systems 138*, 188–201.

[26] Ciszkowski, T., W. Mazurczyk, Z. Kotulski, T. Hossfeld, M. Fiedler, and D. Collange (2012). Towards quality of experience-based reputation models for future web service provisioning. *Telecommunication Systems 51*(4), 283–295.

[27] de Gyvés Avila, S. and K. Djemame (2013). Fuzzy logic based qos optimization mechanism for service composition. In *International Symposium on Service-Oriented System Engineering*, pp. 182–191. IEEE.

[28] Deng, S., L. Huang, Y. Li, H. Zhou, Z. Wu, X. Cao, M. Y. Kataev, and L. Li (2016). Toward risk reduction for mobile service composition. *IEEE Transactions on Cybernetics 46*(8), 1807–1816.

[29] Deng, S., Z. Xiang, J. Yin, J. Taheri, and A. Y. Zomaya (2018). Composition-driven iot service provisioning in distributed edges. *IEEE Access 6*, 54258–54269.

[30] Dorigo, M., M. Birattari, and T. Stutzle (2006). Ant colony optimization. *IEEE computational intelligence magazine 1*(4), 28–39.

[31] Efstathiou, D., P. McBurney, S. Zschaler, and J. Bourcier (2014). Efficient multi-objective optimisation of service compositions in mobile ad hoc networks using lightweight surrogate models. *Journal of Universal Computer Science 20*(8), 1089–1108.

[32] Elhabbash, A., R. Bahsoon, and P. Tino (2017). Self-awareness for dynamic knowledge management in self-adaptive volunteer services. In *International Conference on Web Services*, pp. 180–187. IEEE.

[33] Falas, Ł. and P. Stelmach (2013). Web service composition with uncertain non-functional parameters. In *Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems*, pp. 45–52. Springer.

[34] Fathian, M., B. Amiri, and A. Maroosi (2007). Application of honey-bee mating optimization algorithm on clustering. *Applied Mathematics and Computation 190*(2), 1502–1513.

[35] Ghazanfari, M., S. Alizadeh, M. Fathian, and D. E. Koulouriotis (2007). Comparing simulated annealing and genetic algorithm in learning fcm. *Applied Mathematics and Computation 192*(1), 56–68.

[36] Golbeck, J. (2006). Generating predictive movie recommendations from trust in social networks. In *International Conference on Trust Management*, pp. 93–104. Springer.

[37] Gong, Y., L. Huang, and K. Han (2014). Service dynamic substitution approach based on cloud model. In *International Conference on Advanced Data and Information Engineering (DaEng-2013)*, pp. 563–570. Springer.

[38] Guo, Y., S. Wang, K.-S. Wong, and M. H. Kim (2017). Skyline service selection approach based on qos prediction. *International Journal of Web and Grid Services 13*(4), 425–447.

[39] Gutjahr, W. J. (2006). On the finite-time dynamics of ant colony optimization. *Methodology and Computing in Applied Probability 8*(1), 105–133.

[40] Hashmi, K., Z. Malik, E. Najmi, and A. Rezgui (2016). Snrneg: A social network enabled negotiation service. *Information Sciences 349*, 248–262.

[41] Hwang, S.-Y., C.-C. Hsu, and C.-H. Lee (2015). Service selection for web services with probabilistic qos. *IEEE Transactions on Services Computing* (1), 1–1.

[42] Hwang, S.-Y., H. Wang, J. Tang, and J. Srivastava (2007). A probabilistic approach to modeling and estimating the qos of web-services-based workflows. *Information Sciences 177*(23), 5484–5503.

[43] Ivanović, D., M. Carro, and P. Kaowichakorn (2014). Towards qos prediction based on composition structure analysis and probabilistic models. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 394–402. Springer.

[44] Jang, J.-S. R., C.-T. Sun, and E. Mizutani (1997). Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [book review]. *IEEE Transactions on Automatic Control 42*(10), 1482–1484.

[45] Jatoth, C., G. Gangadharan, U. Fiore, and R. Buyya (2018). Qos-aware big service composition using mapreduce based evolutionary algorithm with guided mutation. *Future Generation Computer Systems 86*, 1008–1018.

[46] Jian, X., Q. Zhu, and Y. Xia (2016). An interval-based fuzzy ranking approach for qos uncertainty-aware service composition. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics 127*(4), 2102–2110.

[47] Jiang, W., D. Lee, and S. Hu (2012). Large-scale longitudinal analysis of soap-based and restful web services. In *International Conference on Web Services*, pp. 218–225. IEEE.

[48] Jiang, Y., J. Liu, M. Tang, and X. Liu (2011). An effective web service recommendation method based on personalized collaborative filtering. In *International Conference on Web Services*, pp. 211–218. IEEE.

[49] Johannes, A., P. Nanda, and X. He (2015). Resource utilization based dynamic pricing approach on cloud computing application. In *International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing*, pp. 669–677. Springer.

[50] Jula, A., Z. Othman, and E. Sundararajan (2015). Imperialist competitive algorithm with proclus classifier for service time optimization in cloud computing service composition. *Expert Systems with Applications 42*(1), 135–145.

[51] Jurca, R., B. Faltings, and W. Binder (2007). Reliable qos monitoring based on client feedback. In *International Conference on World Wide Web*, pp. 1003–1012. ACM.

[52] Kardani-Moghaddam, S., R. Buyya, and K. Ramamohanarao. Performance anomaly detection using isolation-trees in heterogeneous workloads of web applications in computing clouds. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e5306.

[53] Kardani-Moghaddam, S., R. Buyya, and K. Ramamohanarao (2019). Performance anomaly detection using isolation-trees in heterogeneous workloads of web applications in computing clouds. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e5306.

[54] Karim, R., C. Ding, and A. Miri (2015). End-to-end qos prediction of vertical service composition in the cloud. In *International Conference on Cloud Computing*, pp. 229–236. IEEE.

[55] Karimi, M. B., A. Isazadeh, and A. M. Rahmani (2017). Qos-aware service composition in cloud computing using data mining techniques and genetic algorithm. *The Journal of Supercomputing 73*(4), 1387–1415.

[56] Kazem, A. A. P., H. Pedram, and H. Abolhassani (2015). Bnqm: a bayesian network based qos model for grid service composition. *Expert Systems with Applications 42*(20), 6828–6843.

[57] Khanouche, M. E., F. Attal, Y. Amirat, A. Chibani, and M. Kerkar (2019). Clustering-based and qos-aware services composition algorithm for ambient intelligence. *Information Sciences 482*, 419–439.

[58] Kil, H., R. Cha, and W. Nam (2016). Transaction history-based web service composition for uncertain qos. *International Journal of Web and Grid Services 12*(1), 42–62.

[59] Kolodner, J. (2014). *Case-based reasoning*. Morgan Kaufmann.

[60] Kumar, S., R. Bahsoon, T. Chen, K. Li, and R. Buyya (2018). Multi-tenant cloud service composition using evolutionary optimization.

[61] Kuter, U. and J. Golbeck (2009). Semantic web service composition in social environments. In *International Semantic Web Conference*, pp. 344–358. Springer.

[62] Lei, Y., Z. Jiantao, W. Fengqi, G. Yongqiang, and Y. Bo (2015). Web service composition based on reinforcement learning. In *International Conference on Web Services*, pp. 731–734. IEEE.

[63] Lei, Y., Z. Jiantao, G. Yongqiang, L. Jing, and M. Xuebin (2015). Dynamic web service composition based on state space searching. In *International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*, pp. 821–826. IEEE.

[64] Lei, Y., W. Zhili, M. Luoming, Q. Xuesong, and Z. Jiantao (2014). Learning-based web service composition in uncertain environments. *Journal of Web Engineering 13*(5&6), 450–468.

[65] Li, D., D. Cheung, X. Shi, and V. Ng (1998). Uncertainty reasoning based on cloud models in controllers. *Computers & Mathematics with Applications 35*(3), 99–123.

[66] Li, G.-S. and N. Wang (2015). Web service qos prediction with adaptive calibration. In *International Conference on Computer Science and Applications (CSA)*, pp. 351–356. IEEE.

[67] Li, L., Z. Jin, G. Li, L. Zheng, and Q. Wei (2012). Modeling and analyzing the reliability and cost of service composition in the iot: A probabilistic approach. In *International Conference on Web Services*, pp. 584–591. IEEE.

[68] Liu, F. T., K. M. Ting, and Z.-H. Zhou (2008). Isolation forest. In *2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining*, pp. 413–422. IEEE.

[69] Liu, F. T., K. M. Ting, and Z.-H. Zhou (2012). Isolation-based anomaly detection. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD) 6*(1), 3.

[70] Liu, Z.-Z., D.-H. Chu, Z.-P. Jia, J.-Q. Shen, and L. Wang (2016). Two-stage approach for reliable dynamic web service composition. *Knowledge-Based Systems 97*, 123–143.

[71] Lloyd, H. and M. Amos (2017). Analysis of independent roulette selection in parallel ant colony optimization. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp. 19–26. ACM.

[72] Luo, X., Y. Lv, R. Li, and Y. Chen (2015). Web service qos prediction based on adaptive dynamic programming using fuzzy neural networks for cloud services. *IEEE Access 3*, 2260–2269.

[73] Mahfoudh, H. B., G. D. M. Serugendo, A. Boulmier, and N. Abdennadher (2018). Coordination model with reinforcement learning for ensuring reliable on-demand services in collective adaptive systems. In *International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods*, pp. 257–273. Springer.

[74] Malik, Z. and B. Medjahed (2010a). Maintaining trustworthiness of service compositions. In *International Conference on Frontiers of Information Technology*, pp. 23. ACM.

[75] Malik, Z. and B. Medjahed (2010b). Trust assessment for web services under uncertainty. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 471–485. Springer.

[76] Mezni, H. and M. Sellami (2018). A negotiation-based service selection approach using swarm intelligence and kernel density estimation. *Software: Practice and Experience 48*(6), 1285–1311.

[77] Moghaddam, S. K., R. Buyya, and K. Ramamohanarao (2018). Acas: An anomaly-based cause aware auto-scaling framework for clouds. *Journal of Parallel and Distributed Computing*.

[78] Moghaddam, S. K., R. Buyya, and K. Ramamohanarao (2019). Acas: An anomaly-based cause aware auto-scaling framework for clouds. *Journal of Parallel and Distributed Computing 126*, 107–120.

[79] Mohiuddin, I. and A. Almogren (2019). Workload aware vm consolidation method in edge/cloud computing for iot applications. *Journal of Parallel and Distributed Computing 123*, 204–214.

[80] Mostafa, A. and M. Zhang (2015). Multi-objective service composition in uncertain environments. *IEEE Transactions on Services Computing*.

[81] Moustafa, A. and T. Ito (2018). A deep reinforcement learning approach for large-scale service composition. In *International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, pp. 296–311. Springer.

[82] Moustafa, A. and M. Zhang (2012). Towards proactive web service adaptation. In *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, pp. 473–485. Springer.

[83] Mu, B., S. Li, and S. Yuan (2014). Qos-aware cloud service selection based on uncertain user preference. In *International Conference on Rough Sets and Knowledge Technology*, pp. 589–600. Springer.

[84] Niu, S., G. Zou, Y. Gan, Y. Xiang, and B. Zhang (2019). Towards the optimality of qos-aware web service composition with uncertainty. *International Journal of Web and Grid Services 15*(1), 1–28.

[85] Njima, C. B., Y. Gamha, and L. B. Romdhane (2016). A probabilistic model for web service composition in uncertain mobile contexts. In *International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA)*, pp. 1–7. IEEE.

[86] Peng, S., H. Wang, and Q. Yu (2017). Estimation of distribution with restricted boltzmann machine for adaptive service composition. In *2017 IEEE International Conference on Web Services*, pp. 114–121. IEEE.

[87] Pernici, B. and S. H. Siadat (2011). Selection of service adaptation strategies based on fuzzy logic. In *IEEE World Congress on Services*, pp. 99–106. IEEE.

[88] Pishvaee, M. S., M. Rabbani, and S. A. Torabi (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling 35*(2), 637–649.

[89] Poss, M. (2014). Robust combinatorial optimization with variable cost uncertainty. *European Journal of Operational Research 237*(3), 836–845.

[90] Prochart, G., R. Weiss, R. Schmid, and G. Kaefer (2007). Fuzzy-based support for service composition in mobile ad hoc networks. In *International Conference on Pervasive Services*, pp. 379–384. IEEE.

[91] Ramacher, R. and L. Mönch (2012). Dynamic service selection with end-to-end constrained uncertain qos attributes. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 237–251. Springer.

[92] Ramacher, R. and L. Mönch (2013). Reliable service reconfiguration for time-critical service compositions. In *International Conference on Services Computing*, pp. 184–191. IEEE.

[93] Ramacher, R. and L. Mönch (2014). Robust multi-criteria service composition in information systems. *Business & Information Systems Engineering 6*(3), 141–151.

[94] Raychoudhury, V., J. Cao, M. Kumar, and D. Zhang (2013). Middleware for pervasive computing: A survey. *Pervasive and Mobile Computing 9*(2), 177–200.

[95] Rimal, B. P. and M. Maier (2016). Workflow scheduling in multi-tenant cloud computing environments. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 28*(1), 290–304.

[96] Rodriguez-Mier, P., C. Pedrinaci, M. Lama, and M. Mucientes (2016). An integrated semantic web service discovery and composition framework. *IEEE transactions on services computing 9*(4), 537–550.

[97] Rong, W., K. Liu, and L. Liang (2009). Personalized web service ranking via user group combining association rule. In *International Conference on Web Services*, pp. 445–452. IEEE.

[98] Rosario, S., A. Benveniste, S. Haar, and C. Jard (2008). Probabilistic qos and soft contracts for transaction-based web services orchestrations. *IEEE Transactions on Services Computing 1*(4), 187–200.

[99] Schuller, D., U. Lampe, J. Eckert, R. Steinmetz, and S. Schulte (2012). Cost-driven optimization of complex service-based workflows for stochastic qos parameters. In *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, pp. 66–73. IEEE.

[100] Schuller, D., M. Siebenhaar, R. Hans, O. Wenge, R. Steinmetz, and S. Schulte (2014). Towards heuristic optimization of complex service-based workflows for stochastic qos attributes. In *IEEE International Conference on Web Services (ICWS)*, pp. 361–368. IEEE.

[101] Sharma, Y., W. Si, D. Sun, and B. Javadi (2019). Failure-aware energy-efficient vm consolidation in cloud computing systems. *Future Generation Computer Systems 94*, 620–633.

[102] Şora, I. and D. Todinca (2015). Dealing with fuzzy qos properties in service composition. In *International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*, pp. 197–202. IEEE.

[103] Stützle, T., M. Dorigo, et al. (2002). A short convergence proof for a class of ant colony optimization algorithms. *IEEE Transactions on evolutionary computation 6*(4), 358–365.

[104] Sugeno, M. (1985). *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Inc.

[105] Sun, Q., S. Wang, H. Zou, and F. Yang (2013). Fast web service selection for reliable service composition application system. *Information 16*(3), 2001.

[106] Sun, X., J. Chen, Y. Xia, Q. He, Y. Wang, X. Luo, R. Zhang, W. Han, and Q. Wu (2018). A fluctuation-aware approach for predictive web service composition. In *International Conference on Services Computing (SCC)*, pp. 121–128. IEEE.

[107] Tan, T. H., M. Chen, É. André, J. Sun, Y. Liu, and J. S. Dong (2014). Automated runtime recovery for qos-based service composition. In *Proceedings of the 23rd international conference on World wide web*, pp. 563–574. ACM.

[108] Toosi, A. N., R. N. Calheiros, R. K. Thulasiram, and R. Buyya (2011). Resource provisioning policies to increase iaas provider's profit in a federated cloud environment. In *2011 IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications*, pp. 279–287. IEEE.

[109] Tripathy, A. K. and M. R. Patra (2011). Service based system monitoring framework. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications: IJCISIM 3*, 924–931.

[110] Tripathy, A. K. and P. K. Tripathy (2018). Fuzzy qos requirement-aware dynamic service discovery and adaptation. *Applied Soft Computing 68*, 136–146.

[111] Urbieta, A., A. González-Beltrán, S. B. Mokhtar, M. A. Hossain, and L. Capra (2017). Adaptive and context-aware service composition for iot-based smart cities. *Future Generation Computer Systems 76*, 262–274.

[112] Veeresh, P., R. P. Sam, and C. S. Bindu (2017). Fuzzy based optimal qos constraint services composition in mobile ad hoc networks. *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS) 9*(3), 491–499.

[113] Wang, H., Q. Wu, X. Chen, and Q. Yu (2015). Integrating gaussian process with reinforcement learning for adaptive service composition. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 203–217. Springer.

[114] Wang, H., X. Zhang, and Q. Yu (2016). Integrating pomdp and sarsa λ for service composition with incomplete information. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 677–684. Springer.

[115] Wang, H., X. Zhou, X. Zhou, W. Liu, W. Li, and A. Bouguettaya (2010). Adaptive service composition based on reinforcement learning. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 92–107. Springer.

[116] Wang, J. (2011). Exploiting mobility prediction for dependable service composition in wireless mobile ad hoc networks. *IEEE Transactions on Services Computing 4*(1), 44–55.

[117] Wang, S., Y. Guo, Y. Li, and C.-H. Hsu (2018). Cultural distance for service composition in cyber–physical–social systems. *Future Generation Computer Systems*.

[118] Wang, S., L. Huang, L. Sun, C.-H. Hsu, and F. Yang (2017). Efficient and reliable service selection for heterogeneous distributed software systems. *Future Generation Computer Systems 74*, 158–167.

[119] Wang, X., X. Fu, L. Liu, Q. Huang, and K. Yue (2015). A probabilistic approach to analyzing the stochastic qos of web service composition. In *Web Information System and Application Conference (WISA)*, pp. 147–150. IEEE.

[120] Wang, X., Z. Wang, and X. Xu (2012). Analytic profit optimization of service-based systems. In *International Conference on Web Services*, pp. 359–367. IEEE.

[121] Wei, Y., D. Kudenko, S. Liu, L. Pan, L. Wu, and X. Meng (2017). A reinforcement learning based workflow application scheduling approach in dynamic cloud environment. In *International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing*, pp. 120–131. Springer.

[122] White, G., A. Palade, and S. Clarke (2017). Qos prediction for reliable service composition in iot. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 149–160. Springer.

[123] Wiesemann, W., R. Hochreiter, and D. Kuhn (2008). A stochastic programming approach for qos-aware service composition. In *8th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid*, pp. 226–233. IEEE.

[124] Wu, H., Y. Sun, and K. Wolter (2018). Energy-efficient decision making for mobile cloud offloading. *IEEE Transactions on Cloud Computing*.

[125] Wu, Q. and Q. Zhu (2013). Transactional and qos-aware dynamic service composition based on ant colony optimization. *Future Generation Computer Systems 29*(5), 1112–1119.

[126] Wu, Z., N. Xiong, J. H. Park, T.-H. Kim, and L. Yuan (2009). A simulation model supporting time and non-time metrics for web service composition. *The Computer Journal 53*(2), 219–233.

[127] Xia, Y., P. Chen, L. Bao, M. Wang, and J. Yang (2011). A qos-aware web service selection algorithm based on clustering. In *International Conference on Web Services*, pp. 428–435. IEEE.

[128] Xu, J., L. Guo, R. Zhang, H. Hu, F. Wang, and Z. Pei (2018). Qos-aware service composition using fuzzy set theory and genetic algorithm. *Wireless Personal Communications 102*(2), 1009–1028.

[129] Xu, J., L. Guo, R. Zhang, Y. Zhang, H. Hu, F. Wang, and Z. Pei (2017). Towards fuzzy qos driven service selection with user requirements. In *International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC)*, pp. 230–234. IEEE.

[130] Xu, L. D., E. L. Xu, and L. Li (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research 56*(8), 2941–2962.

[131] Yang, Y., B. Yang, S. Wang, F. Liu, Y. Wang, and X. Shu (2019). A dynamic ant-colony genetic algorithm for cloud service composition optimization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 102*(1-4), 355–368.

[132] Yao, L. and Q. Z. Sheng (2011). Particle filtering based availability prediction for web services. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 566–573. Springer.

[133] Yasmina, R. Z., H. Fethallah, and D. Fedoua (2018). Selecting web service compositions under uncertain qos. In *International Conference on Computational Intelligence and Its Applications*, pp. 622–634. Springer.

[134] Ye, H. and T. Li (2018). Web service composition with uncertain qos: An iqcp model. In *CCF Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*, pp. 146–162. Springer.

[135] Ye, Z., A. Bouguettaya, and X. Zhou (2014). Economic model-driven cloud service composition. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT) 14*(2-3), 20.

[136] Ye, Z., S. Mistry, A. Bouguettaya, and H. Dong (2016). Long-term qos-aware cloud service composition using multivariate time series analysis. *IEEE Transactions on Services Computing 9*(3), 382–393.

[137] Yu, L., W. Zhili, M. Lingli, W. Jiang, L. Meng, and Q. Xue-song (2013). Adaptive web services composition using q-learning in cloud. In *World Congress on Services*, pp. 393–396. IEEE.

[138] Yu, Q. (2012). Decision tree learning from incomplete qos to bootstrap service recommendation. In *International Conference on Web Services*, pp. 194–201. IEEE.

[139] Yu, Q. and A. Bouguettaya (2010). Computing service skyline from uncertain qows. *IEEE Transactions on Services Computing 3*(1), 16–29.

[140] Yu, Q., L. Chen, and B. Li (2015). Ant colony optimization applied to web service compositions in cloud computing. *Computers & Electrical Engineering 41*, 18–27.

[141] Yu, Q., Z. Zheng, and H. Wang (2013). Trace norm regularized matrix factorization for service recommendation. In *International Conference on Web Services*, pp. 34–41. IEEE.

[142] Yu, T., Y. Zhang, and K.-J. Lin (2007). Efficient algorithms for web services selection with end-to-end qos constraints. *ACM Transactions on the Web (TWEB) 1*(1), 6.

[143] Zambonelli, F., G. Castelli, L. Ferrari, M. Mamei, A. Rosi, G. Di Marzo, M. Risoldi, A.-E. Tchao, S. Dobson, G. Stevenson, et al. (2011). Self-aware pervasive service ecosystems. *Procedia Computer Science 7*, 197–199.

[144] Zhang, H., N. Yang, Z. Xu, B. Tang, and H. Ma (2018). Microservice based video cloud platform with performance-aware service path selection. In *International Conference on Web Services*, pp. 306–309. IEEE.

[145] Zhang, J.-h. (2010). A short-term prediction for qos of web service based on rbf neural networks including an improved k-means algorithm. In *International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, Volume 5, pp. V5–633. IEEE.

[146] Zhang, L., H. Zou, and F. Yang (2011). A dynamic web service composition algorithm based on topsis. *Journal of networks 6*(9), 1296.

[147] Zhang, Q., M. Jiang, Z. Feng, W. Li, W. Zhang, and M. Pan (2019). Iot enabled uav: Network architecture and routing algorithm. *IEEE Internet of Things Journal 6*(2), 3727–3742.

[148] Zhang, W., C. K. Chang, T. Feng, and H.-y. Jiang (2010). Qos-based dynamic web service composition with ant colony optimization. In *IEEE Computer Software and Applications Conference*, pp. 493–502. IEEE.

[149] Zhang, X., T. Wu, M. Chen, T. Wei, J. Zhou, S. Hu, and R. Buyya (2019). Energy-aware virtual machine allocation for cloud with resource reservation. *Journal of Systems and Software 147*, 147–161.

[150] Zhao, X., L. Shen, X. Peng, and W. Zhao (2015). Toward sla-constrained service composition: An approach based on a fuzzy linguistic preference model and an evolutionary algorithm. *Information Sciences 316*, 370–396.

[151] Zheng, H., J. Yang, and W. Zhao (2010a). Qos probability distribution estimation for web services and service compositions. In *International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)*, pp. 1–8. IEEE.

[152] Zheng, H., J. Yang, and W. Zhao (2010b). Qosdist: A qos probability distribution estimation tool for web service compositions. In *Asia-Pacific Services Computing Conference*, pp. 131–138. IEEE.

[153] Zheng, H., J. Yang, and W. Zhao (2016). Probabilistic qos aggregations for service composition. *ACM Transactions on the Web (TWEB) 10*(2), 12.

[154] Zheng, H., J. Yang, W. Zhao, and A. Bouguettaya (2011). Qos analysis for web service compositions based on probabilistic qos. In *International Conference on Service-Oriented Computing*, pp. 47–61. Springer.

[155] Zheng, Z., H. Ma, M. R. Lyu, and I. King (2009). Wsrec: A collaborative filtering based web service recommender system. In *International Conference on Web Services*, pp. 437–444. IEEE.

[156] Zheng, Z., H. Ma, M. R. Lyu, and I. King (2012). Collaborative web service qos prediction via neighborhood integrated matrix factorization. *IEEE Transactions on Services Computing 6*(3), 289–299.

[157] Zheng, Z., Y. Zhang, and M. R. Lyu (2010). Distributed qos evaluation for real-world web services. In *IEEE International Conference on Web Services*, pp. 83–90. IEEE.

[158] Zheng, Z., Y. Zhang, and M. R. Lyu (2014). Investigating qos of real-world web services. *IEEE transactions on Services Computing 7*(1), 32–39.

[159] Zhou, J. and X. Yao (2017). A hybrid artificial bee colony algorithm for optimal selection of qos-based cloud manufacturing service composition. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 88*(9-12), 3371–3387.

[160] Zhu, M., G. Fan, J. Li, and H. Kuang (2018). An approach for qos-aware service composition with graphplan and fuzzy logic. *Procedia Computer Science 141*, 56–63.

[161] Zou, G., Q. Lu, Y. Chen, R. Huang, Y. Xu, and Y. Xiang (2014). Qos-aware dynamic composition of web services using numerical temporal planning. *IEEE Transactions on Services Computing 7*(1), 18–31.

[162] R. Buyya, S. N. Srirama, G. Casale, R. Calheiros, Y. Simmhan, B. Varghese, E. Gelenbe, B. Javadi, L. M. Vaquero, M. A. Netto, et al., A manifesto for future generation cloud computing: Research directions for the next decade, ACM Computing Surveys (CSUR) 51 (5) (2018) 105.

[163] I. B. de Almeida, L. L. Mendes, J. J. Rodrigues, M. A. da Cruz, 5g waveforms for iot applications, IEEE Communications Surveys & Tutorials.

[164] E. A. Santos, C. McLean, C. Solinas, A. Hindle, How does docker affect energy consumption? evaluating workloads in and out of docker containers, Journal of Systems and Software 146 (2018) 14–25.

[165] C. Xu, K. Rajamani, W. Felter, Nbwguard: Realizing network qos for kubernetes, in: Proceedings of the 19th International Middleware Conference Industry, ACM, 2018, pp. 32–38.

[166] S. V. Gogouvitis, H. Mueller, S. Premnadh, A. Seitz, B. Bruegge, Seamless computing in industrial systems using container orchestration, Future Generation Computer Systems.

[167] P. Varshney, Y. Simmhan, Characterizing application scheduling on edge, fog, and cloud computing resources, Software: Practice and Experience.

[168] C. Bu, X. Wang, H. Cheng, M. Huang, K. Li, Routing as a service (raas): An open framework for customizing routing services, Journal of Network and Computer Applications 125 (2019) 130–145.

[169] A. Aydeger, N. Saputro, K. Akkaya, A moving target defense and network forensics framework for isp networks using sdn and nfv, Future Generation Computer Systems 94 (2019) 496–509.

[170] M. S. Bonfim, K. L. Dias, S. F. Fernandes, Integrated nfv/sdn architectures: A systematic literature review, ACM Computing Surveys (CSUR) 51 (6) (2019) 114.

[171] T. Chen, R. Bahsoon, X. Yao, A survey and taxonomy of self-aware and self-adaptive cloud autoscaling systems, ACM Computing Surveys (CSUR) 51 (3) (2018) 61.

[172] C. Jatoth, G. Gangadharan, R. Buyya, Optimal fitness aware cloud service composition using an adaptive genotypes evolution based genetic algorithm, Future Generation Computer Systems 94 (2019) 185–198.

[173] M. Razian, M. Fathian, R. Buyya, Arc: Anomaly-aware robust cloud-integrated iot service composition based on uncertainty in advertised quality of service values, Journal of Systems and Software 164 (2020) 110557.

[174] L. Zeng, B. Benatallah, A. H. Ngu, M. Dumas, J. Kalagnanam, H. Chang, Qos-aware middleware for web services composition, IEEE Transactions on Software Engineering 30 (5) (2004) 311–327.

[175] H.-C. Wang, C.-S. Lee, T.-H. Ho, Combining subjective and objective qos factors for personalized web service selection, Expert Systems with Applications 32 (2) (2007) 571–584.

[176] S. Chattopadhyay, A. Banerjee, Qscas: Qos aware web service composition algorithms with stochastic parameters, in: 2016 IEEE International Conference on Web Services (ICWS), IEEE, 2016, pp. 388–395.

[177] Marco Anisetti, Claudio A Ardagna, Ernesto Damiani, Filippo Gaudenzi, and Gwanggil Jeon. Cost-effective deployment of certified cloud composite services. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 135:203–218, 2020.

[178] Marco Anisetti, Claudio Ardagna, Ernesto Damiani, and Gianluca Polegri. Test-based security certification of composite services. *ACM Transactions on the Web (TWEB)*, 13(1):3, 2019.

[179] Tuan-Minh Pham, Serge Fdida, Hoai-Nam Chu, et al. Modeling and analysis of robust service composition for network functions virtualization. *Computer Networks*, 166:106989, 2020.

[180] Mengyu Sun, Zhangbing Zhou, Junping Wang, Chu Du, and Walid Gaaloul. Energy-efficient iot service composition for concurrent timed applications. *Future Generation Computer Systems*, 100:1017–1030, 2019.

[181] Chen Wang, Hui Ma, Gang Chen, Sven Hartmann, and Jürgen Branke. Robustness estimation and optimisation for semantic web service composition with stochastic service failures. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 2020.

[182] Shuai Zhang, Wenting Yang, Wenyu Zhang, and Mingzhou Chen. A collaborative service group-based fuzzy qos-aware manufacturing service composition using an extended flower pollination algorithm. *Nonlinear Dynamics*, 95(4):3091–3114, 2019.

[183] Mohammadreza Razian, Mohammad Fathian, Huaming Wu, Ahmad Akbari, and Rajkumar Buyya. Saiot: Scalable anomaly-aware services composition in cloudiot environments. *IEEE Internet of Things Journal*, 2020.

[184] Marco Anisetti, Claudio A Ardagna, and Ernesto Damiani. Security certification of composite services: A test-based approach. In *2013 IEEE 20th International Conference on Web Services*, pages 475–482. IEEE, 2013.

[185] Luca Pino, George Spanoudakis, Maria Krotsiani, and Khaled Mahbub. Pattern based design and verification of secure service compositions. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2017.

[186] Philipp Stephanow and Koosha Khajehmoogahi. Towards continuous security certification of software-as-a-service applications using web application testing techniques. In *2017 IEEE 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, pages 931–938. IEEE, 2017.

[187] L. Zhang, T. Zhang, C. Zhang, Web service composition algorithm based on hybrid-qos and pair-wise comparison matrix, Journal of Information and Computational Science 9 (1) (2012) 135–142.

[188] Z. Guoping, Q. Longlong, W. Ningbo, Technology of qos evaluation based grey system theory, in: International Conference on Computer Science and Network Technology, IEEE, 2012, pp. 1934–1937.

[189] S. Wang, Z. Zheng, Q. Sun, H. Zou, F. Yang, Cloud model for service selection, in: IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), IEEE, 2011, pp. 666–671.