تخمین مقادیر نامشخص کیفیت سرویس به منظور افزایش کیفیت سرویس گرید مرکب با استفاده از شبکه‌ی بیزی

علی‌اصغر پورحاجی‌کاظم[۱] – حسین پدرام[۲] – حسن ابوالحسنی[۳]

(۱) دانشجوی دکتری- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه کامپیوتر، تهران، ایران

(۲) دانشیار- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، گروه کامپیوتر، تهران، ایران

(۳) دانشیار- دانشگاه صنعتی شریف، گروه کامپیوتر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: پاییز ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: بهار ۱۳۹۲

خلاصه: گریدهای محاسباتی به عنوان یک رویکرد جدید برای حل مسائل در مقیاس بزرگ در زمینه‌های علمی، مهندسی و تجاری به وجود آمده‌اند. معماری باز سرویس‌های گرید اقتباسی از معماری سرویس‌گرا می‌باشد تا اینکه بتواند عملکرد گرید را به عنوان مجموعه‌ای از نرم‌افزارهای سرویس-گرا به نمایش بگذارد. ترکیب سرویس‌های گرید این امکان را به کاربران می‌دهد که نیازهای پیچیده‌ی خود را به عنوان یک درخواست تنها مطرح کنند. الگوریتم‌های ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس سعی در ایجاد سرویس گرید مرکبی را دارند که علاوه بر برآورده کردن محدودیت‌های مشخص‌شده توسط کاربر، از نظر معیارهای کیفیت سرویس نیز بهینه باشد. تمامی الگوریتم‌های ترکیب سرویس ارائه‌شده در ادبیات موضوع، سرویس‌های گریدی را که مقادیر برخی از معیارهای کیفیت سرویس آنها نامشخص می‌باشند، نادیده گرفته و در فرآیند ترکیب سرویس دخالت نمی‌دهند. این در حالی است که در صورت تخمین مقادیر نامشخص معیارهای کیفیت سرویس، سرویس‌های گرید مورد نظر شانس لازم برای انتخاب به عنوان سرویس گرید عضو در سرویس مرکب نهایی را پیدا می‌کنند. در این مقاله یک مدل احتمالی کیفیت سرویس با استفاده از شبکه‌ی بیزی ارائه شده است که تخمین مقادیر نامشخص معیارهای کیفیت سرویس را ممکن می‌سازد. نتایج آزمایشات بیانگر این موضوع است که تخمین مقادیر نامشخص معیارهای کیفیت سرویس با دقت بالایی انجام گرفته و منجر به ایجاد سرویس‌های گرید مرکب بهینه می‌گردد.

کلمات کلیدی: محاسبات گرید، ترکیب سرویس‌های گرید، کیفیت سرویس، شبکه بیزی.

۱- مقدمه

گریدهای محاسباتی به عنوان یک رویکرد جدید برای حل مسائل در مقیاس بزرگ در زمینه‌های علمی، مهندسی و تجاری به وجود آمده‌اند. آنها این امکان را فراهم می‌سازند تا اینکه سازمان‌های مجازی[۱] مختلف به منظور اشتراک و یکپارچه‌سازی میلیون‌ها منبع که از نظر جغرافیایی در سطح سازمان‌ها و حوزه‌های مدیریتی پراکنده‌اند، ایجاد شوند [۱–۳]. همچنین تکنولوژی محاسبات گرید به عنوان یک زیربنا می‌تواند محاسبات با کارایی بالا و همچنین مکانیزم‌های ارتباطی را برای فراهم ساختن خدمات مختلف در حیطه‌ی سیستم‌های قدرت عرضه کند[۴]. معماری باز سرویس‌های گرید (OGSA[۲]) تصور Globus و IBM برای همگرایی تکنولوژی‌های سرویس وب و محاسبات گرید بود[۳]. هدف اصلی OGSA، استاندارد کردن سرویس‌های مورد نیاز در یک سیستم گرید با تعیین یک مجموعه از واسط‌های استاندارد برای این سرویس‌هاست. در حقیقت OGSA اقتباسی از معماری سرویس‌گرا می‌باشد تا اینکه بتواند عملکرد گرید را به عنوان مجموعه‌ای از نرم‌افزارهای سرویس‌گرا به نمایش بگذارد. ارائه‌کنندگان OGSA گرید را به عنوان یک مجموعه‌ی توسعه‌پذیر از سرویس‌های گرید می‌بینند که این سرویس‌ها می‌توانند برای برآورده ساختن نیازهای سازمان‌های مجازی با روش‌های متعددی با یکدیگر ترکیب شوند[۲], [۵], [۶]. سرویس‌های مختلف گرید را می‌توان با سایر سرویس‌های گرید از سازمان‌های مجازی مختلف ترکیب کرده و یک سرویس گرید مرکب را به وجود آورد. ترکیب سرویس‌های گرید این امکان را برای کاربران فراهم می‌سازد که نیازهای پیچیده‌ی خود را به عنوان یک درخواست تنها مطرح کنند. درخواست ترکیب توسط کاربر و معمولاً به صورت

یک جریان‌کار به سیستم داده می‌شود. جریان کار یک گراف جهت‌دار بدون دور می‌باشد که گره‌های آن وظایفی هستند که باید انجام گیرند. در حقیقت هر گره‌ی این گراف یک سرویس می‌باشد که به آن سرویس انتزاعی[۳] گفته می‌شود. سیستم ترکیب سرویس پس از دریافت درخواست ترکیب، با استفاده از الگوریتم‌های کشف سرویس برای هر کدام از سرویس‌های انتزاعی، یک سرویس گرید مناسب از نظر عملکرد پیدا می‌کند که این سرویس نیز سرویس نامزد[۴] نامیده می‌شود [۷–۹]. با توجه به رشد روزافزون تعداد ارائه‌دهندگان سرویس و در نتیجه تعداد سرویس‌های گرید، سرویس‌های گرید متعددی توسط ارائه‌دهندگان مختلف ارائه می‌شوند که از نظر عملکرد کاملاً شبیه هم بوده و می‌توانند برای انجام وظایف موجود در جریان‌کار انتخاب شوند. این سرویس‌های گرید که از نظر عملکرد یکسان هستند، از نظر پارامترهای کیفیت سرویس (QoS[۵]) متفاوت می‌باشند. کیفیت سرویس یک مجموعه از خصوصیات غیرعملکردی[۶] مانند قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی، زمان پاسخ و غیره است که کیفیت پیشنهاد شده توسط یک سرویس را منعکس می‌کند. در یک سرویس، نیازمندی‌های کیفیت سرویس اساساً به کیفیت غیرعملکردی سرویس رجوع می‌کند [۱۰]. با در نظر گرفتن موارد فوق، سیستم ترکیب سرویس برای هر کدام از سرویس‌های انتزاعی موجود در جریان کار، سرویس‌های گرید نامزد متعددی پیدا خواهد کرد که از نظر عملیاتی کار مشابهی انجام می‌دهند اما از نظر معیارهای کیفیت سرویس متفاوت هستند. سیستم ترکیب سرویس در این مرحله باید با توجه به نیازمندی‌ها و محدودیت‌های مشخص‌شده از طرف کاربر، ترکیبی از سرویس‌های گرید نامزد را انتخاب کند که بهترین و بیشترین تطبیق را با نیازهای کاربر داشته باشد.

ثابت شده است که مسئله‌ی ایجاد ترکیب سرویس بهینه با استفاده از سرویس‌های نامزد با توجه به معیارهای کیفیت سرویس، یک مسئله NP-Hard می‌باشد [۸]، [۱۱–۱۴]. برای حل این مسئله الگوریتم‌ها و روش‌های مختلفی ارائه شده که اکثر آنها از روش برنامه‌ریزی خطی صحیح[۷][۸][۱۵] و روش‌های مختلف مکاشفه‌ای مانند الگوریتم ژنتیک [۱۲]، [۱۶–۲۲]، شبیه‌سازی تبرید[۸] [۲۱] و جستجوی تابو [۱۷] استفاده کرده‌اند. تعدادی از این روش‌ها نیز مسئله‌ی انتخاب ترکیب بهینه را به عنوان یک مسئله‌ی بهینه‌سازی چند محدودیتی (MCOP[۹]) در نظر گرفته و از راه‌حل‌هایی که برای حل MCOP در ادبیات آمده [۲۳–۲۵]، استفاده کرده‌اند. نقطه‌ی ضعف مهمی که در تمامی روش‌های ارائه شده دیده می‌شود عبارت است از اینکه اگر بنا به دلایلی مقادیر بعضی از پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به یک و یا چند سرویس نامزد مشخص نباشد، سیستم ترکیب سرویس با توجه به عدم توانایی در تخمین مقادیر نامشخص، سرویس‌های نامزد مورد نظر را کنار گذاشته و در فرآیند ترکیب دخالت نمی‌دهد. این در حالی است که سرویس کنار گذاشته شده با توجه به مقادیر سایر پارامترهایش ممکن است که یکی از سرویس‌های نامزد انتخاب شده برای سرویس مرکب بهینه باشد. در حقیقت تخمین مقادیر نامشخص کیفیت سرویس این شانس را برای سرویس‌های نامزد مورد نظر فراهم می‌سازد که به عنوان یک سرویس عضو در سرویس مرکب نهایی انتخاب شده و حتی کیفیت آن را افزایش دهند.

شبکه‌ی بیزی یکی از روش‌های معروف برای کنترل عدم قطعیت در مسائل می‌باشد که بر پایه نظریه احتمالات می‌باشد. شبکه بیزی در حقیقت یک مدل گرافیکی می‌باشد که وابستگی‌های احتمالی را بین متغیرهای سیستم پیدا کرده و امکان استدلال را فراهم می‌سازد. شبکه‌ی بیزی از یک بخش کیفی در قالب یک گراف جهت‌دار بدون دور[۱۰] و همچنین یک بخش کم در قالب احتمال‌های شرطی تشکیل شده است. گره‌ها در گراف مربوط به یک شبکه‌ی بیزی نمایانگر متغیرهای تصادفی بوده و یال‌های جهت‌دار نیز وابستگی‌های احتمالی بین آنها را نمایش می‌دهند. الگوریتم‌های آموزش ساختار و پارامتر به ترتیب برای ایجاد ساختار شبکه و محاسبه‌ی توزیع‌های احتمالی به کار برده می‌شوند. یکی از قابلیت‌های اصلی شبکه‌ی بیزی این است که پس از آموزش ساختاری و پارامتری آن می‌توان توزیع احتمالی و یا مقادیر هر زیرمجموعه از متغیرهای شبکه را با داشتن مقادیر و یا توزیع سایر متغیرها به دست آورد.

در این مقاله یک مدل احتمالی کیفیت سرویس جدید با استفاده از شبکه‌های بیزی برای سرویس‌های گرید ارائه شده است. در مدل ارائه شده پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید به عنوان متغیرهای تصادفی شبکه‌ی بیزی در نظر گرفته شده و با استفاده از الگوریتم‌های آموزش ساختار و پارامتر، وابستگی‌های احتمالی بین آنها به دست آمده است. مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج شبکه‌های بیزی امکان تخمین مقادیر نامشخص کیفیت سرویس را فراهم می‌سازد. تخمین مقادیر نامشخص پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید، الگوریتم‌های ترکیب سرویس را قادر می‌سازد تا با دخالت دادن سرویس‌های گرید مورد نظر در فرآیند ترکیب کیفیت سرویس گرید مرکب نهایی را در صورت امکان افزایش دهند. آزمایشات مختلف انجام شده بیانگر افزایش کیفیت سرویس گرید مرکب ایجاد شده در صورت تخمین مقادیر نامشخص کیفیت سرویس می‌باشد.

ساختار بخش‌های پیش رو در این مقاله به صورت زیر است: در بخش (۲) پیش‌زمینه‌ای از شبکه‌های بیزی و مسئله ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس ارائه می‌گردد. بخش (۳) مدل پیشنهادی کیفیت سرویس را مطرح می‌کند که شامل زیربخش‌های آموزش ساختار شبکه‌ی بیزی، آموزش پارامتری شبکه‌ی بیزی، الگوریتم تخمین و تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس می‌باشد. در بخش (۴) نیز نتایج آزمایشات انجام‌شده برای ارزیابی مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد. نهایتاً، فصل (۵) مقاله را جمع‌بندی می‌کند.

۲- پیش‌زمینه

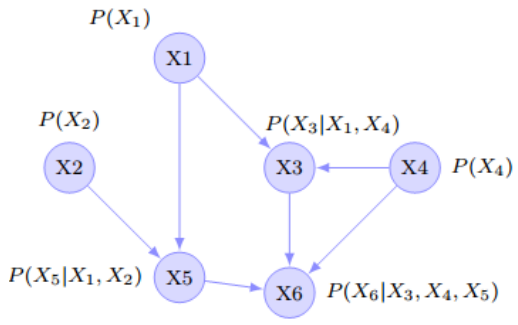
با توجه با اینکه در مدل پیشنهادی از شبکه‌ی بیزی استفاده شده و همچنین با در نظر گرفتن این موضوع که الگوریتم‌های ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس از مدل پیشنهادی بهره می‌برند، در این بخش تعریف شبکه‌ی بیزی و همچنین تعریف رسمی مسئله ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس ارائه می‌گردد.

۲-۱- شبکه‌ی بیزی

شبکه‌ی بیزی یک مدل گرافیکی احتمالی می‌باشد که به طور رسمی از دو بخش تشکیل شده است $B = (G,P)$. بخش اول G یک گراف جهت‌دار بدون دور $G = (V,E)$ می‌باشد که در آن V مجموعه‌ی متغیرهای تصادفی دامنه‌ی مورد نظر می‌باشد $V = \{X_1,X_2, \dots ,X_n\}$ و E مجموعه‌ی یال‌ها می‌باشد که نمایانگر وابستگی‌های احتمالی بین متغیرها می‌باشد. عدم وجود یال بین دو گره در گراف G استقلال شرطی بین آنها را نمایش می‌دهد. بخش دوم P یک توزیع احتمال توام را برای هر گره در G نشان می‌دهد که شرایط مارکوف را ارضا می‌کند. با فرض V، توزیع احتمال توامP با استفاده از فرمول شماره (۱) محاسبه می‌گردد.

$$P(X_1,X_2,...,X_n) = \prod_{i=1}^{n} P(X_i \mid Pa(X_i)) \qquad (۱)$$

که در آن $Pa(X)_i$ نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ی والدین گره X_i در G می‌باشد. یک شبکه‌ی بیزی نمونه در شکل (۱) نمایش داده شده است.



شکل (۱): یک شبکه بیزی نمونه

Fig. (1): A sample Bayesian network

توزیع احتمالی توام برای تمامی متغیرهای V با استفاده از فرمول شماره (۲) محاسبه می‌گردد.

$$P(X_1,X_2,...,X_6) = P(X_1)P(X_2)P(X_3 \mid X_1,X_4)P(X_4)P(X_5 \mid X_1,X_2)P(X_6 \mid X_3,X_4,X_5) \qquad (۲)$$

۲-۲- ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس

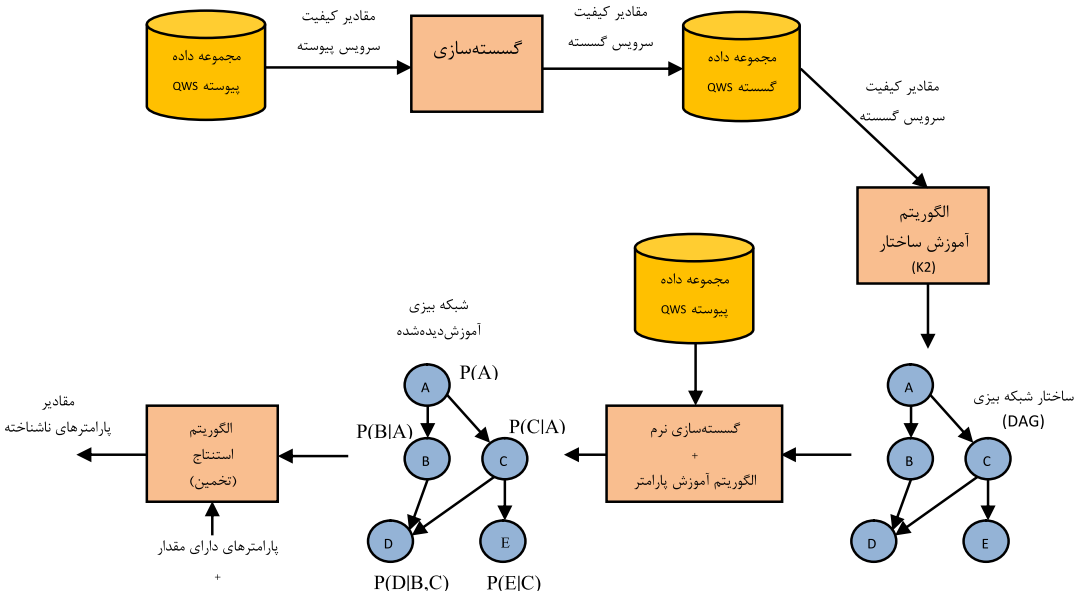
هدف اصلی مسئله‌ی ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس انتخاب مجموعه سرویس‌های گرید نامزد با مقادیر مختلف کیفیت سرویس می‌باشد که محدودیت‌های سراسری مشخص شده توسط کاربر را ارضا کرده و همچنین یک مقدار شایستگی را بهینه کند. در ادامه‌ی این بخش تعریف رسمی مسئله‌ی ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس بیان می‌گردد. یک نمونه از این مسئله به صورت رسمی به شکل زیر تعریف می‌گردد:

- یک درخواست ترکیب در قالب جریان‌کار که به عنوان یک DAG مدل می‌شود $G = (V,E)$
- $V=\{T_1,T_2,\dots,T_n\}$ که در آن n تعداد وظایف موجود در جریان‌کار می‌باشد $(|V| = n)$
- E: مجموعه‌ی یال‌ها در G که وابستگی بین وظایف را نشان می‌دهد
- هر وظیفه‌ی T_i در جریان‌کار یک مجموعه‌ی سرویس گرید نامزد دارد $CS_i = \{CS_i^1,CS_i^2,...,CS_i^{m_i}\}$ که در آن CS_i^j یک سرویس گرید نامزد را نشان می‌دهد
- m_i: تعداد سرویس‌های گرید نامزد قابل دسترس برای وظیفه‌ی T_i
- هر سرویس گرید نامزد CS_i^j یک مجموعه از پارامترهای مختلف کیفیت سرویس دارد $QoS_i^j = \{Q_1,Q_2,...,Q_K\}$ که Q_p $(1 \le p \le K)$ بیانگر یک پارامتر کیفیت سرویس می‌باشد
- K: تعداد پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید که در مدل کیفیت سرویس استفاده شده است
- QC: مجموعه‌ی محدودیت‌های سراسری کیفیت سرویس که توسط کاربر مشخص می‌گردد $QC = \{c_1,c_2,...,c_K\}$

با در نظر گرفتن موارد فوق، مسئله‌ی ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس یافتن سرویس گرید مرکب بهینه $CGS = (S_1,S_2,...,S_n)$ می‌باشد که در عین حال محدودیت‌های زیر را نیز ارضا کند:

اگر Q_j $(1 \le j \le K)$ یک پارامتر جمعی[11] باشد $\sum_{i=1}^{n} S_i.Q_j < c_j$

اگر Q_j $(1 \le j \le K)$ یک پارامتر ضربی[12] باشد $\prod_{i=1}^{n} S_i.Q_j > c_j$



شکل (۲): چارچوب مدل کیفیت سرویس پیشنهادی

Fig. (2): Proposed service quality model framework

```
1  Proposed_QoS_Model (QWS , nb_Bins)        // QWS: QWS Data Set        nb_Bins: Number of Bins
2  {
3    Dis_QWS = Discretize (QWS , nb_Bins);     // Dis_QWS: Discretized QWS Data Set
4    BN_DAG = K2 (Dis_QWS);                    // BN_DAG: Structure of the Bayesian network in the form of DAG
5    Soft_Dis_QWS = Soft_Discretize (QWS , nb_Bins);         // Soft_Dis_QWS: Soft Discretized QWS Data Set
6    Learned_BN = Learn_Params (BN_DAG , Soft_Dis_QWS);      // Learned_BN: Learned Bayesian Network
7    While (1)
8    {
9      Input(Evidence_Nodes);                  // Evidenced_Nodes: Nodes which their values are seen
10     Input(Unseen_Nodes);                    // Unseen_Nodes: Nodes which their values are unknown
11     Unseen_Nodes_Values = Inference ( Learned_BN , Evidence_Nodes , Unseen_Nodes);
12   }
13 }
```

شکل (۳): یک شبه کد سطح بالا برای مدل کیفیت سرویس پیشنهادی

Fig. (3): A high level pseudo code for for proposed Quality of Service model

در صورتی که یک الگوریتم مکاشفه‌ای مانند الگوریتم ژنتیک، شبیه-سازی تبرید، بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها و غیره برای حل این مسئله مورد استفاده قرار گیرد، هدف اصلی الگوریتم ترکیب، یافتن سرویس گرید مرکب با بهترین مقدار شایستگی و یا به عبارتی دیگر نزدیک بهینه خواهد بود.

۳- مدل پیشنهادی کیفیت سرویس

در این بخش مدل کیفیت سرویس پیشنهادی که یک مدل احتمالی با استفاده از شبکه‌ی بیزی می‌باشد، ارائه خواهد شد. شکل (۲) چارچوب مدل کیفیت سرویس پیشنهادی را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۳) یک شبه‌کد سطح بالا از مدل کیفیت سرویس پیشنهادی ارائه شده است. بخش‌های مختلف چارچوب مدل کیفیت سرویس پیشنهادی شامل نحوه‌ی آموزش ساختاری و پارامتری شبکه‌ی بیزی، استنتاج و تخمین مقادیر نامشخص کیفیت سرویس در ادامه این بخش آمده است.

۳-۱- آموزش ساختار شبکه بیزی

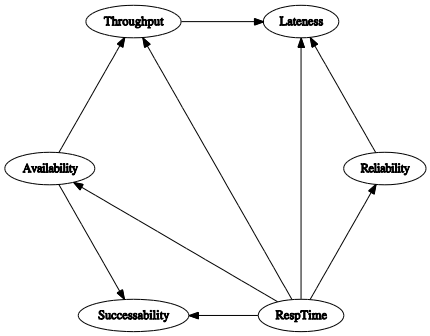
ساختار شبکه‌ی بیزی باید گویای وابستگی‌های بین متغیرهای موجود در شبکه باشد. دو گره در ساختار یک شبکه‌ی بیزی باید متصل باشند اگر یکی از آنها بر دیگری تأثیر می‌گذارد. ایجاد ساختار یا توپولوژی شبکه اولین گام در مدل‌سازی یک مسئله با استفاده از شبکه‌ی بیزی می‌باشد. در اساس دو روش برای ایجاد ساختار یک شبکه‌ی بیزی وجود دارد: استفاده از دانش افراد خبره در دامنه‌ی مسئله‌ی مورد نظر و استفاده از تکنیک‌های آموزش ساختار از داده[۲۶], [۲۷].

رویکردهای متعددی برای آموزش ساختار شبکه‌ی بیزی از داده در ادبیات تحقیق پیشنهاد شده است. برای آموزش ساختار شبکه در مدل پیشنهادی از الگوریتم K2 [۲۸] استفاده شده است. K2 پرکاربردترین الگوریتم آموزش ساختار شبکه بیزی از داده به شمار می‌رود که از یک رویکرد حریصانه استفاده می‌کند [۲۹], [۳۰]. الگوریتم K2 یک الگوریتم جستجوی حریصانه است که ساختار شبکه مربوط به یک شبکه‌ی بیزی را با استفاده از مجموعه‌داده‌ی مورد نظر آموزش می‌دهد. K2 تلاش می‌کند تا ساختاری برای شبکه انتخاب کند که احتمال موخر شبکه را با در نظر گرفتن مجموعه داده‌ی آموزشی بیشینه کند. الگوریتم K2 پیچیدگی محاسباتی انتخاب ساختار شبکه را با استفاده از یک ترتیب اولیه برای گره‌های شبکه کاهش می‌دهد. در این ترتیب اگر گره‌ی X_i پیش از گره‌ی X_j بیاید، در ساختار به دست آمده گره‌ی X_j نمی‌تواند پدر گره‌ی X_i باشد.

یکی از لازمه‌های هر الگوریتم آموزش ساختار در شبکه‌های بیزی، یک مجموعه داده می‌باشد که شامل مقادیر متعدد برای متغیرهای شبکه باشد. مجموعه داده‌ی مورد استفاده در مدل پیشنهادی برای آموزش ساختار شبکه توسط المَصری[۱۳] و سایر همکارانش تهیه شده است [۳۱]. این مجموعه داده که مجموعه داده‌ی QWS[۱۴] نامیده می‌شود، شامل مقادیر پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به ۲۵۰۷ سرویس وب مختلف می‌باشد [۳۶]. این پارامترها عبارتند از: زمان پاسخ، قابلیت دسترسی، توان عملیاتی، قابلیت موفقیت، قابلیت اطمینان، رضایت[۱۵]، بهترین تمرین[۱۶]، تاخیر و مستندسازی. جزئیات مربوط به پارامترهای فوق در [۳۱] آمده است. با توجه به عدم تغییر مقادیر پارامترهای رضایت، بهترین تمرین و مستندسازی در زمان اجرای سرویس‌ها، این پارامترها در مدل پیشنهادی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند و شبکه‌ی بیزی ساخته‌شده شامل شش پارامتر بعدی است.

یکی از محدودیت‌های مهم همه‌ی الگوریتم‌های آموزش ساختار در شبکه‌های بیزی این است که فقط از مجموعه داده‌ی گسسته و یا مجموعه داده‌ی پیوسته با توزیع نرمال می‌توانند برای آموزش استفاده کنند. بررسی مجموعه داده‌ی QWS که برای آموزش ساختار و همچنین آموزش پارامتری شبکه‌ی بیزی مورد استفاده قرار خواهد گرفت، نشان می‌دهد که مقادیر موجود در آن پیوسته بوده و همچنین دارای توزیع نرمال نیستند و بنابراین به این شکل نمی‌توانند برای آموزش ساختار شبکه‌ی بیزی مورد نظر مورد استفاده قرار گیرند. یکی از بهترین راه‌حل‌ها برای برطرف کردن این مشکل، بخش‌بندی مقادیر پیوسته به تعدادی دسته[۱۷] می‌باشد. فرآیند بخش‌بندی مقادیر پیوسته به دسته‌های مختلف، گسسته‌سازی نامیده می‌شود. همانطور که در شکل (۲) نیز بیان شده است، مقادیر موجود در مجموعه داده‌ی QWS پیش از استفاده برای آموزش ساختار و پارامتری شبکه‌ی بیزی با استفاده از تکنیک گسسته‌سازی به مقادیر گسسته تبدیل شده‌اند.

برای آموزش ساختار شبکه‌ی بیزی مورد نظر از مجموعه داده QWS، میزکار WEKA [۳۷] مورد استفاده قرار گرفته است [۳۲]. WEKA شامل یک مجموعه‌ی جامع از الگوریتم‌های آموزش ماشین و ابزارهای پردازش داده می‌باشد. WEKA الگوریتم‌های مختلفی را برای آموزش ساختار یک شبکه‌ی بیزی از داده ارائه می‌کند که الگوریتم K2 را نیز شامل می‌شود. همچنین WEKA الگوریتمی را برای گسسته‌سازی مقادیر پیوسته ارائه می‌کند که از آن برای گسسته‌سازی مقادیر موجود در مجموعه داده‌ی QWS استفاده شده است. ساختار شبکه‌ی بیزی به دست آمده از اجرای الگوریتم K2 در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): شبکه بیزی ساخته‌شده توسط الگوریتم K2

Fig. (4): Implemented Bayesian network with K2 algorithm

۳-۲- آموزش پارامتری شبکه بیزی

گام بعدی پس از ایجاد ساختار شبکه‌ی بیزی آموزش پارامترهای آن می‌باشد. آموزش پارامترهای یک شبکه بیزی توزیع‌های احتمال شرطی را برای هر گره‌ی آن مشخص می‌کند. برای آموزش پارامترهای شبکه‌ی بیزی ساخته شده، از بسته‌ی گسسته‌سازی نرم برای BNT[۱۸] استفاده شده است [۳۳]. این بسته که یک توسعه برای BNT[۱۹] می‌باشد، تکنیک گسسته‌سازی نرم را برای آموزش مستقیم یک شبکه‌ی بیزی گسسته از داده‌های پیوسته پیاده‌سازی کرده است [۳۸]. الگوریتم آموزش پارامتری استفاده شده در این بسته الگوریتم تخمین احتمال ماکزیمم[۲۰] می‌باشد.

الگوریتم تخمین احتمال ماکزیمم در بسیاری از زمینه‌های یادگیری استفاده می‌شود. ایده‌ی اصلی که این الگوریتم از آن استفاده می‌کند، این است که مدلی را به عنوان مدل مناسب انتخاب می‌کند که برازنده‌ی مناسبی برای داده‌ی مورد نظر داشته باشد. در نتیجه الگوریتم تخمین احتمال ماکزیمم احتمال اینکه یک مدل مولد داده‌های مشاهده شده باشد را محاسبه می‌کند. با اجرای الگوریتم آموزش پارامتری بر روی شبکه‌ی بیزی ایجاد شده، برای هر گره از شبکه یک جدول احتمال شرطی[۲۱] ساخته می‌شود که موتور استنتاج از این جدول‌ها برای تخمین مقادیر ناشناخته‌ی پارامترها استفاده خواهد کرد.

۳-۳- الگوریتم تخمین

پس از مراحل آموزش ساختاری و پارامتری، شبکه‌ی بیزی آموزش یافته را می‌توان برای تخمین مقادیر دیده‌نشده استفاده کرد. مرحله‌ی

تخمین مقادیر در شبکه‌های بیزی معمولاً استنتاج نامیده می‌شود. استنتاج در شبکه‌های بیزی با تشخیص احتمالات مورد نیاز از مدل مربوطه سر و کار دارد. به عبارت دیگر، الگوریتم استنتاج با داشتن شواهد و مقادیری برای یک مجموعه از متغیرهای دامنه، مقادیر لازم برای سایر متغیرهای دامنه را تخمین می‌زند. به عنوان مثال در شبکه‌ی بیزی شکل (۲) احتمال قابلیت دسترسی بر اساس مشاهدات سایر متغیرها تخمین زده می‌شود.

بسته‌ی گسسته‌سازی نرم علاوه بر الگوریتم‌های آموزش پارامتری شامل الگوریتم‌هایی است که از گسسته‌سازی نرم برای استنتاج در شبکه‌های بیزی گسسته استفاده می‌کند. الگوریتم استنتاج استفاده-شده در این بسته الگوریتم درخت اتصال[۲۲] است. الگوریتم درخت اتصال که توسط لاریتزن[۲۳] و اشپیگل هالتر[۲۴] [۳۴] توسعه داده شده است، یکی از مشهورترین الگوریتم‌هایی است که برای استنتاج دقیق در شبکه‌های بیزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم بر اساس یک تحلیل عمیق درباره ارتباط بین تئوری گراف و تئوری احتمال می‌باشد. الگوریتم درخت اتصال به جای کار با DAG اصلی شبکه از ساختار داده‌ی دیگری به نام درخت اتصال استفاده می‌کند. یکی از مزایای اصلی این الگوریتم در این است که ساخت درخت اتصال برای یک شبکه‌ی بیزی مستقل از متغیرهای پرسش و متغیرهای مشاهده-شده می‌باشد. بنابراین به محض ساخته شدن درخت اتصال برای یک شبکه‌ی بیزی، می‌توان از آن برای متغیرهای پرسش و مشاهده شده‌ی مختلف استفاده کرد.

در مدل پیشنهادی کیفیت سرویس، شواهد و ورودی‌ها برای الگوریتم استنتاج تغییرات پویایی هستند که در مقادیر بعضی از پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید نامزد اعمال می‌شوند. در حقیقت زمانی که تغییری در یک یا چند پارامتر کیفیت سرویس مربوط به یک سرویس گرید نامزد اعمال می‌گردد، الگوریتم استنتاج این تغییرات کیفیت سرویس را به عنوان شواهد و ورودی دریافت کرده و مقادیر جدیدی را برای سایر پارامترهای کیفیت سرویس تخمین می‌زند. مقادیر تخمینی جدید برای پارامترهای کیفیت سرویس در انباره‌ی کیفیت سرویس[۲۵] ذخیره می‌گردند و بنابراین الگوریتم‌های ترکیب سرویس گرید همیشه به مقادیر واقعی‌تر و دقیق‌تر کیفیت سرویس دسترسی دارند. همچنین در صورت نامشخص بودن مقادیر پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به بعضی از سرویس‌های گرید نامزد در فرآیند ترکیب، الگوریتم تخمین قادر به تخمین و استنتاج این مقادیر ناشناخته می‌باشد.

۳-۴- تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس

در محیط سرویس‌گرای گرید موقعیت‌هایی وجود دارند که در آنها بعضی از جنبه‌های کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید ناشناخته و نامعین هستند. از طرف دیگر این سرویس‌های گرید با مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس ممکن است به عنوان سرویس‌گرید نامزد در یک فرآیند ترکیب سرویس انتخاب شوند. الگوریتم‌های ترکیب سرویس گرید مبتنی بر کیفیت سرویس نیز برای ایجاد سرویس‌گرید مرکب بهینه نیاز به تمامی اطلاعات کیفیت سرویس تمامی سرویس‌های گرید نامزد دارند. بنابراین در چنین شرایطی الگوریتم ترکیب سرویس مجبور به چشم‌پوشی از سرویس‌های گرید نامزدی است که دارای مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس هستند.

تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس مربوط به یک سرویس گرید نامزد فرصتی را برای آن فراهم می‌کند که در صورت برآورده کردن شرایط به عنوان یک سرویس عضو در سرویس گرید مرکب بهینه انتخاب شود. نتایج آزمایشات بیانگر این موضوع است که تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس می‌تواند موجب افزایش کیفیت سرویس گرید مرکب ساخته شده گردد.

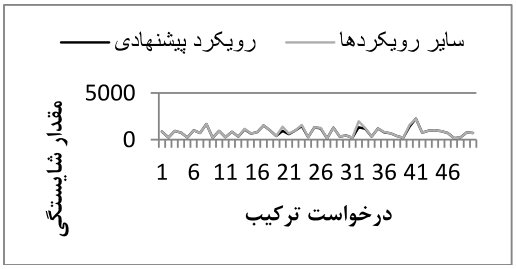
۴- ارزیابی و نتایج آزمایشات

با توجه به استفاده از بسته‌ی گسسته‌سازی نرم برای آموزش پارامتری و استنتاج، تمامی آزمایشات مربوطه در محیط MATLAB انجام شده است. این آزمایشات بر روی یک کامپیوتر Dell با پردازنده Core i7 و سرعت 2.0 GHz و حافظه اصلی 6 GB انجام شده است. در آزمایشات مربوطه برای اطلاعات کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید نامزد از مجموعه داده QWS استفاده شده است. همچنین برای اینکه تأثیر تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس بر کیفیت سرویس گرید مرکب ارزیابی گردد، از الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت مورچگان مربوط به پژوهش قبلی‌مان [۳۵] استفاده شده است. این الگوریتم مسئله‌ی ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس را به عنوان یک مسئله‌ی بهینه‌سازی در نظر گرفته و در نهایت سرویس‌گرید مرکبی را ایجاد می‌کند که دارای بهترین مقدار شایستگی[۲۶] باشد. برای جزئیات بیشتر درباره این الگوریتم به [۳۵] مراجعه گردد. پیاده‌سازی این الگوریتم نیز در محیط MATLAB انجام شده است.

در حالت کلی دو نوع آزمایش برای ارزیابی مدل کیفیت سرویس پیشنهادی انجام شده است. آزمایش اول برای ارزیابی قدرت تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس با استفاده از شبکه‌ی بیزی ساخته-شده، انجام شده است. این آزمایش دو بار و برای تخمین دو پارامتر قابلیت دسترسی و قابلیت موفقیت اجرا شده است. برای انجام این آزمایش ۲۰ سرویس از مجموعه داده‌ی QWS به صورت تصادفی انتخاب شده و با استفاده از الگوریتم تخمین بحث شده در بخش قبل مقدار پارامترهای قابلیت دسترسی و قابلیت موفقیت آنها تخمین زده شده است. جدول‌های (۱) و (۲) به ترتیب مقادیر تخمین‌زده شده برای این دو پارامتر را در مقایسه با مقادیر واقعی آنها نشان می‌دهد. مقایسه‌ی مقادیر تخمینی با مقادیر واقعی آنها در جدول‌های (۱) و (۲) بیانگر این موضوع است که مقادیر تخمینی از دقت بالایی برخوردار بوده و در نتیجه برای استفاده در فرآیند ترکیب کاملاً قابل اطمینان می‌باشند.

آزمایش دوم نیز برای بررسی میزان تأثیر تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس بر کیفیت سرویس گرید مرکب انجام گرفته است. برای انجام آزمایش دوم، مجموعه داده‌ی QWS به طور تصادفی دستکاری شده و مقادیر بعضی از پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به بعضی از سرویس‌ها با نسبت دادن عدد ۱- به آنها ناشناخته در نظر گرفته شده‌اند. برای ایجاد تنوع در آزمایش دوم، تغییر مذکور در مجموعه داده‌ی QWS دفعات مختلف و به ترتیب بر روی ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد از سرویس‌ها انجام گرفته است. همچنین ۵۰ درخواست ترکیب سرویس بطور تصادفی تولید شده و الگوریتم ترکیب سرویس مبتنی بر کیفیت سرویس دو بار برای هر درخواست ترکیب اجرا شده است. در اجرای اول تمامی سرویس‌های گرید نامزد که دارای مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس هستند، در فرآیند ترکیب دخالت داده نشده‌اند و بنابراین در سرویس گرید مرکب ایجاد شده نیز جایی ندارند. اما در اجرای دوم تمامی مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید نامزد با استفاده از الگوریتم استنتاج تخمین زده شده و در نتیجه سرویس‌های گرید نامزد مربوطه در فرآیند ترکیب استفاده شده‌اند.

شکل‌های (۵)، (۶)، (۷) و (۸) مقادیر شایستگی سرویس‌های گرید مرکب ایجادشده را در هر دو اجرای الگوریتم ترکیب به ازای نرخ‌های مختلف تغییر در مجموعه داده‌ی QWS نشان می‌دهد. نمودارهای خاکستری و مشکی در اشکال میزان شایستگی سرویس‌های گرید مرکب را به ترتیب در دو اجرای الگوریتم ترکیب نشان می‌دهند. نمودار مشکی مربوط به رویکرد پیشنهادی و نمودار خاکستری نیز مربوط به سایر رویکردهاست که سرویس‌های گرید دارای مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس را در فرآیند ترکیب دخالت نمی‌دهند. همانگونه که از اشکال مشهود است، نمودار مشکی یا بر روی نمودار خاکستری و یا زیر آن قرار گرفته است. با در نظر گرفتن این موضوع که کوچک بودن مقدار شایستگی نمایانگر بهتر بودن سرویس گرید مرکب مربوطه است، می‌توان نتیجه گرفت که تخمین مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس موجب افزایش کیفیت سرویس گرید مرکب ایجاد شده می‌گردد.



شکل (۵): مقدار شایستگی سرویس گرید مرکب نزدیک بهینه برای رویکرد پیشنهادی و سایر رویکردها (درصد سرویس‌های با مقادیر ناشناخته: ۲)

Fig. (5): Quasi-optimum composite grid service fitness value fot the proposed and other methods (Unknown values of service percentages: 2)

Table (1): Estimated values for availablility parameter

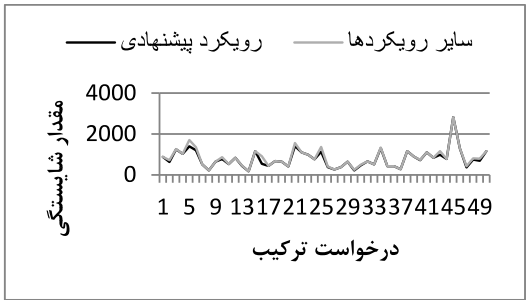
جدول (۱): مقادیر تخمینی برای پارامتر قابلیت دسترسی

شناسه سرویس	مقدار واقعی	مقدار تخمینی
1	89	88.7263
2	98	98.0669
3	87	87.8199
4	98	97.9270
5	96	96.4725
6	90	90.2813
7	85	84.4018
8	84	83.4080
9	86	85.5719
10	80	80.3051
11	94	94.2242
12	56	56.3740
13	46	46.4502
14	91	91.5135
15	89	89.4461
16	86	86.1527
17	93	93.7695
18	56	55.3164
19	88	88.0140
20	77	76.7596

Table (2): Estimated values for successability parameter

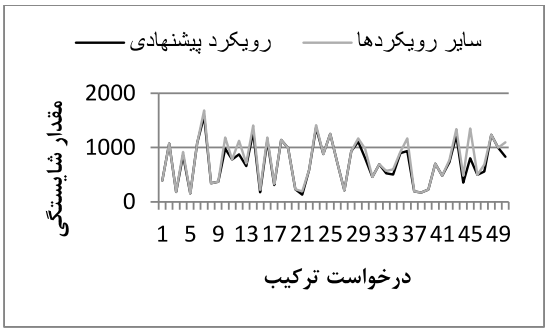
جدول (۲): مقادیر تخمینی برای پارامتر قابلیت موفقیت

شناسه سرویس	مقدار واقعی	مقدار تخمینی
1	۹۰	90.6030
2	۹۵	95.2177
3	۸۱	80.3541
4	۹۹	98.1716
5	۷۶	76.5311
6	۹۷	97.4240
7	۹۹	98.4743
8	۹۵	95.4587
9	۹۷	96.9395
10	۸۶	86.8311
11	۸۶	86.6789
12	۸۰	80.2359
13	۹۶	96.4418
14	۷۲	72.4502
15	۸۴	84.1856
16	۹۴	94.6740
17	۹۸	97.5038
18	۵۸	58.3453
19	۴۷	47.3341
20	۹۷	96.9494



شکل (۶): مقدار شایستگی سرویس گرید مرکب نزدیک بهینه برای رویکرد پیشنهادی و سایر رویکردها (درصد سرویس‌های با مقادیر ناشناخته: ۵)

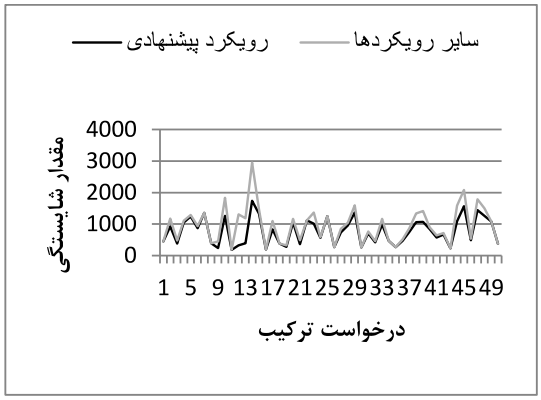
Fig. (6): Fitness value of near optimal composite Grid service for proposed approach and other approaches (Services with unknown QoS values: 5%)



شکل (۷): مقدار شایستگی سرویس گرید مرکب نزدیک بهینه برای رویکرد پیشنهادی و سایر رویکردها (درصد سرویس‌های با مقادیر ناشناخته: ۱۰)

Fig. (7): Fitness value of near optimal composite Grid service for proposed approach and other approaches (Services with unknown QoS values: 10%)

همچنین جدول (۳) نیز میزان تأثیر تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس را بر کیفیت سرویس گرید مرکب را با افزایش تعداد مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس نشان می‌دهد. با دقت در نتایج جدول (۳) می‌توان به این نکته پی برد که با افزایش تعداد سرویس‌های گرید نامزد با مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس، تخمین مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس تأثیر بیشتری در کیفیت سرویس گرید مرکب ایجاد شده خواهد داشت.



شکل (۸): مقدار شایستگی سرویس گرید مرکب نزدیک بهینه برای رویکرد پیشنهادی و سایر رویکردها (درصد سرویس‌های با مقادیر ناشناخته: ۲۰)

Fig. (8): Fitness value of near optimal composite Grid service for proposed approach and other approaches (Services with unknown QoS values: 20%)

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک مدل جدید کیفیت سرویس برای ترکیب سرویس‌های گرید مبتنی بر کیفیت سرویس با استفاده از شبکه‌های بیزی ارائه گردید. مدل پیشنهادی یک مدل احتمالی می‌باشد که از شبکه‌ی بیزی استفاده کرده و عدم قطعیت در سرویس‌های گرید را مد نظر قرار می‌دهد. در این مدل هر پارامتر کیفیت سرویس مربوط به سرویس‌های گرید به عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفته شده و با استفاده از الگوریتم‌های آموزش ساختار و آموزش پارامتری تمامی وابستگی‌های احتمالی بین آنها به دست می‌آید. پس از آموزش ساختاری و پارامتری، شبکه بیزی ایجاد شده با استفاده از الگوریتم‌های استنتاج برای تخمین مقادیر ناشناخته و نامعلوم بعضی از پارامترهای کیفیت سرویس مربوط به برخی از سرویس‌های گرید نامزد به کار برده می‌شود. تخمین مقادیر ناشناخته‌ی پارامترهای کیفیت سرویس این امکان را برای الگوریتم ترکیب سرویس مبتنی بر کیفیت سرویس فراهم می‌کند تا از سرویس‌های دارای مقادیر ناشناخته‌ی کیفیت سرویس در فرآیند ترکیب استفاده کند. نتایج آزمایشات انجام شده و ارزیابی آنها نشان داد که دقت مقادیر تخمین زده شده برای پارامترهای نامشخص کیفیت سرویس از دقت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین آزمایشات انجام گرفته گویای این موضوع است که تخمین مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس و دخالت دادن سرویس‌های گرید مورد نظر در فرآیند ترکیب، می‌تواند کیفیت سرویس گرید مرکب را افزایش دهد.

Table (3): The impact of estimating unknown QoS values on composite Grid service's quality

جدول (۳): تأثیر تخمین مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس بر کیفیت سرویس گرید مرکب

درصد مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس	$Fitness_1 < Fitness_2$	$Fitness_1 = Fitness_2$
0%	0%	100%
2%	20%	80%
5%	36%	64%
10%	46%	54%
20%	72%	28%

$Fitness_1$: مقدار شایستگی در حالتی که مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس تخمین زده شده‌اند

$Fitness_2$: مقدار شایستگی در حالتی که مقادیر ناشناخته کیفیت سرویس تخمین زده نشده‌اند

پی‌نوشت:

1. Virtual Organization
2. Open Grid Service Architecture
3. Abstract Service
4. Candidate Service
5. Quality of Service
6. Non-functional Properties
7. Linear Integer Programming
8. Simulated Annealing
9. Multi Constraint Optimization Problem
10. Directed Acyclic Graph (DAG)
11. Additive Parameter
12. Multiplicative Parameter
13. Al-Masri
14. Quality of Web Service
15. Compliance
16. Best Practices
17. Bin
18. BNT Soft Discretization Package
19. Bayes Net Toolbox for Matlab
20. Maximum Likelihood Estimation
21. Conditional Probability Table (CBT)
22. Junction Tree Algorithm
23. Lauritzen
24. Spiegelhalter
25. QoS Repository
26. Fitness Value

References

[1] I. Foster, "The anatomy of the grid: Enabling scalable virtual organizations", International J.of Super computer Applications, Vol. 15, No. 3, 2001.

[2] I. Foster, C. Kesselman, J.M. Nick, S. Tuecke, "The physiology of the grid", Grid computing: making the global infrastructure a reality, pp. 217–250, 2003.

[3] I. Foster, C. Kesselman, Eds., The Grid2: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann, 2004.

[4] M. Ali, Z.Y. Dong, P. Zhang, "Adoptability of grid computing technology in power systems analysis, operations and control", Generation, Transmission Distribution, IET, Vol. 3, No. 10, pp. 949–959, 2009.

[5] S. Tuecke, K. Czajkowski, I. Foster, J. Frey, S. Graham, C. Kesselman, H.w.G.O.o.-w.K. Czajkowski, P.V. eds, I.F. Anl, J.F. Ibm, C.K.U. isi, D. Snelling, F. Labs, P. V Nasa, "Open grid services infrastructure (OGSI)" , 2003.

[6] A. Grimshaw, M. Morgan, D. Merrill, H. Kishimoto, A. Savva, D. Snelling, C. Smith, D. Berry, "An open grid services architecture primer", Computer, Vol. 42, No. 2, pp. 27–34, 2009.

[7] Z. Yun-feng, G. Wei, "An improvement on algorithm of grid-workflow based on QoS", Wuhan University Journal of Natural Sciences, Vol. 9, pp. 793–797, 2004.

[8] D. Chiu, S. Deshpande, G. Agrawal, R. Li, "A dynamic approach toward QoS-aware service workflow composition", In Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services, pp. 655–662, 2009.

[9] N. Joncheere, W. Vanderperren, R. Van Der Straeten, "Requirements for a workflow system for grid service composition", In Business Process Management Workshops, Vol. 4103, J. Eder and S. Dustdar, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, pp. 365–374, 2006.

[10] A. Mani, A. Nagarajan, "Understanding quality of service for Web services", IBM developerWorks, 2002.

[11] Z. Kobti, W. Zhiyang, "An adaptive approach for QoS-aware web service composition using cultural algorithms", In Proceedings of the 20th Australian joint conference on Advances in artificial intelligence, pp. 140–149, 2007.

[12] G. Canfora, M.Di Penta, R. Esposito, M.L. Villani, "An approach for QoS-aware service composition based on genetic algorithms", In Proceedings of the 2005 conference on Genetic and evolutionary computation, pp. 1069–1075, 2005.

[13] M. Alrifai, T. Risse, "Combining global optimization with local selection for efficient QoS-aware service composition", In Proceedings of the 18th international conference on World wide web, pp. 881–890, 2009.

[14] F. Lécué, "Optimizing QoS-aware semantic web service composition", In The Semantic Web, ISWC 2009, Vol. 5823, A. Bernstein, D. Karger, T. Heath, L. Feigenbaum, D. Maynard, E. Motta, and K. Thirunarayan, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, pp. 375–391, 2009.

[15] L.J. Zhang, B. Li, "Requirements driven dynamic services composition for web services and grid solutions", Journal of Grid Computing, Vol. 2, pp. 121–140, 2004.

[16] Y. Ma, C. Zhang, "Quick convergence of genetic algorithm for QoS-driven web service selection", Computer Networks, Vol. 52, No. 5, pp. 1093–1104, 2008.
[17] J.A. Parejo, P. Fernandez, A.R. Cortés, "QoS-aware services composition using Tabu search and hybrid genetic algorithms", Actas de los Talleres de las Jornadas de Ingenier{'i}a del Software y Bases de Datos, Vol. 2, No. 1, 2008.
[18] C. Zhang, S. Su, J. Chen, "DiGA: Population diversity handling genetic algorithm for QoS-aware web services selection", Compututer Communications, Vol. 30, No. 5, pp. 1082–1090, 2007.
[19] C. Zhang, S. Su, J. Chen, "Efficient population diversity handling genetic algorithm for QoS-aware web services selection", In Computational Science, ICCS 2006, vol. 3994, V. Alexandrov, G. van Albada, P. Sloot, and J. Dongarra, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, pp. 104–111, 2006.
[20] C. Zhang, S. Su, J. Chen, "A novel genetic algorithm for QoS-aware web services selection", In Data Engineering Issues in E-Commerce and Services, Vol. 4055, J. Lee, J. Shim, S. -g. Lee, C. Bussler, and S. Shim, Eds. Springer Berlin / Heidelberg, pp. 224–235, 2006.
[21] Z. GAO, J. CHEN, X. QIU, L. MENG, "QoE/QoS driven simulated annealing-based genetic algorithm for Web services selection", The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, Vol. 16, No. 08, pp. 102–107, 2009.
[22] Y. Vanrompay, P. Rigole, Y. Berbers, "Genetic algorithm-based optimization of service composition and deployment", In Proceedings of the 3rd international workshop on Services integration in pervasive environments, pp. 13–18, 2008.
[23] X. Yuan, "Heuristic algorithms for multiconstrained quality-of-service routing", IEEE/ACM Trans. on Networking (TON), Vol. 10, No. 2, pp. 244–256, 2002.
[24] P. Van Mieghem, H. De Neve, F. Kuipers, "Hop-by-hop quality of service routing", Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Vol. 37, No. 3–4, pp. 407–423, 2001.
[25] F. Kuipers, T. Korkmaz, M. Krunz, P. Van Mieghem, "Performance evaluation of constraint-based path selection algorithms", IEEE Network, Vol. 18, pp. 16–23, 2004.
[26] U.B. Kjaerulff, A.L. Madsen, Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis. Springer, p. 318, 2008.
[27] M.J. Flores, A.E. Nicholson, A. Brunskill, K.B. Korb, S. Mascaro, "Incorporating expert knowledge when learning Bayesian network structure: A medical case study", Artificial Intelligence in Medicine, Vol. 53, No. 3, pp. 181–204, 2011.
[28] G.F. Cooper, E. Herskovits, "A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data", Machine Learning, Vol. 9, No. 4, pp. 309–347, 1992.
[29] L. Bouchaala, A. Masmoudi, F. Gargouri, A. Rebai, "Improving algorithms for structure learning in Bayesian Networks using a new implicit score", Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 7, pp. 5470–5475, 2010.
[30] R. Chen, K. Sivakumar, H. Kargupta, "Learning Bayesian network structure from distributed data", In Proceedings of the 3rd SIAM International Data Mining Conference, pp. 284–288, 2003.
[31] E. Al-Masri, Q.H. Mahmoud, "Investigating web services on the world wide web", In Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web, pp. 795–804, 2008.
[32] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, I.H. Witten, "The WEKA data mining software: an update", SIGKDD Explorations, Vol. 11, No. 1, pp. 10–18, 2009.
[33] I. Ebert-Uphoff, "A probability-based approach to soft discretization for bayesian networks", Atlanta, GA (USA), 2009.
[34] S.L. Lauritzen, D.J. Spiegelhalter, "Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems", Journal of the Royal Statistical Society B, Vol. 50, pp. 157–224, 1988.
[35] A.A. Pourhaji Kazem, H. Pedram, H. Abolhassani, "A novel ant colony optimization algorithm for QoS-aware grid service composition", In Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, pp. 789–792, 2011.
[36] http://www.uoguelph.ca/ qmahmoud/qws/index.html.
[37] http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/
[38] http://www.dataonstage.com/bnt/PACKAGES/SoftDiscretization/