

استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در طراحی شبکه‌های اینترنتی جهت تضمین کیفیت سرویس

الهام علی پور چوری^۱، محسن رستمی مال خلیفه^{۲*}، فرهاد حسین زاده لطفی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استاد، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۵ بهمن ۱۳۹۹

پذیرش مقاله: ۱۸ مرداد ۱۴۰۰

چکیده

انتخاب شبکه اینترنتی برتر توسط کاربران یا ارایه یک شبکه اینترنتی مطلوب توسط خدمت‌دهندگان سیستم‌های ارایه‌دهنده اینترنت، همواره یکی از مسایل مهم تصمیم‌گیری در این حوزه به شمار می‌رود. انتخاب یک شبکه بهینه منحصر به فرد از میان مجموعه‌ای از بهترین شبکه‌ها هنوز یک چالش بزرگ می‌باشد. هدف از این مقاله استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی شبکه‌های اینترنتی موجود به منظور انتخاب مطلوب‌ترین شبکه می‌باشد. به این صورت که ابتدا به شبیه‌سازی یک شبکه اینترنتی خاص جهت تضمین کیفیت سرویس کاربران می‌پردازیم. مدل‌های مختلفی برای تضمین کیفیت سرویس ارایه شده است که از این میان می‌توان به شبکه خدمات متمایز اشاره کرد که توسط IETF ارایه می‌گردد. در معماری خدمات متمایز هیچ مکانیزم کنترل دسترسی در نظر گرفته نشده است. به جهت تضمین کیفیت سرویس، شبکه خدمات متمایز باید از مکانیزم کنترل دسترسی پشتیبانی نماید. به جهت این که مکانیزم کنترل دسترسی بهترین نتیجه را بدهد باید پارامترهای شبکه طوری در نظر گرفته شوند که هم‌زمان با افزایش کارایی شبکه، میزان اتلاف و تأخیر را حداقل نمایند. سپس با ارایه یک مدل وزن مشترک جدید در DEA به انتخاب مطلوب‌ترین شبکه می‌پردازیم و در نهایت با استفاده از مدل ارایه شده به ارزیابی و رتبه‌بندی ۳۳ شبکه اینترنتی شبیه‌سازی شده پرداخته و خروجی ارزیابی رتبه‌بندی این ۳۳ شبکه اینترنتی می‌باشد که شبکه‌های با رتبه‌های بالا به عنوان مطلوب‌ترین شبکه انتخاب می‌شوند.

کلمات کلیدی: شبکه اینترنتی، کنترل پذیرش تماس، تحلیل پوششی داده‌ها، وزن مشترک، نسبت رضایت.

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: Mohsen_rostamy@yahoo.com

۱ مقدمه

با توسعه سرویس‌های جدید مانند Voice over IP و ویدئو کنفرانس لزوم استفاده از مکانیزم‌هایی برای حمایت از کیفیت سرویس برنامه‌های کاربردی، حس می‌گردد. مدل‌های مختلفی برای تضمین کیفیت سرویس ارائه شده که از این میان می‌توان به خدمات متمایز اشاره کرد که توسط IETF^۱ ارائه می‌گردد. در معماری خدمات متمایز هیچ مکانیزم کنترل دسترسی^۲ در نظر گرفته نشده است. به جهت تضمین کیفیت سرویس، شبکه خدمات متمایز^۳ باید از مکانیزم کنترل دسترسی پشتیبانی نماید. به جهت این که مکانیزم کنترل دسترسی بهترین نتیجه را بدهد باید پارامترهای شبکه طوری در نظر گرفته شوند که هم‌زمان با افزایش کارایی شبکه، میزان اتلاف و تأخیر را حداقل نمایند. بدین منظور به جهت ارزیابی هم‌زمان کارایی ورودی‌های مختلف و یافتن بهترین مجموعه ورودی‌ها که بهترین خروجی‌ها را تولید کنند از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها^۴ استفاده شده است.

تحلیل پوششی داده‌هایک تکنیک ریاضی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs) با چندین شاخص ورودی و خروجی اولین بار با مقاله چارنز و همکاران (۱۹۷۸) معرفی شد [۱] و طی ۴۰ سال گذشته مقالات مختلفی چه از لحاظ کاربرد در علوم مختلف و چه از لحاظ تئوری ریاضی در این حوزه ارائه شده است [۲]. در DEA هر DMU در بهترین شرایط ارزیابی خواهد شد، و این باعث می‌شود که اگر یک DMU ناکارا باشد با هیچ روش دیگر کارا نشود [۳].

تحلیل پوششی داده‌ها اندازه کارایی واحدهای تصمیم‌گیری با چندین ورودی و خروجی را به وسیله دادن وزن‌هایی به آن‌ها و به صورت نسبت جمع خروجی‌های وزن‌دار بر ورودی‌های وزن‌دار به دست می‌آورد. لذا هر واحد تصمیم‌گیری می‌تواند مطلوب‌ترین وزن‌ها را برای حاصل شدن ماکزیمم شاخص کارایی اختیار کند. بنابراین شاخص کارایی به دست آمده بهترین سطح کارایی برای هر واحد تصمیم‌گیری می‌باشد [۳]. اما انتخاب وزن‌های مختلف برای واحدهای تصمیم‌گیرنده در عمل غیرقابل قبول است. بعضی دانشمندان با ارتباط دادن برنامه‌ریزی چندهدفه و DEA، تکنیک وزن مشترک^۵ را برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی آن‌ها ارائه دادند [۴-۸].

سؤالی که در اینجا مطرح است این است که چگونه می‌توان با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بهترین شبکه اینترنت را انتخاب نمود. درواقع انتخاب بهترین شبکه اینترنتی طراحی شده با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها به چه صورت است؟

اخیراً علی پور و رستمی (۲۰۱۹) با استفاده از مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به انتخاب بهترین شبکه اینترنتی طراحی شده پرداختند. ارزیابی کارایی به وسیله مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها معمولاً به رتبه‌بندی منحصر به فرد منجر نمی‌شود [۹]. علاوه بر این مشکل انتخاب وزن‌های ورودی و خروجی متفاوت برای واحدهای تصمیم‌گیرنده وجود دارد. در این مقاله به دنبال ارائه یک مدل وزن مشترک جدید برای ارزیابی و رتبه‌بندی

¹ Internet Engineering Task Force

² Call Admission Control

³ Differentiated Service

⁴ DEA

⁵ Common Weight

شبکه‌های اینترنتی و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه می‌باشیم. درواقع کار در دو بخش نظری و کاربردی ارایه خواهد شد. در مرحله اول یک مدل جدید وزن مشترک ارایه خواهد شد. این مدل بر پایه یک مفهوم جدید معروف به نسبت رضایت است. سپس به شبیه‌سازی شبکه‌های کامپیوتری و ارزیابی آن‌ها با استفاده از مدل وزن مشترک می‌پردازیم. در نهایت با استفاده از نمره کارایی وزن مشترک به رتبه‌بندی شبکه‌های کامپیوتری و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه کامپیوتری می‌پردازیم.

در ادامه مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی می‌شود: در بخش بعدی به مباحث مربوط به طراحی شبکه خدمات متمایز جهت تضمین کیفیت سرویس خواهیم پرداخت. در بخش سوم به ارایه یک مدل جدید وزن مشترک می‌پردازیم. انتخاب مطلوب‌ترین شبکه اینترنتی طراحی شده به وسیله مدل وزن مشترک ارایه شده به عنوان یک کاربرد تجربی آن در بخش چهارم آورده می‌شود. بخش پنجم شامل نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادها است.

۲ پیش‌نیازها

در این بخش مروری بر مدل‌های پوشش در لجستیک امداد در ۱۰ سال گذشته شده است. لازم به ذکر است در این بخش پیش‌نیازهای از مقاله آورده می‌شود به این صورت که ابتدا مکانیزم کنترل پذیرش تماس مبتنی بر پارامتر به لبه شبکه خدمات متمایز اضافه شده و سپس با تغییر ورودی‌های مرتبط که شامل ساینز بافر، تعداد منابع ورودی و متوسط نرخ سرویس می‌باشند، خروجی‌ها شامل اتلاف، تاخیر و بهره‌وری با استفاده از روش شبیه‌سازی با شبیه‌ساز NS2 به دست می‌آید. در این پروژه شبکه خدمات متمایز را به عنوان DMU انتخاب نموده و با دادن ورودی‌های مختلف به آن DMU‌های متفاوت ساخته و سپس کارایی این DMU‌ها توسط مدل‌های DEA بررسی می‌شوند.

۲-۱ الگوریتم کنترل پذیرش مبتنی بر پارامتر

در این زیر بخش الگوریتم ساده‌ای برای کنترل پذیرش تماس معرفی می‌شود که به مسیر یاب‌های لبه شبکه خدمات متمایز اضافه گردید. این الگوریتم یک طرح کنترل پذیرش مبتنی بر پارامتر می‌باشد. یعنی کاربر مشخصات ترافیک خود را تعیین می‌سازد. در روش پیشنهادی مقدار میانگین μ و واریانس σ^2 مربوط به ترافیک ورودی باید توسط کاربر مشخص شود. برای کنترل پهنای باند از معیار پهنای باند معادل استفاده می‌شود و پهنای باند مؤثر منابع مالتی‌پلکس شده از رابطه (۱) به دست می‌آید [۱۰].

$$C(\mu, \sigma^2, \varepsilon) = \mu + \sigma \sqrt{-2 \ln(\varepsilon) - \ln(2\pi)} \quad (1)$$

در روش پیشنهادی مقدار میانگین μ و واریانس σ^2 مربوط به ترافیک ورودی باید توسط کاربر مشخص شود. ε مقدار آستانه اتلاف بسته را مشخص می‌سازد. لازم به ذکر است که میزان حداکثر نرخ اتلاف بسته در توافق نامه سطح سرویسی که فراهم کننده سرویس با کاربر امضاء می‌کند، مشخص می‌شود.

هنگامی که تقاضای جدیدی به لبه شبکه می‌رسد باید تصمیم گرفته شود که آیا پذیرش جریان جدید کیفیت سرویس جریان‌های موجود در شبکه را خدشه‌دار می‌سازد یا نه. با دانستن تعداد منابع فعال و داشتن حداکثر نرخ ارسال منبع جدید ترافیک P_{new} و با این فرض که منبع جدید در حال ارسال ترافیک با نرخ حداکثر آن می‌باشد می‌توان پهنای باند لازم برای پذیرش جریان جدید را طبق رابطه (۲) تخمین زد.

$$C_{est} = \sum_{i=1}^n P_i + P_{new} \quad (2)$$

با داشتن C_{total} و اندازه‌گیری C_{est} ، معیار کنترل پذیرش طبق رابطه (۴) ارایه شده است [۱۱].

$$\begin{aligned} \text{if } C_{est} \leq C_{total} & \quad \text{admit} \\ \text{if } C_{est} > C_{total} & \quad \text{reject} \end{aligned} \quad (3)$$

reject if $C_{est} > C_{total}$ در الگوریتم پیشنهادی فرض شده است که از طریق تدارک شبکه و مهندسی ترافیک، حداقل پهنای باندی به اندازه C_{total} به صورت انتها به انتها موجود باشد. همچنین فرض شده است هر زمان که یک منبع بخواهد فعال شود و ترافیکی را ارسال کند درخواستش را از طریق پروتکل رزرو منابع به اطلاع گره ورودی برساند. فرض مشابهی هم برای زمان خاتمه یافتن یک سرویس در نظر گرفته شده است. یعنی در هنگام خاتمه یافتن یک سرویس هم، منبع مورد نظر به گره مرزی، خاتمه سرویس را اطلاع می‌دهد [۱۲].

۲-۲ مدل‌های وزن مشترک

فرض کنید که x_{ij} نشان‌دهنده i امین ورودی و y_{ij} نشان‌دهنده j امین خروجی از i امین واحد تصمیم‌گیری باشد. مدل کسری CCR برای ارزیابی واحد تصمیم‌گیری o ام یک مدل برنامه‌ریزی خطی به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \max E_o &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{io}} \\ \text{s.t.} & \\ \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} &\leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} &\geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (4)$$

که در آن u_r و v_i به ترتیب وزن‌های به کار گرفته شده برای خروجی‌ها و ورودی‌ها و ε یک عدد کوچک غیر ازشمیدسی می‌باشند. هدف به دست آوردن ماکزیمم شاخص کارایی E_o تحت قیدهایی است که شاخص

کارایی همه واحدها کمتر یا مساوی واحد باشد وقتی که این وزن‌ها را برای آنها به کار می‌بریم. مقدار بهینه از مدل (۴) را اگر با E_j^* نشان دهیم، بهترین سطح کارایی به دست آمده برای DMU_j می‌باشد [۱۳].

برای به دست آوردن مجموعه مشترک از وزن‌ها برای همه DMU ها می‌توانیم $E^* = (E_1^*, E_2^*, \dots, E_n^*)$ را به عنوان ایده آل در نظر بگیریم. در واقع می‌خواهیم بردار کارایی $E(u, v) = (E_1(u, v), E_2(u, v), \dots, E_n(u, v))$ حاصل از مجموعه مشترک از وزن‌ها را طوری به دست آوریم که با جواب ایده آل E^* کمترین فاصله را داشته باشد. برای به دست آوردن درجه نزدیکی بین $E(u, v)$ و E^* خانواده‌ی کلی از فاصله‌های زیر را به کار می‌بریم:

$$D_p(E(u, v)) = \left[\sum_{j=1}^n (E_j^* - E_j(u, v))^p \right]^{1/p} \quad p \geq 1 \quad (5)$$

که p بیانگر پارامتر فاصله می‌باشد. وزن‌های مشترک (u, v) و شاخص کارایی $E_j(u, v)$ وابسته به آن که از مدل برنامه‌ریزی خطی زیر به دست می‌آید را جواب‌های توافقی وابسته به پارامترهای p گوئیم. مدل وزن مشترک می‌تواند به صورت زیر باشد [۷]:

$$\begin{aligned} \min D_p &= \left[\sum_{j=1}^n (E_j^* - E_j(u, v))^p \right]^{1/p} \quad p \geq 1 \\ \text{s.t.} \\ \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} &\leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} &\geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (6)$$

که به عنوان مثال برای حالت $p = 1$ به جای مدل (۶) می‌توان مدل زیر را حل نمود:

$$\begin{aligned} \max \sum_{j=1}^n \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \\ \text{s.t.} \\ \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} &\geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (7)$$

که این همان مدل لی و رویز (۱۹۹۹) می‌باشد [۱۴].

برای حالتی $p = 2$ هدف از مدل (۶) پیدا کردن مجموعه از وزن‌های $(u^{(2)}, v^{(2)})$ می‌باشد که کوتاه‌ترین فاصله بین E^* و $E^{(2)}$ در فضای اقلیدسی معمول را نتیجه می‌دهد. پس مدل وزن مشترک غیرخطی زیر برای حالت $p = 2$ به دست می‌آید.

$$\min D_r = \sum_{j=1}^n (E_j^* - \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}})^r \quad (8)$$

s.t.

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i$$

و نیز برای حالتی $p = \infty$ اندازه فاصله به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\max_j \{E_j^* - E_j(u, v)\}$$

که هدف مینیمم کردن ماکزیمم تک‌تک انحرافات می‌باشد. تابع هدف دو سطحی^۱ از

$$\min_{u, v} \max_j \{E_j^* - E_j(u, v)\}$$

را با در نظر گرفتن

$$w = \max_j \{E_j^* - E_j(u, v)\}$$

می‌توان به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی یک سطحی زیر تبدیل نمود:

$$\min w$$

s.t.

$$E_j^* - \left(\frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \right) \leq w \quad (9)$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_{rd} \geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i$$

در این بخش پیش‌نیازهای مورد استفاده در این مقاله آورده شد. در بخش‌های بعدی یک مدل وزن مشترک

جدید ارایه و با استفاده از آن به انتخاب مطلوب‌ترین شبکه‌ای اینترنتی می‌پردازیم.

۳ مدل وزن مشترک ارایه‌شده

اخیراً وی و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل وزن مشترک با استفاده از تعریف مفهومی با عنوان درجه رضایت ارایه داده‌اند [۸]. در این بخش ما نیز یک مفهوم جدید با عنوان نسبت رضایت معرفی نموده و به وسیله آن یک مدل وزن مشترک ارایه خواهیم نمود. برای این کار مراحل زیر را انجام می‌دهیم.

مرحله ۱: کارایی خودارزیابی از DMU_d با استفاده از مدل CCR در DEA به صورت زیر نمایش داده خواهد شد:

¹Two-level

$$\begin{aligned}
\max E_d &= \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rd} \\
\text{s.t.} \\
\sum_{i=1}^m v_{id} x_{id} &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
u_{rd} &\geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{10}$$

که در آن u_{rd} و v_{id} به ترتیب نمایشی از وزنهای r آمین خروجی و i آمین ورودی از DMU_d هستند. حاصل این مدل مقدار ماکزیمم کارایی $\bar{E}_d$ است. برای هر DMU_d یک مجموعه از وزنهای بهینه $v_{1d}^*, v_{2d}^*, \dots, v_{md}^*, u_{1d}^*, u_{2d}^*, \dots, u_{sd}^*$ با حل مدل (۱۰) به دست می آوریم. پس برای ارزیابی کارایی هر DMU یک مجموعه وزن داریم که کارایی آن DMU را در بهترین شرایط محاسبه می کند. اما این باعث یک نوع عدم رضایت در بین DMU ها می شود. شاید بهترین وزن انتخاب شده برای یک DMU برای یک DMU دیگر قابل قبول نباشد. برای رفع این مشکل از مدل های وزن مشترک در DEA استفاده می شود.

در ادامه مقدار آنتی ایده آل کارایی برای DMU_j ($j = 1, \dots, n; j \neq d$) با توجه به وزنهای DMU_d را می توان به صورت زیر محاسبه نمود.

$$\begin{aligned}
\min E_{dj} &= \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} \\
\text{s.t.} \\
\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &= 1 \\
\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rd} - \bar{E}_d \sum_{i=1}^m v_{id} x_{id} &= 0, \\
\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
u_{rd} &\geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i
\end{aligned} \tag{11}$$

در اینجا به دنبال مینیمم کردن کارایی DMU_j ($j = 1, \dots, n; j \neq d$) با توجه به وزنهای بهینه DMU_d هستیم. در اینجا یک ماتریس کارایی به دست می آید. که اصطلاحاً ماتریس کارایی بدین نامیده می شود. بعد از به دست آوردن ماتریس کارایی بدین، مینیمم مقدار را به عنوان نمره کارایی بدین به صورت زیر به دست می آوریم:

$$\underline{E}_d = \min_{j=1, \dots, n} E_{dj} \tag{12}$$

DMU_j ($j = 1, \dots, n; j \neq d$) همواره در تلاش هستند که مقدار کارایی $\bar{E}_j$ را به دست آورد. اما رسیدن به این مقدار برای همه DMU_j ($j = 1, \dots, n; j \neq d$) نشدنی می‌باشد. همچنین DMU_j سعی می‌کند از مقدار کارایی $\underline{E}_j$ دوری کند. با توجه به این توضیحات مفهوم زیر آورده خواهد شد.

تعریف: برای DMU_j ($j = 1, \dots, n; j \neq d$) نسبت رضایت با توجه به وزن‌های DMU_d به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi_j = \frac{1}{\bar{E}_j - \underline{E}_j} (w_1(E_j - \underline{E}_j) - w_r(\bar{E}_j - E_j)) \quad (13)$$

در اینجا ϕ_j را نسبت رضایت می‌گوییم و هر چه مقدار آن بیشتر باشد، نشان از رضایت بیشتر است. w_1 و w_r وزن‌های است که از طرف تصمیم گیرنده به منظور اهمیت فاصله کارایی از ایده‌آل آن یا آنتی‌ایده‌آل آن می‌باشد. همچنین $w_1 + w_r = 1$ است. در اینجا با توجه به نسبت رضایت تعریف شده در فوق، مدل زیر را برای به دست آوردن وزن مشترک برای همه DMU ها ارایه می‌نماییم.

$$\begin{aligned} \max_{j=1, \dots, n} \phi_j &= \frac{1}{\bar{E}_j - \underline{E}_j} (w_1(E_j - \underline{E}_j) - w_r(\bar{E}_j - E_j)) \\ \text{s.t.} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij} &\leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ u_{rd} &\geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned}$$

که مقادیر ایده‌آل $\bar{E}_j$ و مقادیر آنتی‌ایده‌آل $\underline{E}_j$ به دست آمده به ترتیب با استفاده از مدل‌های (۱۰) و (۱۱) می‌باشند. همچنین E_j متغیر کارایی DMU_j با استفاده از مدل وزن مشترک است که با توجه به مدل (۱۴) تعیین می‌شود. در اینجا هدف به دست آوردن ماکزیم نسبت رضایت برای DMU_j ($j = 1, \dots, n$) است. اما با استفاده از روش‌های چند هدفه می‌توان آن را به یک مدل برنامه‌ریزی تک هدفه تبدیل نموده و سپس حل نمود [۱۵، ۱۶]. یکی از این روش‌ها که در این مقاله از آن استفاده می‌کنیم روش وزن‌دار شده است. بنابراین با استفاده از روش وزن‌دار شده، مدل (۱۴) به مدل تک هدفه زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \max \sum_{j=1}^n w_j' \phi_j \\ \text{s.t.} \\ \phi_j &= \frac{1}{\bar{E}_j - \underline{E}_j} (w_1(E_j - \underline{E}_j) - w_r(\bar{E}_j - E_j)), \quad j = 1, \dots, n \\ E_j &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rd} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{id} x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n w_j' &= 1 \\ u_{rd} &\geq \varepsilon, \quad v_{id} \geq \varepsilon, \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (15)$$

که W_j' وزن مربوط به هدف j در روش وزن دار شده است که به وسیله تصمیم گیرنده مشخص می شود، اما این وزن ها باید نامنفی $\sum_{j=1}^n W_j' = 1$ باشد. توجه کنید که اگر $\bar{E}_{dj} = E_{dj}$ (برای $j = 1, \dots, n; d = 1, \dots, n$) باشند در کسر نسبت رضایت ۱ قرار می دهیم. خروجی این مدل، محاسبه کارایی وزن مشترک برای همه DMU ها است. با توجه به مطالب فوق، فرآیند زیر را برای رتبه بندی DMUs با توجه به نسبت رضایت خواهیم داشت:

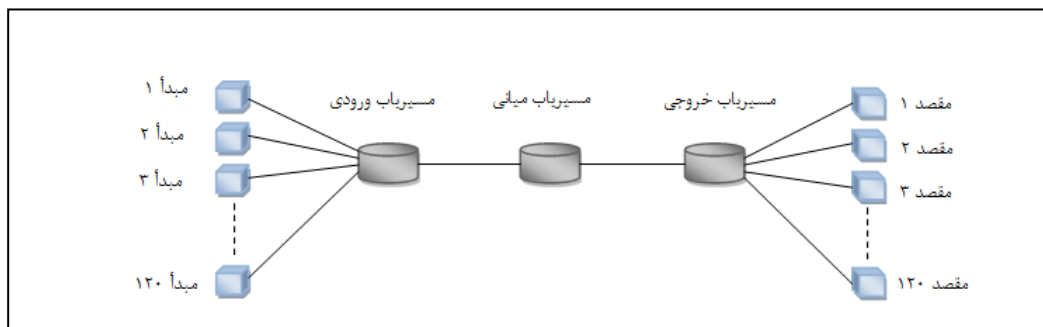
فرآیند پیشنهادی:

- ۱- ابتدا با استفاده از مدل (۱۰) مقادیر کارایی $\bar{E}_a$ برای $(d=1, \dots, n)$ را محاسبه می کنیم.
- ۲- با استفاده از مدل (۱۱) مقادیر E_{dj} را برای به دست آوردن ماتریس کارایی بدین به دست می آوریم.
- ۳- با استفاده از رابطه (۱۲) مقادیر کارایی بدین E_j را محاسبه می نمایم.
- ۴- با استفاده از مدل (۱۵) کارایی وزن مشترک را برای همه DMU ها به دست می آوریم.
- ۵- رتبه بندی واحدهای تصمیم گیرنده را بر اساس امتیاز کارایی وزن مشترک انجام می دهیم.

۴ ارزیابی و انتخاب مطلوب ترین شبکه کامپیوتری

۴-۱ توپولوژی شبکه شبیه سازی شده

برای ارزیابی کارایی الگوریتم کنترل پذیرش در شبکه خدمات متمایز، از شبیه ساز NS-2 استفاده گردید. توپولوژی استفاده شده توپولوژی dumbbell بوده است که در شکل ۱ نشان داده شده است. این شبکه به عنوان DMU در نظر گرفته شده و با تعیین ورودی های مختلف به آن DMU های متفاوتی می سازیم.



شکل ۱. توپولوژی شبکه [۹]

در این پروژه به شبیه سازی دو کلاس ترافیک شبکه خدمات متمایز پرداخته شده است: کلاس خدمات ممتاز یا کلاس EF و کلاس بهترین تلاش یا BE^۱. تعداد ۱۲۰ منبع در توپولوژی مورد نظر در نظر گرفته شده است که وظیفه تولید ترافیک در شبکه را برعهده دارند. این منابع، دو نوع ترافیک را تولید می کنند. ترافیک EF، ترافیک VoIP می باشد و ترافیک BE، ترافیک بهترین تلاش بوده که درصد بالایی از

^۱Best Effort

ترافیک موجود در شبکه جهانی اینترنت را تشکیل می‌دهد.

۴-۲ تعریف ورودی‌ها و خروجی‌ها

ورودی اول: از میان منابع، تعداد منابعی که به تولید ترافیک EF می‌پردازند را ورودی اول در نظر می‌گیریم که مقادیر این ورودی‌ها در جدول ۱ آمده است. متناسب با این ورودی‌ها تعداد منابع BE نیز تغییر می‌کند که برابر تفاضل تعداد منابع EF از کل منابع می‌باشد. برای این دو کلاس از ترافیک از صف‌های جداگانه استفاده شده است.

ورودی دوم: سائز صف ترافیک EF به عنوان ورودی دوم در نظر گرفته می‌شود که مقدار آن‌ها در جدول ۱ آمده است. سائز صف کلاس BE برابر ۲۰ در نظر گرفته شده است. برای مدل کردن ترافیک VoIP از مدل منبع Exponential ON/OFF، که زمان‌های ON و OFF آن به صورت نمایی توزیع شده‌اند، استفاده شده است. میانگین طول مدت بازه‌های ON و OFF به ترتیب برابر $1/0.04$ و $1/5.87$ ثانیه در نظر گرفته شده است. حداکثر نرخ انتقال در زمان ON بودن منبع برابر ۶۴Kbps می‌باشد. در مورد ترافیک بهترین تلاش هم از منابعی با نرخ بیت ثابت ۵۰Kbps استفاده شد. طول مدت برقراری ترافیک یک منبع، یک عدد تصادفی با توزیع نرمال و میانگین ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. ظرفیت لینک خروجی ۳/۱Mbps می‌باشد که این ظرفیت بین دو ترافیک EF و BE تقسیم می‌گردد.

ورودی سوم: میزان ظرفیت لینک اختصاص داده شده به ترافیک EF را ورودی سوم در نظر می‌گیریم که در جدول ۱ آمده است.

با انجام شبیه‌سازی برای هر یک از DMUها به مدت زمان ۱۰۰۰ ثانیه، خروجی‌های مورد نظر به دست آمده است.

خروجی اول: میزان اتلاف بسته‌های مربوط به ترافیک EF

خروجی دوم: میزان تاخیر ارسال بسته‌های ترافیک EF از مبدا به مقصد

خروجی سوم: بهره‌وری شبکه مورد نظر.

DMUها و مقادیر ورودی و خروجی در جدول ۱ ارایه شده است.

I1 = تعداد منابع ورودی	I2 = سائز بافر	I3 = میزان ظرفیت بافر
O1 = بهره‌وری	O2 = اتلاف	O3 = تاخیر

¹Constant Bit Rate (CBR)

جدول ۱. مقادیر ورودی و خروجی های شبکه های اینترنتی

DMUs	ورودی ۱	ورودی ۲	ورودی ۳	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳
DMU1	۹۰	۳	۶۰۰	۸۳/۴۶	۵/۳۷	۱۳/۹۴
DMU2	۷۰	۳	۶۰۰	۸۴/۶۲	۴/۲۸	۱۳/۵۲
DMU3	۵۰	۳	۶۰۰	۸۵/۷۳	۳/۸۹	۱۳/۶۰
DMU4	۳۰	۳	۶۰۰	۸۵/۰۲	۴/۱۹	۱۳/۹۴
DMU5	۹۰	۴	۵۰۰	۸۵/۸۵	۶/۱۹	۱۵/۳۷
DMU6	۷۰	۴	۵۰۰	۸۷/۵۰	۵/۲۸	۱۴/۶۸
DMU7	۵۰	۴	۵۰۰	۸۲/۳۲	۳/۳۵	۱۴/۳۵
DMU8	۳۰	۴	۵۰۰	۸۴/۳۶	۵/۶۵	۱۵/۲۵
DMU9	۵۰	۳	۵۰۰	۸۵/۴۹	۶/۹۷	۱۴/۰۰
DMU10	۵۰	۳	۵۰۰	۸۴/۴۷	۶/۷۵	۱۴/۹۳
DMU11	۳۰	۵	۵۰۰	۸۴/۸۸	۵/۴۲	۱۵/۸۲
DMU12	۵۰	۵	۵۰۰	۸۴/۶۷	۲/۸۵	۱۴/۴۶
DMU13	۷۰	۵	۵۰۰	۸۶/۰۵	۳/۸۷	۱۵/۲۴
DMU14	۳۰	۴	۷۰۰	۷۹/۸۵	۰/۱۲	۱۳/۵۵
DMU15	۳۰	۳	۷۰۰	۷۸/۰۰	۲/۴۵	۱۳/۴۰
DMU16	۵۰	۳	۷۰۰	۷۸/۵۰	۲/۰۹	۱۲/۹۷
DMU17	۷۰	۳	۷۰۰	۷۶/۹۱	۲/۲۲	۱۳/۰۷
DMU18	۷۰	۴	۷۰۰	۷۸/۷۰	۰/۱۰	۱۳/۲۷
DMU19	۶۰	۳	۵۰۰	۸۶/۷۲	۵/۵۴	۱۳/۲۷
DMU20	۹۰	۴	۷۰۰	۷۸/۶۶	۰/۰۸	۱۳/۳۵
DMU21	۹۰	۵	۶۰۰	۸۸/۱۶	۱/۳۵	۱۴/۷۵
DMU22	۷۰	۵	۶۰۰	۵۵/۴۲	۰/۶۳	۱۴/۲۳
DMU23	۳۰	۵	۶۰۰	۸۸/۵۴	۱/۰۵	۱۴/۸۳
DMU24	۵۰	۵	۶۰۰	۸۸/۷۲	۰/۳۹	۱۳/۹۶
DMU25	۷۰	۲	۶۰۰	۷۷/۵۶	۱۲/۳۵	۱۳/۰۰
DMU26	۹۰	۳	۷۰۰	۷۲/۳۹	۵/۷۰	۱۲/۵۲
DMU27	۹۰	۳	۵۰۰	۸۲/۸۹	۹/۳۰	۱۴/۴۶
DMU28	۹۰	۵	۵۰۰	۸۷/۱۱	۶/۳۱	۱۶/۴۸
DMU29	۵۰	۴	۷۰۰	۸۰/۰۷	۰/۱۳	۱۳/۰۶
DMU30	۹۰	۴	۶۰۰	۸۶/۵۴	۲/۱۲	۱۴/۶۰
DMU31	۷۰	۳	۶۰۰	۸۷/۲۱	۶/۳۱	۱۴/۱۹
DMU32	۳۰	۴	۶۰۰	۸۷/۸۲	۱/۶۲	۱۴/۵۸
DMU33	۵۰	۴	۶۰۰	۸۸/۰۷	۱/۱۰	۱۳/۷۹

۴-۳ نتایج شبیه‌سازی

در این بخش به ارزیابی مطلوب‌ترین شبکه اینترنتی با استفاده از الگوریتم ارائه شده در این مقاله می‌پردازیم. در مرحله اول از مدل (۱۰) استفاده می‌کنیم و کارایی خودارزیابی را به دست می‌آوریم که نتایج اجرای مدل در جدول ۲ آورده شده است. توجه کنید که تمام مدل‌های برنامه‌ریزی خطی در اینجا با استفاده از نرم افزار لینگو ۱۱ اجر شده است.

جدول ۲. نتایج خودارزیابی با استفاده از مدل (۱۰)

DMU	نمره کارایی	DMU	نمره کارایی
DMU1	۰/۹	DMU18	۰/۶۸
DMU2	۰/۹	DMU19	۱
DMU3	۰/۹۴	DMU20	۰/۶۸
DMU4	۱	DMU21	۰/۸۳
DMU5	۱	DMU22	۰/۷۵
DMU6	۰/۹۶	DMU23	۱
DMU7	۰/۹۵	DMU24	۰/۸۶
DMU8	۱	DMU25	۰/۷۸
DMU9	۱	DMU26	۱
DMU10	۱	DMU27	۱
DMU11	۱	DMU28	۱
DMU12	۰/۹۸	DMU29	۰/۷
DMU13	۰/۹۸	DMU30	۰/۸۴
DMU14	۰/۹۱	DMU31	۱
DMU15	۰/۹۳	DMU32	۱
DMU16	۰/۸۴	DMU33	۰/۸۶
DMU17	۰/۷۷		

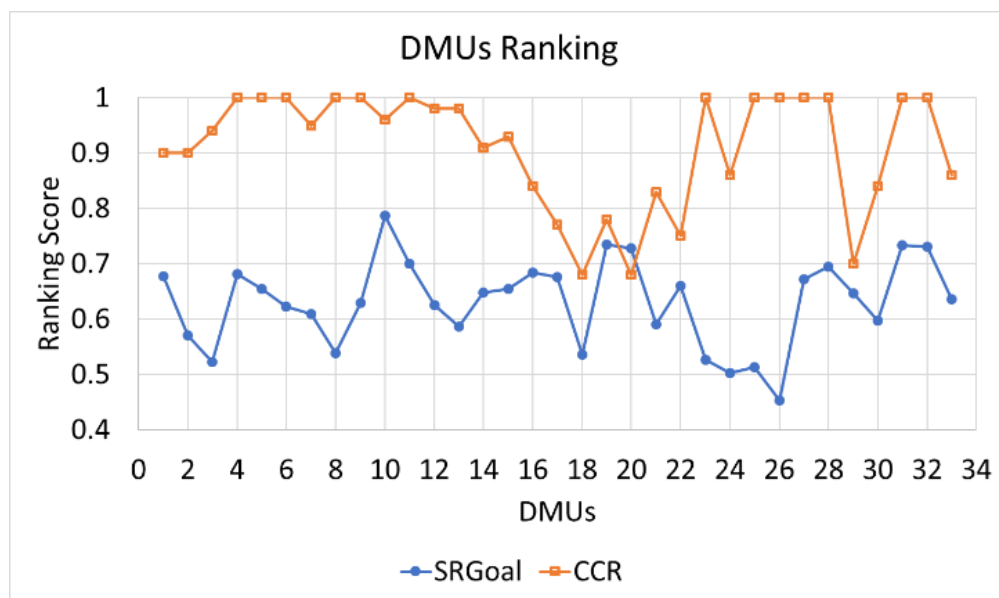
همان‌طور که از جدول ۲ می‌بینید، از مجموع ۳۳ واحد تصمیم‌گیری تعداد ۱۲ واحد نمره کارایی ۱ را کسب نموده‌اند و کارا می‌باشند و بقیه واحدهای تصمیم‌گیری ناکارا می‌باشند. سوالی که در اینجا به وجود می‌آید این است که مطلوب‌ترین شبکه کدام DMU است؟ در اینجا با توجه به نتایج مدل (۱۰) هر ۱۲ واحد تصمیم‌گیری کارا انتخاب مطلوبی برای شبکه کامپیوتری هستند و نمی‌توان انتخاب منحصر به فردی داشت. در ادامه برای انتخاب منحصر به فرد از الگوریتم پیشنهادی استفاده می‌کنیم. به این صورت که ابتدا مدل (۱۱) حل شده و با استفاده از نتایج آن ماتریس نمره کارایی بدین را تشکیل می‌دهیم. بعد از رابطه (۱۲) استفاده نموده و مقدار کارایی بدین E_j به دست می‌آید. در نهایت از مدل (۱۵) استفاده نموده و با اجرای مدل نمره کارایی وزن مشترک به دست می‌آید که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. نمره کارایی وزن مشترک بر پایه نسبت رضایت

رتبه	نمره کارایی وزن مشترک	DMUs
۱۰	۰/۶۷۷۵۷۶	DMU1
۲۶	۰/۵۷۰۳۰۳	DMU2
۳۰	۰/۵۲۲۴۲۴	DMU3
۹	۰/۶۸۱۲۱۲	DMU4
۱۴	۰/۶۵۴۵۴۵	DMU5
۲۱	۰/۶۲۳۰۳	DMU6
۲۲	۰/۶۰۹۰۹۱	DMU7
۲۷	۰/۵۳۸۴۸۵	DMU8
۱۹	۰/۶۲۹۶۹۷	DMU9
۱	۰/۷۸۷۲۷۳	DMU10
۶	۰/۶۹۹۳۹۴	DMU11
۲۰	۰/۶۲۵۷۵۸	DMU12
۲۵	۰/۵۸۶۶۶۷	DMU13
۱۶	۰/۶۴۷۸۷۹	DMU14
۱۵	۰/۶۵۴۲۴۲	DMU15
۸	۰/۶۸۴۲۴۲	DMU16
۱۱	۰/۶۷۵۷۵۸	DMU17
۲۸	۰/۵۳۶۰۶۱	DMU18
۲	۰/۷۳۴۸۱۸	DMU19
۵	۰/۷۲۷۲۷۳	DMU20
۲۴	۰/۵۹۰۳۰۳	DMU21
۱۳	۰/۶۵۹۳۹۴	DMU22
۲۹	۰/۵۲۶۹۷	DMU23
۳۲	۰/۵۰۲۷۲۷	DMU24
۳۱	۰/۵۱۳۶۳۶	DMU25
۳۳	۰/۴۵۳۳۳۳	DMU26
۱۲	۰/۶۷۱۸۱۸	DMU27
۷	۰/۶۹۴۸۴۸	DMU28
۱۷	۰/۶۴۶۶۶۷	DMU29
۲۳	۰/۵۹۷۵۷۶	DMU30
۳	۰/۷۳۳۰۳	DMU31
۴	۰/۷۳۰۹۷	DMU32
۱۸	۰/۶۳۶۰۶۱	DMU33

در ستون سوم جدول ۳ رتبه شبکه‌های اینترنتی آورده شده است. همان‌طور که می‌بینید الگوریتم پیشنهادی یک رتبه‌بندی منحصربه‌فرد از شبکه‌های اینترنتی ارائه داده است به طوری که شبکه‌های ۱۰، ۱۹ و ۳۱ به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را کسب نموده‌اند و می‌توان گزینه‌های خوبی برای انتخاب مطلوب‌ترین شبکه باشند. همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد هدف انتخاب مطلوب‌ترین شبکه‌ای اینترنتی می‌باشد. برای این کار تعداد ۳۳ شبکه‌ای اینترنتی شبیه‌سازی گردید. در ادامه هدف انتخاب مطلوب‌ترین شبکه‌ها با استفاده از مدل وزن مشترک ارائه شده در این مقاله می‌باشد. نتایج مدل نشان داد که شبکه‌های اینترنتی ۱۰، ۱۹ و ۳۱ نسبت به سایرین مطلوب‌تر می‌باشند. اطلاعات این شبکه‌ها در جدول ۴ و ۵ آورده شده است.

علاوه بر این در شکل ۲ نتایج رتبه‌بندی شبکه‌های اینترنتی حاصل از دو مدل CCR و الگوریتم پیشنهادی باهم مقایسه شده است. نمودار به طور واضح نشان می‌دهد که مدل CCR دارای ۱۲ واحد تصمیم‌گیری کارا با نمره کارایی ۱ می‌باشد، و هیچ انتخاب منحصربه‌فردی برای مطلوب‌ترین شبکه وجود ندارد. در حالی که در الگوریتم پیشنهادی، شبکه‌های اینترنتی ۱۰، ۱۹ و ۳۱ رتبه یک تا سه را به ترتیب به دست آورده‌اند. طبق نتایج مدل پیشنهادی، شبکه ۱۰ به عنوان مطلوب‌ترین شبکه انتخاب می‌شود.



شکل ۲. نمره کارایی برای دو مدل

هدف اصلی تحقیق، انتخاب مطلوب‌ترین شبکه با استفاده از روش وزن مشترک می‌باشد. نتایج مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که شبکه‌های اینترنتی ۱۰، ۱۹ و ۳۱ رتبه یک تا سه را به ترتیب به دست آورده‌اند و جزو مطلوب‌ترین شبکه‌ها می‌باشند. این سه شبکه در جدول ۴ نشان داده شده است. ورودی و خروجی‌های این سه شبکه می‌توانند معیاری برای سنجیدن شبکه‌های مطلوب باشند.

جدول ۴. مقادیر ورودی و خروجی های بهترین شبکه ها

DMUs	ورودی ۱	ورودی ۲	ورودی ۳	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳
DMU10	۵۰	۳	۵۰۰	۸۴/۴۷	۶/۷۵	۱۴/۹۳
DMU19	۶۰	۳	۵۰۰	۸۶/۷۲	۵/۵۴	۱۳/۲۷
DMU31	۷۰	۳	۶۰۰	۸۷/۲۱	۶/۳۱	۱۴/۱۹

برای این که بتوانیم از بین این سه شبکه بهترین شبکه اینترنتی نهایی را به دست آوریم از میانگین ورودی و خروجی های این سه شبکه به عنوان معیار برای انتخاب بهترین شبکه استفاده می کنیم. در واقع شبکه ای مطلوب می باشد که تعداد منابع ورودی آن برابر ۶۰، ساینز بافر برابر ۳، میزان ظرفیت بافر برابر ۵۳۳/۳، تاخیر برابر ۸۶/۱۳، اتلاف برابر ۶/۲ و بهره وری برابر ۱۴/۱۳ باشند. پس با این کار یک پیشنهاد بهینه برای انتخاب مطلوب ترین شبکه مطابق با جدول ۵ ارایه داده شد.

جدول ۵. انتخاب بهترین شبکه

	ورودی ۱	ورودی ۲	ورودی ۳	خروجی ۱	خروجی ۲	خروجی ۳
DMUd	۶۰	۳	۵۳۳/۳	۸۶/۱۳	۶/۲	۱۴/۱۳

اگر یک مقایسه بین بهترین شبکه و بدترین شبکه با استفاده از روش پیشنهادی داشته باشیم باید دو شبکه ۱۰ (بهترین شبکه) و شبکه ۲۶ (بدترین شبکه) در نظر گرفته شود. در شاخص های ورودی شبکه ۱۰ در مقایسه با شبکه ۲۶ همواره ورودی کمتری نیاز دارد و در شاخص های خروجی شبکه ۱۰ در مقایسه با شبکه ۲۶ همواره خروجی بیشتری دارد. به این خاطر شبکه ۱۰ رتبه به مراتب خیلی بهتر نسبت به شبکه ۲۶ را کسب نموده است.

۵ نتیجه گیری

در ایران، اگرچه تاکنون مقوله کیفیت سرویس مورد توجه زیادی قرار نگرفته؛ اما به دو دلیل پیش بینی می شود که در آینده نزدیک اهمیت بیشتری برای آن قایل شوند. دلیل نخست، ظهور شبکه های نسل آینده NGN^۱ مبتنی بر IP است که به دنبال خود تنوعی از سرویس ها را به همراه خواهد آورد و از این سرویس ها در بخش تجاری استفاده خواهد شد و مشتریان این سرویس ها نباید از طرف سرویس دهندگان دستخوش ضرر و زیان گردند. دلیل دوم نیز که البته بی ارتباط به دلیل نخست نیست، روند خصوصی سازی و آزادسازی است که امید می رود تا بازاری رقابتی در کشور فراهم نماید. در چنان بازاری، سرویس دهندگانی در عرصه رقابت باقی خواهند ماند که بتوانند کیفیت تضمین شده ای به مشتریان ارایه دهند. معماری خدمات متمایز، تکنولوژی می باشد که می تواند کیفیت سرویس را حتی برای سرویس های زمان حقیقی تأمین کند. برای این که به قابلیت مقیاس پذیری و یک مدل سرویس کارآمد به طور هم زمان دست یابیم به کنترل پذیرش تماس نیاز می باشد.

¹Next Generation Network

به جهت تضمین کیفیت سرویس، شبکه خدمات متمایز باید از روش کنترل پذیرش، پشتیبانی نماید. الگوریتم کنترل پذیرش مناسب تأثیر مهمی بر کارایی شبکه دارد. الگوریتمی که بیش از حد لزوم از پذیرش جریان‌هایی که می‌توانند به طور موفق پذیرش شوند جلوگیری می‌کند، منابع شبکه را به حالت زیر بهره‌وری خواهد برد. به طور مشابه الگوریتمی که جریان‌های زیادی را به طور نادرست بپذیرد باعث تخطی از کیفیت سرویس ضمانت شده می‌شود.

در این مقاله ابتدا مکانیزم کنترل پذیرش تماس مبتنی بر پارامتر به لبه شبکه خدمات متمایز اضافه شده و سپس با تغییر ورودی‌های مرتبط که شامل ساین بافر، تعداد منابع ورودی و متوسط نرخ سرویس می‌باشند، خروجی‌ها شامل اتلاف، تاخیر و بهره‌وری با استفاده از روش شبیه‌سازی با شبیه‌ساز NS2 به دست آمده‌است. سپس یک روش موثر برای طراحی بهینه شبکه جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری و استفاده بهینه از کلیه امکانات شبکه ارائه شده است، شبکه خدمات متمایز را به عنوان DMU انتخاب نموده و با دادن ورودی‌های مختلف به آن DMU‌های متفاوت ساخته و سپس کارایی این DMU‌ها توسط مدل‌های DEA بررسی شده است. در این مقاله یک مدل وزن مشترک برای ارزیابی و رتبه‌بندی شبکه‌های اینترنتی و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه ارائه گردید. در نهایت با استفاده از نمره کارایی وزن مشترک به رتبه‌بندی شبکه‌های کامپیوتری و انتخاب مطلوب‌ترین شبکه کامپیوتری پرداختیم.

الگوریتم پیشنهادی یک رتبه‌بندی منحصر به فرد از شبکه‌های اینترنتی ارائه داده است به طوری که شبکه‌های ۱۰، ۱۹ و ۳۱ از بین ۳۳ شبکه مورد بررسی، به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را کسب نموده‌اند و می‌توانند گزینه‌های خوبی برای انتخاب مطلوب‌ترین شبکه باشند.

منابع

- [1] Charnes, A., W.W.Cooper and E.Rhodes. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research 2, 429-444.
- [2] Emrouznejad. A. and Liang Yang. G. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. Socio-Economic Planning Sciences. (61), 4-8.
- [3] Cooper W.W., Seiford L.M., Zhu J. (2011) Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. In: Cooper W., Seiford L., Zhu J. (eds) Handbook on Data Envelopment Analysis. International Series in Operations Research & Management Science, vol 164. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8_1.
- [4] Chen, Y-W. Larbani, M. Chang, Y-P(2009). Multiobjective data envelopment analysis. J Opl Res Soc 60: 1556-1566.
- [5] Doyle, J., Green, R., (1994). Efficiency and cross efficiency in DEA: Derivations, meanings and the uses. Journal of the Operational Research Society 45 (5), 567-578.
- [6] Golany B and Yu G (1995). A goal programming-discriminant function approach to the estimation of an empirical production function based on DEA results. J Prod Anal 6: 171-186
- [7] Kao C and Hung CT . (2005). Data envelopment analysis with common weight: The compromise solution approach. J Opl Res Soc 56, 1196-1203
- [8] Wu, J., Chu, J., Zhu, Q., Li, Y., Liang, Y. (2016). Determining common weights in data envelopment analysis based on the satisfaction degree. Journal of the Operational Research Society, 1-13
- [9] Alipour Chavari, E. and Rostamy-Malkhalifeh, M (2019). Internet network design for quality of service guarantee using Data Envelopment Analysis (DEA). international data envelopment analysis. 7(2), 1-14.

- [10] Alipour, E. and Mohammadi, K.(2008). Adaptive admission control for quality of service guarantee in differentiated services networks. IJCSNS 8.6, 93.
- [11] Yese, Solomon Orduen, Abdulhakeem Abdulazeez, and Aminu Mohammed. (2019). Performance Evaluation of Dynamic QoS-Aware CAC (DQA-CAC) Algorithm for Broadband Networks." European Journal of Electrical Engineering and Computer Science 3.6.
- [12] Zanuttini, Deolindo, et al. "Using Software Defined Networking for Call Admission Control and VoIP applications." 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI). IEEE, 2018.
- [13] Goker, N., Karsak, E.E. (2021). Two-stage common weight DEA-Based approach for performance evaluation with imprecise data. Socio-Economic Planning Sciences, 74 (1), 1-13.
- [14] Li X.B and Reeves G.R. (1999). A multiple criteria approach to data envelopment analysis .Eur J Opl Res 115 507-517
- [15] Ehrgott, M. 2000. Multicriteria Optimization, volume 491 of Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer-Verlag, Berlin,.
- [16] Karimi, M., Karimi, B. (2017). Linear and conic scalarizations for obtaining properly efficient solutions in multiobjective optimization. Mathematical Sciences, 11(4), 319-325.