مدل احتمال جدید برای ضمانت کردن مشکل مسیر بحرانی با الگوریتم اکتشافی

چکیده

برای بدست آوردن شرح کافی در مورد ریسک مخالفت با ضمانت مشکل مسیر بحرانی، این مقاله رده جدیدی از مسائل ریسک حداقل دو مرحله ای توسعه می دهد. تابع هدف مرحله اول برای به حداقل رساندن احتمال وجود هزینه های مجموع متجاوز از مقدار آستانه از پیش تعیین شده است، در حالی که کار تابع هدف مرحله دوم به حداکثر رساندن طول مدت وظیفه تضمین است. برای توزیع دوره وظیفه عمومی، ما روش تخمین میانگین نمونه (SAA) را برای تابع هدف احتمال اتخاذ می کنیم. مسأله SAA منتج شده یک مدل برنامه نویسی صحیح دو مرحله ای است، که در آن نمود تحلیل از تابع ارزش مرحله دوم قابل دسترس نیست، و ما نمی توانیم آن را با الگوریتم های بهینه سازی مرسوم حل کنیم. برای جلوگیری از بروز این مشکل، ما الگوریتم پیوندی جدیدی با تلفیق روش برنامه نویسی پویا (DPM) و مجاورت ژنوتیپ-فنوتیپ مبنی بر بهینه سازی گروه حروف باینری (DPN-BPSO) طراحی کرده ایم که در آن DPM برای یافتن مسیر بحرانی در مسأله برنامه نویسی مرحله دوم به کار رفته استو ما چند آزمایش عددی از طریق مسأله مسیر بحرانی یا 30 گره و 42 کمان انجام داده ایم و در مورد مدل مغایر ریسک و نتایج تجربی حاصل شده با GPN-BPSO پیوندی، الگوریتم ژنتیک پیوندی (GA) و BPSO پیوندی بحث کرده ایم. نتایج محاسباتی نشان می دهند که GPN-BPSO به عملکرد بهتری نسبت به GA پیوندی و BPSO پیوندی دست می یابد، و مدل مسیر بحرانی پیشنهادی برای تصمیم گیرندگان مخالف ریسک مهم است.

واژگان کلیدی: مسیر بحرانی، مدل احتمال، بهینه سازی تصادفی، شرایط ریسک مینیمم، الگوریتم پیوندی

مقدمه

در مسأله مدیریت پروژه پیچیده، ما اغلب از گراف شبکه جهتدار برای شرح وظایف مختلف و روابط میان وظایف استفاده می کنیم. در این چارچوب، کمان ها نشان دهنده وظایف و وزن های کمان ها به عنوان دوره وظیفه متناظر با آن در نظر گرفته شده اند. همچنینی، گره 0 وجود دارد که نشان دهنده آغاز پروژه است و گره n نشان دهنده خاتمه (پایان) آن است. یک پروژه را در صورتی می توان تکمیل شده در نظر گرفت که تمام فعالیت های آن به اتمام رسیده باشند. نتیجه نظری مهم این است که حداقل زمان برای تکمیل تمام فعالیت ها در شبکه فعالیت معادل با طول طولانی ترین مسیر از گره منبع به گره مقصد است. از اینرو، این مسیر، که مسیر بحرانی نامیده شده است، نشان دهنده دنباله فعالیت هایی است که بیشترین زمان را برای تکمیل خواهد گرفت. Chen و همکارانش الگوریتم زمان چند جمله ای را برای یافتن مسیر بحرانی توسعه داده اند و روایی هر کمان را در شبکه فعالیت محدود زمانی تجزیه و تحلیل کرده اند. Guerriero و Talarico روشی کلی برای یافتن مسیر بحرانی در شبکه فعالیت روی کمان قطعی پیشنهاد کرده اند، و این کار را با در نظر گرفتن سه نوع مختلف از محدودیت های زمانی انجام داده اند.

حوزه دیگر تحقیق مرتبط با طبیعت تصادفی زمان فعالیت است. به عنوان مثال، Kelley و Moehring احتمالی را تخمین زده اند که یک پروژه با آن احتمال با ضرب العجل های معینی، در صورتی که طول مدت هر فعالیت با قطعیت مشخص نباشد، تکمیل خواهد شد؛ Burt و Garman، Bowman و Mitchell و Klastorin اطلاعات غیر قطعی انبوه را با تکنیک های مبتنی بر شبیه سازی اکتشافی و مبتنی بر شبیه سازی مونت کارلو بهبود داده اند، و Shen و همکارانش مدل های استثنایی و محدود به شانس را برای ضمانت کردن مسائل مسیر بحرانی پیشنهاد کرده اند و استراتژی های تجزیه را برای حل این مدل ها طراحی کرده اند.

در این مقاله، ما به مسأله مسیر بحرانی از نقطه نظر جدیدی دست یافته ایم. می دانیم که تناسب شرایط مورد انتظار برای تضمین مسأله مسیر بحرانی بسته به این فرضیه است که فرایند ضمانت می تواند چندین بار تکرار شود، این اشاره به قانون اعداد بزرگی دارد که در دراز مدت هزینه میانگین را تحمیل می کنند که

معادل با هزینه مورد انتظار است. اما این فرضیه اغلب تعدیل شده نیست و از اینرو هزینه مورد انتظار مسأله قابل توجهی برای تصمیم گیرندگان مخالف ریسک می باشد. از طرف دیگر، راه حل بهینه مسأله مقدار مورد انتظار می تواند تنها از دستیابی به هزینه مورد انتظار متناظر با احتمال نسبتاً کمی اطمینان بدهد. متعاقباً، تصمیم گیرندگان مخالف ریسک راه حل مسأله مقدار پیش بینی شده را بهینه در نظر نمی گیرند. در عوض، آنچه مطلوب است راه حلی است که از احتمال کم وجود هزینه های بسیار بالا اطمینان بدهد. این ملاحظات ما را به سمت اتخاذ شرایط ریسک مینیمم در ضمانت مسائل مسیر بحرانی هدایت می کنند. در مسأله مسیر بحرانی دو مرحله ضمانت تصادفی دو مرحله ای، تابع هدف مرحله اول شامل به حداقل رساندن احتمال هزینه های متجاوز از مقدار آستانه از پیش تعیین شده است، در حالیکه وظیفه تابع هدف مرحله دوم به حداکثر رساندن طول مدت وظیفه تضمین شده است. برای توزیع های دوره وظیفه عمومی، ما روش SAA را برای تابع هدف احتمال اتخاذ کرده ایم و مسأله مسیر بحرانی تضمینی شده اولیه را به نوع SAA متناظر با آن تغییر داده ایم. در مورد این روش تقریب برای مدل محدود به شانس و مدل مقدار مورد انتظار در بخش (11-13) بحث شده است. چون مدل SAA منتجه متعلق به رده مسائل با سختی NP است، ما نمی توانیم آن را با الگوریتم های بهینه سازی مرسوم حل کنیم. در این مقاله، ما الگوریتم های تکاملی (EA ها) را برای حل مسأله مسیر بحرانی SAA به کار می بریم.

EA ها روش های جستجوی تصادفی هستند که در حوزه های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته اند. در میان EA های موجود، GA و PSO شناخته شده ترین ابزارها برای حل مسائل بهینه سازی پیچیده هستند، و GA و PSO تغییر یافته و بهبود یافته متعددی و همچنین کاربردهای موفقیت آمیز آن ها را می توان در مقالات مختلف یافت. به عنوان مثال، Zeng و همکارانش GA عامل شبه زنجیره پویایی برای حل مسأله بهینه سازی عددی کلی پیشنهاد کرده اند؛ او و Tan یک GA دو مرحله ای ارئه نمودند و آن را در کلاستربندی اتوماتیک بکار بردند؛ Lee و همکارانش BPSO را تغییر داده و بهبود داده اند؛ Nanni و Lumini روش کارامدی مبتنی بر PSO برای یافتن مجموعه مناسبی از نمونه های اولیه پیشنهاد داده اند؛ Qin و Li، GA های مبتنی بر شبیه سازی مونت کارلو را برای حل مسائل پوشش داده های تصادفی طراحی کرده اند، و Liu و همکارانش مسائل انتخاب سهام تصادفی را با لگوریتم های PSO مبتنی بر شبیه

سازی مونت کارلو حل کردند. با انگیزه یافتن از کارهای ذکر شده در بالا، این مقاله الگوریتم پیوندی جدیدی با تلفیق DPM و GPN-BPSO طراحی می کند، که در آن DPM برای یافتن مسیر بحرانی در مسأله برنامه نویسی مرحله دوم بکار رفته است. در الگوریتمی که ما طراحی کرده ایم، مفهومی از ژنوتیپ – فنوتیپ در زیست شناسی اتخاذ شده است. ژنوتیپ به معنای پیام های ژنتیکی است که ژن های فرد حامل آن ها هستند و فنوتیپ اشاره به تمام مشخصه های عینی یک فرد دارد، نظیر وضعیت ظاهری و فیزیولوژی داخلی. برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، ما چند آزمایش عددی از طریق مسأله مسیر بحرانی با 30 گره و 42 کمان انجام داده ایم. ما ابتدا مسأله مسیر بحرانی را با GPN-BPSO پیوندی حل می کنیم، و سپس نتایج راه حل آن را با نتایج حاصل شده با استفاده از GA پیوندی و BPSO پیوندی مقایسه می کنیم. همچنین در مورد تفاوت بین مدل مسیر بحرانی متضمن مغایر خطر و مدل عصبی ریسک مرسوم از طریق آزمایشات عددی صحبت می کنیم.

ادامه این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: در بخش 2 رده جدیدی از مسائل مسیر بحرانی ضامن تصادفی دو مرحله ای مخالف ریسک ارائه می شود. در بخش 3، ما روش SAA را برای تابع هدف احتمال اتخاذ می کنیم، و به مسأله مسیر بحرانی ضمانت اصلی را به نوع SAA متناظر آن برمی گردانیم، که می تواند به عنوان مدل برنامه نویسی صحیح دو مرحله با معرفی متغیرهای باینری علاوه بر سازمان مجددا طراحی شود. برای حل مسأله مسیر بحرانی SAA منتج شده بخش 4 الگوریتم پیوندی جدیدی با ادغام DPM و GPN-BPSO طراحی می کند. در بخش 5 مسأله مسیر بحرانی با 30 گره و 42 کمان ارائه شده است و چند آزمایش عددی برای نشان دادن کارایی GPN-BPSO پیوندی انجام شده است. در بخش 6 مباحثات تفصیلی در مورد مدل مسیر بحرانی ضامن پیشنهادی و نتایج آزمایشی ارائه شده است. در نهایت، در بخش 7 نتیجه گیری شده است.

2- فرمولاسیون مسأله مسیر بحرانی ضامن تصادفی و مرحله مخالف ریسک

در این بخش، ما مدل بهینه سازی تصادفی دو مرحله ای مخالف ریسکی برای مسأله مسیر بحرانی ضمان ایجاد خواهیم کرد. به این منظور، نکات زیر را برای شرح مسأله خود اتخاذ می کنیم.

شاخص ها:

i: شاخص گره ها، $i \in N;$

j: شاخص گره ها، $j \in N.$.

پارامترها:

N={0,1,…,n} : مجموعه گره ها در شبکه؛

A: مجموعه کمان ها در شبکه، $A \subset N \times N$ ، که در آن A از نظر توپولوژیکی بخ گونه ای مرتب شده است که $(i,j) \in A$ می باشد تنها اگر i<j باشد؛

G(N,A): گراف جهتدار نشان دهنده وظایفی که باید در پروژه پیچیده تکمیل شوند؛

$FS(i) = \{j|(i,j) \in A\}$: مجموعه گره های مجمور از گره i، $\forall i \in N$ ؛

$RS(i) = \{j|(j,i) \in A\}$: مجموعه گره های مجاور به گره i، $i, \forall i \in N$ ؛

Ω: مجموعه سناریوهای ممکن

ω : سناریویی از Ω

c_{ij}: هزینه کمان ضامن $(i,j) \in A;$

$\tilde{d}_{ij}^{\omega}$: دوره وظیفه ضمانت نشده کمان $(i,j) \in A$ در سناریوی ω؛

g_{ij}^{ω} : دوره وظیفه ضمانت شده کمان $(i,j) \in A$ در سناریوی ω؛

Θ: تابع غیرکاهشی زمان تکمیل وظیفه ای که طول مسیر بحرانی را در مرحله دوم برای هر سناریو از ω اصلاح می کند؛

ξ: بردار تصادفی حاصل شده با وصله کردن تمام دوره های وظیفه تصادفی به هم در شبکه؛

$\bar{\varphi}$: هزینه مجاز ماکسیمم از پیش تعیین شده.

متغیرهای تصمیم:

X_{ij}: 1 اگر کمان(i,j) تضمین شده باشد، و در غیر اینصورت 0؛

X: بردار تصمیم (x_{ij}) در $\{0,1\}^{|A|}$ با $|A|$ که تعداد کمان ها در شبکه است؛

y_{ij}^{ω}: 1 اگر کمان (i,j) بخشی از یک مسیر بحرانی شناخته شده در سناریوی ω باشد، و در غیر اینصورت 0؛

تابع هدف مرحله دوم:

کار تابع هدف مرحله دوم به حداکثر رساندن مجموع دوره های وظیفه تضمین شده است:

$$\max \sum_{(i,j)\in A} (d_{ij}^{\omega} - (d_{ij}^{\omega} - g_{ij}^{\omega})x_{ij})y_{ij}^{\omega}.$$

محدودیت های مرحله دوم:

اولین محدودیت قانون تخصیص منفرد را تحمیل می کند:

$$\sum_{j\in FS(0)} y_{0j}^{\omega} = 1.$$

محدودیت دوم روی محدودیت های تعادل روند برای مجاورت مسیر بحرانی تأکید می کند:

$$\sum_{j\in FS(i)} y_{ij}^{\omega} - \sum_{l\in RS(i)} y_{li}^{\omega} = 0,\ \forall i\in N\backslash\{0,n\}.$$

محدودیت سوم متغیر تصمیم باینری را محدود می کند:

y_{ij}^{ω} = 1 اگر کمان (i,j) بخش از مسیر بحرانی شناخته شده در سناریوی ω باشد:

0 در غیر اینصورت.

از اینرو، مسأله برنامه نویسی مرحله دوم را می توان به صورت زیر ایجاد کرد:

$$\begin{cases} \max & \sum_{(i,j)\in A} (d_{ij}^{\omega} - (d_{ij}^{\omega} - g_{ij}^{\omega})x_{ij})y_{ij}^{\omega} \\ \text{subject to :} & \sum_{j\in FS(0)} y_{0j}^{\omega} = 1 \\ & \sum_{j\in FS(i)} y_{ij}^{\omega} - \sum_{l\in RS(i)} y_{li}^{\omega} = 0, \forall i \in N\backslash\{0,n\} \\ & y_{ij}^{\omega} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j)\in A. \end{cases} \tag{1}$$

برای هر کمان $(i,j)\in A$، ما هزینه تضمین (i,j) را بواسطه c_{ij} نشان می دهیم، و متغیر تصمیم دودویی x_{ij} را تعریف می کنیم، که در آن x_{ij} در صورتی برابر 1 است که ما کمان (i,j) را تضمین کنیم و در غیر اینصورت $x_{ij}=0$ است. ما در مسأله مسیر بحرانی تضمین شده مان، فرض را بر این می گذاریم که طول مسیرهای بحرانی به دقت نشان داده شده اند چون اصلاحات (penalties) مالی به عنوان تابعی از زمان تکمیل وظیفه افزایش می یابند. بطور دقیق تر، ما تابع غیر کاهشی Θ را تعریف می کنیم که در مرحله دوم برای هر سناریو و تصمیم مرحله اول ثابت $x=(x_{ij})$. طول مسیر بحرانی را اصلاح می کند. از اینرو، هزینه اصلاح کردن (penalizing) در مرحله دوم برای سناریوی ω برابر $\Theta(Q(x,\xi(\omega)))$ می باشد، که در آن $Q(x,\xi(\omega))$ مقدار بهینه مسأله (1) است، که نشان دهنده طول مسیر بحرانی در سناریوی ω است.

در نتیجه، هزینه های مجموع تحمیل شده در دو رحله را می توان با تابع تصادفی زیر نشان داد:

$$f(x,\omega) = \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + \Theta(Q(x,\xi(\omega))),$$

که در آن $x=(x_{ij}), (i,j)\in A.$ می باشد. برنامه نویسی تصادفی مرسوم از آن نظر خطرآفرین است که در رابطه با بهینه سازی شرایط استثنایی برای هزینه تصادفی $f(x,\omega)$، می باشد، که در آن مجموع هزینه مرحله اول و مقدار مورد انتظار هزینه مرحله دوم به حداقل رسانیده شده است. این منجر به ایجاد تابع هدف زیر شده است:

$$\min \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + E[\Theta(Q(x,\xi(\omega)))].$$

تناسب شرایط موردانتظار برای مسأله مسیر بحرانی تضمین شده بسته به این فرضیه است که فرایند تضمین کردن می تواند چندین مرتبه تکرار شود، و این اشاره به قانون اعداد بزرگی دارد که در طولانی مدت هزینه میانگین را برابر هزینه مورد انتظار خواهند کرد. اما، این فرضیه در اغلب موارد تصدیق شده نیست و از اینرو ممکن است هزینه مورد انتظار خیلی جالب توجه تصمیم گیرندگان مخالف ریسک نباشد. به علاوه، راه حل بهینه مسأله مقدار مورد انتظار تنها می تواند از حصول هزینه پیش بینی شده متناظر با احتمال نسبتاً کمی اطمینان بدهد. این ملاحظات اشاره به این دارند که تصمیم گیرندگام مخالف ریسک راه حل مسأله مقدار مورد انتظار را بهینه در نظر نخواهند گرفت. در عوض، آنچه مطلوب است راه حلی است که تضمین کننده احتمال کم وجود هزینه های بسیار بالاست. مسأله مسیر ربحرانی ضامن ریسک مینیمم مسأله به حداقل رساندند احتمال هزینه های کلی متجاوز از مقدار آستانه از پیش تعیین شده $\overline{\varphi}$ است که می تواند سطح ورشکستگی یا محدودیت بودجه باشد. تابع رسمی هدف مرحله اول به صورت زیر است:

$$\min \Pr\left\{ \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + \Theta(Q(x,\xi(\omega))) > \overline{\varphi} \right\},$$

و مسأله برنامه نویسی مرحله اول را می توان به صورت زیر ایجاد کرد:

$$\begin{cases} \min & \Pr\left\{ \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} \ + \ \Theta(Q(x,\xi(\omega))) > \overline{\varphi} \right\} \\ \text{subject to:} & x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A. \end{cases} \tag{2}$$

با تلفیق (1) و (2)، می توانیم مدل برنامه نویسی مسیر بحرانی ضامن تصادفی دو مرحله ای به شکل زیر ایجاد کنیم:

$$\begin{cases} \min & \Pr\left\{ \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} \ + \ \Theta(Q(x,\xi(\omega))) > \overline{\varphi} \right\} \\ \text{subject to:} & x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A, \end{cases} \tag{3}$$

که در آن $Q(x,\xi(\omega))$ مقدار بهینه مسأله برنامه نویسی 1-0 زیر است:

$$\begin{cases} \max & \sum_{(i,j) \in A} (d_{ij}^{\omega} - (d_{ij}^{\omega} - g_{ij}^{\omega}) x_{ij}) y_{ij}^{\omega} \\ \text{subject to :} & \sum_{j \in FS(0)} y_{0j}^{\omega} = 1 \\ & \sum_{j \in FS(i)} y_{ij}^{\omega} - \sum_{l \in RS(i)} y_{li}^{\omega} = 0, \forall i \in N \backslash \{0, n\} \\ & y_{ij}^{\omega} \in \{0, 1\}, \forall (i,j) \in A. \end{cases} \tag{4}$$

پس از این ما ناحیه عملی مسأله ریسک مینیمم دو مرحله را تعریف می کنیم.

ابتدا، فرض بر این است که متغیر تصمیم مرحله اول $x = (x_{ij})$ باید محدودیت (الزام) تعیین کننده را برطرف نماید

$$D_1 = \{x \in \{0, 1\}^{|A|} | x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall (i,j) \in A\}, \tag{5}$$

که در آن $|A|$ تعداد کمان ها در شبکه است.

ثانیاً، برای تعریف راه حل عملی مسأله (3)، ما محدودیت های علاوه بر سازمانی در رابطه با x ارائه می کنیم. D_2 را برابر مجموعه تمام بردارهای x در $\{0, 1\}^{|A|}$ قرار دهید که برای آن ها مسأله (4) راه حل عملی $y = (y_{ij}^{\omega})$ را برای بیشتر مقادیر محقق ممکن $\xi(\omega)$ از بردار تصادفی ξ دارد، یعنی مسیر بحرانی را می توان تقریباً برای هر سناریویی از ω یافت. اگر $Q(x, \xi(\omega))$ اشاره به طول مسیر بحرانی مسأله (4) داشته باشد، بنابراین می توانیم D_2 را به شرح زیر نشان دهیم:

$$D_2 = \{x \in \{0, 1\}^{|A|} | \Pr\{Q(x, \xi) < \infty\} = 1\}. \tag{6}$$

در نهایت، ناحیه محتمل D از مسأله (3) به صورت $D = D_1 \cap D_2$- تعریف شده است.

توجه داشته باشید که در مسأله (4)، کار تابع هدف به حداکثر رسادن مجموع طول مدت وظایف است، اولین محدودیت قانون تخصیص منفرد را تحمیل می کند، دومین محدودیت روی شرایط تعادل جریان برای مجاورت مسیر بحرانی تأمید دارد، و آخرین محدودیت روی متغیر y بی 0 و 1 محدودیت قایل می شود. بنابراین مسیر بحرانی مسأله (4) را همواره می توان برای هر سناریو و تصمیم مرحله اول یافت. یعنی، مسألخ (3) مسأله برنامه

نویسی صحیح تصادفی دو مرحله ای ارجاعی کامل است. بنابراین، $D_2 = \{0,1\}^{|A|}$ است، و ناحیه عملی مسأله (3) به صورت زیر است:

$$D = \{x \in \{0,1\}^{|A|} | x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A\}. \qquad (7)$$

قبل از پایان این بخش، ما صعبی های مرتبط با راه حل مسأله (3) را برجسته می کنیم. یکی از دلایل این کار این است که برای تصمیمات مرحله اول معین (x_{ij})، کمیت تابع هدف احتمال $\Pr\left\{\sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + \Theta(Q(x,\xi(\omega))) > \overline{\varphi}\right\}$ است که ارزیابی آن مشکل است چون مستلزم محاسبه ادغام چند بعدی است. در بخش بعد، ما در مورد مشی تخمینی برای ارزیابی این تابه هدف احتمال بر مبنای تکنیک شبیه سازی مونت کارلو بحث می کنیم.

3- مسأله مسیر بحرانی تضمینی SAA

در این بخش، ما روش SAA را برای تابع هدف احتمال اتخاذ می کنیم. در نتیجه، می توانیم مسأله مسیر بحرانی متضمن اصلی (3) را به مدل SAA متناظر آن بازگردانیم.

بطور دقیق تر، بگذارید K تعداد اندازه نمونه، و $\xi^1, \xi^2, \ldots, \xi^K$ نمونه یکنواخت توزیع شده مستقل از تحقق های K از بردار تصادفی ξ باشد. بنابراین تابع هدف احتمال اصلی به تابع احتمال SAA زیر تبدیل می شود:

$$\Pr\left\{\sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + \Theta(Q(x,\xi^k)) > \overline{\varphi}\right\}.$$

اجازه دهید z بردار باینری باشد که مولفه های آن $z_k, k = 1,2,\ldots,K,$ در صورتی مقدار 1 به خود بگیرند که مجموعه متناظر از محدودیت های آن باید برطرف شوند و در غیر اینصورت صفر هستند. به علاوه، ما عدد مثبت به اندازه کافی بزرگ M را معرفی می کنیم به گونه ای که نابرابری زیر صادق باشد

$$\sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + \Theta(Q(x,\xi^k)) - M(1-z_k) > \overline{\varphi}, k = 1,2,\ldots,K.$$

طبق قانون اعداد بزرگ، تابع احتمال SAA می تواند به شکل زیر ارائه شود

$$\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} z_k.$$

در نتیجه، مسأله مسیر بحرانی ضمانت شده اصلی می تواند با مدل SAA زیر جایگزین شود

$$\begin{cases} \min & \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K} z_k \\ \text{subject to :} & \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + \Theta(Q(x,\xi^k)) - M(1-z_k) > \overline{\varphi}, k=1,2,\ldots,K \\ & x_{ij}\in\{0,1\}, \forall(i,j)\in A \\ & z_k\in\{0,1\}, k=1,2,\ldots,K, \end{cases} \tag{8}$$

که در آن $Q(x,\xi^k)$ مقدار بهینه مسأله برنامه نویسی 0-1 زیر است:

$$\begin{cases} \max & \sum_{(i,j)\in A}(d_{ij}^k - (d_{ij}^k - g_{ij}^k)x_{ij})y_{ij}^k \\ \text{subject to :} & \sum_{j\in FS(0)} y_{0j}^k = 1 \\ & \sum_{j\in FS(i)} y_{ij}^k - \sum_{l\in RS(i)} y_{li}^k = 0, \forall i\in N\backslash\{0,n\} \\ & y_{ij}^k\in\{0,1\}, \forall(i,j)\in A. \end{cases} \tag{9}$$

مسأله (8) یک مسأله برنامه نویسی صحیح دو مرحله ای است، که در آن نمود تحلیلی تابع مقدار دو مرحله ای $Q(x,\xi^k)$ غیر قابل دسترس است. از اینرو، مسأله (8) نمی تواند با الگوریتم های عددی مرسوم حل شود، روش های راه حل اکتشافی آن در بخش بعدی طراحی شده اند.

4- روش های راه حل اکتشافی

در این بخش، ما ابتدا DPM را برای یافتن مسیر بحرانی در مسأله برنامه نویسی مرحله دوم بکار می بریم، و سپس الگوریتمی پیوندی با تلفیق DPM و GPN-BPSO برای حل مسأله (8) طراحی می کنیم.

4-1- یافتن مسیر بحرانی

برای حل مسأله (8)، یافتن مسیر بحرانی به طرز کارامد در مسأله برنامه نویسی دو مرحله ای الزامی است. ما با مشخصه های ساختاری شبکه مسیر بحرانی و اصل بهینگی برنامه نویسی پویا، DPM را برای بروز رسانی طولانی ترین مسیر در شبکه بکار برده ایم. فرمول محاسباتی به شکل زیر است:

$$f(j) = \max_{(i,j) \in A} \{f(i) + (d[i][j] - (d[i][j] - g[i][j])x[i][j])\}, \tag{10}$$

که در آن $f(j)$ نشان دهنده طولانی ترین مسیر از گره i از آغاز پروژه است، $d[i][j]$ نشان دهنده دوره وظیفه تضمین نشده ای از $(i,j) \in A,$ است و $x[i][j]$ در صورتی که کمان (i,j) تضمین شده باشد یک است، و در غیر اینصورت صفر است.

2-4- GPN-BPSO پیوندی

در این بخش فرعی، ما الگوریتم پیوندی جدیدی برای حل مسأله (8) طراحی می کنیم، که در آن DPM در یک GPN-BPSO تعبیه شده است. در این الگوریتم پیوندی، DPM برا یافتن مسیر بحرانی در مسأله برنامه نویسی مرحله دوم بکار رفته است، و GPN-BPSO برای جستجوی محل بهینه مسأله مسیر بحرانی تضمین شده مورد استفاده قرار گرفته است.

ما در الگوریتم پیشنهادی خود مفهومی از ژنوتیپ-فنوتیپ را اتخاذ می کنیم که بطرز گسترده ای در زیست شناسی مورد استفاده قرار گرفته است. عموماً، ژنوتیپ به معنای پیام های ژنتیکی است که حامل آن ها ژن های فرد است، و فنوتیپ اشاره به تمام مشخصه های عینی یک فرد دارد نظیر وضعیت ظاهاری و فیزیولوژی داخلی. فنوتیپ خصوصاً بواسطه ژن ها، محیط و شیوه زندگی تعیین شده است. از اینرو، فنوتیپ مخصوصاً مرتبط با ژنوتیپ است، در حالی که برخی از پیام های ژنتیکی بواسطه فنوتیپ ها حرکت می کنند، درست شبیه رابطه میان ذره زایش و شتاب تعیین موقعیت ذره در BPSO. تحت این ملاحظات، ما ژنوتیپ و فنوتیپ را به ترتیب برای نشان دادن شتاب و پارامترهای موقعیت باینری بکار برده ایم.

از طرف دیگر، در BPSO اصلی، شتاب طبق جهت بهترین موقعیت فردی و بهترین موقعیت کلی بروز رسانی شده است. در این مقاله، ما فرایند بروز رسانی را در مجاورت آن در نظر می گیریم، و شتاب را در جهت بهترین ذرات در مجاورت و بهترین ذره کلی تعیین می کنیم.

بر مبنای ملاحظات بالا، ما از BPSO تغییر یافته با عنوان مجاورت ژنوتیپ-فنوتیپ به عنوان GPN-BPSO یاد می کنیم. با شرکت دادن DPM در GPN-BPSO، م توانیم GPN-BPSO پیوندی جدیدی برای حل مسأله مسیر بحرانی ضمانت شده طراحی کنیم.

نمود راه حل: یک ذره با بردار صحیح باینری $x=(x_{ij})\in\{0,1\}^{|A|}$ برای نشان دادن راه حلی عملی برای مسأله (8) ارائه شده است که در آن $|A|$ نشان دهنده ی کمان ها در شبکه است. هر ژن x_{ij} یا صفر است و یا 1، که در آن 1 نشان دهنده این است که کمان (i,j) تضمین شده است،و صفر نشان دهنده این است که کمان (i,j) تضمین شده است.

مقدار دهی اولیه (شروع کردن): ما بطور تصادفی بردار موقعیت فنوتیپ باینری $x_p=(x_{p,1},x_{p,2},\ldots,x_{p,|A|})$ را از $\{0,1\}^{|A|}$ ایجاد می کنیم، و بردار موقعیت ژنوتیپ را به صورت $x_g=x_p$. مقداردهی اولیه می کنیم. با تکرار این فرایند به تعداد P_{size} مرتبه، می توانیم زوج های ذرات فنوتیپ و ژنوتیپ اولیه P_{size} $(x_{p,1},x_{g,1}),(x_{p,2},x_{g,2}),\ldots,(x_P,P_{size},x_g,P_{size})$. را ایجاد کنیم.

ارزیابی: Fit(.) را برابر تاب تناسب قرار دهید. مقدار تابع آن با فرمول زیر محاسبه شده است

$$Fit(\cdot)=-\frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}z_k.$$

شتاب بروز رسانی مبتنی بر مجاورت، ذره ژنوتیپ و فنوتیپ: در این عملیات، ابتدا لازم است $P_{best,i}$ را با بالاترین تناسب قبلی برای هر ذره ژنوتیپ $x_{p,i}$ بیابیم و بهترین ذره کلی G_{best} را با بالاتریت تناسب در کل گروه فنوتیپ تعیین کنیم. سپس، برای هر i، بردار شتاب $v_{i,d}$، ذره ژنوتیپ $x_{g,i}$، و ذرات فنوتیپ $x_{p,i}$ با فرمول های زیر بروز رسانی شده اند:

$$v_{i,d} = w \cdot v_{i,d} + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot D(x_{p,i}) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (G_{best,i} - x_{p,i}),$$

$$x_{g,i} = x_{g,i} + v_{i,d},$$

و

$$x_{p,i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if rand}() < S(x_{g,i,j}) \\ 0 & \text{if rand}() \geq S(x_{g,i,j}), \end{cases}$$

که در آن w یک ضریب است، c_1 و c_2 نسبت ها هستند، rand() بطور تصادفی از بازه (0و1) ایجاد شده است، $S(x) = 1/(1+e^{-x})$ تابع پیچیده است، $x_{p,I,j}$ مولفه بردار $x_{p,i}$ است، $x_{g,I,j}$ مولفه بردار $x_{g,i}$ است، و $D(x_{p,i})$ ها فواصل میانگین از $x_{p,i}$ به بهترین موقعیت ها در مجاورت آن هستند:

$$D(x_{p,1}) = \sum_{k=1}^{2} \text{rand}() \cdot \frac{P_{best,k} - x_{p,1}}{2},$$

$$D(x_{p,i}) = \sum_{k=i-1}^{i+1} \text{rand}() \cdot \frac{P_{best,k} - x_{p,i}}{3}, \; i = 2, 3, \ldots, P_{size} - 1,$$

and

$$D(x_{p,P_{size}}) = \sum_{k=P_{size}-1}^{P_{size}} \text{rand}() \cdot \frac{P_{best,k} - x_{p,P_{size}}}{2}.$$

از فرایند بروز رسانی بالا می توانیم نسل جدیدی از ذرات فنوتیپ $x'_{p,1}, x'_{p,2}, \ldots, x'_{p,P_{size}}$. بدست اوریم.

رویه الگوریتم پیوندی: با تلفیق DPM و GPN-BPSO، اکنون GPN-BPSO پیوندی جدیدی برای حل مسأله مسیر بحرانی (8) طراحی می کنیم که فرایند راه حل آن به شرح زیر است.

الگوریتم 1. GPN-BPSO پیوندی.

مرحله 1: پارامترهای w, c_1, c_2, v_{max} و P_{size} را تعیین کنید.

مرحله 2: بطور تصادفی گروهی از ذرات فنوتیپ اختصاص دهید.

مرحله 3: تمام ذرات فنوتیپ و ذرات ژنوتیپ را بروز رسانی کنید.

مرحله 4: مسیر بحرانی را در مسأله برنامه نویسی دو مرحله ای (9* طبق فرمول (10) بیابید.

مرحله 5: تناسب کل ذرات فنوتیپ را محاسبه کنید.

مرحله 6: $P_{best,i}$ را برای هر ذره فنوتیپ و G_{best} را برای گروه فنوتیپ بروز رسانی کنید.

مرحله 7: مراحل 3 تا 6 را به تعداد سیکل های مشخصی تکرار کنید.

مرحله 8: G_{best} ذره را به عنوان راهه حل بهینه اعلام کنید.

5- نتایج محاسباتی

در این بخش، ما چند آزمایش عددی برای نشان دادن کارایی GPN-BPSO پیوندی انجام می دهیم. الگوریتم به زبان برنامه نویسی C++ نوشته شده و آزمایشات عددی در کامپیوتر شخصی انجام شده اند.

یک مسأله مسیر بحرانی ضمانت را با 30 گره و 42 کمان در نظر بگیرید: ,(0,21) ,(0,15) ,(0,7) ,(0,1) (1,2), (1,3), (2,4), (2,5), (3,4), (3,9), (4,6), (5,6), (6,11), (7,8), (8,9), (8,12), (9,10), (10,11), (10,14), (11,29), (12,13), (12,26), (13,14), (14,29), (15,16), (15,17), (15,18), (16,19), (17,19), (18,19), (19,20), (20,26), (21,22), (22,23), (22,24), (23,25), (24,27), (25,26), (25,28), (26,29), (27,28), (28,29)، که در آن (0و1) نشان دهنده کمان از گره 0 به گره 1 است، و بقیه موارد را نیز می توان شبیه به همین مورد شرح داد.

برای هر کمان $(i,j) \in A,$ ، فرض کنید که دوره وظیفه آن از توزیع یکپارچه ای در بازه [10و300] متابعت می کند. طبق موقعیت ذره، دوره وظیفه گاهی اوقات به تعویق می افتد یا گاهی اوقات از دوره وظیفه پیشی می گیرد. از اینرو، ما d_{ij}^k را با ضرب دوره وظیفه برای $(i,j) \in A,$ و یک عدد تصادفی از توزیع یکپارچه در بازه [1/5 و 0/9] ایجاد می کنیم. برای هر $(i,j) \in A,$ بصورت تصادفی g_{ij}^k را از $[0.5d_{ij}^k, 0.7d_{ij}^k]$ توزیع شده یکپارچه ایجاد می کنیمف و هزینه c_{ij} را برای ضمانت کمان $(i,j) \in A,$ از یک توزیع یکپارچه در بازه [25و50] ایجاد می

کنیم. در نهایت، مقادیر $d_{ij}^k, g_{ij}^k,$ و c_{ij} را به نزدیکترین عدد صحیح به آنها گرد می کنیم. در این مسأله مسیر بحرانی ضمانت، ما M را برابر 10^5 قرار می دهیم و فرض را بر این می گذاریم که تابع penalty (جریمه) با فرمول زیر داده شده است:

$$\Theta(t) = \begin{cases} 0, & 0 < t \leq 800 \\ 50 + (t-800)^2/400, & 800 < t \leq 900 \\ 100 + \sqrt{t-900}/50, & 900 < t \leq 1000 \\ 150 + (t-1000)^2/200, & t > 1000. \end{cases}$$

اکنون مسأله مسیر بحرانی ضمانت را با GPN-BPSO پیوندی حل می کنیم. در عرض فرایند حل مسأله، اندازه گروو را برابر $P_{size} = 30,$ قرار می دهیم ، سرعت ماکسیمم را برابر $v_{max} = 2,$ ، نرخ های یادگیری را برابر $c_1 = c_2 = 2$ قرار می دهیم و وزن w بصورت خطی از 0/9 به 0/4 با تکرار متعاقب با فرمول زیر کاهش می یابد:

$$w = 0.5 \times \frac{GEN - gen}{GEN} + 0.4,$$

که در آن GEN و gen به ترتیب نشان دهنده ماکسیمم تعداد تکرارها و تعداد تکرارهای جاری می باشند.

در جدول خلاصه ای از نتایج محاسباتی حاصل شده با GPN-BPSO پیوندی آمده است، که در آن K در ستون اول عدد اندازه نمونه است؛ $\overline{\varphi}$ در ستون دوم نشان دهنده ی مقدار آستانه هزینه مجاز ماکسیمم است؛ بهترین کمان های تضمین شده متناظر با مقادیر آستانه مختلف در ستون سوم لیست شده اند، و بهترین مقادیر احتمال آنها در ستون چهارم ارائه شده است؛ در ستون پنجم زمان میانگین CPU گزارش شده است.

K	$\overline{\varphi}$	Best solution	Objective value	CPU (s)
1000	600	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.153000	19.078000
	625	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.093000	19.735000
	650	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.044000	19.485000
2000	600	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.150500	37.407000
	625	(1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.080000	39.188000
	650	(1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.039500	40.000000
4000	600	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.149250	74.391000
	625	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.081000	78.156000
	650	(1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.041750	78.468000
8000	600	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.149625	148.828000
	625	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.081250	159.657000
	650	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	0.043750	156.437000

جدول 1

6- بحث

در این بخش، ما موارد تفصیلی در رابطه با مدل مسیر بحرانی تضمین مخال ریسک و نتایج آزمایشی را ارائه خواهیم کرد.

در ابتدا، در مورد نتایج آزمایشی صحبت می کنیم. با رسیدن به انتهای مطلب، نشان خواهیم داد که برخی از دیگر الگوریتم های اکتشافی نظیر GA می واند برای تشکیل مشی های راه حل پیوندی مختلف برای مسأله

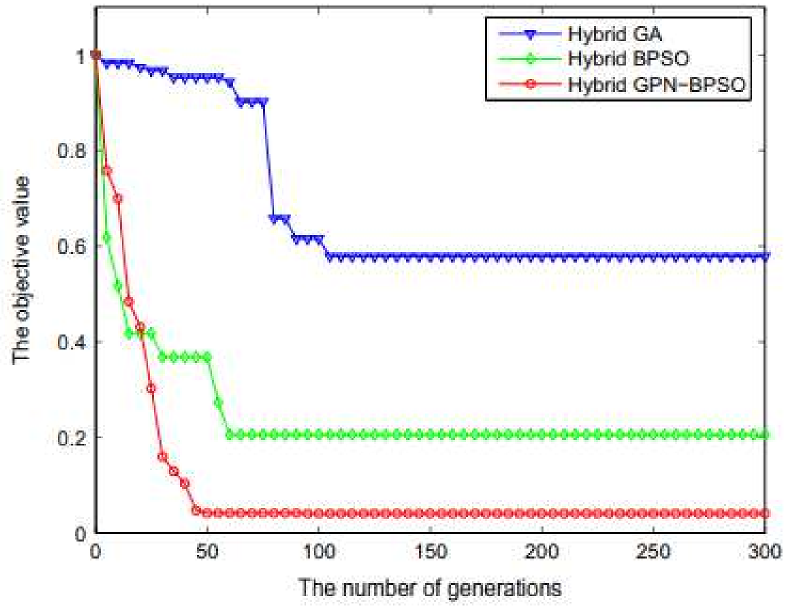
مسیر بحرانی پیشنهادی استفاده شوند. برای ارزیابی بیشتر عملکرد GPN-BPSO پیوندی، اکنون نتایج راه حل آن را با نتایج حاصل شده از GA و BPSO پیوندی مقایسه می کنیم.

در BPSO پیوندی، ما از همان داده هایی که در GPN-BPSO پیوندی استفاده کردیم، استفاده می کنیم؛ در GA پیوندی، پارامترها به شرح زیر تعیین شده اند. $pop\_size = 30,$ ، تعداد زایش GEN=300، احتمال ترکیبی P_c=0.3، و احتمال مشترک P_m=0.2.

با مقادیر آستانه مختلف هزینه های مجاز، در جدول 2 بهترین راه حل ها و مقادیر احتمال متناظر حاصل شده با سه الگوریتم پیوندی ارائه شده ند. مقایسات عملکرد واگرای سه الگوریتم پیوندی در شکل 1 به تصویر کشیده شده اند.

$\overline{\varphi}$	600	625	650
Hybrid GPN-BPSO			
Best solution	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	(1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)
Objective value	0.149250	0.081000	0.041750
CPU (s)	74.391000	78.156000	78.468000
Hybrid GA			
Best solution	(0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0)	(0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0)	(0, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0)
Objective value	0.671300	0.635000	0.578700
CPU (s)	73.125000	74.812000	75.281000
Hybrid BPSO			
Best solution	(1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)
Objective value	0.244750	0.199500	0.206000
CPU (s)	72.891000	74.906000	74.844000

جدول 2



شکل 1

از جدول 2 و شکل 1 می توان مشاهده کرد که GPN-BPSO پیوندی همیشه می تواند بهترین راه حل را از میان سه الگوریتم پیوندی بیابد. از طرف دیگر، از جدول 2 می توان فهمید که GPN-BPSO پیوندی به زمان بیشتری نسبت به دو الگوریتم پیوندی دیگری نیاز دارد. دلیل آن این است که GPN-BPSO پیوندی شامل مکانیسم ژنوتیپ-فنوتیپ است که به عملکرد یک فرایند بروز رسانی دوبل در هر زایش نیاز دارد. اما، کاملاً واضح است که خطاهای مرتبط با زمان های مصرف شده توسط سه الگوریتم پیوندی بسیار اندک هستند.

از بحث بالا می توان نتیجه گرفت که GPN-BPSO پیوندی به عملکرد بهتری نسبت به GA پیوندی و BPSO پیوندی برای مسأله مسیر بحرانی تضمینی دست می یابد.

ثانیاً، ما در مورد مدل مسیر بحرانی تضمین مخالف ریسک بحث می کنیم. چون مسأله مسیر بحرانی تصادفی دو مرحله ای مدل عصبی ریسک است، انتظارات را به عنوان شرایط ترجیحی در حین مقایسه هزینه های تصادفی برای تعیین بهترین تصمیم در نظر می گیرد. در توسعه فعلی، ما یک مسأله مسیر بحرانی دو مرحله ای مخالف ریسک را در نظر می گیریم که در آن احتمال اضافی را به عنوان مقیاس ریسک در نظر گرفته ایم. به عبارت

دیگر، می توانیم راه حلی ارائه کنیم که از احتمال پایین وجود هزینه های بسیار بالا اطمینان می دهد. ما برای نشان دادن ایده مدلسازی جدید خود برای مسأله مسیر بحرانی تضمینی، مسأله مسیر بحرانی را در بخش 5 به عنوان یک مدل برنامه نویسی دو مرحله ای عصبی ریسک فرموله می کنیم؛ یعنی، ما تابع هدف انتظارات را به جای تابع هدف احتمال می پذیریم. برای مقایسه بهترین تصمیمات، اکنون مدل مقدار مورد انتظار را به ترتیب با GPN-BPSO پیوندی، GA و BPSO حل می کنیم که نتایج راه حل آنها در جدول 3 ارائه شده است.

K	1000	2000	4000	8000
Hybrid GPN-BPSO				
Best solution	(1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)
Objective value	534.552164	529.849057	528.721097	529.913219
CPU (s)	19.438000	38.313000	77.219000	152.391000
Hybrid GA				
Best solution	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)	(1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)
Objective value	542.571200	540.262400	538.943700	530.470800
CPU (s)	19.188000	39.344000	75.922000	154.875000
Hybrid BPSO				
Best solution	(1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1)	(1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)	(1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)	(1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)
Objective value	588.916990	590.815390	586.730401	590.677004
CPU (s)	19.093000	37.157000	75.969000	151.187000

جدول 3

از جدول 2 و 3 می توانیم بفهمیمی که بهترین راه حل های مدل مقدار مورد انتظار متفاوت از راه حل های مسأله ریسک مینیمم هستند. متعاقباً، تصمیم گیرندگان مخالف ریسک راه حل های مدل مقدار مورد انتظار را به عنوان راه حل های بهینه در نظر نخواهند گرفت. در عوض، ممکن است راه حل های مدل ریسک حداقل پیشنهادی راه حل های بهینه مطلوب آنها باشد.

7- نتایج

در این مقاله، ما در ورد مسأله مسیر بحرانی ضمانت تصادفی مطالعه کردیم که در آن دوره های وظیفه غیرقطعی هستند و با متغیرهای تصادفی پیوسته ای توصیف شده اند. نتایج جدید عمده شامل چهار جنبه زیر می باشند:

(1) یک مسأله مسیر بحرانی ضمانت تصادفی دو مرحله ای ارائه شده که در آن ما شرایط ریسک کمینه را در تابع هدف مرحله اول اتخاذ می کنیم. دوره های وطیف در مسأله برنامه نویسی مرحله دوم با متغیرهای تصادفی پیوسته توصیف شده اند.

(2) ما روش خود را با تابع هدف احتمال تطبیق داده ایم و مسأله مسیر بحرانی ضمانت تصادفی اصلی را به نوع تخمینی آن تغییر داده ایم. برای حل مسأله مسیر بحرانی ضامن SAA حاصل شده، ما GPN-BPSO پیوندی جدیدی با تعبیه DPM در GPN-BPSO طراحی کرده ایم که در آن DPM برای یافتن مسیرهای بحرانی در مسأله برنامه نویسی مرحله دوم استفاده شده است.

(3) ما در مورد نتایج آزمایشی حاصل شده با سه الگوریتم پیوندی از طریق مسأله مسیر بحرانی با 30 گره و 42 کمان بحث کردیم. ابتدا مسأله مسیر بحرانی خود را با GPN-BPSO پیوندی حل کردیم و سپس نتایج راه حل آن را با نتایج حاصل شده با GA پیوندی و BPSO پیوندی مقایسه کردیم. نتایج محاسباتی نشان دادند که GP-BPSO پیوندی به عملکرد بهتری نسبت به GA پیوندی و BPSO پیوندی دست می یابد.

(4) ما در مورد اهمیت مدل مسیر بحرانی مخالف ریسک پیشنهادی با آزمایشات عددی صحبت کردیم. نتایج محاسباتی نشان دادند که تصمیم گیرندگان مخالف ریسک راه حل های مدل مقدار مورد انتظار را به عنوان راه حل بهینه در نظر نخواهند گرفت. در عوض، ممکن است راه حل های مدل ریسک مینیمم پیشنهادی راه حل بهینه مطلوب آنها باشد.