

تطبیق پذیری در شبکه های پتری اولویت دار مبتنی بر اتوماتای یادگیر

سیدمهدی وحیدی پور^۱، محمدرضا میبدی^۲

^۱ آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، vahidipour@aut.ac.ir

^۲ آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده - شبکه های پتری بعنوان یک ابزار مدل سازی و محاسباتی، برای حل مسائل دنیای واقعی (غیر خطی و پویا) استفاده می شوند. این ابزار به تنهایی توانایی آموزش خود برای تطبیق در برابر تغییرات محیط را ندارد. شبکه پتری تطبیقی، حاصل نگاهی از دنیای الگوریتم های هوشمند به فضای مدل سازی است. در این مقاله ضمن بررسی انواع شبکه های پتری تطبیقی ارائه شده، با رویکرد جدید استفاده از اتوماتای یادگیر، ماشین تطبیق پذیری تعریف می شود که بیان و حل مسئله را در کنار یکدیگر بوجود می آورد. در همین راستا شبکه پتری اولویت دار با نوع اولویت استاتیک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته تا تطبیق پذیری بر روی آن و با استفاده از اتوماتای یادگیر ایجاد شود. در نهایت ماشین حاصل با نام شبکه پتری اولویت دار تطبیقی تعریف می شود. از این ماشین برای حل مسئله انتساب اولویت در پردازش کار استفاده شده است و نتایج آن در این مقاله گزارش شده است.

کلید واژه - اتوماتای یادگیر، تطبیق پذیری، شبکه های پتری، شبکه های پتری اولویت دار، شبکه های پتری تطبیقی پذیر.

۱- مقدمه

استفاده قرار می گیرد: انتخاب مشخص از میان آنها با استفاده از مکانیزم اولویت و یا انتخاب تصادفی بر اساس بردار احتمالی.

اولویت های تعیین شده برای گذرها در شبکه پتری، مجموعه ای از گذرهای توانا را مشخص می نمایند؛ این مجموعه، همگی متعلق به یک سطح اولویت هستند. در این مقاله، برای انتخاب یک گذر از میان این مجموعه از اتوماتای یادگیر استفاده می شود. تاکید بر انتخاب صحیح این گذر، دلیل تاثیر آن بر بهره ی سیستم می باشد. اساسا افزایش بهره وری یکی از دلایل تعریف سطوح اولویت در میان گذرها می باشد. در حالتی که گذرهای توانا در یک سطح باشند، با استفاده از اتوماتای یادگیر نیز می توان به ارتقای معیارهای کارایی سیستم توجه نمود.

دو نوع از اولویت در سیستم های پتری اولویت دار تعریف می گردد: اولویت ایستا و پویا^۴. اولویت ایستا با تعیین مقادیری ثابت در ابتدای کار مشخص می شود [۴، ۶]. اما مقادیر اولویت در حالت پویا متغیر است و معمولا این مقدار با نشانه گذاری جاری سیستم در ارتباط است [۷، ۸]. در شبکه پتری تطبیقی پیشنهادی، شبکه پتری با اولویت ایستا در نظر گرفته شده است که مجموعه ای از گذرهای توانا را شامل می شود که در یک سطح اولویت قرار دارند.

در طراحی سیستم های موازی^۱ همواره اولویت^۲ مورد توجه بوده است. اولویت به برتری انجام یک فرآیند بر دیگری اشاره دارد. این موضوع در سیستم عامل ها [۱]، زبانهای برنامه نویسی [۲، ۳] و سایر سیستم های موازی مورد توجه می باشد. در بسیاری از موارد، با تعیین اولویت میان فعالیت های جاری در سیستم موازی، تلاقی^۳ میان آنها قابل هدایت و کنترل می باشد [۴]. اولویت در یک شبکه پتری می تواند میان گذرهای آن تعریف گردد [۵]؛ سطح اولویت برای هر گذر یک عدد صحیح است که توسط یک تابع تولید می شود. با وجود سطح اولویت، گذرهای توانا شده از سطوح بالاتر زودتر از سایر گذرهای فعال با اولویت پایین تر شلیک می نمایند. بعبارت دیگر، علاوه بر دسته بندی منطقی گذرها در دسته های هم ارز، تعریف یک راه حل دقیق جهت تلاقی و تصادم گذرها بوجود می آید [۵].

در سیستم های پتری غیرزمانی، انتخاب گذر شلیک کننده از میان دو گذر توانا شده کاملا تصادفی است. در سیستم های پتری زمانی، تاخیر زمانی میان شلیک گذرها در رفع تصادم میان آنها مورد استفاده قرار می گیرد. اما هنگامیکه دو یا چند گذر آنی در یک نشانه گذاری مشخص توانا می شوند یکی از دو قانون زیر مورد

تغییرات بر عهده دارد. از ویژگیهای بارز ماشین ترکیبی جدید می توان به توجه به رفتار نهایی ماشین و بیان دقیق سیستم، تحلیل ریاضی شبکه پتری بدون در نظر گرفتن مولفه ی یادگیر، تحلیل ریاضی ماشین پیشنهادی، امکان تصمیم گیری توزیع شده و تعمیم پذیری اشاره نمود.

قسمتهای مختلف مقاله بترتیب زیر ارائه می گردد. در بخش دوم مقالاتی مرور می گردند که به ایجاد تطبیق پذیری و یادگیری در شبکه های پتری پرداخته اند. مفاهیم و تعاریف اولیه استفاده شده در این مقاله مانند اتوماتای یادگیر، شبکه های پتری و اولویت تعریف شده در این شبکه در بخش سوم آمده است. بخش چهارم به ماشین پیشنهادی می پردازد. نمونه ای از کاربرد مدل پیشنهادی در بخش پنجم بررسی می شود. نتایج و کارهای آینده نیز در بخش ششم آمده است.

۲- تطبیق پذیری در شبکه پتری

شبکه های پتری بعنوان یک ابزار مدل سازی و محاسباتی، برای حل مسائل دنیای واقعی (غیر خطی و پویا) استفاده می شوند. این ابزار به تنهایی توانایی آموزش خود برای تطبیق در برابر تغییرات محیط را ندارد. از سوی دیگر، با نگاهی دقیقتر به تکنیک های هوشمند درمی یابیم که آنها برای تحلیل و آنالیز نیاز به ابزارهایی همچون شبکه های پتری دارند. بنابراین، الزامی است تا مدلی طراحی شود که بتواند تکنیک های هوشمند و شبکه های پتری را بصورت یک ابزار واحد ترکیب نماید [۱۵، ۱۶، ۱۷]. حضور مقادیری همچون عضویت^۸، وزن، فاکتور مقبولیت^۹ و قوانین آموزش^{۱۰} در شبکه پتری، در مسائل متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. عصار و همکارانش [۱۸] چنین ترکیب هایی را با نام شبکه های پتری تطبیقی معرفی نموده و آنها را در دو دسته کلی همجوشی^{۱۱} [۱۹، ۲۰، ۲۱] و ترکیبی^{۱۲} [۲۲، ۲۳، ۲۴] تقسیم بندی کرده است.

مقالات برای ارائه مدل هایی که دارای المانهای یادگیری باشند اکثرا از رفتار سیستم بیولوژیکی استفاده نموده اند. اما نکته فراموش شده وجود یادگیر در داخل همان سیستم است. در بیشتر کارهای انجام شده المانهایی به مدل پتری اولیه اضافه شده است تا یادگیری در داخل مدل تعریف شود. حال چنانچه این عنصر تلفیقی یک تصمیم گیر باشد، قطعاً مفهوم یادگیری را

آنالیز یک شبکه پتری به مشخص نمودن ویژگی های کارکردی و محاسبه ویژگی های کارایی منوط می شود. در ابتدا بایستی ویژگی های کارکردی تعیین شوند تا آنالیز ارزیابی شبکه قابل انجام باشد [۹، ۱۰، ۱۱]. هنگامی که اولویت در شبکه های پتری در نظر گرفته می شود رفتار شبکه پتری دچار تغییر می شود و روند آنالیز آن دستخوش تغییر می شود [۶]. در مقالات روشهای مختلفی برای این حالت در نظر گرفته شده است [۱۲، ۱۳، ۱۴]. اگر محدودیت هایی را در تعریف اولویت بر روی شبکه پتری قبول نماییم، آنگاه وجود ویژگی هایی در شبکه پتری نظیر بدون اولویت می تواند برای پیگیری ویژگی های مشابه در شبکه پتری معادل، همراه با اولویت مفید باشد. بدین ترتیب، تمامی الگوریتم های شناخته شده در شبکه های پتری در این حیطه قابل استفاده می باشد [۶، ۸]. بدیهی است کنترل این محدودیت ها بر روی اولویت ها بایستی از تحلیل شبکه پتری اولویت دار مبتنی بر تکنیک های دسترس پذیری ساده تر و سریعتر باشد. بنابراین بیشتر محدودیت ها بر روی روابط اولویت در ساختار شبکه پتری متمرکز شده است [۶]. ما نیز در این مقاله، محدودیت هایی را در تعریف اولویت لحاظ نموده ایم.

ما در این مقاله نشان خواهیم داد که الحاق اتوماتای یادگیر با روند پیشنهادی در این مقاله، شرایط تلاقی ^۵ EQUAL معرفی شده در [۶] را حفظ می نماید. با وجود این شرایط، زنده بودن^۶ و برگشت پذیری^۷ در شبکه اولویت دار تضمین می گردد؛ بشرط آنکه شبکه پتری متناظر و بدون اولویت این خواص را دارا باشد. با حفظ شرایط تلاقی EQUAL، گذرایی که به لحاظ ساختار شبکه پتری با یکدیگر تلاقی می نمایند بایستی در یک سطح از اولویت قرار داشته باشند. مدل پیشنهادی در این مقاله، کنترل شلیک این گذرهای متلاقی را با استفاده از اتوماتای یادگیر و با حفظ شرایط EQUAL، دنبال می نماید.

با ارائه ی ترکیب شبکه پتری با اتوماتای یادگیر، قدرت تطبیق پذیری در آن ایجاد می گردد. به عبارت دیگر، با حضور یادگیر در کنار شبکه پتری یک ماشین ترکیبی جدید ساخته می شود. در این ماشین، بیان و حل مسئله در کنار هم دیده می شوند؛ شبکه پتری برای بیان محیط مسئله و تصمیم گیری های موجود در آن استفاده می شود و اتوماتای یادگیر، وظیفه کنترل، تطابق و یا همکاری با مدل را در برابر

عمل های مجموعه $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ اتوماتا، مجموعه ورودی های $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ اتوماتا، بردار احتمال انتخاب هریک از عمل ها و $q(n+1) = L(q(n), \alpha(n), \beta(n))$ الگوریتم یادگیری می باشد. الگوریتم های یادگیری تأثیری حیاتی بر عملکرد اتوماتای یادگیر دارند.

تعریف ۴: الگوریتم یادگیری L بصورت $q(n+1) = L(q(n), \alpha(n), \beta(n))$ نشان داده می شود. اگر T یک عملگر خطی باشد، الگوریتم یادگیری تقویتی، خطی نامیده می شود. ایده اصلی الگوریتم های یادگیری افزایش احتمال کنش مطلوب و کاهش احتمال سایرین است.

تعریف ۵: یک شبکه مکان/گذر (P/T) توسط یک سه تایی $N = \{P, T, W\}$ تعریف می شود اگر و تنها اگر مجموعه P ، مجموعه مکان ها، و مجموعه گذرها، T ، از یکدیگر مجزا باشند: $P \cap T = \emptyset$. بواسطه ماتریس W نیز ارتباط میان اعضای دو مجموعه P و T مشخص می شود: $W: (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \mathbb{N}_0$ نشانه گذاری M ، با انتساب یک عدد صحیح غیر منفی به مکان های شبکه، حالت کلی شبکه P/T را تعریف می نماید. یک شبکه P/T همراه با نشانه گذاری اولیه M ، سیستم P/T را بوجود می آورد: (N, M) .

برای هر عنصر x از مجموعه $(P \cup T)$ ، مجموعه پیشین^{۱۷} $\bullet x = \{y \in P \cup T \mid W(y, x) > 0\}$ و مجموعه پسین^{۱۸} $x \bullet = \{y \in P \cup T \mid W(x, y) > 0\}$ تعریف می گردد.

گذر t در نشانه گذاری M توانا خواهد بود اگر به ازای هر مکان p موجود در مجموعه $\bullet t$ ، تعداد نشانه های موجود در آن $M(p)$ مساوی یا بزرگتر از مقدار $W(p, t)$ باشد. این موضوع را با نماد $M[t >]$ نشان می دهیم.

اگر گذر t در نشانه گذاری M توانا شده باشد، می تواند شلیک نماید. این شلیک باعث ایجاد نشانه گذاری جدید M' می شود. یعنی $M[t > M']$ نشانه گذاری جدید به صورت زیر بدست می آید: $M'(p) = M(p) - w(p, t) + w(t, p), \forall p \in P$ با این تعاریف، یک شبکه P/T ، شبکه پتری نامیده می شود.

تعریف ۶: رابطه [۶]: اگر T به مجموعه اشاره نماید، آنگاه p یک رابطه بر روی T ، $p \subseteq T \times T$ است. این رابطه انعکاسی^{۱۹} است

بیشتر دنبال می نماید. ارائه یک مدل کامل و جامع با ارایه المان های یادگیر و فاز یادگیری درونی در این مقاله دنبال می شود و در همین راستا استفاده از آتماتای یادگیر در داخل شبکه پتری پیشنهاد می گردد. امکان الحاق آتماتای یادگیر به المان های مختلف شبکه پتری وجود دارد. چنانچه آتماتای یادگیر به گذرها متصل شود، می تواند کنترل شلیک آنها را برعهده داشته باشد. بعبارت دیگر این آتماتا می تواند ترتیب و اولویت شلیک گذرها را تغییر دهد. ساختارهای دیگری نیز برای تعیین اولویت در شلیک گذرها وجود دارند [۲۵، ۲۶، ۲۷] اما یادگیری در آنها نقشی ندارد.

۳- تعاریف پایه ای

در این قسمت مفاهیم و تعاریفی مرور می گردند تا مدل پیشنهادی قابل توصیف باشد.

تعریف ۱: آتماتای یادگیر^{۱۳} یکی از روش های یادگیری تقویتی است که می توان آن را بصورت یک شیء مجرد که تعداد متناهی عمل دارد، در نظر گرفت. آتماتای یادگیر یک عمل از مجموعه عمل های خود را انتخاب و آن کنش بر محیط اعمال می شود. عمل مذکور توسط یک محیط تصادفی ارزیابی می شود و آتماتا از پاسخ محیط برای انتخاب عمل بعدی خود استفاده می کند. در طی این فرآیند، آتماتا یاد می گیرد که عمل بهینه را انتخاب نماید. نحوه استفاده از پاسخ محیط به عمل انتخابی آتماتا که در جهت انتخاب عمل بعدی آتماتا استفاده می شود، توسط الگوریتم یادگیری آتماتا مشخص می گردد.

تعریف ۲: محیط توسط یک سه تایی $E = \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داده می شود. مجموعه ورودی به محیط با $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مشخص می شود. $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی ها و $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال های جریمه می باشد. ورودی محیط یکی از r عمل انتخاب شده آتماتا است. پاسخ محیط (خروجی) به هر عمل i توسط β_i مشخص می شود. احتمال نتیجه نامطلوب عمل α_i با c_i مشخص می شود. در محیط ایستا^{۱۴} مقادیر c_i بدون تغییر می مانند، ولی در محیط غیر ایستا^{۱۵} این مقادیر طی زمان تغییر می کنند.

تعریف ۳: آتماتای یادگیر با ساختار متغیر^{۱۶} را می توان توسط چهار تایی $\{\alpha, \beta, q, L\}$ نشان داد که

است میان مجموعه های پیشین آنها اشتراکی وجود داشته باشد. در این حالت، شرایط EQUAL برقرار خواهد بود:

$$\forall t, t' \in T \mid \bullet t \cap \bullet t' \neq \emptyset \Rightarrow$$

$$a) (t, t') \in \bar{p}$$

$$b) \exists p \in \bullet t \cup \bullet t' \mid w(p, t) \neq w(p, t') \Rightarrow t \text{ and } t' \in \Omega, \text{ where } \Omega \text{ is the lowest priority class}$$

۴- ماشین پیشنهادی

با توجه به آنکه اتوماتای یادگیر شلیک گذرهای توانا شده ای را تعیین می کند که در یک کلاس اولویت قرار دارند، بایستی در مکان مناسبی بر روی گذرها قرار گیرد. در همین راستا در این مقاله، مفهوم کلاستر^{۲۵} در شبکه پتری دنبال می شود. گذرهایی که داخل یک کلاستر قرار می گیرند به لحاظ ساختاری با یکدیگر تلاقی خواهند داشت. برای مشخص شدن گذر شلیک کننده می توان از تعیین اولویت، یال بازدارنده و یا اتوماتای یادگیر استفاده نمود.

تعریف ۱۰: کلاستر x در داخل یک شبکه P/T ، که با نماد $[x]$ نشان داده می شود، به مجموعه ای از گذرها و مکان ها اطلاق می شود، $x \subseteq P \cup T$ ، که دارای شرایط زیر است:

$$\forall t \in [x] \cap T \text{ then } \bullet t \subseteq [x] \text{ و } \forall p \in [x] \cap P \text{ then } p \bullet \subseteq [x]$$

برای ساخت کلاسترها بر روی شبکه پتری شبه کد-۱ پیشنهاد می شود. در این تعریف و برای بدست آوردن کلاسترهای یال های بازدارنده لحاظ نمی شوند؛ یال های بازدارنده برای کنترل شلیک گذرها لحاظ شده است.

با انجام شبه کد-۱، یک تقسیم بندی^{۲۶} از شبکه پتری بوجود می آید، روابط $\bigcup_{i=1}^k (p \in S_i) = P$ و $\bigcup_{i=1}^k (t \in S_i) = T$ برقرار است. منظور از k در این روابط، تعداد کلاسترهای ایجاد شده بر روی شبکه است.

اگر و تنها اگر $\{\forall t \in T, (t, t) \in p\}$ غیر انعکاسی است اگر و تنها اگر $\{\forall t \in T, (t, t) \notin p\}$ متقارن^{۲۰} است اگر و تنها اگر $\{\exists t, t' \in T, (t, t') \in p \Rightarrow (t', t) \in p\}$ غیرمتقارن است اگر و تنها اگر $\{\exists t, t' \in T, (t, t') \in p \Rightarrow (t', t) \notin p\}$ و این رابطه متعدی^{۲۱} است اگر و تنها اگر $\{\exists t, t', t'' \in T, (t, t') \in p, (t', t'') \in p \Rightarrow (t, t'') \in p\}$

رابطه ی p یک رابطه ی هم ارزی^{۲۲} است اگر و تنها اگر این رابطه انعکاسی، متقارن و متعدی باشد. در این صورت برای هر $t \in T$ نماد $[t]_p$ به کلاس هم ارزی که شامل t است اشاره می نماید. با توجه به رابطه ی p روابط دیگری نیز تعریف می شود:

$$p^{-1} = \{(t, t') \in T \times T \mid (t', t) \in p\}$$

$$\bar{p} = \{(t, t') \in T \times T \mid (t, t') \in p \cup p^{-1}\}$$

تنها روابطی در این مقاله لحاظ می شود که \bar{p} یک رابطه ی هم ارزی باشد. بنابراین رابطه ی اولویت توسط کلاس های هم ارزی^{۲۳} روی \bar{p} تعریف می شود. در این حالت رابطه ی p غیرانعکاسی، غیرمتقارن و متعدی خواهد بود [۶].

تعریف ۷: شبکه پتری اولویت دار، یک شبکه پتری است که اولویت آن بر روی یال و با رابطه ی p ، $p \subseteq T \times T$ ، تعریف شده است. این رابطه غیرانعکاسی، غیرمتقارن و متعدی است و در نتیجه \bar{p} یک رابطه ی هم ارزی است. کلاس های هم ارزی \bar{p} را کلاس های اولویت^{۲۴} می نامیم. یک سیستم پتری اولویت دار را با سه تایی (N, p, M_0) نشان می دهیم.

تعریف ۸: گذر p -توانا نشان دهنده ی توانا شدن گذر t در سیستم پتری اولویت دار می باشد. این اتفاق با نماد $M[t >_p]$ نشان داده می شود و در صورتی رخ می دهد که:

$$M[t > \& \forall t' \in T \mid M[t' > \Rightarrow (t, t') \in p]$$

با در نظر گرفتن اولویت در هنگام توانا شدن گذرها، مجموعه دسترس پذیری (N, p, M_0) یک زیرمجموعه از مجموعه نظیر خود در (N, M_0) می باشد؛ اما این موضوع دوطرفه نمی باشد [۶]. ۸. بنابراین تمامی خواص ایمنی [۲۸] که برای (N, M_0) برقرار باشد برای سیستم (N, p, M_0) نیز برقرار است [۶]. با توجه به تعریف p -توانا مفاهیم دیگری مانند p -زنده بودن، p -محدود بودن، p -برگشت پذیری و ... تعریف می شود.

تعریف ۹: شرایط EQUAL: فرض کنید که گذرهای t و t' به یک کلاس اولویت متعلق باشند. این بدان معناست که ممکن

گذر t در نشانه گذاری M, α - توانا است و قابلیت شلیک خواهد داشت اگر و تنها اگر علاوه بر توانا شدن آن گذر در نشانه گذاری M ، توسط آتوماتای یادگیر مربوطه انتخاب شده باشد یعنی:

$$M[t] > M[t]_p \& A(i, j) = 1, E_i(k, t) = 1 \Rightarrow \alpha_i(n) = k$$

با توجه به تعریف α - توانا مفاهیم دیگری مانند α - زنده بودن، α - محدود بودن، α - برگشت پذیری و ... تعریف می شود.

لم ۱: اگر شبکه پتری اولویت دار (N, p) دارای شرایط EQUAL (تعریف ۹) باشند آنگاه شبکه معادل تطبیقی نیز این شرایط را حفظ می نماید.

اثبات: با توجه به مفهوم کلاستر (تعریف ۱۰) رابطه ی زیر میان گذرهای متعلق به کلاستر X برقرار است:

$$\forall t, t' \in T \mid t \cap t' \neq \emptyset \Rightarrow t, t' \in [x]$$

با در نظر گرفتن تعریف ۹ چنین گذرهایی بایستی از یک کلاس اولویت باشند؛ رابطه ی اولویت برای شلیک یکی از آنها نمی تواند تصمیم گیری نماید. با توجه به تعریف شبکه پتری اولویت دار یادگیر (تعریف ۱۱) این تصمیم گیری می تواند با آتوماتای یادگیر باشد. پس همچنان شرط a در تعریف ۹ پابرجاست. حضور آتوماتای یادگیر شرط b در تعریف شرایط EQUAL را نیز حفظ می نماید. به تعبیر دیگر، با فرض برقرار بودن شرایط EQUAL، تمامی گذرهای موجود در یک کلاستر متعلق به یک کلاس اولویت هستند و آتوماتای یادگیر در داخل این سطح کنترل خود را بر شلیک گذرها اعمال می نماید و سطح اولویت را تغییر نمی دهد و بدین ترتیب لم اثبات می شود.

نتیجه: با توجه به مطالب فوق تحلیل شبکه پتری اولویت دار تطبیقی مانند شبکه پتری اولویت دار خواهد بود. شکل ۱ این روند را تشریح می نماید.

Clustering Algorithm

In: A PN that T is a copy of its transition set

Out: S: Set of clusters that makes a partition of input PN.

$i=1$ //initial value of counter

while $(|T|>0)$

{

Initial new cluster $S_i, S_i=\emptyset$.

Initialize $Ttemp=\emptyset, Ptemp=\emptyset$.

Pick a $t \in T$ to continue and $T = T - t$.

do{ $S_i = S_i \cup t$

$Ptemp = t$

for each element x of $Ptemp$

{ $S_i = S_i \cup x; Ttemp = Ttemp \cup x; T = T - x; \}$

Pick $t \in Ttemp$ to continue and $Ttemp = Ttemp - t$

}while $(|Ttemp|>0)$.

$i = i + 1$.

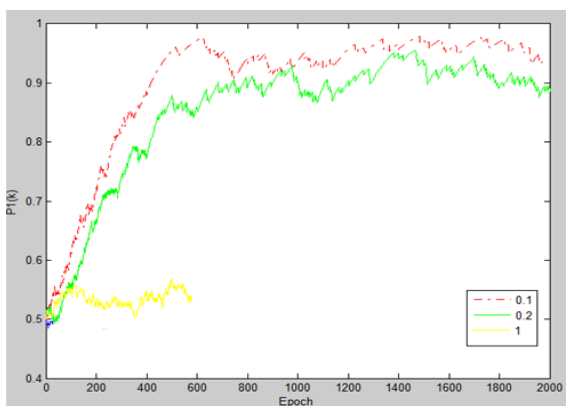
}//end while.

شبه کد-۱: الگوریتم کلاستر کردن یک شبکه پتری

تعریف ۱۱: شبکه پتری اولویت دار تطبیقی به شبکه پتری اولویت داری (تعریف ۷) اشاره می نماید و با یک پنج تایی (N, p, S, Q, A, E) معرفی می گردد. N شبکه پتری است که در آن p رابطه اولویت گذرها را مشخص می کند و S به تقسیم بندی آن اشاره می کند. Q به مجموعه ای از آتوماتای یادگیر (تعریف ۳) اشاره می نماید. هر کلاستر از مجموعه S ، $\forall [S_i] \in S$ حداکثر می تواند شامل یک آتوماتا داشته باشد. بیان این ارتباط در ماتریس A مشخص می شود. اگر آتوماتای زام از مجموعه Q در کلاستر نام از مجموعه S قرار داشته باشد آنگاه $A(i, j) = 1$ خواهد بود. حداکثر تعداد کنش های این آتوماتا می تواند برابر با تعداد گذرها در کلاستر مربوطه باشد. اگر k امین کنش آتوماتای Q_j که در کلاستر نام، $[S_i]$ قرار دارد با گذر t در این کلاستر مرتبط شده باشد آنگاه $E_i(k, t) = 1$ خواهد بود. با الحاق نشانه گذاری اولیه، (N, p, S, Q, A, E, M_0) سیستم اولویت دار تطبیقی بوجود می آید.

تعریف ۱۲: گذر α - توانا: با توجه به الحاق آتوماتای یادگیر در داخل کلاستر مفهوم جدیدی از توانا شدن گذر شکل می گیرد.

۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۰.۱	۹.۵۶	۱۹۴۶	۲۶
۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۰.۲	۱۳.۴۹	۰	۳۳
۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۰.۲	۹.۲۳	۱۹۲۸	۳۳
۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۰.۸	۰.۰۳	۰	۵۴
۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۰.۸	۰.۰۳	۶۸۱	۵۴
۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۱	۰.۰۲	۰	۵۵
۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۱	۰.۰۲	۵۶۲	۵۵



شکل ۳: احتمال انتخاب شدن صف اول به ازای مقادیر مختلف μ_2 .

۶- نتیجه

ایجاد یادگیری و تطبیق پذیری در جهت ایجاد یک ماشین ترکیبی با شبکه پتری در این مقاله دنبال شد. رویکرد جدید استفاده از یک مولفه یادگیر در داخل شبکه پتری و کنترل و هدایت آن، منجر به ایجاد ماشین جدید گردید. ماشین جدید، شبکه پتری اولویت دار، وظیفه بیان مسئله و محیط آن را بر عهده دارد؛ وظیفه راهبری آن در شرایط تلاقی بر عهده اتوماتای یادگیر است. امکان ایجاد شبکه ای از اتوماتای یادگیر در داخل ماشین پیشنهادی بعنوان کارهای آینده دنبال می شوند.

سپاسگزاری

با تشکر از پژوهشگاه فضای مجازی که با حمایت های مالی خود ما را در انجام این پژوهش یاری رسانده اند.

If $k+1^{th}$ job is chosen from the queue I for service
If $\beta == 1$ then //Reward, α : Reward factor
 $q_i(k+1) = q_i(k) + \alpha(1 - q_i(k))$
 $q_j(k+1) = q_j(k) - \alpha q_j(k), j \neq i$

شبه کد-۲: الگوریتم یادگیری

مطالعات کلاسیک [۳۱، ۳۲] بروی انتساب اولویت نشان می دهد که اولویت بالاتر برای انجام کارهای دارای متوسط زمان سرویس کوتاه تر، مجموع کلی زمان انتظار سیستم کمتری نسبت به زمانی دارد که اولویت در انجام کار لحاظ نگردد.

در پیاده سازی این مدل مسئله چندین حالت مختلف در نظر گرفته شده است. جدول-۳ شرایط اولیه و نتیجه اجرای این الگوریتم را نشان می دهد. نرخ ورود در دوصف در تمامی اجراها ثابت است تا شرایط مقایسه بهتری ایجاد شود. نرخ زمان سرویس کارهای صف دوم در هر اجرا تغییر می کند. در هر بار تنظیم پارامترها، شبیه سازی بیست بار انجام شده و متوسط نتایج در جدول-۳ گزارش شده است. برای هر مجموعه از پارامترها در جدول دو سطر گزارش شده است. در یک حالت که تعداد روزرسانی صفر گزارش شده است، اتوماتای یادگیر داخل کلاستر خاموش بوده است؛ احتمال انتخاب کار از هر صف برابر با ۰.۵ است. در حالت بعدی تعداد روزرسانی بردار کنش اتوماتا نیز ذکر شده است؛ تعداد شلیک گذر داخل المان محیط هم محاسبه می شود.

در هر اجرا که اتوماتای یادگیر در انتساب اولویت شرکت می نماید متوسط زمان انتظار کلیه مشتریان پایین تر از حالت مشابه و بدون حضور یادگیر در سیستم است. بر اساس نکته تئوری هر چه توجه به صف کارهای کوتاه تر بیشتر شود کاهش بیشتری را در زمان متوسط انتظار، شاهد هستیم. این موضوع در نتایج تجربی نیز دیده می شود. با شبیه تر شدن نوع کارها در دوصف، اتوماتای یادگیر نیز نمی تواند تاثیری در کاهش زمان انتظار داشته باشد که امری کاملاً بدیهی است. تغییر پارامتر μ_2 در شکل ۳ برای احتمال انتخاب صف اول بررسی شده است.

جدول-۳: پارامترها، متوسط زمان انتظار و درصد بیکاری سرویس دهنده

λ_1	μ_1	λ_2	μ_2	Waiting Time (Ave)	#Update	%Idle
۰.۲۵	۱	۰.۲۵	۰.۱	۱۸.۹۹	۰	۲۶

۷- مراجع

- Part A: *Systems and Humans*, Vol. ۳۳, No. ۳, pp. ۳۱۴-۳۲۴, ۲۰۰۳.
- [۲۲] S. Barzegar, et. al., "Formalized learning automata with adaptive fuzzy coloured Petri net; an application specific to managing traffic signals", *Scientia Iranica*, Vol. ۱۸, No. ۳, pp. ۵۵۴-۵۶۵, ۲۰۱۱.
- [۲۳] O. Fukuda, et. al., "Skill assistance for myoelectric control using an event-driven task model", *Intelligent Robots and Systems, IEEE/RSJ International Conference*, Vol. ۲, pp. ۱۴۴۵ - ۱۴۵۰, ۲۰۰۲.
- [۲۴] Y. Dashora, et. al., "Deadlock-free scheduling of an automated manufacturing system using an enhanced colored time resource Petri-net model-based evolutionary endosymbiotic learning automata approach", *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. ۱۹, No. ۴, pp. ۴۸۶-۵۱۵, ۲۰۰۸.
- [۲۵] B. Berthomieu, F. Peresand F. Vernadat, "Bridging the Gap Between Timed Automata and Bounded Time Petri Nets", *FORMATS*, pp. ۸۲-۹۷, ۲۰۰۶.
- [۲۶] Z. Yuan, J. Zhou and H. Ye, "A GSPN-based Grid Resource Schedule Algorithm", *Grid and Cooperative Computing (GCC), the 9th International Conference*, pp. ۴۵۷-۴۶۰, ۲۰۱۰.
- [۲۷] A. Mahfoudhi, Y. Hadj Kacem, W. Karamti and M. Abid, "Compositional specification of real time embedded systems by priority time Petri Nets", *The Journal of Supercomputing*, Vol. ۵۹, No. ۳, pp. ۱۴۷۸-۱۵۰۳, ۲۰۱۲.
- [۲۸] B. Alpern and F. B. Schneider, "Defining liveness", *Information processing Letters*, Vol. ۲۱, pp. ۱۸۱-۱۸۵, ۱۹۸۵.
- [۲۹] M. R. Meybodi and S. Laxmivarahan, "A learning approach to priority assignment in a two class M/M/۱ queueing system with unknown parameters", *the Yale Workshop on Adaptive System Theory*, pp. ۱۰۶-۱۰۹, ۱۹۸۳.
- [۳۰] P. Kumar Srikanta, "A Simple Learning Scheme for Priority Assignment at a Single-Server Queue", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. ۱۶, No. ۵, pp. ۷۵۱-۷۵۴, ۱۹۸۶.
- [۳۱] A. Cobham, "Priority Assignment in Waiting Line Problems", *Operations Research*, Vol. ۲, No. ۱, pp. ۷۰-۷۶, ۱۹۵۴.
- [۳۲] T. L. Saaty, *Elements of queueing theory: with applications*, McGraw-Hill New York, ۱۹۶۱.
- [۱] P.J. Courtois, F. Heymans and D.L Parnas, "Concurrent control with readers and writers", *Comm. ACM*, Vol. ۱۴, No. ۱۰, pp. ۶۶۷-۶۶۸, ۱۹۷۱.
- [۲] *Ada Programming Language*, ANSI/MIL-STD-۱۸۱۵A, ۱۹۸۳.
- [۳] G. Jones and M. Goldsmith, *Programming in occam-۲*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, ۱۹۸۸.
- [۴] E. Best and M. Kounty, "Petri Net semantics of priority systems, Theoretical computer science", Elsevier, Vol. ۹۶, pp. ۱۷۵-۲۱۵, ۱۹۹۲.
- [۵] A. Ajman Marsan, et. al., *Modeling with generalized stochastic Petri net*, Wiley Series in Parallel Computing, John Wiley and Sons, ۱۹۹۵.
- [۶] F. Bause, "On the analysis of Petri net with static priorities", *Acta Informatica*, Vol. ۳۳, pp. ۶۶۹-۶۸۵, ۱۹۹۶.
- [۷] M. Kounty, "Modeling systems with dynamic priorities", *Advances in Petri nets*, pp. ۲۵۱-۲۶۶, Springer-Verlag, ۱۹۹۲.
- [۸] F. Bause, "Analysis of Petri nets with a dynamic priority method", *Application and Theory of Petri Nets*, pp. ۲۱۵-۲۳۴, ۱۹۹۷.
- [۹] J.L. Peterson, *Petri Net Theory and the Modelling of Systems*, Prentice-Hall, ۱۹۸۱.
- [۱۰] E. Best, "Structure theory of Petri nets: The free choice hiatus", *Advances in Petri Nets*, Part I, pp. ۱۶۸-۲۰۵. Springer-Verlag, ۱۹۸۶.
- [۱۱] P. Kemper and F. Bause, "An efficient polynomial-time algorithm to decide liveness and boundedness of free choice nets", *Proceedings of the 11th International Conference on Application and Theory of Petri Nets*, Springer-Verlag, Berlin, ۱۹۹۲.
- [۱۲] M.H.T. Hack, *Petri net languages*, MIT, Laboratory Computer Science, TR-۱۵۹, ۱۹۷۶.
- [۱۳] L. Lamport, "What it means for a concurrent program to satisfy a specification: Why no one has specified priority", *Proc. 11th ACM Symp. on Principles of Programming Languages*, New Orleans, Louisiana, pp. ۷۸-۸۳, ۱۹۸۵.
- [۱۴] W. Reisig, "A strong part of concurrency", G. Rozenberg, ed., *Advances in Petri Nets, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. ۲۶۶, pp. ۲۳۸-۲۷۲, Springer, Berlin, ۱۹۸۷.
- [۱۵] L. Rutkowski and K. Cpalka, "Flexible neuro-fuzzy systems", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. ۱۴, No. ۳, pp. ۵۵۴-۵۷۴, ۲۰۰۳.
- [۱۶] R. Khosla and T. Dillon, "Intelligent hybrid multi-agent architecture for engineering complex systems", *Neural Networks, International Conference*, Vol. ۴, pp. ۲۴۴۹-۲۴۵۴, ۱۹۹۷.
- [۱۷] L. C. Jain and N. Martin, *Fusion of neural networks, fuzzy sets and genetic algorithms: industrial applications*, CRC press, ۱۹۹۹.
- [۱۸] A. ul Asar, M. Zhou and R. J. Caudill, "Making Petri nets adaptive: a critical review", *Networking, Sensing and Control, Proceedings ۰۵ IEEE*, pp. ۶۴۴-۶۴۹, ۲۰۰۵.
- [۱۹] K. Venkatesh and O. Masory, "A high level Petri net model of olfactory bulb", *Neural Networks, IEEE International Conference*, Vol. ۲, pp. ۷۶۶-۷۷۱, ۱۹۹۳.
- [۲۰] A. Kinie and J. J. Montois, "Petri nets in mutual interactions on epilepsy", *IFMBE Proceedings*, Vol. ۲۵, No. ۴, pp. ۱۹۵۳-۱۹۵۶, ۲۰۰۹.
- [۲۱] M. Gao, M. Zhou, X. Huang and Z. Wu, "Fuzzy reasoning petri nets", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics -*

-
- ^۱ Concurrent systems
 - ^۲ Priority
 - ^۳ Conflict
 - ^۴ Static and Dynamic priorities
 - ^۵ EQUAL-conflict conditions
 - ^۶ Liveness
 - ^۷ Reversibility
 - ^۸ Membership values
 - ^۹ Certainty Factor
 - ^{۱۰} Learning Rule
 - ^{۱۱} Fusion Methods
 - ^{۱۲} Combination Methods
 - ^{۱۳} Learning Automata
 - ^{۱۴} Stationary
 - ^{۱۵} Non-Stationary
 - ^{۱۶} Variable Structure Automata
 - ^{۱۷} Preset
 - ^{۱۸} Postset
 - ^{۱۹} Reflexive
 - ^{۲۰} Symmetric
 - ^{۲۱} Transitive
 - ^{۲۲} Equivalence relation
 - ^{۲۳} Equivalence classes
 - ^{۲۴} Priority classes
 - ^{۲۵} Cluster
 - ^{۲۶} Partition
 - ^{۲۷} poison