

تطبیق‌پذیری در شبکه‌های پتری اولویت‌دار مبتنی بر آtomاتای یادگیر

سیدمهدي وحيدی پور^۱, محمدرضا میبدی^۲

^۱ آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ir
^۲ آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ir

چکیده - شبکه‌های پتری بعنوان یک ابزار مدل‌سازی و محاسباتی، برای حل مسائل دنیای واقعی (غیر خطی و پویا) استفاده می‌شوند. این ابزار به تنها بی‌توانایی آموزش خود برای تطبیق در برابر تغییرات محیط را ندارد. شبکه پتری تطبیقی، حاصل نگاهی از دنیای الگوریتم‌های هوشمند به فضای مدل‌سازی است. در این مقاله ضمن بررسی انواع شبکه‌های پتری تطبیقی ارایه شده، با رویکرد جدید استفاده از آtomاتای یادگیر، ماشین تطبیق‌پذیری تعریف می‌شود که بیان و حل مسئله را در کنار یکدیگر بوجود می‌آورد. در همین راستا شبکه پتری اولویت‌دار با نوع اولویت استاتیک مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته تا تطبیق‌پذیری بو روی آن و با استفاده از آtomاتای یادگیر ایجاد شود. در نهایت ماشین حاصل با نام شبکه پتری اولویت‌دار تطبیقی تعریف می‌شود. 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- آtomاتای یادگیر، تطبیق‌پذیری، شبکه‌های پتری، شبکه‌های پتری اولویت‌دار، شبکه‌های پتری تطبیق‌پذیر.

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

اولویت‌های تعیین شده برای گذرها در شبکه پتری، مجموعه‌ای از گذرها توانا را مشخص می‌نمایند؛ این مجموعه، همگی متعلق به یک سطح اولویت هستند. در این مقاله، برای انتخاب یک گذر از میان این مجموعه از آtomاتای یادگیر استفاده می‌شود. تاکید بر انتخاب صحیح این گذر، بدلیل تاثیر آن بر بهره‌ی سیستم می‌باشد. اساساً افزایش بهره‌وری یکی از دلایل تعریف سطوح اولویت در میان گذرها می‌باشد. در حالتی که گذرها توانا در یک سطح باشند، با استفاده از آtomاتای یادگیر نیز می‌توان به ارتقای معیارهای کارایی سیستم توجه نمود.

دو نوع از اولویت در سیستم‌های پتری اولویت‌دار تعریف می‌گردد: اولویت ایستا و پویا^۴. اولویت ایستا با تعیین مقادیری ثابت در ابتدای کار مشخص می‌شود [۶، ۴]. اما مقادیر اولویت در حالت پویا متغیر است و معمولاً این مقدار با نشانه‌گذاری جاری سیستم در ارتباط است [۷، ۸]. در شبکه پتری تطبیقی پیشنهادی، شبکه پتری با اولویت ایستا در نظر گرفته شده است که مجموعه‌ای از گذرها توانا را شامل می‌شود که در یک سطح اولویت قرار دارند.

۱- مقدمه

در طراحی سیستم‌های مواد اولیه^۱ مواد اولیه^۲ مورد توجه بوده است. اولویت به برتری انجام یک فرآیند بر دیگری اشاره دارد. این موضوع در سیستم‌عامل‌ها [۱]، زبانهای برنامه‌نویسی [۲، ۳] و سایر سیستم‌های مواد اولیه مورد توجه می‌باشد. در بسیاری از موارد، با تعیین اولویت‌های فعالیت‌های جاری در سیستم موادی، تلاقي^۳ میان آنها قابل هدایت و کنترل می‌باشد [۴]. اولویت در یک شبکه پتری می‌تواند میان گذرها آن تعریف گردد [۵]؛ سطح اولویت برای هر گذر یک عدد صحیح است که توسط یکتابع تولید می‌شود. با وجود سطح اولویت، گذرها توانا شده از سطوح بالاتر زودتر از سایر گذرها فعال با اولویت پایین‌تر شلیک می‌تمایند. بعبارت دیگر، علاوه بر دسته‌بندی منطقی گذرها در دسته‌های هم‌ارز، تعریف یک راه حل دقیق جهت تلاقي و تصادم گذرها بوجود می‌آید [۵].

در سیستم‌های پتری غیرزمانی، انتخاب گذر شلیک‌کننده از میان دو گذر توانا شده کاملاً تصادفی است. در سیستم‌های پتری زمانی، تاخیر زمانی میان شلیک گذرها در رفع تصادم میان آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما هنگامیکه دو یا چند گذر آنی در یک نشانه‌گذاری مشخص توانا می‌شوند یکی از دو قانون زیر مورد

تغییرات بر عهده دارد. از ویژگیهای بارز ماشین ترکیبی جدید می‌توان به توجه به رفتار نهایی ماشین و بیان دقیق سیستم، تحلیل ریاضی شبکه پتری بدون در نظر گرفتن مولفه‌ی یادگیر، تحلیل ریاضی ماشین پیشنهادی، امکان تصمیم‌گیری توزیع شده و تعیین‌پذیری اشاره نمود.

قسمتهای مختلف مقاله بر ترتیب زیر ارایه می‌گردد. در بخش دوم مقالاتی مورخ می‌گردد که به ایجاد تطبیق‌پذیری و یادگیری در شبکه‌های پتری پرداخته‌اند. مفاهیم و تعاریف اولیه استفاده شده در این مقاله مانند آtomاتای یادگیر، شبکه‌های پتری و اولویت تعریف شده در این شبکه در بخش سوم آمده است. بخش چهارم به ماشین پیشنهادی می‌پردازد. نمونه‌ای از کاربرد مدل پیشنهادی در بخش پنجم بررسی می‌شود. نتایج و کارهای آینده نیز در بخش ششم آمده است.

۲- تطبیق‌پذیری در شبکه پتری

شبکه‌های پتری بعنوان یک ابزار مدل‌سازی و محاسباتی، برای حل مسائل دنیای واقعی (غیر خطی و پویا) استفاده می‌شوند. این ابزار به تنها یک توانایی آموزش خود برای تطبیق در برابر تغییرات محیط را ندارد. از سوی دیگر، با نگاهی دقیق‌تر به تکنیک‌های هوشمند در می‌یابیم که آن‌ها برای تحلیل و آنالیز نیاز به ابزارهایی همچون شبکه‌های پتری دارند. بنابراین، الزامی است تا مدلی طراحی شود که بتواند تکنیک‌های هوشمند و شبکه‌های 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 شبکه‌پتری، در مسائل متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. عصار و همکارانش [۱۸] چنین ترکیب‌هایی را با نام شبکه‌های پتری تطبیقی معرفی نموده و آن‌ها را در دو دسته کلی همجوشی^{۱۱} [۱۹، ۲۰، ۲۱] و ترکیبی^{۱۲} [۲۲، ۲۳، ۲۴] تقسیم‌بندی کرده است.

مقالات برای ارائه مدل‌هایی که دارای المانهای یادگیری باشند اکثراً از رفتار سیستم بیولوژیکی استفاده نموده‌اند. اما نکته فرموش 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 تصمیم‌گیر باشد، قطعاً مفهوم یادگیری را

آنالیز یک شبکه پتری به مشخص نمودن ویژگی‌های کارکردی و محاسبه ویژگیهای کارایی منوط می‌شود. در ابتدا بایستی ویژگی‌های کارکردی تعیین شوند تا آنالیز ارزیابی شبکه قبل انجام باشد [۱۱، ۱۰، ۹]. هنگامی که اولویت در شبکه‌های پتری در نظر گرفته می‌شود رفتار شبکه پتری دچار تغییر می‌شود و روند آنالیز آن دستخوش تغییر می‌شود [۶]. در مقالات روش‌های مختلفی برای این حالت در نظر گرفته شده است [۱۲، ۱۳، ۱۴]. اگر محدودیت‌هایی را در تعریف اولویت بر روی شبکه‌پتری قبول نماییم، آنگاه وجود ویژگی‌هایی در شبکه پتری نظریه بدون اولویت می‌تواند برای پیگیری ویژگی‌های مشابه در شبکه‌پتری معادل، همراه با اولویت مفید باشد. بدین ترتیب، تمامی الگوریتم‌های شناخته شده در شبکه‌های پتری در این حیطه قابل استفاده می‌باشد [۸، ۶]. بدیهی است کنترل این محدودیت‌ها بر روی اولویت‌ها بایستی از تحلیل شبکه پتری اولویت‌دار مبتنی بر تکنیک‌های دسترسی‌پذیری ساده‌تر و سریعتر باشد. بنابراین بیشتر محدودیت‌ها بر روی روابط اولویت در ساختار شبکه پتری متمرکز شده است [۶]. ما نیز در این مقاله، محدودیت‌هایی را در تعریف اولویت لحاظ نموده‌ایم.

ما در این مقاله نشان خواهیم داد که الحق آtomاتای یادگیر با روند پیشنهادی در این مقاله، شرایط تلاقی^۵ EQUAL معرفی شده در [۶] را حفظ می‌نماید. با وجود این شرایط، زنده‌بودن^۶ و برگشت‌پذیری^۷ در شبکه اولویت‌دار تضمین می‌گردد؛ بشرط آنکه شبکه پتری متناظر و بدون اولویت این خواص را دارا باشد. با حفظ شرایط تلاقی EQUAL، گذرهایی که به لحاظ ساختار شبکه پتری با یکدیگر تلاقی می‌نمایند بایستی در یک سطح از اولویت قرار داشته باشند. مدل پیشنهادی در این مقاله، کنترل شلیک این گذرهای متناظری را با استفاده از آtomاتای یادگیر و با حفظ شرایط EQUAL، دنبال می‌نماید.

با ارایه‌ی ترکیب شبکه پتری با آtomاتای یادگیر، قدرت تطبیق‌پذیری در آن ایجاد می‌گردد. به عبارت دیگر، با حضور یادگیر در کنار شبکه پتری یک ماشین ترکیبی جدید ساخته می‌شود. در این ماشین، بیان و حل مسئله در کنار هم دیده می‌شوند؛ شبکه پتری برای بیان محیط مسئله و تصمیم‌گیری‌های موجود در آن استفاده می‌شود و آtomاتای یادگیر، وظیفه کنترل، تطابق و یا همکاری با مدل را در برابر



عمل‌های مجموعه $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ ورودی های اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه بردار احتمال انتخاب هریک از اتوماتا، $q = \{q_1, q_2, \dots, q_r\}$ عمل‌هاو $q(n+1) = L(q(n), \alpha(n), \beta(n))$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. الگوریتم‌های یادگیری تأثیری حیاتی بر عملکرد اتوماتای یادگیر دارند.

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

تعریف ۵: یک شبکه مکان/گذر (P/T) توسط یک سه‌تایی $N = \{P, T, W\}$ تعریف می‌شود اگر و تنها اگر مجموعه P ، مجموعه مکان‌ها، و مجموعه گذرها، T ، از یکدیگر مجزا باشند: $P \cap T = \emptyset$ بواسطه‌ی ماتریس W نیز ارتباط میان اعضای دو مجموعه P و T مشخص می‌شود:

$$W: (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \mathbb{N}_0$$

نشانه‌گذاری M ، با انتساب یک عدد صحیح غیر منفی به مکان‌های شبکه، حالت کلی شبکه P/T را تعریف می‌نماید. یک شبکه P/T همراه با نشانه‌گذاری اولیه M . سیستم P/T را بوجود می‌آورد: (N, M) .

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

گذر t در نشانه‌گذاری M توانا خواهد بود اگر به ازای هر مکان p موجود در مجموعه \bullet ، تعداد نشانه‌های موجود در آن $M(p)$ مساوی یا بزرگتر از مقدار $W(p, t)$ باشد. این موضوع را با نماد $M[t] > M'$ نشان می‌دهیم.

اگر گذر t در نشانه‌گذاری M توانا شده باشد، می‌تواند شلیک نماید. این شلیک باعث ایجاد نشانه‌گذاری جدید M' می‌شود. یعنی $M[t] > M'$ نشانه‌گذاری جدید به صورت زیر بدست می‌آید: $M'(p) = M(p) - w(p, t) + w(t, p)$, $\forall p \in P$

با این تعاریف، یک شبکه P/T شبکه پتری نامیده می‌شود.

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

بیشتر دنبال می‌نماید. ارائه یک مدل کامل و جامع با ارایه المان‌های یادگیر و فاز یادگیری درونی در این مقاله دنبال می‌شود و در همین راستا استفاده از آتاماتای یادگیر در داخل شبکه پتری بیشنهاد می‌گردد. امکان الحق آتوماتای یادگیر به المان‌های مختلف شبکه پتری وجود دارد. چنانچه آتوماتای یادگیر به گذرها متصل شود، می‌تواند کنترل شلیک آنها را بر عهده داشته باشد. عبارت دیگر این آتوماتا می‌تواند 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 پایه‌ای

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

تعریف ۱: آتوماتای یادگیر^{۲۰} یکی از روش‌های یادگیری تقویتی است که می‌توان آن را بصورت یک شی مجرد که تعداد متناهی عمل دارد، در نظر گرفت. آتوماتای یادگیر یک عمل از مجموعه عمل‌های خود را انتخاب و آن کنش بر محیط اعمال می‌شود. عمل مذکور توسط یک محیط تصادفی ارزیابی می‌شود و اتوماتا از پاسخ محیط برای انتخاب عمل بعدی خود استفاده می‌کند. در طی این فرآیند، اتوماتا یاد می‌گیرد که عمل بهینه را انتخاب نماید. نحوه استفاده از پاسخ محیط به عمل انتخابی اتوماتا که در جهت انتخاب عمل بعدی اتوماتا استفاده می‌شود، توسط الگوریتم یادگیری اتوماتا مشخص می‌گردد.

تعریف ۲: محیط توسط یک سه‌تایی $E = \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داده می‌شود. مجموعه ورودی به محیط با $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مشخص می‌شود. $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی‌ها و $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال‌های جریمه می‌باشد. ورودی محیط یکی از r عمل انتخاب شده اتوماتا است. پاسخ محیط (خروجی) به هر عمل i توسط β_i مشخص می‌شود. احتمال نتیجه نامطلوب عمل i , α_i با c_i مشخص می‌شود. در محیط ایستا^{۲۱} مقادیر c_i بدون تغییر می‌مانند، ولی در محیط غیر ایستا^{۲۲} این مقادیر طی زمان تغییر می‌کنند.

تعریف ۳: آتوماتای یادگیر با ساختار متغیر^{۲۳} را می‌توان توسط چهارتایی $\{\alpha, \beta, q, L\}$ نشان داد که



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

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

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

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

۴- ماشین پیشنهادی

با توجه به آنکه آtomاتای یادگیر شلیک گذرها 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. گذرها یی 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 آtomاتای یادگیر استفاده نمود.

تعريف 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:

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

برای ساخت کلاسترها بر روی شبکه پتری شبه کد-۱ پیشنهاد می شود. در این تعریف و برای بدست آوردن کلاسترها 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 $U_{i=1}^k (t \in S_i) = P$ و $U_{i=1}^k (p \in S_i) = T$ برقرار است. منظور از k در این روابط، تعداد کلاسترها ایجاد شده بر روی شبکه است.

اگر و تنها اگر $\{\forall t \in T, (t, t) \in \rho\}$ ، غیر انعکاسی است اگر و تنها اگر $\{\forall t \in T, (t, t) \in \rho\}$ ، متقارن است اگر و تنها اگر $\{\exists t, t' \in T, (t, t') \in \rho \Rightarrow (t', t) \in \rho\}$ ، غیرمتقارن است اگر و تنها اگر $\{\exists t, t' \in T, (t, t') \in \rho \Rightarrow (t', t) \in \rho\}$ و این رابطه متعدد^{۲۱} است اگر و تنها اگر $\{\exists t, t', t'' \in T, (t, t') \in \rho, (t', t'') \in \rho \Rightarrow (t, t'') \in \rho\}$

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

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

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

تنها روابطی در این مقاله لحاظ می شود که $\bar{\rho}$ یک رابطه همارزی باشد. بنابراین رابطه ای اولویت توسط کلاس های همارزی^{۲۳} روی $\bar{\rho}$ تعریف می شود. در این حالت رابطه ρ غیرانعکاسی، غیرمتقارن و متعدد خواهد بود [۶].

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

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

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

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

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

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

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

با توجه به تعریف α - توانا مفاهیم دیگری مانند α - زندگبودن، α - محدودبودن، α - برگشت‌پذیری و ... تعریف می‌شود.

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

اثبات: با توجه به مفهوم کلاستر (تعریف ۱۰) رابطه‌ی زیر میان گذرها 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 گذرهای بایستی از یک کلاس اولویت باشند؛ رابطه‌ی اولویت برای شلیک یکی از آنها نمی‌تواند تصمیم‌گیری نماید. با توجه به تعریف شبکه پتری اولویت دار یادگیر (تعریف ۱۱) این تصمیم‌گیری می‌تواند با آتماتای یادگیر باشد. پس همچنان شرط a در تعریف ۹ پابرجاست. حضور آتماتای یادگیر شرط b در تعریف شرایط EQUAL را نیز حفظ می‌نماید. به تعبیر دیگر، با فرض برقرار بودن شرایط EQUAL، تمامی گذرها موجود در یک کلاستر متعلق به یک کلاس اولویت هستند و آتماتای یادگیر در داخل این سطح کنترل خود را بر شلیک گذرها اعمال می‌نماید و سطح اولویت را تغییر نمی‌دهد و بدین ترتیب لم اثبات می‌شود.

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 می‌نماید.

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 $T_{temp} = \emptyset$, $P_{temp} = \emptyset$.

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

do{ $S_i = S_i \cup t$

$P_{temp} = P_{temp} \cup t$

for each element x of P_{temp}

{ $S_i = S_i \cup x$; $T_{temp} = T_{temp} \cup x$; $T = T - x$ };

Pick $t \in T_{temp}$ to continue and $T_{temp} = T_{temp} - t$

}while ($|T_{temp}| > 0$).

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 می‌نماید و با یک پنج تایی (N, p, S, Q, A, E) معرفی می‌گردد. N شبکه پتری است که در آن p رابطه اولویت گذرها را مشخص می‌کند و S به تقسیم‌بندی آن اشاره می‌کند. Q به مجموعه‌ای از آتماتای یادگیر (تعریف ۳) اشاره می‌نماید. هر کلاستر از مجموعه S , $A[S_i] \in S$, A , S_i حداکثر می‌تواند شامل یک آتماتا داشته باشد. بیان این ارتباط در ماتریس A مشخص می‌شود. اگر آتماتای z از مجموعه Q در کلاستر i از مجموعه S قرار داشته باشد آنگاه $A(i,j) = 1$ در کلاستر i بود. حداکثر تعداد کنشهای این آنوماتا می‌تواند برابر با تعداد گذرها در کلاستر مربوطه باشد. اگر k امین کنش آتماتای z در کلاستر i قرار دارد با گذر t در این کلاستر Q مرتبط شده باشد آنگاه $E_i(k,t) = 1$ خواهد بود. با الحاق نشانه‌گذاری اولیه، (N, p, S, Q, A, E, M_0) سیستم اولویت دار تطبیقی بوجود می‌آید.

تعریف ۱۲: گذر α - توانا: با توجه به الحق آتماتای یادگیر در داخل کلاستر مفهوم جدیدی از توانا شدن گذر شکل می‌گیرد.



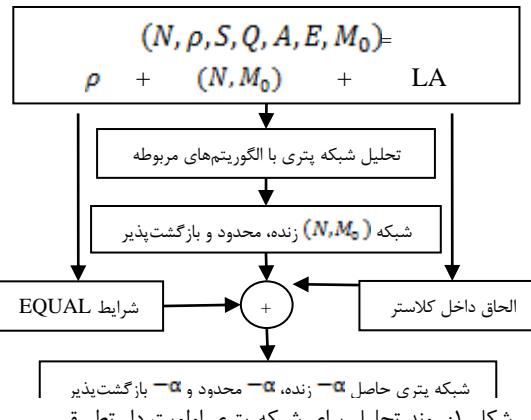
توضیح	نرخ	گذر زمان دار
ورود کارها به بافر صفحه اول	λ_1	$T_{inputQ1}$
ورود کارها به بافر صفحه دوم	λ_2	$T_{inputQ2}$
انجام کار از صفحه اول	μ_1	$T_{executeQ1}$
انجام کار از صفحه دوم	μ_2	$T_{executeQ2}$

جدول-۲: گذرهای آنی شکل ۲

توضیح	ECS	وزن	اولویت	گذر آنی
انتساب پردازنده به صفحه اول	۱	۰.۵		t_1
انتساب پردازنده به صفحه دوم	۱	۰.۵		t_2
تست خالی بودن بافر صفحه اول	۲	۱	۱	testQ1
تست خالی بودن بافر صفحه دوم	۳	۱	۱	testQ2
آغاز انجام کار از صفحه اول	۴	۱	۱	startExeQ1
آغاز انجام کار از صفحه دوم	۵	۱	۱	startExeQ2

در راستای استفاده از ماشین پیشنهادی در مسئله انتساب اولویت، مدل اولیه سیستم با شبکه پتری اولویت دار در شکل ۲ آمده است. گذرهای زمانی در جدول-۱ و گذرهای آنی در جدول-۲ توضیح داده شده‌اند. در توضیح گذرهای زمانی به نرخ تاخیر آنها اشاره شده است. در توضیح هر گذر آنی درجه اولویت آنها ذکر شده است. اگر دو گذر از درجه‌های متفاوت همزمان فعال شوند، آنکه اولویت بالاتری دارد شیلیک خواهد کرد.

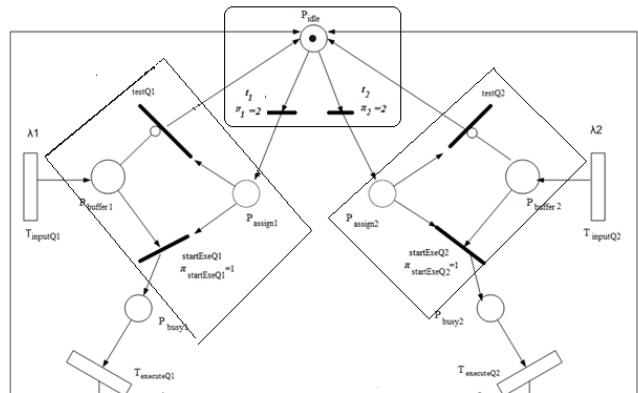
در شکل ۲ مسئله تعیین اولویت انجام کار با شبکه پتری اولویت دار طبیقی نشان داده شده است. گذرها و مکانها در داخل هر کلاستر مشخص می‌شوند. گذرهای داخل هر کلاستر در یک سطح از اولویت قرار دارند. جهت مشخص شدن اولویت در دو کلاستر طرفین از کمان بازدارنده استفاده است. اما در کلاستر بالایی چنانچه هر دو گذر با هم فعل شوند، تعیین شیلیک از میان گذرهای t_1 و t_2 بر عهده یک آتماتای یادگیر گذاشته است. جهت تولید سیگنال تقویتی متوسط زمان انتظار مشتریان، Γ ، در داخل سیستم محاسبه و نگهداری می‌شود. هنگامیکه کار k ام سرویس خود را دریافت نمود زمان روزرسانی مقادیر در آتماتای یادگیر است. اگر مدت زمان انجام این کار، $\Gamma(k)$ ، از متوسط زمان انتظار مشتریان تا این لحظه، $\bar{\Gamma}(k)$ بزرگتر باشد سیگنال حرجیمه و در غیر اینصورت سیگنال پاداش تولید می‌گردد. در پایان این گذر مقدار $\Gamma(k+1) - \bar{\Gamma}(k)$ برای مرحله بعدی محاسبه می‌شود. آتماتای یادگیر که از روند L_{R_I} تبعیت می‌نماید با دریافت سیگنال β ، بردار احتمالات q را بروزرسانی می‌نماید (شکل ۲)



شکل ۱: روند تحلیل برای شبکه پتری اولویت دار تطبیقی

۵- یک مثال از کاربرد ماشین پیشنهادی

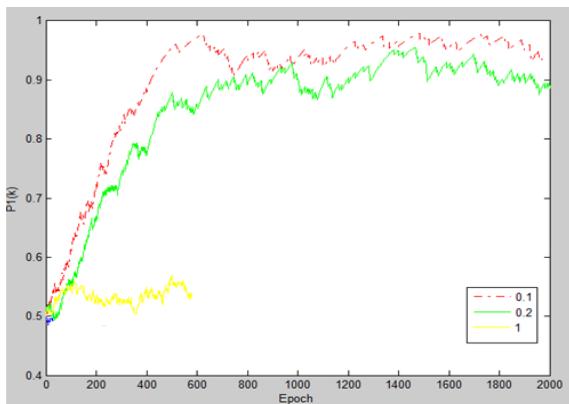
سیستمی را فرض نمایید که در آن تنها یک سرویس دهنده وجود دارد، همچنین دو کلاس مختلف از کارها نیز وجود دارند. هر کاری بمحض ورود به سیستم در صفحه مربوط به دسته خود، منظر آغاز سرویس خود می‌شود. نرخ ورود به صفها پواسون^{۷۷} بوده و از یکدیگر مستقل است: $\lambda_1 = 1.2$ و $\lambda_2 = 1.1$. مدت زمان سرویس تمامی کارهای موجود در صفحه λ دارای یک توزیع نمایی با نرخ μ_i^{-1} می‌باشد. از آنجا که در این سیستم تنها یک سرویس دهنده وجود دارد، می‌خواهیم کارها از دو صف بترتیبی مورد پردازش قرار گیرند تا میانگین زمان انتظار کلیه کارها کمینه باشد. چنین فرض می‌شود که نرخهای ورودی و خروجی نامشخص است [۳۰، ۲۹].



شکل ۲: شبکه اولویت دار تطبیقی با ماشین پیشنهادی

جدول-۱: گذرهای زمانی شکل ۲

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 صفحه اول به ازای مقادیر مختلف β .

۶- نتیجه

ایجاد یادگیری و تطبیق‌پذیری در جهت ایجاد یک ماشین ترکیبی با شبکه پتری در این مقاله دنبال شد. رویکرد جدید و استفاده از یک مولفه یادگیر در داخل شبکه پتری و کنترل و هدایت آن، منجر به ایجاد ماشین جدید گردید. ماشین جدید، شبکه پتری اولویت‌دار، وظیفه بیان مسئله و محیط آن را بر عهده دارد؛ وظیفه راهبری آن در شرایط تلاقی بر عهده آtomاتای یادگیر است. امکان ایجاد شبکه‌ای از آtomاتای یادگیر در داخل ماشین پیشنهادی بعنوان کارهای آینده دنبال می‌شوند.

سپاسگزاری

با تشکر از پژوهشگاه فضای مجازی که با حمایتهای مالی خود ما را در انجام این پژوهش یاری رسانده‌اند.

If $k+1^{\text{th}}$ job is chosen from the queue I for service

If $\beta == 1$ then //Reward, α : Reward factor

$$q_i(k+1) = q_i(k) + \alpha(1 - q_i(k))$$

$$q_j(k+1) = q_j(k) - \alpha q_j(k), j \neq i$$

شبۀ کد-۲: الگوریتم یادگیری

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

در پیاده‌سازی این مدل مسئله چندین حالت مختلف در نظر گرفته شده است. جدول-۳- شرایط اولیه و نتیجه اجرای این الگوریتم را نشان می‌دهد. نرخ ورود در دو صفحه در تمامی اجرای کارهای صف دوم در هر اجرا تغییر می‌کند. در هر بار تنظیم پارامترها، شبیه‌سازی 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 بروزرسانی صفر گزارش شده است، آtomاتای یادگیر داخل کلاسیتر خاموش بوده است؛ احتمال انتخاب کار از هر صف برابر با ۰,۵ است. در حالت بعدی تعداد بروزرسانی بردار کش آtomاتا نیز ذکر شده است؛ تعداد شلیک گذر داخل المان محیط هم محاسبه می‌شود.

در هر اجرا که آtomاتای یادگیر در انتساب اولویت شرکت می‌نماید متوسط زمان انتظار کلیه مشتریان پایین‌تر از حالت مشابه و بدون حضور یادگیر در سیستم است. بر اساس نکته تئوری هر چه توجه به صف کارهای کوتاه‌تر بیشتر شود کاهش بیشتری را در زمان متوسط انتظار، شاهد هستیم. این موضوع در نتایج تجربی نیز دیده می‌شود. با شبیه‌تیر شدن نوع کارها در دو صفحه، آtomاتای یادگیر نیز نمی‌تواند تاثیری در کاهش زمان انتظار داشته باشد که امری کاملاً بدینه است. تغییر پارامتر β 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

Part A: Systems and Humans, Vol. ۳۳, No. ۳, pp. ۳۱۴-۳۲۴,
۲۰۰۳.

۷- مراجع

- [۱۲] 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.
- [۱۳] 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. ۱۴۴۰-۱۴۵۰, ۲۰۰۲.
- [۱۴] 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. ۴۸۷-۵۱۰, ۲۰۰۸.
- [۱۵] B. Berthomieu, F. Peresand F. Vernadat, "Bridging the Gap Between Timed Automata and Bounded Time Petri Nets", *FORMATS*, pp. ۸۲-۹۷, ۲۰۰۷.
- [۱۶] 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.
- [۱۷] 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.
- [۱۸] B. Alpern and F. B. Schneider, "Defining liveness, *Information processing Letters*, Vol. ۲۱, pp. ۱۸۱-۱۸۵, ۱۹۸۰.
- [۱۹] M. R. Meybodi and S. Laxmivarahan, "A learning approach to priority assignment in a two class M/M/1 queueing system with unknown parameters", *the Yale Workshop on Adaptive System Theory*, pp. ۱۰۷-۱۰۹, ۱۹۸۷.
- [۲۰] 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, ۱۹۸۷.
- [۲۱] A. Cobham, "Priority Assignment in Waiting Line Problems", *Operations Research*, Vol. ۲, No. ۱, pp. ۷۰-۷۶, ۱۹۵۴.
- [۲۲] 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. 14, No. 10, pp. 667-668, 1971.
- [۲] Ada Programming Language, ANSI/MIL-STD-1810A, 1983.
- [۳] G. Jones and M. Goldsmith, *Programming in occam-1*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988.
- [۴] E. Best and M. Kounty, "Petri Net semantics of priority systems, Theoretical computer science", Elsevier, Vol. 97, pp. 175-210, 1992.
- [۵] A. Ajman Marsan, et. al., *Modeling with generalized stochastic Petri net*, Wiley Series in Parallel Computing, John Wiley and Sons, 1990.
- [۶] F. Bause, "On the analysis of Petri net with static priorities", *Acta Informatica*, Vol. 33, pp. 669-680, 1996.
- [۷] M. Kounty, "Modeling systems with dynamic priorities", *Advances in Petri nets*, pp. 201-266, Springer-Verlag, 1992.
- [۸] F. Bause, "Analysis of Petri nets with a dynamic priority method", *Application and Theory of Petri Nets*, pp. 210-234, 1997.
- [۹] J.L. Peterson, *Petri Net Theory and the Modelling of Systems*, Prentice-Hall, 1981.
- [۱۰] E. Best, "Structure theory of Petri nets: The free choice hiatus", *Advances in Petri Nets*, Part I, pp. 168-200. Springer-Verlag, 1987.
- [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, 1997.
- [۱۲] M.H.T. Hack, *Petri net languages*, MIT, Laboratory Computer Science, TR-109, 1979.
- [۱۳] L. Lamport, "What it means for a concurrent program to satisfy a specification: Why no one has specified priority", *Proc. 17th ACM Symp. on Principles of Programming Languages*, New Orleans, Louisiana, pp. 78-83, 1980.
- [۱۴] W. Reisig, "A strong part of concurrency", G. Rozenberg, ed., *Advances in Petri Nets, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 221, pp. 228-272, Springer, Berlin, 1987.
- [۱۵] L. Rutkowski and K. Cpałka, "Flexible neuro-fuzzy systems", *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 14, No. 3, pp. 554-574, 2003.
- [۱۶] R. Khosla and T. Dillon, "Intelligent hybrid multi-agent architecture for engineering complex systems", *Neural Networks, International Conference*, Vol. 4, pp. 2449-2454, 1997.
- [۱۷] L. C. Jain and N. Martin, *Fusion of neural networks, fuzzy sets and genetic algorithms: industrial applications*, CRC press, 1999.
- [۱۸] A. ul Asar, M. Zhou and R. J. Caudill, "Making Petri nets adaptive: a critical review", *Networking, Sensing and Control, Proceedings - 2000 IEEE*, pp. 744-749, 2000.
- [۱۹] K. Venkatesh and O. Masory, "A high level Petri net model of olfactory bulb", *Neural Networks, IEEE International Conference*, Vol. 2, pp. 766-771, 1993.
- [۲۰] A. Kinie and J. J. Montois, "Petri nets in mutual interactions on epilepsy", *IFMBE Proceedings*, Vol. 20, No. 4, pp. 1903-1907, 2009.
- [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