

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

## ارائه روشی جدید جهت مدل سازی عملگرهای الکترومکانیکی در اجسام پرنده

علیرضا آهنگرانی<sup>۱</sup>، عباس دبدبان<sup>۲</sup>

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

### چکیده

حرکت حول سه محور مختلف پرنده، از طریق سطوح کنترلی امکان پذیر است. کنترل سمت یا جهت گیری در هر جسم پرنده بسیار مهم و پیچیده می باشد. لذا سطوح کنترلی در بین اجزاء کنترلی موجود در پرنده بسیار حائز اهمیت است. در هر جسم پرنده با استفاده از کنترل سه سطح کنترلی ایران، رادر و الویتور می توان حرکت حول سه محور مختلف و در نتیجه جهت گیری پرنده را کنترل کرد. سطوح کنترلی ایران، رادر و الویتور در بالک های جسم پرنده قرار می گیرند. حرکت های حول محور چرخش یا طولی از طریق ایران ها در بال های پرنده انجام می شود، چرخش حول محور عمودی جسم پرنده انحراف از مسیر نامیده می شود و توسط سکان متحرک عمودی تعبیه شده در دم پرنده یا رادر کنترل می شود و در نهایت حرکت حول محور عرضی هواپیما، به هواپیما این اجازه را می دهد تا به سمت پایین و یا به سمت بالا پرواز نماید. این حرکت توسط الویتورهای طراحی شده بر روی بالچه های کوچک عقب پرنده قابل کنترل می باشد.

برای حرکت و کنترل این سطوح کنترلی از عملگرهای متفاوتی از جمله عملگرهای هیدرولیکی و الکترونیکی استفاده می شود. امروزه با پیشرفت های صورت گرفته عملگرهای الکترومکانیکی بیشتر از قبل مورد اقبال طراحان هواپیماهای بدون سرنشین قرار گرفته است. عملگرهای الکترومکانیکی که سرو موتورهای یکی از انواع آن ها می باشند دارای خصوصیاتمانند وزن کم، حجم کم، انرژی مصرفی پایین، قابلیت برنامه ریزی ساده و دقت بسیار دقیق می باشند. سرو موتورهای الکترونیکی قابلیت انجام کنترل وضعیت به صورت پیوسته را با دقت بسیار بالا را دارد و همچنین با طراحی های نوین در ساختار این نوع از موتورهای الکترونیکی سرعت پاسخ آن ها بسیار بالا است.

در این مقاله برآنیم تا با استفاده از روش های مدل سازی سیستم گسسته-پیشامدمدلی مناسب از یک عملگر الکترومکانیکی ارائه دهیم تا ناظر با استفاده از این ابزار مدل سازی بتواند حالت یا وضعیت عملکردی عملگر را در هر لحظه بدون در نظر گرفتن دینامیک پیچیده عملگر در اختیار داشته باشد. با در اختیار داشتن حالت سیستم و اعمال کنترل مناسب می توان قبل از ورود عملگر به وضعیت خطا آن را تشخیص داده و با آن مقابله کرد. همچنین این مدل سازی برای شبیه سازی گرافیکی بسیار مفید می باشد.

امروزه با گسترش ابزارهای تحلیلی همچون رایانه ها استفاده از سیستم های دینامیکی گسسته-پیشامد در مدل سازی و کنترل سیستم ها با خواص گسسته به شدت در حال گسترش است [1]. در تعریف سیستم های گسسته-پیشامد می توان گفت سیستم هایی که دارای حالت های گسسته بوده و با وقوع هر پیشامد از حالتی به حالت تغییر وضعیت می دهند [2].

در این مقاله، سعی شده با استفاده از قابلیت مدل سازی با شبکه های پتری یکی از عملگرهای الکترومکانیکی اجسام پرنده را مدل سازی و شبیه سازی کنیم. در هر جسم پرنده سطوح کنترلی مختلفی از جمله سطوح کنترلی ایران، رادر و الویتور برای کنترل پرنده وجود دارد که هر یک از این سطوح، برای کنترل یکی از جهت های رول، پیچ و یابو بکار گرفته می شوند. برای افزایش اطمینان و قابلیت این سطوح در کنترل پرنده برای هر سطح یک یا چند عملگر در نظر می گیرند. با توجه به اهمیت عملگرهای سطوح کنترلی در اجسام پرنده، در اینجا می خواهیم عملگر را با استفاده از ابزار شبکه های پتری مدل سازی کنیم. شبکه های پتری ابزار ریاضی و تصویری بسیار قدرتمندی در اختیار ناظر می گذارد و به ناظر کمک می کند تا بدون در نظر گرفتن معادلات دینامیکی پیچیده از عملگر، وضعیت عملکردی و حالت عملگر را در اختیار کاربر یا ناظر قرار دهد تا در صورت بروز هرگونه خطا و عیب در عملکرد عملگر به راحتی برای ناظر قابل شناسایی باشد. در این مقاله مدل کنترلی عملگر الکترومکانیکی مدل سازی شده و پس از اعمال تئوری کنترل نظارتی، کنترل کننده نهایی را به دست آورده ایم. در اینجا هدف نهایی از مدل سازی با استفاده از شبکه های پتری در مرحله اول داشتن یک مدل از عملگر الکترومکانیکی و در مرحله دوم طراحی کنترل کننده برای سیستم است.

**واژه های کلیدی:** سیستم های گسسته-پیشامد، شبکه های پتری، کنترل نظارتی، سطوح کنترلی، عملگر الکترومکانیکی، اجسام پرنده.

### مقدمه

امروزه به دلیل پیشرفت های خیره کننده در سیستم های هوایی، استفاده از این ابزارها در بسیاری از ابعاد گسترش یافته است. در حال حاضر به وسیله هواپیما میلیون ها نفر در سراسر دنیا از منطقه ای به منطقه دیگر، در زمانی بسیار کوتاه در حال جابجایی هستند و از طرفی در حال حاضر هواپیماهای بدون سرنشین برای عملیات های نقشه برداری، کشاورزی و نظامی بسیار پیچیده استفاده می شوند. این هواپیماها قابلیت پرواز در ساعات طولانی مدت را به منظور عکس برداری و انجام عملیات های نظامی را دارند. این جابجایی ها باید مطمئن، راحت، دقیق، ارزان و در کمال امنیت صورت گیرد. در هر پرنده ای پارامترهای طراحی همچون وزن، دقت و سرعت در کنترل و استحکام از فاکتورهای بسیار مهم به شمار می آیند. لذا طراح باید برای رسیدن به این اهداف حداکثر تلاش و دقت را داشته باشد. یک هواپیما علاوه بر حرکت در طول، عرض و ارتفاع، دارای حرکات کنترل شده دیگری نیز است.

۱- دانشجوی دکتری، ۰۹۱۲۶۸۶۹۱۷۷@students.semnan.ac.ir, a.ahangarani

۲- استادیار

پیکان نشان داده می‌شوند که مکان را به گذرگاه و گذرگاه را به مکان متصل می‌کند.

*نشانه:* بیانگر وضعیت (مکان‌های) فعال می‌باشد و به صورت نقطه نشان می‌دهند. اگر در یک مکان حداقل یک نشانه وجود داشته باشد، حالت مربوط به آن مکان فعال است.

در شکل ۱ می‌توان عناصر اصلی در یک شبکه پتری را مشاهده کرد.

در شبکه‌های پتری هر مکان توسط کمان‌ها به یک یا چند گذرگاه وصل می‌شود و در این حالت جهت پیکان به سمت گذرگاه خواهد بود و از طرف دیگر از هر گذرگاه کمانی خارج شده که به سمت مکان خواهد بود، البته به هر مکان می‌تواند یک یا چند کمان از چند گذرگاه برسد. در شبکه‌های پتری کمان‌ها دارای وزن هستند که این وزن نشان می‌دهد که چه تعداد نشانه به مکان اضافه یا کم می‌شود.

به یک مکان ورودی به گذرگاه می‌گویند در صورتی که کمانی مستقیم از مکان به گذرگاه موجود باشد و به یک مکان خروجی از گذرگاه می‌گویند در صورتی که کمانی مستقیم از گذرگاه به مکان موجود باشد.

هر شبکه پتری به صورت مجموعه پنج‌تایی زیر تعریف می‌شود [11]:

$$PN=(P, T, W, W^+, M_0) \quad (1)$$

که در مجموعه بالا  $P$  مجموعه متنهایی و غیر تهی از مکان‌ها،  $T$  مجموعه متنهایی و غیر تهی از گذرگاه‌ها،  $W$  تابع ورودی بیان کننده مکان‌های ورودی به گذرگاه‌ها،  $W^+$  تابع خروجی بیان کننده مکان‌های خروجی از گذرگاه‌ها و  $M_0$  حالت اولیه سیستم که بیانگر تعداد نشانه‌های مکان‌ها در شرایط اولیه است.

اگر تعداد مکان‌ها را برابر با  $|P|$  و تعداد گذرگاه‌ها را برابر با  $|T|$  در نظر بگیریم، توابع ورودی و خروجی، ماتریس‌های  $|P| \times |T|$  می‌باشند. اگر مکان  $i$ ام یک مکان ورودی به گذرگاه  $j$ ام باشد، آرایه سطر  $i$ ام و ستون  $j$ ام ماتریس  $W$  برابر با وزن کمان رابط مکان  $i$  و گذرگاه  $j$ می‌باشد. به طریق مشابه اگر مکان  $i$ یک مکان خروجی از گذرگاه  $j$  باشد، آرایه سطر  $i$ ام و ستون  $j$ ام ماتریس  $W^+$  برابر با وزن کمان رابط گذرگاه  $j$  و مکان  $i$ می‌باشد.

به ماتریس  $W^- = W - W^+$  ماتریس الحاقی گفته می‌شود که بیانگر رابطه بین مکان‌ها و گذرگاه‌ها و مکان‌ها در شبکه پتری می‌باشد و تمام عملیات ریاضی سیستم بر روی این ماتریس صورت می‌گیرد [8].

در شبکه پتری گسسته معادله حالت یا معادله اساسی آن عبارت است از:

$$M_{k+1} = M_k + W U_i \quad (2)$$

و

$$U_i = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_m\} \quad (3)$$

رفتار اینگونه سیستم‌ها را تغییر حالت‌ها و وقوع پیشامدها در زمان‌های گسسته تشکیل می‌دهند. با داشتن مدل سیستم گسسته-پیشامد و ضوابط رفتاری آن، هدف به دست آوردن یک ناظر مناسب جهت کنترل حلقه بسته آن است [3].

برای مدل‌سازی سیستم‌های گسسته-پیشامد روش‌ها و ابزارهای متفاوتی ارائه شده‌است که مهمترین آن‌ها، روش مدل‌سازی با استفاده از اتوماتا و شبکه‌های پتری می‌باشد. روش مدل‌سازی با استفاده از اتوماتا برای مدل‌سازی سیستم‌های گسسته-پیشامد برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط Ramadge & Wonham با نام تئوری کنترل نظارتی در سیستم‌های گسسته-پیشامد ارائه شد [4][5]. اما مشکل اساسی مدل‌سازی با اتوماتا انفجار حالت و بزرگ شدن بیش از حد مدل است، لذا مدل‌سازی سیستم‌های بزرگ که منجر به حالت‌های بسیار زیاد می‌شود این روش به لحاظ عملی امکان‌پذیر نمی‌باشد [6]. با توجه به محدودیت‌های بیان شده در اتوماتا روش جایگزین اتوماتا، مدل‌سازی با استفاده از شبکه‌های پتری می‌باشد [7][8]. شبکه‌های پتری قابلیت نمایش گرافیکی را دارند که همین دلیل مدل‌سازی توسط آن‌ها را آسان می‌کند [6]. از آن زمان تاکنون پژوهش‌های بسیار فراوانی در جهت توسعه و بهبود زبان اتوماتا و شبکه‌های پتری انجام شده‌است [9]. در این مقاله با استفاده از ابزار شبکه‌های پتری به بیان مدلی مناسب برای عملگر خواهیم پرداخت.

روند مقاله در بخش‌های بعدی به شرح زیر است: بخش دوم مفاهیم پایه مدل‌سازی شبکه‌های گسسته و کنترل نظارتی اختصاص دارد. در بخش سوم عملگر را به لحاظ عملکردی شرح خواهیم داد و در بخش چهارم مدلی از عملگر الکترومکانیکی را ارائه خواهیم داد و در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای ادامه کار بیان خواهد شد.

## مفاهیم پایه

به منظور مدل‌سازی عملگر الکترومکانیکی با ابزار شبکه‌های پتری نیازمندیم که ابتدا مفاهیم اصلی در شبکه‌های پتری را معرفی کرده و به اختصار توضیح دهیم.

## شبکه‌های پتری

شبکه‌های پتری ابزار قدرتمند گرافیکی و ریاضی است که برای تجزیه، تحلیل و مدل‌سازی سیستم‌های گسسته-پیشامد استفاده می‌شوند.

در مدل‌سازی هر سیستم گسسته-پیشامد توسط شبکه‌های پتری چهار عنصر اساسی داریم که برای مدل‌سازی در هر شبکه پتری از این ابزارها استفاده می‌شود [1][10]:

مکان: مکان، نمایانگر وضعیت ممکن سیستم است و با یک دایره تو خالی نمایش داده می‌شود.

گذرگاه: بیانگر عامل تغییر حالت یا همان پیشامد می‌باشد و به صورت یک خط یا یک مستطیل توپر نمایش می‌دهند.

کمان: ارتباط دهنده مکان‌ها و گذرگاه‌ها و روال تغییر حالت در هنگام رخداد پیشامدها را نمایش می‌دهد. کمان‌ها به صورت یک

در اینجا ناظر تعیین کننده این است که کدام گذرگاه‌ها می‌توانند فعال شوند. در شکل ۲ اساس تئوری کنترل نظارتی به وضوح نمایش داده شده است.

در این روش هر یک از اجزا سیستم مدل‌سازی می‌شود و سپس ضوابط بین اجزا را نیز مدل‌سازی می‌کنیم و در نهایت با ترکیب مدل اجزا و مدل ضوابط مدل نهایی ساخته می‌شود [4].

#### معرفی سیستم

سیستم مورد مطالعه در اینجا یک عملگر الکترومکانیکی از نوع سرو موتورها است که می‌تواند در یکی از سطوح کنترلی استفاده شود. این نوع عملگرها اصولاً دارای یک برد الکترونیکی می‌باشند که قابلیت ارتباط بین عملگر با پروسوسور را فراهم می‌کنند. در این ارتباط پروسوسور یا کامپیوتر دستوراتی که عملگر باید اجرا کند مانند میزان دوران را برای آن ارسال کرده و برد الکترونیکی آن را دریافت می‌کند و به اجرا می‌گذارد. از طرفی عملگر دستورات را در طی زمانی مشخص اجرا می‌کند و همچنین برد موجود در سروموتورها قادر به ارسال خرابی احتمالی عملگر و اطلاعات فیدبک به پروسوسور را دارد.

نحوه عمل در اینجا به این صورت است که کامپیوتر اطلاعاتی را به مجموعه عملگر ارسال می‌کند، مجموعه عملگر صحت یا عدم صحت اطلاعات دریافت کرده را بررسی می‌کند اگر اطلاعات دریافت شده غیر معتبر باشد عدم صحت اطلاعات را به کامپیوتر ارسال می‌کند ولی اگر اطلاعات ارسال شده توسط کامپیوتر اعتبار داشته باشد بعد ارسال تأییدیه به کامپیوتر، اجرای دستور را آغاز می‌کند. عملگر برای اجرای دستور زمان محدودی دارد که اگر نتواند در زمان مشخص شده دستور را اجرا کند آنگاه به پروسوسور اطلاع می‌دهد که، خطا یا نقص در عملگر ایجاد شده است. شکل ۳ ارتباط بین کامپیوتر و عملگر را در سطح کنترلی نمایش می‌دهد.

#### مدل‌سازی سیستم

در این بخش در ابتدا مدل گرافیکی و سپس مدل ریاضی یا معادله حالت را با استفاده از ابزار شبکه‌های پتری برای مجموعه عملگر الکترومکانیکی ارائه خواهیم داد. در اینجا مدلی را که برای مجموعه عملگر الکترومکانیکی در نظر گرفته‌ایم در شکل ۴ آورده شده است.

در مدل ارائه شده برای مجموعه عملگر، مکان‌ها و گذرگاه‌هایی وجود دارد که توصیف مکان‌ها را برای مدل عملگر در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- توصیف مکان‌های مدل عملگر.

مکان	توصیف مکان	مکان	توصیف مکان
$P_1$	عملگر آماده به کار	$P_6$	تایمر شروع به کار می‌کند
$P_2$	کد گشایی از اطلاعات دریافتی از کامپیوتر	$P_7$	اعلام پایان یافتن عمل از عملگر به کامپیوتر
$P_3$	ارسال عدم اعتبار اطلاعات به کامپیوتر	$P_8$	عمل مورد انتظار انجام نشد
$P_4$	ارسال تأییدیه اطلاعات به کامپیوتر	$P_9$	ارسال اعلام خطا در عملگر به کامپیوتر
$P_5$	انجام دستور	$P_{10}$	ارسال اعلام نقص در عملگر

و توصیف گذرگاه‌های مدل در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

که در آن  $M_{k+1}$  وضعیت بعدی در شبکه پتری می‌باشد و برداری با ابعاد  $n \times I$  است که  $n$  مشخص کننده تعداد حالت‌های یا مکان‌های سیستم و  $U_i$  بردار  $m \times I$  که برای مشخص کردن نحوه آتش شدن گذرگاه‌ها می‌باشد و  $m$  برابر با تعداد گذرگاه‌ها می‌باشد [12].

بسیار مطلوب می‌باشد که رابطه (۲)، ارتباط بین حالت سیستم در شرایط اولیه  $M_0$  با حالت سیستم در وضعیت نهایی  $M_f$  را توصیف کند. حال با گسترش رابطه (۲) داریم:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_0 + W U_0 \\ M_2 &= M_1 + W U_1 \Rightarrow \\ M_2 &= M_0 + W U_0 + W U_1 \Rightarrow \\ M_2 &= M_0 + W (U_0 + U_1) \end{aligned} \quad (۴)$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ M_f &= M_{f-1} + W U_{f-1} \Rightarrow \\ M_f &= M_0 + W (U_0 + U_1 + \dots + U_{f-1}) \end{aligned}$$

با ترکیب معادلات موجود در رابطه (۴) به رابطه زیر خواهیم رسید:

$$M_f = M_0 + W U \quad (۵)$$

که در آن  $U$  برابر با جمع  $U_0$  تا  $U_{f-1}$  می‌باشد که یک بردار غیر منفی است [10].

#### مدل ضوابط

در سیستم‌های مختلف گسسته-پیشامد شرایط و ضوابطی برای کار ابزار و دستگاه‌های مربوط به آن سیستم وجود دارد. مدل ضوابط ارتباط بین اجزا سیستم را مشخص می‌کند. به طور مثال وقتی دو ماشین و یک ربات داریم که ربات قطعه را از ماشین ۱ برداشته و در ماشین ۲ قرار می‌دهد، این ربات نقش ضوابط را دارد زیرا ارتباط بین ماشین ۱ و ماشین ۲ را برقرار می‌کند.

گاهی اوقات ضوابط و قواعد مورد نیاز بین اجزای یک سیستم به صورت یک مدل شبکه پتری گویاتر و خلاصه تر خواهد بود، به صورت ویژه وقتی که نیاز به یک توالی از وقوع پیشامدهایی که توسط اجزای مختلف سیستم ایجاد می‌شوند، داشته باشیم در این موارد مدل ضوابط بسیار می‌تواند کارساز باشد [6].

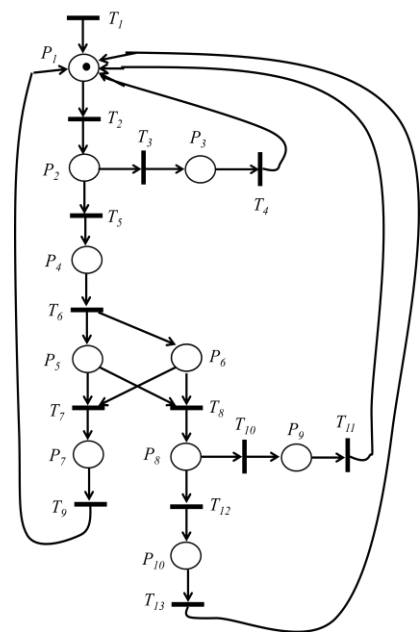
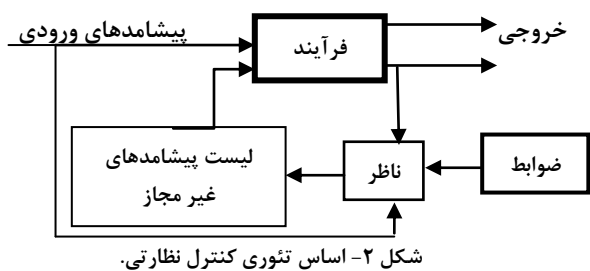
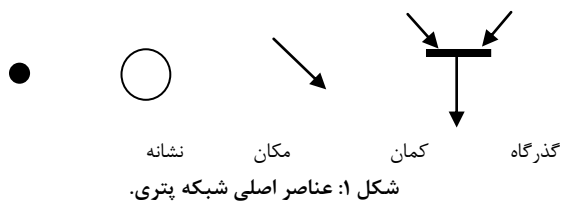
#### کنترل نظارتی

در سیستم‌های مختلف همواره شرایط و ضوابطی برای کار با بخش‌های متفاوت وجود دارد. این شرایط و ضوابط باعث محدود شدن حالت‌ها و در نتیجه قابلیت‌های سیستم می‌شود که باید در مدل و کنترل سیستم، حتماً در نظر گرفته شوند [9]. نظریه کنترل نظارتی برای طراحی کنترل کننده برای سیستم‌های گسسته-پیشامد ابداع شد. هدف نهایی از کنترل نظارتی، طراحی کنترل کننده‌ای است که رفتار سیستم را محدود کرده و در چارچوب مطلوب قرار دهد [13].

با اعمال طراحی کنترل نظارتی بر سیستم گسسته-پیشامد می‌توان اطمینان داشت که رفتار سیستم کنترل شده با حداکثر درجه آزادی ممکن به رفتار مورد نظر و مطلوب نزدیک است. در تئوری کنترل نظارتی اساس کار به این صورت می‌باشد که یک ناظر به شکلی طراحی می‌شود که خروجی‌ها را از سیستم دریافت کرده و با توجه به ضوابط تعریف شده باید تصمیم بگیرد که چه کاری در آینده مجاز یا غیرمجاز است. در اصل

امکان فراهم می‌شود تا بتوان بعضی از خطاها را قبل از اثر گذاری مؤثر تشخیص داده و با آن مقابله کرد. همانطور که ملاحظه شد استفاده از این روش مراحل طراحی کنترل کننده را ساده تر می‌کند و امکان بررسی دقیق تر را قبل از پیاده سازی عملی فراهم می‌نماید.

شکل‌ها



جدول ۲- توصیف گذرگاه‌های مدل عملگر.

گذرگاه	توصیف گذرگاه	گذرگاه	توصیف گذرگاه
T1	روشن شدن عملگر	T8	زمان در نظر گرفته شده برای تایمر تمام شد
T2	اطلاعات جدید دریافت شد	T9	پایان ارسال اعلام اتمام دستور از عملگر به کامپیوتر
T3	اطلاعات نامعتبر است	T10	عملگر دچار خطا شده است
T4	پایان ارسال عدم اعتبار اطلاعات به کامپیوتر	T11	پایان ارسال اعلام خطا در عملگر
T5	اطلاعات دریافت شده معتبر است	T12	عملگر دچار نقص شده است
T6	پایان ارسال تأییدیه اطلاعات به کامپیوتر	T13	پایان ارسال اعلام نقص در عملگر
T7	پایان انجام دستور		

برای به دست آوردن مدل ریاضی پتری ارائه شده برای عملگر الکترومکانیکی  $M_0$  و  $W$  عبارتند از:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

حال با داشتن عبارات (۶) به راحتی می‌توان معادله حالت سیستم را نوشت.

نتیجه‌گیری

در این مقاله با ارائه مدلی برای عملگر الکترومکانیکی با استفاده از شبکه‌های پتری، این امکان فراهم شد تا بتوانیم رفتار کنترلی این سیستم را به صورت گرافیکی مشاهده کنیم تا به راحتی با در اختیار داشتن این مدل فرآیند کنترل را پیاده‌سازی کنیم. این ابزار قدرتمند مدل‌سازی به ناظر این اجازه را می‌دهد که وضعیت عملگر را در هر لحظه بدون در نظر گرفتن معادلات دینامیکی پیچیده به صورت گرافیکی و یا ریاضی در اختیار داشته باشد و با کمک آن به راحتی خطاها و نقص‌ها را تشخیص و با اعمال کنترل کننده مناسب آن را رفع نماید. استفاده از مدل‌سازی این

- [1] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "The control of discrete event systems," in *IEEE (Special Issue on Discrete Event Dynamic Systems)*, January 1989, pp. 81-98.
- [2] B. and Zhou, M.C Hruz, *Modeling and Control of Discrete-event Dynamic Systems.*: Springer, 2007.
- [3] H.Alla A.Dideban, "Solving the problem of forbidden states by feedback control logical synthesis," in *32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Paris, FRANCE , November, 2006.
- [4] P. J. Ramadge and W. M. Wonham, "Supervisory control of a class of discrete event processes," *SIAM J. Control Optim*, vol. 25, pp. 206–230, 1987.
- [5] W. M. Wonham and P. J. Ramadge, "On the supremal controllable sublanguage of a given language," *SIAM J. Control Optim*, vol. 25, pp. 637–659, 1987.
- [6] مرضیه سادات هاشمی، عباس دیدبان و رضا کی پور، "مدل سازی و کنترل سیستم های هیبرید بادی- فئولتائیک با استفاده از شبکه های چهارمین کنفرانس نیروگاه های برق" in "پتری" pp. 1-7.
- [7] W. M. Wonham Y. Li, "Control of discrete-event systems-part ii: controller synthesis," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 39, pp. 512-531, march 1994.
- [8] عباس دیدبان، علی اسماعیلی، اسماعیل پورجم، حمیدرضا رضانی، سپهر فردوس زاد، مجتبی مرادی و پیام ناظم زاده، "طراحی مفهومی و مدل سازی پروسه شستشو، خشک کردن و بسته بندی زرشک" in "اولین کنفرانس بین المللی اتوماسیون صنعتی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، آبان ۱۳۸۸.
- [9] پیام ناظم زاده، حمیدرضا شیرانی، عباس دیدبان و جواد عیسی وند، "استفاده از نظریه کنترل نظارتی در اتوماسیون خطوط تصفیه پساب به روش" in "MCR دومین کنفرانس بین المللی اتوماسیون صنعتی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، اسفند ۱۳۸۹، pp. 68-74.
- [10] Robert Y. Al-Jaar, *Applications of Petri Nets in Manufacturing System*. New York, USA: IEEE, 1995.
- [11] Richard Zurawski and MengChu Zhou, "Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial," *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 41, pp. 567-582, DECEMBER 1994.
- [12] Mostafa Bayati and Abbas Dideban, "Controller Synthesis Using the Novel Fuzzy Petri Net," *International Review of Automatic Control (I.RE.AC.O)*, 2012.
- [13] عباس دیدبان و محسن کیانی، "طراحی کنترل کننده به روش های نوین برای سیستم های صنعتی جهت اجرا بر روی کنترل کننده های اولین کنفرانس بین المللی اتوماسیون صنعتی" in "منطقه برنامه پذیر" دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، آبان ۱۳۸۸، ایران

# SID



سرویس های  
ویژه



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در  
خبرنامه



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی