بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق – مکاترونیک

ساده‌سازی روش‌های طراحی کنترل‌کننده در سیستم‌های پیشامد گسسته ی مدل شده با شبکه‌های پتری

دانشجو: هاشم زراعتکار

استاد راهنما: دکتر عباس دیدبان

شهریور ۱۳۹۳

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق – مکاترونیک

تحت عنوان:

ساده‌سازی روش‌های طراحی کنترل‌کننده در سیستم‌های پیشامد گسسته ی مدل شده با شبکه‌های پتری

ارائه‌شده توسط:

هاشم زراعتکار

در تاریخ ... شهریور ۱۳۹۳ توسط کمیته تخصصی زیر موردبررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱- استاد راهنما دکتر عباس دیدبان

۲- استاد داور دکتر رضایی

۳- استاد داور دکتر احمدیه

تقدیم به:

پدر عزیز و مادر مهربانم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نسیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار ، مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند....

سپاسگزاری:

سپاس خداوندگار حکیم را که با لطف بی‌کران خود، آدمی را به زیور عقل آراست، سپاس خدایی را که توفیق عنایت فرمود تا برگی دیگر بر دفتر علم و معرفتم افزون گردد. اینک که به یاری او دوره‌ای دیگر از تحصیلاتم به پایان می‌رسد، بر خود واجب می‌دانم از استاد راهنمای ارجمندم، جناب آقای دکتر عباس دیدبان تشکر و قدردانی نمایم؛ که رهنمودها، حمایت‌ها و امیدها به من بخشید، درس معلمی به من آموخت. شاگردی این بزرگوار، که ارائه این پایان‌نامه را به‌حق مرهون هدایت‌هایشان می‌دانم، افتخار بزرگی است که با من خواهد ماند.

هم‌چنین مراتب امتنان و تشکر خود را خدمت تمامی اعضای خانواده‌ام خصوصاً پدر و مادر عزیزم، که در تمام مراحل زندگی دوست، مشوق و راهنمای من بوده‌اند تقدیم می‌دارم.

در خاتمه از داوران گرامی جناب آقای دکتر رضایی و جناب آقای دکتر احمدیه که بامطالعه این پایان‌نامه و تقبل داوری جلسه دفاعیه، مرا مدیون خویش ساخته‌اند، کمال امتنان رادارم.

بار الها سلامتی، سعادت، شادی، پیروزی و پایداری همگی این عزیزان را از درگاهت خواستارم.

هاشم زراعتکار

شهریور ۹۳

چکیده:

دو مشکل اساسی در مدل‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد، انفجار فضای حالت در مدل‌سازی با اتوماتا و وجود گذرگاه‌های غیرقابل‌کنترل در مدل‌سازی با شبکه‌های پتری می‌باشد. برای جلوگیری از رفتن سیستم به حالت‌های ممنوع که می‌تواند با آتش شدن گذرگاه‌های غیرقابل‌کنترل اتفاق افتد لازم است تا محدودیت‌هایی به شکل نامعادله بر سیستم اعمال شود. جدا از روش‌هایی که برای کاهش تعداد این محدودیت‌ها ارائه‌شده، اعمال این محدودیت‌ها بر سیستم‌های بزرگ پیچیده و بسیار مشکل است. روش ارائه‌شده در این پایان‌نامه بر پایه تقسیم مدل پتری حول گذرگاه‌های غیرقابل‌کنترل با توجه به معادلات همبستگی مکانی می‌باشد که باعث کاهش پیچیدگی محاسبات و سادگی اعمال این محدودیت‌ها بر مدل پتری و هم‌چنین فراهم آوردن امکان طراحی کنترل‌کننده در مدل‌های بزرگ می‌شود.

کلمات کلیدی: سیستم‌های گسسته پیشامد، شبکه‌های پتری، کنترل نظارتی، ناوردایی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه ۱

فصل دوم

سیستم‌های گسسته پیشامد مدل شده با شبکه‌های پتری ۵

۲-۱) سیستم‌های گسسته پیشامد ۵

۲-۲) شبکه‌های پتری ۶

۲-۲-۱) ساختار شبکه‌های پتری ۷

۲-۲-۲) قابلیت‌های شبکه‌های پتری ۹

۲-۲-۳) انواع مدل‌های شبکه‌های پتری ۱۰

۲-۲-۴) خصوصیات شبکه‌های پتری ۱۲

۲-۲-۴-۱) زنده‌بودن و قفل‌شدگی ۱۳

۲-۲-۴-۲) ناوردایی ۱۳

۲-۲-۵-۱) نمودار حالت یا گراف نشانه‌ها ۱۵

۲-۲-۵-۲) ماتریس تلاقی ۱۶

۲-۳) تئوری کنترل نظارتی ۱۶

۲-۳-۱) تئوری کنترل نظارتی با استفاده از شبکه‌های پتری ۱۸

۲-۳-۲) روش‌های اعمال مشخصات مطلوب در شبکه‌های پتری ۱۹

۲-۳-۲-۱) استفاده از مدل‌سازی ضوابط ۱۹

۲-۳-۲-۲) استفاده از نامعادلات ۲۰

۲-۳-۲-۳) استفاده از کمان‌های مانع شونده ۲۰

فصل سوم

طراحی و ساده‌سازی کنترل‌کننده در سیستم‌های گسسته پیشامد ۲۱

۳-۱) ایده کومار ۲۱

۳-۲) طراحی کنترل‌کننده ۲۲

۳-۲-۱) طراحی کنترل‌کننده بر پایه نامعادلات محدودکننده توسط مکان‌های کنترلی ۲۲

۳-۲-۲) طراحی کنترل‌کننده با استفاده از تئوری رجیون ۲۶

۳-۲-۳)طراحی کنترل‌کننده با استفاده از شرط اضافی برای گذرگاه‌ها ۲۶

۳-۳) ساده‌سازی کنترل‌کننده ۲۷

۳-۳-۱) ساده‌سازی کنترل‌کننده در شبکه‌های پتری تک نشانه ۲۸

۳-۳-۱-۱) ساده‌سازی در شبکه‌های پتری ناوردا با استفاده از مفهوم همبستگی و همبستگی جزئی ۲۸

۳-۳-۱-۲) ساده‌سازی با توجه به دست آوردن کمترین تعداد محدودیت با استفاده از ابر حالت‌های حالات مجاز و ممنوع ۲۹

۳-۳-۱-۳) ساده‌سازی با توجه به کاهش تعداد نامعادلات با استفاده از حالت‌های مجاز ۳۰

۳-۳-۲)ساده‌سازی کنترل‌کننده در شبکه‌های پتری چند نشانه ۳۱

۳-۳-۲-۱) ساده‌سازی کنترل‌کننده با استفاده از الگوریتم *PSO* ۳۱

۳-۳-۲-۲) ساده‌سازی با توجه به کاهش تعداد محدودیت‌ها و گروه‌بندی آن‌ها ۳۲

۳-۳-۲-۳) ساده‌سازی با توجه به *MCPP* در سیستم‌های *FMS* ۳۳

۳-۳-۲-۴) ساده‌سازی با توجه به کاهش مکان‌های کنترلی با استفاده از مسائل برنامه‌ریزی خطی به‌صورت تکرارشونده ۳۵

فصل چهارم

ارائه یک روش جدید جهت ساده‌سازی روش طراحی کنترل‌کننده ۳۹

۴-۱) ساده‌سازی کنترل‌کننده با استفاده از تجزیه مدل ۴۰

۴-۱) اصلاح نامعادلات در حضور گذرگاه غیر قابلکنترل ۴۷

فصل پنجم

مقایسه و تحلیل نتایج ۵۱

۵-۱) ارائه مثال عملی برای روش ارائه‌شده ۵۱

۵-۲) مقایسه ۵۵

۵-۳) نتیجه‌گیری ۵۶

فصل ششم

جمع بندی و پیشنهادت ۵۷

۶-۱) جمع بندی ۵۷

۶-۲) پیشنهادات ۵۹

ضمایم ۶۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نمایش یک سیستم گسسته پیشامد [۴] ۶
شکل ۲-۲: مدل شبکه پتری الف) بدون نشانه ب) نشانه‌دار [۲۹] ۷
شکل ۲-۳: مدل یک ماشین ۸
شکل ۲-۴: قابلیت رقابت در شبکه‌های پتری [۲۹] ۹
شکل ۲-۵: قابلیت همزمانی در شبکه‌های پتری [۲۹] ۹
شکل ۲-۶: قابلیت همگامی در شبکه‌های پتری [۲۹] ۱۰
شکل ۲-۷: مدل پتری یک ماشین [۲۹] ۱۱
شکل ۲-۸: شبکه پتری تعمیم‌یافته [۲۹] ۱۱
شکل ۲-۹: شبکه پتری توسعه داده‌شده [۲۹] ۱۲
شکل ۲-۱۰: شبکه پتری قفل شونده [۲۹] ۱۳
شکل ۲-۱۱: شبکه پتری ناوردا [۲۹] ۱۵
شکل ۲-۱۲: شبکه پتری و نمودار حالت مربوط به آن ۱۵
شکل ۲-۱۳: گراف نشانه‌های مدل پتری شکل (۲-۱۲) ۱۵
شکل (۲-۱۴): نمایش کلی یک سیستم صنعتی ۱۷
شکل (۲-۱۵): نمایش کنترل سیستم با استفاده از ایده کنترل نظارتی. ۱۷
شکل ۲-۱۶: مدل پروسه دو ماشین تولیدی برای مثال ۲-۱ ..... ۱۹
شکل ۲-۱۷: مدل ضابطه مثال ۲-۱ ..... ۱۹
شکل ۲-۱۸: مدل ترکیب‌شده مثال ۲-۱ ..... ۲۰
شکل ۳-۱: مدل شبکه پتری مثال (۳-۱) ۲۳
شکل ۳-۲: نمایش مکان کنترلی اعمال‌شده بر مدل پتری مثال (۳-۱) ۲۶
شکل ۳-۳: طراحی کنترل‌کننده با استفاده از شرط اضافی برای گذرگاه‌ها [۱۴-۱۶] ۲۷
شکل۴-۱: سیستم و چرخه تولیدی مثال (۴-۱) ۴۴
شکل ۴-۲: مدل پتری سیستم تولیدی مثال (۴-۱) ۴۵
شکل ۴-۳: مدل تجزیه‌شده نهایی مثال (۴-۱) ۴۷
شکل ۴-۴: مدل تجزیه‌شده مثال (۴-۲) ۵۰

شکل ۵-۱: چرخه تولیدی سیستم مثال (۵-۱) ۵۲
شکل۵-۲: مدل پتری مثال(۵-۱)[۳۹] ۵۲
شکل۵-۳: مدل تجزیه‌شده مثال(۵-۱) ۵۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: تعداد نامعادلات و متغیرها در *MCPP* [۲۵] ۳۵
جدول ۳-۲: تعداد نامعادلات و متغیرها در مسئله برنامه‌ریزی خطی [۳۸] ۳۶
جدول ۵-۱: مقایسه ۵۵

فصل اول

مقدمه

پیشرفت فنّاوری و افزایش تقاضای بشر باعث گسترش سیستم‌های گسسته مبتنی بر پیشامد که به سیستم‌های گسسته پیشامد[۱] معروف می‌باشند شده است. مبنای کار این سیستم‌ها وقوع حوادث[۲] هست. ازآنجایی‌که فضای حالت در این سیستم‌ها به‌صورت نمایی رشد می‌کند طراحی و کنترل بهینه آن برای مناطق حساس شبیه نیروگاه‌های هسته‌ای و یا سیستم‌های راه‌آهن با سرعت‌بالا بسیار مشکل است. تئوری کنترل نظارتی[۳] که توسط راماج[۴] و وانهام[۵] [۱ و۲] ارائه‌شده است، ایده‌ای برای کنترل این سیستم‌ها هست. هدف این تئوری، محدود کردن رفتار سیستم به‌منظور رسیدن به عملکرد مطلوب به‌وسیله غیرفعال کردن حوادث قابل‌کنترل در شرایطی خاص هست [۳ و ۴]. برای پیاده‌سازی این تئوری و کنترل این سیستم‌ها از مدل‌سازی بر پایه اتوماتا[۶] استفاده می‌شود اما زمانی که تعداد حالت‌های موجود در سیستم زیاد باشد، مدل‌سازی بر پایه اتوماتا بسیار مشکل است [۵]؛ بنابراین از شبکه‌های پتری[۷] که یک ابزار قوی و مفید و دارای ویژگی‌های ریاضی بالاست برای مدل‌سازی استفاده می‌شود [۶].

در یک مدل ممکن است بعضی از حالت‌ها، ممنوع[۸] باشند که کنترل‌کننده باید از رفتن سیستم به آن حالت‌ها جلوگیری کند. این حالت‌ها ممکن است حالت‌های قفل‌شده[۹] باشند یا حالت‌هایی باشند که با

---

1 Discrete event system (DES)
2 *Event*
3 *Supervisory control theory*
4 Ramadge
5 Wonham
6 *Automata*
7 *Petri net*
8 *Forbidden state*
9 *Deadlock states*

آتش شدن گذرگاه‌های غیرقابل‌کنترل ایجاد می‌شوند. در سال‌های گذشته روش‌های زیادی برای جلوگیری از رفتن سیستم به حالت‌های ممنوع و طراحی کنترل‌کننده ارائه‌شده است [۷-۱۶].

یکی از مشکلات شبکه‌های پتری وجود گذرگاه‌های غیرقابل‌کنترل است که سبب می‌شود نتوان به‌راحتی مانع از رفتن سیستم به حالت‌های ممنوع شد. هنگامی‌که گذرگاه‌های غیرقابل‌کنترل در مدل وجود دارند کار کنترل به‌مراتب دشوارتر می‌شود؛ چراکه با آتش شدن ناخواسته این گذرگاه‌ها در مواقعی خاص، ممکن است سیستم به یک حالت نامطلوب برود. می‌توان با اعمال شرایطی به گذرگاه‌های قبل از این گذرگاه‌ها، از آتش شدن آن‌ها در بعضی حالات جلوگیری کرد [۱۴، ۱۶،۱۷]؛ اما مشکل این روش‌ها مشخص نبودن دینامیک کنترل‌کننده هست که با ساختار شبکه‌های پتری متفاوت است. تئوری رجیون[1] [۱۰] ازجمله روش‌هایی است که برای جلوگیری از رفتن سیستم به حالات ممنوع استفاده می‌شود. این روش با توجه به حالات ممنوع سیستم تعدادی نامعادله[2] تولید می‌کند که از رفتن سیستم به حالت ممنوع پیشگیری می‌نماید. با حل این نامعادلات به ازای هر حالت ممنوع یک مکان کنترلی استخراج می‌شود، به‌طوری‌که تحمیل نامعادلات بر سیستم توسط مکان‌های کنترلی انجام می‌شود [۱۸]. درنتیجه با افزایش تعداد حالات ممنوع، تعداد مکان‌های کنترلی که می‌بایست بر سیستم اعمال شود افزایش می‌یابد. در چند سال گذشته تلاش‌های زیادی برای کاهش نامعادلات در شبکه‌های پتری تک نشانه انجام‌شده است [۱۹-۲۴].

در سیستم‌های غیر تک نشانه نیز با اختصاص دادن نامعادلات به حالات ممنوع می‌توان به کاهش تعداد نامعادلات محدودکننده با استفاده از حل یک مسئله برنامه‌ریزی خطی صحیح[3] پرداخت[۲۵].

با توجه به مشکلات عمده روش‌های ارائه‌شده ازجمله حجم و هزینه محاسباتی بالا و نیاز به زمان زیاد برای اجرا روی مدل‌های پتری با مقیاس بزرگ، ناکارآمدی این روش‌ها کاملاً محسوس است. امروزه سعی بر آن است تا این مشکلات را کاهش داده یا از بین ببرند.

در این پایان‌نامه ما به ارائه روشی بسیار مفید و کارآمد با استفاده از خاصیت ناوردایی[4] در شبکه‌های پتری برای تجزیه مدل‌های پتری به بخش‌های کوچک‌تر در جهت ساده‌سازی روش‌های طراحی کنترل‌کننده خواهیم پرداخت و ثابت می‌کنیم که تعداد نامعادلات به‌دست‌آمده از این روش با روش‌های قبلی یکسان خواهد بود. اما مشکلات مطرح‌شده را رفع می‌کنیم.

---

1 Region
2 Linear constraint
3 Integer Linear programming problem
4 Place invariant

در ادامه این پایان‌نامه در فصل دوم سیستم‌های گسسته پیشامد معرفی می‌شوند و شبکه‌های پتری به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی این قبیل سیستم‌ها معرفی می‌گردد و در انتها به توضیح تئوری کنترل نظارتی پرداخته می‌شود؛ سپس در فصل سوم مروری بر روش‌های طراحی و ساده‌سازی کنترل‌کننده در سیستم‌های گسسته پیشامد انجام خواهد شد. به دلیل حجم محاسباتی بالای این روش‌ها و عدم امکان پیاده‌سازی آن‌ها بر روی مدل‌های با مقیاس بزرگ در فصل چهارم یک روش جدید جهت ساده‌سازی کنترل‌کننده ارائه می‌گردد که به تجزیه مدل‌های پتری به بخش‌های کوچک‌تر با استفاده از خاصیت ناوردایی، حول گذرگاه‌های غیرقابل‌کنترل می‌پردازد، که باعث کاهش چشم‌گیر حجم محاسبات و امکان اجرای طراحی کنترل‌کننده برای مدل‌های پتری با مقیاس بزرگ می‌گردد. در فصل پنجم به ارائه یک مثال عملی و پیاده‌سازی روش ارائه‌شده بر روی آن و مقایسه چند مثال حل‌شده با این روش و روش‌های قبلی خواهیم پرداخت. در انتها در فصل ششم به ارائه جمع‌بندی و پیشنهادها برای ادامه راه خواهیم پرداخت.

فصل دوم

سیستم‌های گسسته پیشامد مدل شده با شبکه‌های پتری

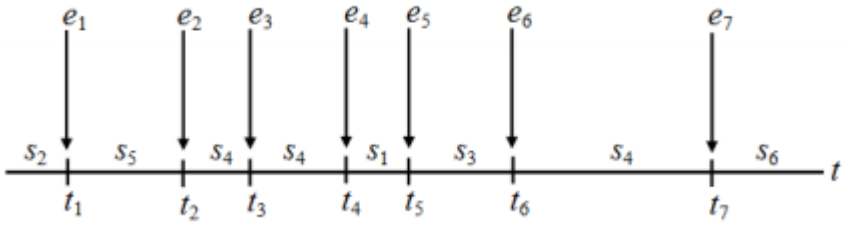
در این فصل به بحث در مورد سیستم‌های گسسته پیشامد پرداخته می‌شود. برای شناخت این سیستم‌ها باید آن‌ها را با ابزاری مدل‌سازی نمود. در ابتدا به‌منظور مدل‌سازی این سیستم‌ها از مدل‌سازی بر پایه اتوماتا استفاده می‌شد. اما زمانی که تعداد حالات و حوادث موجود در این نوع سیستم‌ها زیاد می‌گردد، مدل‌سازی با استفاده از این ابزار بسیار مشکل و حتی غیرممکن می‌شود. به همین منظور به‌جای معرفی اتوماتا، شبکه‌های پتری به‌عنوان جایگزینی مناسب برای اتوماتا معرفی می‌گردد. شبکه‌های پتری با ساختاری فشرده‌تر و خواص ریاضی مفید به‌راحتی می‌تواند سیستم‌های بزرگ را مدل کند. پس از مدل‌سازی سیستم‌ها، تئوری کنترل نظارتی معرفی می‌گردد تا شرایط کنترل کردن دستگاه‌های گسسته پیشامد بررسی شود.

۲-۱) سیستم‌های گسسته پیشامد

ازنظر تغییرپذیری بازمان سیستم‌ها به دو زیرشاخه‌ی تغییرپذیر و تغییرناپذیر بازمان تقسیم می‌شوند. ازنظر خطی بودن نیز این سیستم‌ها را می‌توان به دو گروه خطی و غیرخطی تقسیم نمود. یک سیستم پیشامد گسسته در گروه سیستم‌های دینامیک غیرخطی تغییرناپذیر بازمان قرار می‌گیرد و به سیستمی اطلاق می‌شود که دارای فضای حالت گسسته و پیشامد گرا است. بدین معنی که تغییر حالت آن با رخداد تعدادی پیشامد، به‌صورت ناهم‌زمان، در زمان تعیین می‌گردد.

تعریف (۲-۱): سیستم‌های گسسته پیشامد، سیستم‌هایی هستند که حالت‌های آن به‌طور گسسته و تنها با وقوع حوادث تغییر می‌کنند [۴، ۲۶-۲۸].

یک پیشامد می‌تواند انجام عملی مانند فشرده شدن یک سوئیچ یا تغییر حالت یک حس‌گر باشد. با رخ دادن یک پیشامد، حالت سیستم نیز تغییر می‌کند. برای مثال در سیستمی یک شیر الکتریکی وجود دارد که حالت اولیه آن خاموش است. با دستور اپراتور که فشرده شدن یک کلید است (رخداد پیشامد فعال‌سازی شیر) حالت شیر از خاموش به روشن تغییر می‌یابد. شکل (۲-۱) مفهوم رخداد پیشامد به‌صورت ناهم‌زمان و تغییر وضعیت سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱: نمایش یک سیستم گسسته پیشامد [۴]

همان‌گونه که از این شکل مشخص است، هفت حادثه به‌صورت $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\}$ و شش حالت به‌صورت $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$ موجود است. در ابتدا سیستم در حالت s_2 می‌باشد. بـا وقوع حادثه e_1، سیستم وارد حالت s_5 می‌شود و به همین ترتیب مطابق شکل پیش می‌رود. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های گسسته پیشامد، بهتر است که این سیستم‌ها به‌وسیله ابزاری قدرتمند، مدل‌سازی شوند. در ادامه شبکه پتری به‌عنوان ابزاری سودمند برای مدل‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد معرفی می‌گردد.

۲-۲) شبکه‌های پتری

در ابتدا به‌منظور مدل‌سازی سیستم‌ها در کنترل نظارتی از مدل‌سازی اتوماتا استفاده می‌شد. مشکل بزرگ این‌گونه مدل‌سازی هنگامی خود رانشان می‌داد که تعداد حالت‌های موجود در سیستم زیاد بود، که این مشکل شبیه‌سازی در مواقعی که تعداد حالت‌های سیستم وهم چنین حوادث زیاد می‌شوند راعملا ناکارآمد و شاید غیرممکن می‌ساخت. تلاش‌های زیادی به‌منظور رفع این مشکل انجام شد که ازجمله آن‌ها استفاده شبکه‌های پتری در سیستم‌های پیش آمد گسسته بود.

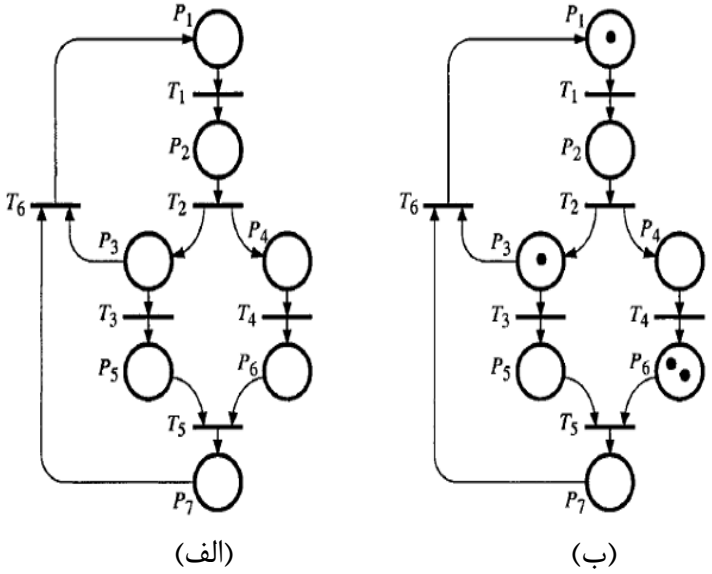
مدل‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد با شبکه‌های پتری می‌تواند تا حدودی مشکلات مدل‌سازی با اتوماتا را حل کند.

۲-۲-۱) ساختار شبکه‌های پتری

ساختار شبکه‌های پتری از چهارعنصر اساسی تشکیل‌شده است.

- مکان[1]: نشان‌دهنده وضعیت حالت‌های سیستم بوده و به شکل دایره می‌باشد.
- گذرگاه[2]: نشان‌دهنده تغییر حالت سیستم بوده و به شکل یک خط است.
- کمان[3]: به‌صورت پیکان بوده و کمان‌ها و گذرگاه‌ها را به هم متصل می‌کند.
- نشانه[4]: مربوط به فعالیت هر مکان بوده که بعداً بیشتر توضیح داده می‌شود.

در شکل (۲-۲) دو مدل شبکه پتری با نشانه و بدون نشانه را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۲-۲: مدل شبکه پتری الف) بدون نشانه ب) نشانه‌دار [۲۹]

همان‌طور که مشاهده می‌شود در یک شبکه پتری تعداد مکان‌ها و گذرگاه‌ها محدود می‌باشد. مدل ریاضی شبکه‌های پتری به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$R = \{P, T, W^-, W^+, m_0\} \quad (۱-۲)$$

که در آن p مجموعه مکان‌های مدل پتری است که به‌عنوان‌مثال برای مدل شکل ۲-۲ به این صورت تعریف می‌شود.

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7\} \quad (۲-۲)$$

---

1 place
2 Transition
3 Arc
4 Token

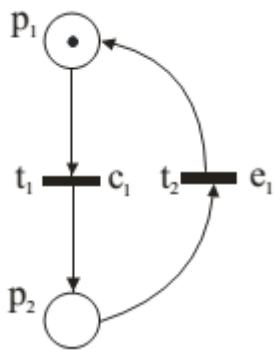
t مجموعه گذرگاه‌های مدل پتری است که برای مدل‌بالا به‌صورت ذیل تعریف می‌شود.

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\} \quad (۳-۲)$$

W^- تابع ورودی مدل پتری بوده که مکان‌های ورودی به هر گذرگاه را نشان می‌دهد و به صورت $W^-: (p*t)$ تعریف می‌شود.

W^+ تابع خروجی مدل پتری بوده که مکان‌های خروجی هر گذرگاه را نشان می‌دهد، و به صورت $W^+: (t*p)$ تعریف می‌شود.

برای درک بهتر این مفاهیم مقادیر W را برای مدل پتری شکل زیر که مربوط به یک ماشین است که دارای دو حالت آماده‌به‌کار و در حال کار می‌باشد نشان می‌دهیم.



شکل ۲-۳: مدل یک ماشین

W^-, W^+ برای مدل پتری بالا به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود.

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

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

در ماتریس‌های بالا هر سطر بیانگر یک گذرگاه و هر ستون بیانگر یک مکان است و به‌طور مثال آرایه سطر اول و ستون اول، W^- نشان می‌دهد که مکان $p1$ قبل از گذرگاه t_1 قرار دارد و وزن مربوط به کمان آن‌یک است.

در شبکه‌های پتری هر کمان با وزن خاص نمایش داده می‌شود که این وزن روی کمان نوشته می‌شود و اگر نوشته نشود وزن آن‌یک است.