

مدلسازی و اجرای کنترل نظارتی با استفاده از شبکه پتری رنگی بر روی یک

سیستم سیگنالینگ ریلی

محمد رضا اشکی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران،

بهمن قربانی واقعی (نویسنده مسئول)، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران،

E-mail: bahman_gh@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۷ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۲

چکیده

شبکه‌های حمل و نقل ریلی، با استفاده از روش‌های مدلسازی و شبیه‌سازی در مرحله طراحی، راه اندازی و بهره برداری مورد مطالعه قرار گرفته و خصوصیات و رفتار آن به کمک شبکه‌های پتری مدل شده و تحلیل می‌شود. در این مقاله با استفاده از مفاهیم شبکه پتری رنگی اجزای اصلی یک خط ریلی و انواع سیگنال‌ها معرفی شده و مدل پتری رنگی آن شامل انشعاب (ماشین سوزن) مسیر راه آهن، انتهای خط، انشعاب دو سوزنه، تقاطع و... بیان می‌گردد. سپس کنترل نظارتی که ناظر بر ورود قطار به مدل از یارد، نظارت بر ورود قطار به ایستگاه، نظارت بر خروج قطار از ایستگاه و الزامات ایمنی و عدم وقفه باشد، چنان طراحی شده است که شبکه مدل شده با شبکه پتری رنگی، بدون وقفه بوده و ایمنی آن تضمین می‌گردد همچنین با استفاده از مفهوم رنگ، دو نوع قطار عادی (نرمال) و تندرو (اکسپرس) در شبکه ریلی در مدل معادل شبکه پتری، با استفاده از نرم افزار CPN Tools پیاده سازی شده و شبکه با تعداد قطارهای مختلف در هر دو جهت حرکت قطارها از نظر ایمنی، عدم وقفه و سایر الزامات عملیاتی تحلیل می‌گردد. به این منظور تحلیل‌های درخت دسترس پذیری با رسم گراف فضای حالت به منظور تایید عدم وجود وقفه در حرکت قطارها و رعایت الزامات ایمنی، تحلیل حداکثر و حداقل نشانه‌های موجود در هر مکان به منظور رعایت الزام ایمنی در بلاک سیستم ریلی و تحلیل حداکثر تعداد حضور در هر مکان به منظور رعایت اینکه قطار تندرو در بلاک‌های کنارگذر قرار نگیرد، انجام شده و صحت عملکرد کنترل نظارتی نشان داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی و مدلسازی، سیستم‌های حمل و نقل ریلی، شبکه پتری رنگی

۱. مقدمه

امروزه با افزایش سرعت قطارها، بالا رفتن ظرفیت شبکه ریلی، گسترش شبکه‌های ریلی و از همه مهمتر توسعه شبکه‌های راه آهن و مترو در نقاط جغرافیایی مختلف سبب شده است که شبکه‌های ریلی به شبکه‌های حجیم و پیچیده تبدیل شوند. بنابراین نیاز به ابزارهایی است که علاوه بر تایید عملکرد منطقی شبکه، دقت مورد نیاز را جهت اطمینان عملکرد عملیاتی سیستم داشته باشد. یکی از این ابزارها مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌ها علاوه بر ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی، نیمه صنعتی و صنعتی است. در روش مدل‌سازی و ارزیابی، ابتدا شبکه ریلی با استفاده از روش‌های مدل‌سازی مختلف مدل شده و سپس رفتار و خصوصیت مدل بدست آمده با استفاده از تکنیک‌های موجود، تحلیل می‌شود. شبکه‌های پتری بعنوان یکی از ابزارهای مدل‌سازی رشد چشمگیری داشته که یکی از دلایل مهم رشد آن قابلیت نمایش گرافیکی این شبکه‌هاست. تحقیقات فراوانی در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های حمل و نقل ریلی با استفاده از شبکه‌های پتری صورت پذیرفته و بسیاری از آنها هم اکنون در صنعت ریلی به بهره‌برداری رسیده است [Wells, 2006, Murata, 1989]

شبکه‌های پتری به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شوند و دارای معنای تعریف شده و ساختار خوش تعریفی هستند، بنابراین می‌توانند به طور غیرمهم رفتار یک سیستم با رویدادهای گسسته را نمایش دهند. شبکه‌های پتری دارای عناصر کم ولی کارآمد هستند و در برابر تغییرات کوچک سیستم مقاوم اند. شبکه‌های پتری دارای قدمت زیادی هستند و الگوریتم‌های زیادی برای تحلیل این شبکه‌ها وجود دارد. نرم افزارهای متعددی برای شبیه سازی شبکه‌های پتری وجود دارد که امکان رسم شبکه، شبیه سازی عملکرد شبکه و تحلیل آن را به سادگی فراهم می‌نمایند [Jensen, 1997].

برای بکارگیری شبکه‌های پتری در مدل‌سازی خطوط ریلی مزایای بسیار زیادی وجود دارد. اولین مزیت آنرا می‌توان جستجو برای یافتن کارکردهای ایمن سیستم بیان کرد. این مزیت بیشتر برای سیستم‌هایی که با جان افراد سروکار دارد حائز اهمیت است. مزیت دوم روش پتری را می‌توان تحلیل سیستم‌های خط آهن در حال توسعه دانست. از آنجایی سیستم‌های حمل و نقل ریلی

با توجه به افزایش جمعیت و تقاضا برای سفر و کیفیت آن در حال توسعه هستند، نیاز است تا قبل از توسعه و ساخت توسط مدل‌هایی مانند پتری شبیه‌سازی و مدل شود. مرجع [Kristensen, Christensen and Jensen] و [Jensen, 1997] پژوهش‌هایی است که در زمینه مدل‌سازی و آنالیز سیستم‌های راه‌آهن با استفاده از شبکه‌های پتری انجام شده است که در آن وضعیت‌های اشغال بلاک توسط قطارها به وسیله شبکه‌های پتری مدل‌سازی شده است اما سایر اجزاء سیگنالینگ مانند سیگنال‌ها، سوزن و نوع قطار مدل‌سازی نشده است. از ایده این مراجع جهت مدل‌سازی بلاک در سیستم ریلی مدنظر استفاده شده است. در مراجع [Yu, 2004] و [Diana, Giua, Ghorbani Vagheee and Abbasi, 2001] و [Abbasi, 2015] و شبکه ریلی شامل قطارهای عادی و سریع-السیب با استفاده از شبکه‌های پتری رنگی مدل‌سازی شده است که در آن رنگ در شبکه پتری رنگی بیانگر نوع قطار در شبکه ریلی باشد. به دلیل آنکه در مقاله حاضر دو نوع قطار در جهت مخالف در مسیر ریلی در حرکت هستند از شبکه پتری رنگی مرجع [Pachl, 2002] برای مدل‌سازی نوع قطار استفاده شده است. مرجع [Wells, 2006] شبکه ریلی را برای مدل‌سازی به اجزاء اصلی تقسیم کرده است. در این مرجع اجزایی چون انشعاب، مسیر راه آهن، انتهای خط، انشعاب دو سوزنه و تقاطع بیان گردیده و برای هر کدام مدلی دقیق با استفاده از پتری رنگی ارائه شده است. از مدل‌های ارائه شده توسط این مرجع جهت مدل‌سازی اجزاء مختلف سیستم نمونه استفاده شده است اما سیگنال‌ها و الزامات ورود و خروج قطار از ایستگاه تعیین نشده است. در مرجع [Decknatel, 1999]، سیگنال‌ها مدل شده است و این مدل بر سیستم ریلی مدنظر در این مقاله با تغییرات مناسب با نوع سیستم سیگنالینگ اعمال شده است. در این مقاله، با تلفیق مزایای مقالات [Wells, 2006]، [Murata, 1989]، [Jensen, 1997] و [Decknatel, 1999] بر روی یک سیستم ریلی نه تنها معایب هر یک از مراجع برطرف گشته بلکه مزایای ذکر شده در شبکه ریلی مدنظر و مدل شبکه پتری آن به طور کامل لحاظ می‌گردد.

در این مقاله، خصوصیات عملیاتی که برای مدل ریلی مفروض نیاز است شامل قوانین و مقررات بهره‌برداری خط نظیر ایمنی و

مدلسازی و اجرای کنترل نظارتی با استفاده از شبکه پتری رنگی.....

پتری، مدل پتری را باید تحلیل کرد. به هر مشکلی که در آنالیز برخورد شود به منزله نقص منطق در طراحی بوده و باید جهت رفع نقص، طرح بازبینی و اصلاح گردد. مجدداً مرحله تحلیل شبکه پتری تکرار می‌شود تا تمام مشکلات منطقی موجود در تحلیل مرتفع گردد. البته این روش برای سیستمهای در حال بهره برداری و زیر بار نیز بکار می‌رود [Van Der Aalst and Wang, Goverde, and Wang, Odijk, 1995] [2016].

یک شبکه پتری می‌تواند با یک ۵ تایی مرتب به صورت (P, T, I, O, M_0) بیان شود، که:

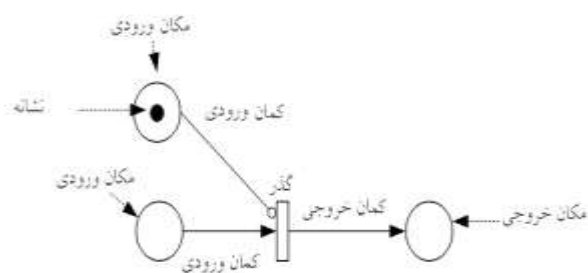
• $P = \{P_1, \dots, P_n\}$ مجموعه متناهی و غیرتهی از مکان‌ها است.

• $T = \{T_1, \dots, T_n\}$ مجموعه متناهی و غیرتهی از گذرهاست.

• I مجموعه‌ای از کمان‌هاست که از مکان‌ها به گذرها متصل است و کمان‌های ورودی نامیده می‌شود.

• O مجموعه‌ای از کمان‌هاست که از گذرها به مکان‌ها متصل است و کمانهای خروجی نامیده می‌شود.

• M_0 تابع علامتگذاری اولیه نامیده می‌شود. تعداد اولیه نشانه‌ها در شبکه با استفاده از تابع علامت گذاری اولیه که نشان دهنده تعداد نشانه‌ها در هر مکان از شبکه است، مشخص می‌شود. نمونه‌ای از یک شبکه پتری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. نمونه شبکه پتری

شبکه‌های پتری رنگی در مرجع [Janczura, 1998] بعنوان یک مدل توسعه یافته از شبکه‌های پتری معرفی شده است. علاوه بر مکان‌ها، انتقال‌ها و نشانه‌ها در این شبکه مفاهیم رنگ و گارد معرفی می‌شوند. مقادیر داده‌ای در این شبکه‌ها توسط نشانه‌ها حمل می‌شوند. شبکه‌های پتری رنگی ارائه دهنده مدل‌های دقیق‌تری از سیستمهای پردازشی غیر همگام پیچیده هستند. در

عدم وقفه و همچنین کنترل نظارتی جهت ورود قطار به مدل از یارد، ورود قطار به ایستگاه و خروج قطار از ایستگاه در مدل طراحی می‌گردد. برای مدلسازی شبکه ریلی ابتدا بلاک‌بندی مسیر ریلی مشخص می‌شود [Hagaliletto and Yu, 2004] و مطابق با بلاک‌بندی، جهت نمایش بلاک‌ها، مکان‌ها در شبکه پتری تعریف می‌شوند. برای اینکه نحوه تبدیل وضعیت اشغال بلاک توسط قطارها در هر لحظه مدل شود گذرها در شبکه پتری تعریف می‌شوند. نشانه‌ها در شبکه پتری رنگی مدل شده بیانگر نوع قطاری که در شبکه ریلی نمونه در حال حرکت هستند، می‌باشد و همچنین نشانه‌های (توکن‌های) کنترلی جهت جابجایی سوزن‌ها و نمایش نوع سیگنال‌ها را مدل می‌کنند. از طرفی نشانه‌گذاری وضعیت مکان‌ها نحوه اشغال بلاک‌ها توسط قطارها را در هر لحظه نمایش می‌دهند. علاوه بر این برآورده کردن الزامات فوق بدون در نظر گرفتن اجزا اصلی خط ممکن نمی‌باشد، از این رو مدل پتری اجزایی چون شامل انشعاب (ماشین سوزن) مسیر ریلی، انتهای خط، انشعاب دو سوزنه، تقاطع و... برای واقعی کردن مدل پتری به آن اضافه گردیده و کنترل‌های نظارتی نیز برای اجرای صحیح عملکرد این اجزا و حفظ ایمنی بر روی آنها اعمال گردیده است. تحلیل مدل فوق با استفاده از نرم افزار CPN Tools و با تعداد گوناگون قطار انجام گردیده تا صحت عملکرد کنترل نظارتی نشان داده شود.

در این مقاله، ابتدا شبکه‌های پتری، اجزاء اصلی خط و سیگنال‌ها استفاده شده معرفی می‌گردد و مدل‌های پایه‌ای مناسب جهت استفاده در سیستم‌های بزرگتر برای هر کدام بیان می‌شود. سپس با معرفی یک سیستم ریلی که شامل هشت بلاک اصلی و دو بلاک کنارگذر است، سیستم سیگنالینگ ریلی، با شبکه پتری مدل شده و کنترل نظارتی بر روی آن طراحی می‌شود. در آخر مدل ارائه شده با استفاده از نرم‌افزار CPN Tools اجرا شده تا عملکرد صحیح کنترل نظارتی با در نظر گرفتن الزامات ایمنی و عملیاتی نشان داده شود. در نهایت نیز جمع‌بندی ارائه می‌گردد.

۲. شبکه‌های پتری

شبکه‌های پتری برای نخستین بار توسط دکتر کارل آدام پتری در سال ۱۹۶۲ معرفی گردید. کاربرد عملی شبکه‌های پتری طراحی و تحلیل سیستمهایی است که به روشهای مختلف قابلیت طراحی و ساخت دارند. بعد از مدل کردن سیستم با شبکه

آهن را پشتیبانی می‌کنند. در این بخش بطور عمده ساخت و اصلاح سریع مدل‌های راه‌آهن بوسیله پتری نت بیان می‌شود. اگر چه شبکه‌های پتری یک زبان مناسب برای مدل سازی راه‌آهن است که مقیاس خوبی از سیستم ارائه می‌دهد، اما سیستم‌های اصلی به خودی خود آنقدر بزرگند که جزئیات پنهان می‌شود. راه‌حلی که اینجا مطرح شده است معرفی سلسله مراتب در پتری نت می‌باشد [Jensen, 1997]. یک نمایش سطح بالا از شبکه راه‌آهن استفاده از شبکه‌های پتری سطح بالا می‌باشد. طرح بندی از ساخت مدارهای مبتنی بر یک زبان ساده گرافیکی به شبیه‌سازی، مانیتورینگ طرح بندی فنی خطوط منجر می‌شود. برای سیستم‌های ریلی در مقیاس بزرگ با ده‌ها هزار اجزای شبکه پتری، ابزار رایجی مانند Design / CPN [Jensen, 1997] بکار می‌رود.

۳-۱ مدل ارائه شده برای اجزاء اصلی یک خط

لازم است که ابتدا تجهیزات اساسی در خط آهن شناخته شده و سپس یک مدل از آن ارائه گردد. در شکل ۲ تعدادی از این قطعات نمایش داده شده‌اند [Yu, 2004].



شکل ۲. الف) انشعاب (ب) مسیر راه آهن (پ) انتهای خط

بخش مسیر راه آهن اصلی‌ترین بلوک برای گسترش فیزیکی یک خط می‌باشد و بخش انتهای خط برای توقف قطارها در انتهای خطوط استفاده می‌شود. بخش انشعاب به قطارها جهت حرکت در دو مسیر جداگانه کمک می‌کند.

اجزاء انتها خط و مسیر راه آهن به عنوان ساختارهای پایه‌ای به ترتیب در شکل ۳ نشان داده شده است. در شکل ۳ الف اگر قطار وارد بلوک سمت چپ (L) شود با شلیک گذر Move+ به بلوک سمت راست (R) منتقل می‌شود و اگر وارد بلوک سمت راست (R) شود با شلیک گذر Move- وارد بلوک سمت چپ (L) می‌شود که به نوعی حرکت قطار در دو جهت در یک ریل مدلسازی شده است. در شکل ۳ ب نیز اگر نشانه قطار وارد بلوک

این شبکه‌ها بر خلاف شبکه های پتری، نشانه‌ها از یکدیگر قابل تمیز هستند. زیرا هر یک از نشانه‌ها دارای صفاتی به عنوان رنگ هستند [Van Der Aalst and Odijk, 1995].

در شبکه پتری رنگی، هر نشانه دارای یک مجموعه رنگ است و تنها می‌تواند مقادیر تعریف شده توسط همان مجموعه رنگ را اختیار کند. از لحاظ نحوی یک مجموعه رنگ به شکل زیر تعریف می‌شود:

Color name = definition

یک مکان به وسیله یک دایره یا بیضی نمایش داده می‌شود. یک مکان می‌تواند شامل صفر، یک یا چند نشانه از مجموعه رنگ باشد. به هر مکان از CPN یک مجموعه رنگ منتسب می‌شود که مشخص کننده نوع نشانه‌هایی است که آن مکان می‌تواند شامل شود. نحوه کلی علامتگذاری یک مکان به شکل زیر است:

$$n1 \text{ 'col1} + n2 \text{ 'col2} + \dots + nm \text{ 'coln}$$

که col_i ($i=1,2,\dots,5$) رنگ‌های متفاوت از یک مجموعه

رنگ CS هستند.

Color cs = with col1 | col2 | ... | colm

و $ni \text{ 's}$ تعداد نشانه‌ها از رنگ col_i هستند [Jensen, 1997].

یک گارد، یک عبارت بولی است که به یک انتقال منتسب می‌شود و شرایط بیشتری برای فعال کردن، روی متغیرها در عبارت کمان ورودی اضافه می‌کند. یک انتقال که دارای گارد است، زمانی فعال می‌شود که:

- تعداد مهره‌ها در مکان‌های ورودی مطابق با عبارات کمان ورودی باشند.
- شرط گارد برآورده شده باشد.

از تعاریف فوق جهت مدلسازی اجزای سیستم ریلی مدنظر توسط شبکه پتری رنگی استفاده می‌شود.

۳. مدلسازی اجزاء اصلی خط

برای مسافران و برای فراهم کنندگان حمل و نقل عمومی، دانستن اطلاعات درباره قطارها و زمان حرکت آن‌ها دارای اهمیت می‌باشد. مدل‌های پتری نت چنین اطلاعاتی را فراهم می‌کنند. این مدل‌ها، شبیه سازی، مانیتورینگ، کنترل و تحلیل سیستم‌های راه

مدلسازی و اجرای کنترل نظارتی با استفاده از شبکه پتری رنگی.....

در شکل ۴، ماشین سوزن در حالت چپ قرار دارد (یک نشانه دایره ای شکل در داخل مکان L قرار دارد) و تعیین کننده جهت حرکت قطارها به سمت چپ انشعاب می باشد، یا به عبارتی اگر نشانه قطار در مکان Join باشد طبق قوانین حاکم بر شبکه پتری، گذر Rdir+ غیر فعال است و گذر Ldir+ تواناست و در صورت شلیک آن نشانه قطار از مکان Join وارد مکان Left می شود [Pachl, 2002].

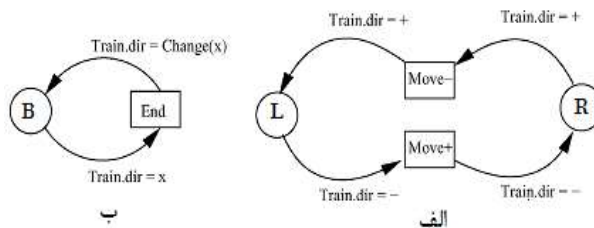
برای تغییر حالت ماشین سوزن در شکل ۴، با شلیک گذر SetR نشانه کنترلی به مکان R تغییر وضعیت می دهد، در این صورت گذر Rdir+ فعال شده و گذر Ldir+ غیر فعال می شود و در صورت شلیک گذر Rdir+ نشانه قطار از مکان Join وارد مکان Right می شود [Pachl, 2002].

عملیتهای ذکر شده در این بخش برای قطاری است که از پاشنه عبور سوزن به سمت چپ یا راست تغییر مسیر می خواهد دهد و روی کمان با عبارت Train.dir=+ بر چسب خورده است.

۲-۳ مدل ارائه شده برای سیگنالها

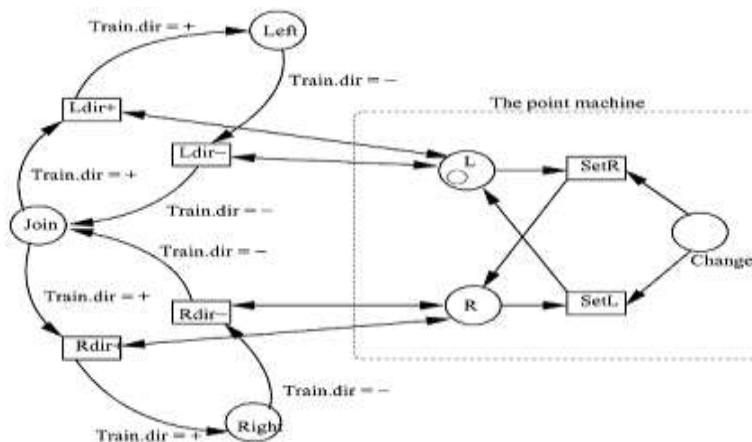
سیگنالها جهت کنترل حرکت قطارها، از طریق ارسال اطلاعات کنترل به راننده، مورد استفاده قرار می گیرند. اطلاعات ارسالی به راننده در دو گروه عمده دسته بندی می شوند. گروه اول اطلاعاتی که راننده ملزم به تبعیت از آنهاست و گروه دوم

انتهای خط (B) شود در صورت شلیک گذر End. آماده حرکت در جهت عکس می شود [Yu, 2004].

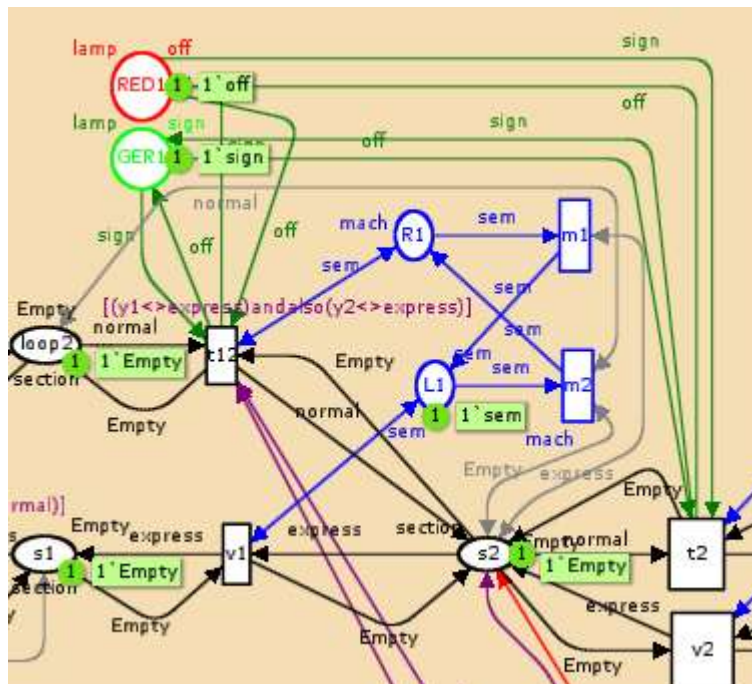


شکل ۳. ساختارهای پایه ای انتها خط و مسیر راه آهن

در مدل ارائه شده برای انشعاب مطابق شکل ۴، ماشین سوزن شامل دو مکان چپ (L) و راست (R) برای مسیریابی نشانه های قطار به انشعاب های چپ و راست می باشد همچنین گذر به نام SetR جهت تنظیم ماشین سوزن به سمت راست و گذر به نام SetL جهت تنظیم ماشین سوزن به سمت چپ در نظر گرفته شده است [Pachl, 2002]. هر ماشین سوزن دارای یک حالت اولیه است که می تواند چپ یا راست باشد. برای تغییر حالت اولیه ماشین سوزن مکان به نام Change مطابق شکل ۴ در نظر گرفته می شود که این مکان کنترل خارجی (سوزن بان یا اینترلاکینگ) را شبیه سازی می کند. در انشعاب نشان داده شده در شکل ۴، مکان به نام Join بلاک ورودی به انشعاب و مکان به نام Left بلاک سمت چپ انشعاب و مکان به نام Right بلاک سمت راست انشعاب می باشد. در شکل ۴، گذرهای Rdir+ و Ldir+ به منظور حرکت قطارها از مکان Join به مکان های Right و Left و گذرهای Rdir- و Ldir- به منظور حرکت قطارها از مکان های Right و Left به مکان Join تعریف می شود.



شکل ۴. ساختارهای پایه ای انشعاب



شکل ۵. مدل ارائه شده برای یک سیگنال سه نمايي

برای مدل کردن سیگنالها ابتدا باید به تعداد رنگهای هر سیگنال یک مکان تعریف نمود، سپس دو نوع نشانه در نظر گرفت که حضور هر نوع از این نشانه‌ها در هر مکان نشان دهنده روشن یا خاموش بودن آن می‌باشد. شکل ۵ مدل ارائه شده برای یک سیگنال سه نمايي را نشان می‌دهد.

این مدل دارای سه مکان RED1 و GER1 است. این مکان‌ها بیان کننده رنگ قرمز و سبز یک سیگنال است. نشانه‌های نوع off و sign برای تعیین وضعیت سیگنال در نظر گرفته شده است. وجود نشانه off در هر مکان نشان دهنده خاموش بودن آن می‌باشد و وجود نشانه sign نشان دهنده روشن بودن آن است و در واقع وضعیت سیگنال را مشخص می‌کند. وضعیت اشغال یا آزاد بودن مسیر و نوع نشانه موجود در هر مکان در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که در مدل قابل مشاهده است، برای هر مکان سیگنال چندین کمان به همراه گارد مورد نیاز آن در نظر گرفته شده است. این کمان‌ها در واقع حضور قطار در هر مکان را پس از هر تغییر وضعیت قطارها کنترل می‌کند تا در صورت حضور قطار در مکان‌های بعدی تغییر وضعیت سیگنال به وضعیت مطلوب فراهم نماید.

اطلاعاتی که صرفاً جنبه اطلاع رسانی دارد که اغلب در مورد وضعیت خط پیش روی راننده است.

بطور کلی سیگنال‌ها چند منظور مختلف ذیل را تامین می‌کنند:

- ارسال فرامین کنترل سرعت در مناطق دارای محدودیت سرعت
 - اعلام وضعیت و شرایط مسیر حرکت به راننده لکوموتیو
 - کمک در تامین فاصله ایمنی بین دو قطار متوالی
 - جلوگیری از تداخل حرکت قطارها و تصادم آنها در اتصالات همگرا
 - مشخص کردن جهت حرکت در اتصالات واگرا
- برخی از این سیگنالها از نظر نوع استفاده و کاربرد به صورت

ذیل تعریف می‌شوند:

- سیگنال ورود
- سیگنال اعزام
- سیگنال کمکی
- سیگنال شانتینگ
- سیگنال فراخوان

مدلسازی و اجرای کنترل نظارتی با استفاده از شبکه پتری رنگی.....

جدول ۱. وضعیت سیگنالها

ردیف	وضعیت مسیر	نوع نشانه مکان GERI	نوع نشانه مکان RED1	تفسیر سیگنال
۱	مسیر آزاد است	Sign	off	سیگنال سبز روشن است
۲	مسیر اشغال است	Off	sign	سیگنال قرمز روشن است

۴. شبکه ریلی نمونه

در این مقاله، یک شبکه ریلی مطابق شکل ۶ شامل ۸ بلاک اصلی و دو ایستگاه در نظر گرفته شده است. برای این شبکه ریلی اهداف کنترلی و یکسری از قوانین و الزامات بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود که یک الزام مربوط به ایمنی و چهار الزام مربوط به شرایط بهره‌برداری خط است:

الزام ایمنی: الزام ایمنی بیان می‌دارد که در هر کدام از بلاک‌ها می‌بایست یک قطار حضور داشته باشد. این الزام شرایط بهره‌برداری بدون تصادم و برخورد را در خط برقرار می‌کند.

الزام عملیاتی یک (عدم وقفه): این الزام بیان می‌دارد که شبکه ریلی بدون وقفه به کار خود ادامه دهد. به عبارت دیگر به دلیل شرایط خط، قطارها توقف نداشته باشند.

الزام عملیاتی دو (ورود قطار از یارد): این الزام تعیین می‌کند وقتی قطاری از یک یارد وارد شبکه ریلی می‌شود در بلاک بعدی آن نباید یک قطار که در جهت مخالف حرکت می‌کند وجود داشته باشد.

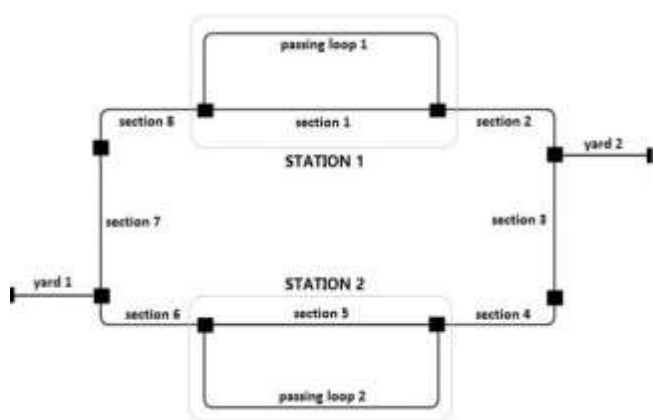
الزام عملیاتی سه (ورود قطار به ایستگاه): این الزام برای آن تعریف می‌شود که وقتی قطار وارد یک ایستگاه می‌شود برای تخلیه مسافرها باید وارد یک سمت مشخص ایستگاه شود.

الزام عملیاتی چهار (خروج قطار از ایستگاه): این الزام تعیین می‌کند برای خروج قطار از یک ایستگاه هیچ قطاری که در جهت عکس حرکت می‌کند نباید در بلاک‌های بین دو ایستگاه باشد. زیرا عدم وجود این الزام در نهایت باعث برخورد دو قطار در طول مسیر می‌گردد.

۵. مدلسازی و کنترل نظارتی شبکه ریلی با

استفاده از شبکه پتری رنگی

در این بخش، از روش مدلسازی مرجع [Janczura, 1998] و [Abbasi, 2012] بهره گرفته و شبکه ریلی شکل ۶ با الزامات بهره‌برداری مفروض مدلسازی شده است. خصوصیات ایمنی و زنده بودن شبکه ریلی مدل شده با شبکه پتری بررسی شده و سپس با اعمال کنترل نظارتی که بر گذرهای شبکه پتری حاکم است، یک شبکه ریلی پویا و ایمن طراحی می‌گردد. برای مدلسازی شبکه ریلی شکل ۶ ابتدا باید حالت‌ها و کنش‌های آن را مشخص کرد.



شکل ۶. شبکه ریلی با دو ایستگاه

مدلسازی وضعیت بلاک‌ها: وضعیت اشغال و یا عدم اشغال بلاک توسط قطارها نشان دهنده حالت‌های خط مربوط به شبکه ریلی است. به همین منظور دوازده حالت برای شبکه ریلی در نظر گرفته می‌شود که هشت حالت مربوط به شش بلاک اصلی و دو حالت برای بلاک کنارگذر و دو حالت یارد است. با توجه به تعداد بلاک‌ها در مسیر شبکه ریلی، دوازده مکان جهت مدلسازی شبکه پتری در نظر گرفته شده است. هشت مکان اصلی با S1 تا S8 نمایش داده می‌شوند، مکان‌های کنار گذر با loop1 و loop2 و مکان‌های یارد با y1 و y2 معرفی می‌شود. مجموعه مکان‌ها

گذر قبلی اعلام می‌کند تا شرایط تبدیل وضعیت فراهم شود. از طرفی برای اینکه وضعیت حرکت قطار در مسیرهای اصلی فراهم شود بر روی کمانهای اتصال دهنده مکانها و گذرهای اصلی از کمانهایی با برچسب عادی (normal) یا سریع‌السیار (express) استفاده شده است.

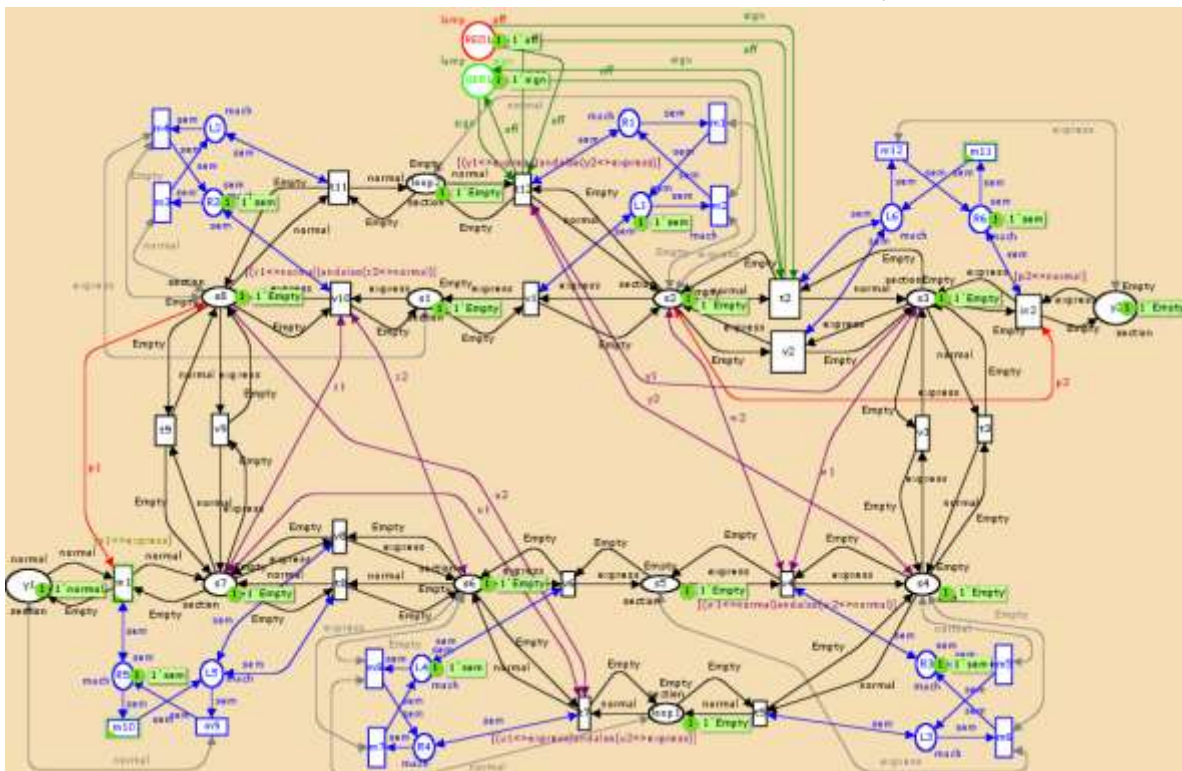
مدلسازی الزام ایمنی: الزام ایمنی از برخورد قطارها در خط جلوگیری می‌کند. برای برقراری الزام ایمنی، مکانها در شبکه پتری مدل شده باید شامل یکی از نشانه‌های {normal, express, Empty} باشند. برای این منظور باید دو حالت را در نظر گرفت: ساختار اولیه قطارها در بلاکها و ترتیب بعدی ساختارهای قطار پس از حرکت در شبکه ریلی. ساختار اولیه قطارها باید به گونه‌ای باشد که در هر بلاک تنها یکی از انواع قطارها وجود داشته باشد. همانگونه که در شکل ۷ نمایش داده شده است هر کدام از مکانها تنها شامل یکی از این نشانه‌ها می‌باشد و در حالت اولیه مکانی که بیش از یک نشانه داشته باشد وجود ندارد.

مدلسازی الزام عدم وقفه: در این الزام، باید درستی منطق

شامل $\{S1, S2, \dots, S8, loop1, loop2\}$ است. در شکل ۷ مدل ارائه شده برای بلاکها نمایش داده شده است.

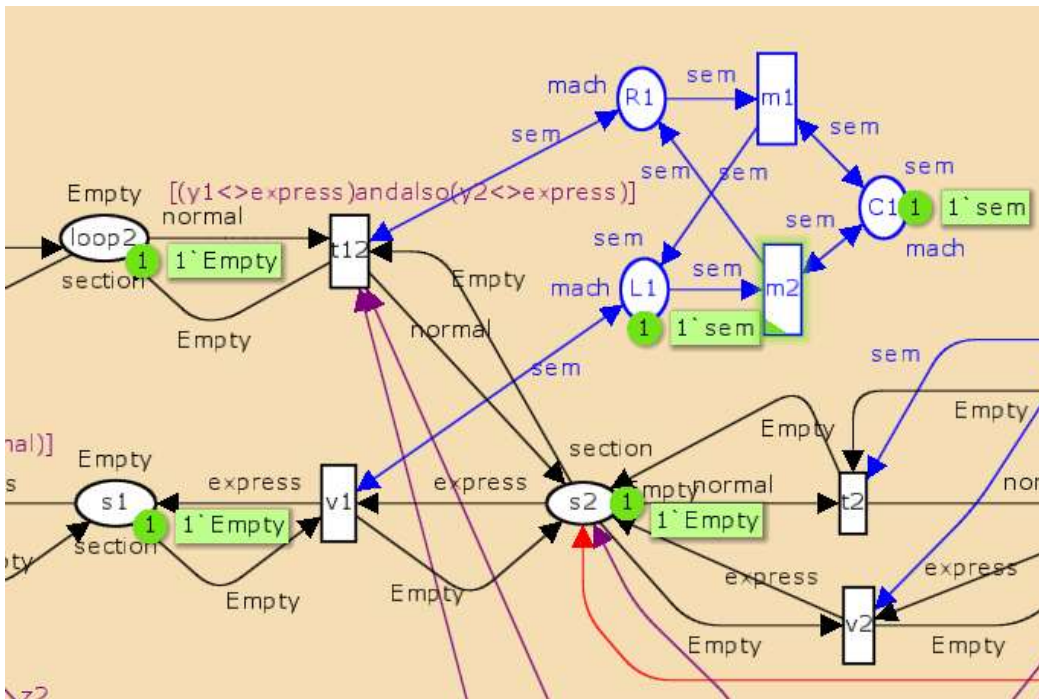
مدلسازی گذرها: برای اینکه تبدیل وضعیت بلاکها در هر لحظه مشخص شود باید کنشها مشخص شوند. مطابق شکل ۷، برای نمایش کنشها از گذرهای $t1$ تا $t11$ برای قطارهای نوع عادی (normal) که در جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند و گذرهای $v1$ تا $v11$ برای قطارهای نوع سریع‌السیار (express) که خلاف جهت عقربه‌های ساعت حرکت می‌کنند، استفاده شده است. همچنین گذرهای $in1$ و $in2$ برای ورود قطارها از یارد به درون سیستم ریلی استفاده شده است.

مدلسازی کمانها: برای اینکه شرایط بهره‌برداری و الزامات خط مشخص گردد باید شرایط گذرها و مکانها به وسیله کمانهای اتصال دهنده تعیین گردد. جهت تبدیل وضعیت هر مکان که در واقع تعیین وضعیت حرکت قطار از یک بلاک به بلاک دیگر است، ابتدا باید مطمئن بود که بلاک مقابل خالی باشد. به این منظور کمانهایی که با برچسب عدم حضور (Empty) شرایط آن مشخص شده است، عدم حضور قطار را به مکان یا



شکل ۷. مدل پتری شبکه ریلی نمونه

مدلسازی و اجرای کنترل نظارتی با استفاده از شبکه پتری رنگی.....



شکل ۸. مدل ماشین سوزن

کنترل نظارتی بر ورود قطار به ایستگاه: همانطور که گفته شد وقتی قطار وارد یک ایستگاه می‌شود برای تخلیه مسافرها باید وارد یک سمت مشخص ایستگاه شود، از این رو در ایستگاه‌ها کمان‌ها طوری طراحی شده‌اند که اجازه حرکت قطار را به سمت قطار روبرو نمی‌دهد.

کنترل نظارتی بر خروج قطار از ایستگاه: برای خروج قطار از یک ایستگاه هیچ قطاری که در جهت عکس حرکت می‌کند نباید در بلاک‌های بین دو ایستگاه باشد. برای مدل کردن این الزام همانطور که در شکل ۷ نمایش داده شده است کمان‌هایی که با رنگ بنفش نمایان هستند وجود قطار در بلاک‌های بین دو ایستگاه را رصد می‌کند. به عنوان مثال کنترل نظارتی برای گذر v4 به صورت:

$$[(w1 \langle \rangle normal) \text{andalso} (w2 \langle \rangle normal)]$$

می‌باشد و به معنی این است که اگر $w1$ و یا $w2$ شامل قطار عادی (normal) باشد، گذر اجازه شلیک ندارد.

مدلسازی ماشین سوزن: در مدل ارائه شده شش ماشین سوزن وجود دارد که برای هر ایستگاه دو عدد و برای هر کدام از یاردها نیز یک عدد استفاده شده است. از مدل ارائه شده در شکل ۴، با تغییراتی با توجه به ساختار سیستم ریلی ارائه شده می‌توان استفاده نمود.

شبکه پتری را از نظر عدم وقفه بررسی کنیم. بررسی عدم وقفه به بررسی مدل پویای شبکه مرتبط است و باید نشانه‌ها را در شبکه حرکت داد و نتایج را در هر مرحله بررسی کرد. به عبارت دیگر این مسئله به راحتی با بررسی ساختار مدل قابل پاسخگویی نیست. این الزام در شبکه پتری مدل شده با روشهای مختلفی بررسی می‌گردد، یکی از ساده ترین روشها، ترسیم درخت دسترس‌پذیری در شبکه پتری مدل شده است که نتایج آن در قسمت بعد ارائه می‌گردد.

کنترل نظارتی بر ورود قطار از یارد: این الزام در مدل ارائه شده با استفاده از یک کمان نظارتی اعمال شده است. همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود این کمان با رنگ قرمز مشخص شده و در صورتی قطار می‌تواند وارد خط شود که بلاک بعدی آن شامل قطاری که در جهت عکس حرکت می‌کند نباشد. کنترل نظارتی تعریف شده برای گذرهای $in1$ و $in2$ به صورت $[m1 \langle \rangle express]$ و $[m2 \langle \rangle normal]$ است. برای گذر $in1$ اگر در مکان $s6$ قطاری از نوع سریع‌السیر (express) باشد، اجازه ورود قطار به خط را نمی‌دهد یا به عبارتی گذر $in1$ غیر فعال می‌شود و همچنین برای گذر $in2$ اگر در مکان $s2$ قطاری از نوع عادی (normal) باشد، اجازه ورود قطار به خط را نمی‌دهد.

```

▶ Tool box
▶ Help
▶ Options
▼ two-5.cpn
  Step: 0
  Time: 0
  ▶ Options
  ▶ History
  ▼ Declarations
    ▼ colset signal= with sign | off;
    ▼ colset lamp= signal;
    ▼ var a: signal;
    ▼ colset swich= with sem;
    ▼ colset mach= swich;
    ▼ colset trains= with express | normal|Empty;
    ▼ colset section= trains;
    ▼ var x:trains;
    ▼ var y1,y2,z1,z2,w1,w2,u1,u2,p1,p2:section;
  ▼ Monitors
    Rail
    state space
    
```

شکل ۹. کد نویسی شبکه ریلی مدل شده در نرم افزار CPN

Tools

گراف فضای حالت این سیستم دارای ۵۶۷ گره و ۱۲۱۸ کمان می باشد. هر گره وضعیت سیستم را پس از هر انتقال نشان می دهند. به عبارتی در هر گره نشانه های موجود در هر مکان نشان داده می شود. کمان های فضای حالت شامل دو گروه ورودی و خروجی می باشند، که کمان های ورودی بیان می کند که از چه گره هایی و با شلیک کدام می توان به گره مدنظر رسید و کمان های خروجی بیان می کند که گره مدنظر پس از شلیک هر یک از گذرهای فعال آن به کدام گره می رود. در شکل ۱۰ بخش هایی از گراف فضای حالت نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود بر روی هر گره شماره آن و تعداد کمان های ورودی و خروجی نشان داده شده است. نشانه گذاری برگشت پذیر نشانه گذاری هایست که همواره امکان برگشتن به آن حالت با شلیک چندین گذر وجود دارد. در این شبیه سازی ۲۰۴ نشان گذاری برگشت پذیر مطابق شکل ۱۱ وجود دارد که اعداد داخل گیومه بیانگر شماره گره های برگشت پذیر است.

این مدل شامل شش مکان $R1, \dots, R6$ برای حرکت قطار به سمت راست ایستگاه، شش مکان $L1, \dots, L6$ برای حرکت قطار به سمت چپ ایستگاه و شش مکان به صورت $C1, \dots, C2$ جهت نظارت کنترلی می باشد. همچنین گذرهای $m1, \dots, m12$ جهت تغییر وضعیت سوزن ها در نظر گرفته شده است.

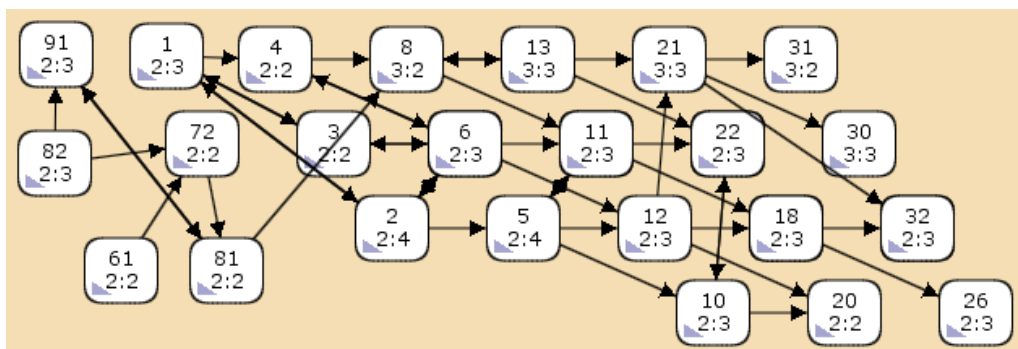
همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود، این ماشین سوزن دارای مکان های $R1, L1$ و $C1$ و گذرهای $m1$ و $m2$ می باشد. نشانه های sem جهت مدل کردن سیگنال های کنترلی استفاده شده است. با توجه به اینکه این نشانه در مکان $L1$ قرار دارد، سوزن به سمت چپ تنظیم شده است و اجازه حرکت قطار به سمت راست ایستگاه وجود ندارد. همچنین از آنجایی که گذر $m2$ فعال می باشد امکان تغییر وضعیت سوزن به سمت راست در نظر گرفته شده است.

۶. نتایج شبیه سازی

برای اجرای شبکه پتری و رسیدن به درخت دسترس پذیری، به دلیل حجم بالای محاسبات از نرم افزار CPN Tools استفاده می شود. این نرم افزار شامل یک قسمت گرافیکی و یک قسمت کد نویسی است. برای کد نویسی مطابق شکل ۹ کدهای مربوطه در نرم افزار نوشته می شود.

در شکل ۷ یک نشانه عادی (normal) در مکان $y1$ و یک نشانه سریع السیر (express) در مکان $y2$ وجود دارد که بیانگر حضور قطار عادی در یارد یک و قطار سریع السیر در یارد دو است. قطار عادی به صورت ساعتگرد و قطار سریع السیر به صورت پادساعتگرد حرکت می کنند. پس از اجرای برنامه حالت های مختلفی بدست می آید. گزارش حاصل به طور مختصر در زیر ارائه می گردد.

مدلسازی و اجرای کنترل نظارتی با استفاده از شبکه پتری رنگی.....



شکل ۱۰. بخشی از گراف فضای حالت

Rail'RED1	1	1
Rail'loop1	1	1
Rail'loop2	1	1
Rail's1	1	1
Rail's2	1	1
Rail's3	1	1
Rail's4	1	1
Rail's5	1	1
Rail's6	1	1
Rail's7	1	1
Rail's8	1	1
Rail'y1	1	1
Rail'y2	1	1

Home Markings
204 [328, 348, 369, 390, 227, ...]

شکل ۱۱. گره‌های برگشت پذیر

شکل ۱۲. مقدار حداکثر و حداقل نشانه‌های موجود

Best Upper Multi-set Bounds

Rail'GER1	1	1`sign++1`off
Rail'L1	1	1`sem
Rail'L2	1	1`sem
Rail'L3	1	1`sem
Rail'L4	1	1`sem
Rail'L5	1	1`sem
Rail'L6	1	1`sem
Rail'R1	1	1`sem
Rail'R2	1	1`sem
Rail'R3	1	1`sem
Rail'R4	1	1`sem
Rail'R5	1	1`sem
Rail'R6	1	1`sem
Rail'RED1	1	1`sign++1`off
Rail'loop1	1	1`normal++1`Empty
Rail'loop2	1	1`normal++1`Empty
Rail's1	1	1`express++1`Empty
Rail's2	1	1`express++1`normal++1`Empty
Rail's3	1	1`express++1`normal++1`Empty
Rail's4	1	1`express++1`normal++1`Empty
Rail's5	1	1`express++1`Empty
Rail's6	1	1`express++1`normal++1`Empty
Rail's7	1	1`express++1`normal++1`Empty
Rail's8	1	1`express++1`normal++1`Empty
Rail'y1	1	1`normal++1`Empty
Rail'y2	1	1`express++1`Empty

شکل ۱۳. بیشترین تعداد حضور نشانه‌ها

شکل ۱۴ بیان کننده خصوصیات زنده بودن سیستم است. سیستم ریلی با دو قطار که در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند هیچگونه نشانه مرده ندارد یا به عبارتی سیستم در همه حالت‌های

در شکل ۱۲، مقدار حداکثر و حداقل نشانه‌های موجود در هر مکان نمایش داده شده است. مکان‌های s1 تا s7 بلاک‌های مدل هستند. گزارش شکل ۱۲ نشان می‌دهد که مقدار حداکثر و حداقل تمام این مکان‌ها یک است و نشان دهنده این است که همواره یک نشانه از انواع {normal, express, Empty} در این مکان‌ها حضور داشته است یا به عبارتی بیان کننده برآورده شدن ایمنی مدل است.

شکل ۱۳ بیان کننده بیشترین تعداد حضور نشانه‌ها در هر مکان است. همانطور که از نتایج واضح است، در مکانهای Rail'loop2 و Rail'loop1 فقط نشانه‌های normal و Empty قرار گرفته است و بیانگر آن است که در مسیرهای کنار گذر فقط قطار عادی عبور کرده و یا آزاد بوده است و به هیچ وجه قطار سریع السیر (Express) در آن ورود نکرده است. به عبارت دیگر الزامات بهره برداری در این قسمت تامین شده است.

Best Integer Bounds

	Upper	Lower
Rail'GER1	1	1
Rail'L1	1	0
Rail'L2	1	0
Rail'L3	1	0
Rail'L4	1	0
Rail'L5	1	0
Rail'L6	1	0
Rail'R1	1	0
Rail'R2	1	0
Rail'R3	1	0
Rail'R4	1	0
Rail'R5	1	0
Rail'R6	1	0

طرفی برای برآوردن الزامات ایمنی و بهره‌برداری در شبکه پتری مدل شده، کمانهایی طراحی گردید که نقش کنترل نظارتی مبتنی بر شبکه پتری داشته و این الزامات را برآورده می‌کند.

پس از ارائه مدل دقیق می‌توان مدل را با تعداد مختلفی از قطارها که در هر دو جهت به شبکه ریلی وارد می‌شوند، تحلیل نمود و سپس طراحی کنترل نظارتی با اعمال قوانین روی کمانها چنان انجام می‌شود که با تعداد متنوعی از قطارها یک شبکه ریلی زنده و پویا حاصل شود که ایمنی آن نیز تضمین شده باشد. به عبارت دیگر شبکه ریلی با کنترل نظارتی الزامات منطقی لازم را برآورده نموده و قابل پیاده سازی و استفاده عملی می‌باشد.

۸. پی نوشتها

1. Initial marking
2. Token
3. Color
4. Guards
5. Track segment
6. End segment
7. Turnout
8. Converging Junctions
9. Diverging Junctions
10. Home Signal
11. Dispatching or Exit Signal
12. Subsidiary Signal
13. Shunting Signal
14. Calling-On Signal
15. Yard
16. State Space
17. Node
18. Arc
19. Home Markings
20. Best Integer Bounds
21. Best Upper Multi-set Bounds
22. Liveness Properties
23. Dead Markings

۹. مراجع

- Baruwa, O. T., Piera, M. A. and Guasch A. (2015) "Deadlock-free scheduling method for flexible manufacturing systems based on the timed colored Petri nets and anytime heuristic search", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Syst., Vol. 45, No. 5, pp.831-846.
- Cachiani, V., Huisman, D. and Kidd, M. (2014) "An overview of recovery models and algorithms for real-time railway rescheduling",

کاری برای شبکه ریلی زنده بوده و فاقد بن بست می‌باشد. این گزارش نشان می‌دهد که مدل گذر مرده ای ندارد و همچنین تعدادی از گذرهای زنده نیز نمایش داده شده است.

Liveness Properties

```
-----
Dead Markings
None
Dead Transition Instances
None
Live Transition Instances
Rail'm1 1
Rail'm2 1
Rail'm3 1
Rail'm4 1
Rail'm5 1
Rail'm6 1
Rail'm7 1
Rail'm8 1
Rail't11 1
Rail't12 1
Rail't2 1
Rail't3 1
Rail't5 1
Rail't7 1
Rail't8 1
Rail't9 1
Rail'v1 1
Rail'v10 1
Rail'v2 1
Rail'v3 1
Rail'v4 1
Rail'v6 1
Rail'v8 1
Rail'v9 1
```

شکل ۱۴. خصوصیات زنده بودن سیستم

عدم وجود وقفه به این معناست که مدل ارائه شده الزامات لازم را جهت برقراری ایمنی رعایت نموده و دو قطاری که در جهت مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند، هیچگاه وارد شرایطی که منجر به تصادف یا قرار گرفتن در یک بلاک شود نخواهند شد. همچنین ماشین سوزنها به موقع تغییر وضعیت داده و مانع حرکت قطارها و رفتن به حالت وقفه نمی‌شوند. با توجه به آنچه در شبیه سازی فوق نمایش داده شده است در مکان‌هایی که بلاک‌ها را نشان می‌دهد حداکثر یک نشانه قطار وجود دارد که بیان کننده ایمنی سیستم می‌باشد.

۷. نتیجه گیری

در این مقاله یک شبکه ریلی در نظر گرفته شد و برای آن اهداف کنترلی و قوانین بهره‌برداری خط وضع گردید. سپس با استفاده از تکنیکهای مدل‌سازی، شبکه پتری طراحی گردید که شبکه ریلی را به مکان، گذر و کمان مدل کرد. این مدل قادر به نمایش وضعیت بلاک‌های خط و کنش‌های بین آنهاست. از

petri net”, International Journal on Software Tools for Technology Transfer, Vol. 2, pp. 98–132.

-Kristoffersen, T., Hagalisletto, A. M. and Hansen, H. A. (2003) “Extracting high level information from petri nets: a railroad case”, in Proc. Estonian Acad. Phys. Math., Vol. 52, No. 4, pp. 378–393.

-Murata, T. (1989) “Petri nets properties, analysis and applications”, Proceedings of the IEEE, S. 541–580, April 1989.

-Pachl, J. (2002) “Railway operation and control”, Mountlake Terrace, WA: VTD Rail Publishing.

-Van Der Aalst, W. M. P. and Odijk, M. A. (1999) “Analysis of railway stations by means of interval timed colored petri nets”, Real Time Syst, Vol. 9, No. 3, pp.1–23.

-Wang, P., Ma, L., Goverde, R. M. P. and Wang, Q. (2016) “Rescheduling trains using petri nets and heuristic search”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 17, No. 3.

-Wells, Lisa (2006) “Performance analysis using CPN tools”, Proceedings of the First International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools 2006, ACM Press

-Yu, I. C. (2004) “A Layered approach to automatic construction of large scale petri nets”, Master’s thesis, Dept. Inf., Univ. Oslo, Oslo, Norway.

-عباسی، م. (۱۳۹۱) “مدل سازی و کنترل نظارتی یک سیستم خط بسته ریلی با استفاده از شبکه پتری”، پایان نامه کارشناسی ارشد زیر نظر دکتر بهمن قربانی واقعی، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران.

-قربانی واقعی، ب. و عباسی، م. (۱۳۹۳) “مدلسازی و تحلیل شبکه ریلی قطارهای عادی و سریع السیر مبتنی بر شبکه پتری”، فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال پنجم، شماره سوم، ص. ۳۶۷–۳۸۰.

Transp. Res. B, Methodological, Vol. 63, pp.15–37.

-Decknatel, D. (1999) “Modelling train movement with hybrid petri nets”, Presented at the FM Rail Workshop 4, Stockholm, Sweden

-Diana, F., Giua, A. and Seatzu, C. (2001) “Safeness-enforcing supervisory control for railway networks”, 2001 IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.99-104, Como, Italy

-Durmus, M. S., Yildirim, U. and Söylemez, M. T., (2010) “Signalization and interlocking design for a railway yard: A supervisory control approach by enabling Arcs,” The 7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems, IMS 2010, Sarajevo, Bosnia, Herzegovina, 15-17 September, 2010.

-Guia, A. and Seatzu, C. (2008) “Modeling and supervisory control of railway networks using petri nets”, IEEE Transaction On Automation Science and Engineering, Vol.5, No. 3, pp.431-445.

-Hagalisletto, A. M., Bjørk, J., Yu, I. Ch. and Enger, P. (2005) “Constructing and refining large-scale railway models represented by petri nets”, IEEE Transactions on Systems, pp.444 – 460.

-Hagalisletto, A. M. and YU, I. C. (2004) “Large scale construction of rail-road models from specifications”, in proc.IEEE int.conf.sys.Man, cybern, Den Haag, Holland, pp.6216-6219, 2004.

-Janczura, C. W. (1998) “Modeling and analysis of railway network control logic using colored petri nets”, Ph. D. Dissertation, Univ. South Australia, Australia.

-Jensen, K. (1997) “Colored petri nets—basic concepts, analysis methods and practical use”, in EATCS, Monographs on Theoretical Computer Science vol. 1, Basic Concepts. New York: Springer-Verlag.

-Jensen, K. (1997) “A Brief introduction to coloured petri nets”, Proceedings of the Third International Workshop on Tools and Algorithms for Construction and Analysis of Systems, pp.203-208.

-Kristensen, L. M., Christensen, S. and Jensen, K. (1998) “The Practitioner’s guide to coloured

محمدرضا اشکی، بهمن قربانی واقعی

بهمن قربانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی برق-الکترونیک را در سال ۱۳۷۷ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-کنترل در سال ۱۳۷۹ را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۶ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی برق-کنترل از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان کنترل نظارتی و سیستمهای رویداد گسسته، کنترل و سیگنالینگ قطار و قطارهای مغناطیسی مگلو بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه علم و صنعت ایران است.



محمدرضا اشکی، درجه کارشناسی در رشته برق الکترونیک را در سال ۱۳۸۸ از دانشگاه فنی شهید چمران کرمان و درجه کارشناسی ارشد در رشته کنترل و علائم در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود.

