بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه
گاوازنگ - زنجان

مدل‌سازی و تحلیل فعالیت‌های ربات دروازه‌بان با استفاده از شبکه‌های پتری

پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد

آزاده غلامی

استاد راهنما: **دکتر بهرام صادقی بی‌غم**

استاد مشاور: **دکتر پدرو لیما**

مرداد ۱۳۹۳

چکیده

در این پایان‌نامه یک مدل برای ربات فوتبالیست دروازه‌بان، با استفاده از شبکه‌های پتری ارائه شده است. بازیکن دروازه‌بان در بازی فوتبال واقعی و یا رباتیک، یکی از عناصر مهم و تعیین کننده در زمین است که نقشی متفاوت از بقیه بازیکنان تیم برعهده دارد. هدف دروازه‌بان دفاع از دروازه برای جلوگیری از ورود توپ توسط تیم رقیب در آن است. این هدف در عین حال ساده، نیازمند برنامه‌ریزی و هماهنگی بین دروازه‌بان و عناصر موجود در محیط اطراف آن است که شامل اجزای محیطی و نیز ربات‌های دیگر است. این پایان‌نامه با استفاده از یک روش سلسله‌مراتبی و ساختاریافته مبتنی بر شبکه‌های پتری، یک مدل کامل و قوی برای ربات دروازه‌بان ارائه می‌دهد که در آن از شکل تعمیم یافته شبکه‌های پتری استفاده شده است. در این شبکه‌ها مکان‌ها معرف گزاره‌ها، عمل‌ها و یا کارهای دروازه‌بان و انتقال‌ها نشان دهنده رخدادها و وقایع هستند. مدل ارائه شده از حیث ویژگی‌های کیفی و کمی ارزیابی و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. برای بالا بردن کارائی دروازه‌بان، در مدل کارهای پیچیده‌تر آن، نقاط تصمیم‌گیری و انتخاب در نظر گرفته شده است که با بکار بردن الگوریتم یادگیری در این نقاط، دروازه‌بان یاد می‌گیرد که در هر مرحله از انتخاب، یکی از آن تصمیم‌ها را برای رسیدن به هدف خود، که دفاع بهتر از دروازه است، انجام دهد. تجزیه و تحلیل کیفی و کمی مدل ارائه شده به همراه نتایج بکاربردن یادگیری در بهبود عملکرد دروازه‌بان، آورده شده است.

واژه‌های کلیدی: *ربات فوتبالیست، دروازه‌بان، کار ربات، شبکه پتری، مدل‌سازی، تحلیل، نقاط تصمیم‌گیری.*

فهرست

چکیده . . . . . سه

۱ مقدمه **۱**

۱ انگیزه ۱

۲ مرور مختصری بر ادبیات موضوع ۳

۲ شبکه‌های پتری **۶**

۱ تعریف ریاضیاتی و رسمی شبکه پتری ۷

۲ قانون آتش شدن انتقال در شبکه پتری ۸

۳ چارچوب مدل‌سازی فعالیت ربات با استفاده از شبکه پتری **۱۰**

۱ بلاک‌های ساختاری چارچوب ۱۱

۲ لایه‌های انتزاعی این چهارچوب ۱۲

۳ الگوریتم بسط شبکه‌های پتری ۱۲

۴ مدل پیشنهاد شده برای دروازه‌بان **۱۴**

۱ مدل‌های شبکه‌های پتری فعالیت دروازه‌بان ۱۴

۱.۱ مقدمات فرآیند مدل‌سازی ۱۵

۱.۱.۱ گسسته‌سازی زمین بازی ۱۵
۲.۱ گزاره‌های منطقی ۱۶
۳.۱ مدل‌های شبکه پتری لایه محیط ۱۷
۴.۱ مدل‌های شبکه پتری برای عمل‌های دروازه‌بان ۱۹
۵.۱ مدل‌های شبکه پتری برای کارهای دروازه‌بان ۲۵
۶.۱ مدل شبکه پتری کلی کار دروازه‌بان ۲۷

۵ تحلیل مدل و یادگیری کار دروازه‌بان ۳۱

۱ مقدمات پیاده‌سازی ۳۱
۲ یادگیری تقویتی و یادگیری Q ۳۲
۳ الگوریتم یادگیری پیشنهادی ۳۳

۶ نتایج به‌دست آمده ۳۷

۱ تحلیل ویژگی‌های کیفی مدل ارائه شده ۳۷
۱.۱ کراندار بودن ۳۷
۲.۱ زنده بودن ۳۸
۳.۱ بن‌بست ۳۸
۴.۱ امن بودن ۳۸
۲ ویژگی‌های کمی و تحلیل عملکرد مدل ارائه شده ۳۹
۱.۲ اعمال الگوریتم یادگیری پیشنهادی ۴۱
۲.۲ یادگیری با استفاده از نرخ‌های یادگیری متفاوت ۴۴
۳.۲ بهبود عملکرد پس از یادگیری دروازه‌بان ۴۵

۷ نتیجه‌گیری و کارهای آینده ۴۸

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۵۰
مراجع ۵۱

فهرست تصاویر

۱.۴ گسسته‌سازی زمین بازی ۱۶

۲.۴ شبکه پتری BallPosition ۱۷

۳.۴ شبکه پتری GKPosition ۱۸

۴.۴ شبکه پتری GKClose2Ball ۱۸

۵.۴ شبکه پتری GKHasBall ۱۹

۶.۴ مدل عمل StopGK ۲۰

۷.۴ مدل عمل Go2HomePosition ۲۱

۸.۴ مدل عمل DefendOnGoalLine ۲۲

۹.۴ مدل عمل GoTowardsTheBall ۲۳

۱۰.۴ مدل عمل CloseTheShotAngle ۲۴

۱۱.۴ مدل عمل CatchBall ۲۴

۱۲.۴ مدل عمل KickBall ۲۵

۱۳.۴ مدل کار GKDefendTask ۲۶

۱۴.۴ مدل کار BallInterceptionTask ۲۷

۱۵.۴ مدل کار LeaveGoalTask ۲۸

۱۶.۴ مدل کار DistributeBall2Teammates ۲۸

۱۷.۴ مدل کامل کار دروازه‌بان ۳۰

۱.۵ نقطه تصمیم‌گیری در BallInterceptionTask ۳۲

۱.۶ شبکه پتری کامل کار BallInterceptionTask ۴۰

۲.۶ گراف دسترس پذیری ۴۱

۳.۶ زمان یادگیری با نرخ های یادگیری متفاوت ۴۴

۴.۶ احتمال گل خوردن ۴۷

فهرست جداول

۱.۴ شرایط اجرا و اثرات مطلوب عمل‌های اولیه ۲۰

۱.۵ جدول اولیه Q برای الگوریتم پیشنهادی ۳۵

۲.۵ جدول پاداش برای الگوریتم پیشنهادی ۳۶

۱.۶ توالی مارکینگ‌های بدست آمده با شروع از مارکینگ اولیه ۴۲

۲.۶ ادامه توالی مارکینگ‌های بدست آمده با شروع از مارکینگ اولیه ۴۳

۳.۶ جدول Q نهایی ۴۶

فصل اول

مقدمه

در عصر حاضر ربات‌ها به عنوان ابزاری برای تسهیل زندگی بشریت سهم چشمگیری از تحقیقات و مطالعات جوامع علمی را به خود اختصاص داده‌اند. دانشمندان علم رباتیک، با مطالعه علوم مختلف در زمینه‌های گوناگون مربوط به این علم سعی دارند روز به روز بر توانائی ربات و نزدیک کردن آن به توانائی و هوش بشری بیفزایند. از این رو علم رباتیک با سرعت چشمگیری در حال گسترش و پیشرفت است و هر روز به پیچیدگی رفتار و فعالیت ربات افزوده می‌شود.

۱ انگیزه

در گذشته فعالیت‌های ربات بصورت محدود و در حد برنامه‌ریزی دستی از سوی انسان انجام می‌شد و برنامه‌ریزی‌های مذکور، خاص یک کاربرد و وضعیت منحصر بفرد بودند و بکار بردن آن‌ها در مکان‌ها یا وضعیت‌های دیگر درست نبود. اما رفته‌رفته نیاز به یک روش سیستماتیک برای طراحی و تحلیل کارهای ربات نمود بیشتری یافت و در عین حال توجه به طراحی کارها و وظایف پیچیده‌تر برای ربات

باعث رشد روش‌های رسمی برای طراحی و تحلیل فعالیت‌های ربات شد. تا جایی که از این روش‌ها برای ارزیابی عملکرد ربات‌ها نیز استفاده شد.

یکی از روش‌ها و دیدگاه‌های رسمی در این زمینه سیستم‌های رویداد گسسته است. برنامه‌ریزی و انجام کار در یک ربات و نیز فرآیند تصمیم‌گیری یک ربات بر اساس رویدادهای گسسته و مبتنی بر یک فضای حالت گسسته است که می‌توان آن‌را سیستم رویداد گسسته دید. سیستم رویداد گسسته یک دیدگاه مبتنی بر حالت است که موقعیت‌های ممکن را بعنوان مجموعه‌ای از حالات بیان می‌کند و رفتاری را انتخاب می‌کند که به خوبی بتواند شرایطی (موقعیتی) را که در آن حالت قرار دارد را مدیریت کند. بنابراین، نیاز است که شامل انتزاعی باشد که یک حالت تقریبی از دنیا را فراهم می‌کند، که اینکار توسط استفاده از گزاره‌های منطقی برای گسسته‌سازی دنیا میسر می‌شود. سیستم‌های رویداد گسسته توسط دو فرمالیسم در زمینه رباتیک بکار برده می‌شوند: ماشین حالت متناهی و و شبکه‌های پتری.

از میان این دو فرمالیسم برای سیستم‌های رویداد گسسته، شبکه‌های پتری مزیت‌هایی نسبت به ماشین حالت متناهی دارند: یکی از مزیت‌های بسیار مهم شبکه‌های پتری که قدرت مدل‌سازی آن‌ها را بالا برده است خاصیت ماژولار بودن و سلسله مراتبی آن است که سبب می‌شود در فرآیند طراحی و مدل‌سازی یک سیستم هرچند بزرگ، امکان ساختن زیرسیستم‌ها و سپس‌ترکیب آن‌ها برای بدست آوردن سیستم نهایی، وجود داشته باشد. مزیت دیگر اینکه زبان‌های نشان‌گذاری شده توسط شبکه‌های پتری یک ابرمجموعه برای زبان‌های منظم (زبان‌های نشان‌گذاری شده توسط ماشین حالت متناهی) است، که این نیز نشانگر قدرت مدل‌سازی بالای شبکه‌های پتری است. بعلاوه، فضاهای حالت نامتناهی را می‌توان با شبکه‌های پتری متناهی نشان داد و در کل به ازای یک فضای حالت یکسان، اندازه شبکه پتری از اندازه ماشین حالت متناهی متناظر آن کوچکتر است.

همانطور که اشاره شد، دانشمندان علوم مختلف در علم رباتیک گرد هم می‌آیند تا با تلفیق علوم موثر در این علم آنرا توسعه دهند. برای نزدیک‌تر کردن ربات به انسان و رفتارهای انسانی، پژوهشگران علم هوش مصنوعی در این زمینه فعالیت فراوانی داشته‌اند. یکی از زمینه‌های امتحان کردن این تلاش‌ها و

فعالیت‌ها، ربات‌های فوتبالیست است که در سالهای اخیر توجه زیادی معطوف آن شده است. در این زمینه یکی از عناصر مهم و کلیدی ربات‌های فوتبالیست، دروازه‌بان است. وظیفه ربات دروازه‌بان در عین سادگی بسیار مهم و تاثیرگذار در نتیجه بازی است. در واقع دروازه‌بان یکی از اعضای تیم است که دارای مشخصه‌های خاص و چالش‌برانگیزی متفاوت از بقیه اعضای تیم است. هدف اصلی یک دروازه‌بان انسان و یا ربات دروازه‌بان، دفاع از دروازه در مقابل ضربات تیم رقیب است، ازین‌رو ناحیه فعالیت دروازه‌بان همواره نزدیک دروازه خودی می‌باشد. علاوه بر این هدف ساده و ناحیه محدود، دروازه‌بان برای اینکه نقش خود را در تیم به درستی انجام دهد، باید بر اساس حالت بازی، هماهنگی کامل بین رفتارهای خود را داشته، و نیز برنامه‌ریزی آن به خوبی صورت گرفته باشد. بنابراین، بررسی خصوصیات یک ربات فوتبالی دروازه‌بان مهمترین انگیزه انجام این پایان‌نامه است، و هدف ارائه یک مدل برای دروازه‌بان بر اساس شبکه‌های پتری است. این مدل از سطح پائین‌ترین تا بالاترین اجزا فعالیت‌ها و کارهای آن را در بر دارد.

۲ مرور مختصری بر ادبیات موضوع

کارهای بسیاری با استفاده از روش‌های مدل‌سازی با سیستم‌های رویداد گسسته، در زمینه علوم رباتیک انجام گرفته است. این مدل‌سازی‌ها از ماشین حالت متناهی و شبکه پتری استفاده می‌کنند. در [۸] یک مدل ماژولار مبتنی بر FSA برای مدل کردن سیستم‌های چند رباتی ارائه شده و نیز ویژگی‌های کارهای آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از شبکه‌های پتری برای مدل کردن و تحلیل کمی و کیفی کارهای یک ربات راهنمای تور، در [۱۰] استفاده شده است. البته در این کار روش ساختار یافته و طراحی ماژولاری برای مدل‌سازی خود ندارد. یک چارچوب جامع در [۲] بر اساس شبکه‌های پتری ارائه شده است که امکان مدل‌سازی، تحلیل و اجرای کارهای ربات و نیز سیستم‌های چند رباتی متحرک را فراهم می‌آورد. در این کار از شبکه پتری تعمیم یافته (GSPN) استفاده شده است. این چارچوب از یک

روش لایه‌بندی شده سلسله مراتبی برای مدل‌سازی استفاده می‌کند که شامل لایه‌های محیطی، عمل‌ها و کارهای پیچیده‌تر ربات است. این پایان‌نامه از این چارچوب برای مدل‌سازی و تحلیل کارهای ربات استفاده می‌کند.

کارهای دیگری نیز از شبکه‌های پتری استفاده کرده‌اند که برخی از آنها مانند [۱۱] در زمینه ربات فوتبالیست است [۱۲]. در زمینه مدل‌سازی ربات دروازه‌بان و برای انتخاب کارهای آن، [۱۱، ۱۳] از FSA استفاده کرده‌اند. مشابه‌ترین کار به این پایان‌نامه، [۱۴] است که در آن نویسنده از GSPN ها برای مدل کردن و تحلیل کارهای یک مدل دروازه‌بان استفاده کرده است. در این کار نیز از چارچوب [۲] برای مدل‌سازی و تحلیل کمی و کیفی کار استفاده شده است. همچنین عملکرد دروازه‌بان در مواقع گوناگون قرار گرفتن در مقابل تیم‌های رقیب متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته است. این کار ([۱۴])، از نظرگاه مدل‌سازی و نیز برخی جزئیات به گونه‌ای متفاوت عمل کرده است. در این پایان‌نامه سعی شده است به زمینه‌ها و جنبه‌های دیگری نیز پرداخته شود که برخی از آن‌ها در ادامه آمده است:

- در این پایان‌نامه مدل‌های کلی‌تری ارائه شده است که امکان اعمال تغییرات دلخواه در مدل‌ها فراهم شده است.
- در اینجا، برای مدل‌سازی کارهای دروازه‌بان، نقاط تصمیم‌گیری با سوئیچ‌های تصادفی در نظر گرفته شده است که امکان اعمال الگوریتم‌های یادگیری را برای بهبود عملکرد دروازه‌بان فراهم می‌آورد.
- تحلیل منطقی و کیفی مدل‌ها در این پایان‌نامه بسیار مورد توجه بوده است چرا که اهمیت ویژه‌ای در تحلیل شبکه کلی کار ربات خواهد داشت.

در فصل‌های بعدی به ترتیب این مطالب آورده شده است:

در فصل دوم، ابتدا شبکه‌های پتری معرفی شده‌اند و انواع شبکه پتری استفاده شده در این پایان‌نامه بیان شده‌اند. سپس در فصل سوم چارچوب استفاده شده در این پایان‌نامه برای مدل کردن رفتار دروازه‌بان

به تفصیل بیان شده است. در فصل چهارم مدل پیشنهادی برای دروازه‌بان آورده شده است. در فصل پنجم روش تحلیل‌ها و نیز الگوریتم پیشنهادی برای یادگیری کار دروازه‌بان بیان شده است. در فصل ششم نتایج بدست آمده از بررسی مدل پیشنهادی آورده شده است، و در فصل آخر شرح مختصر و نتیجه‌گیری کلی از کار انجام شده در این پایان‌نامه و پیشنهادهایی برای کارهای آینده مطرح شده است.

فصل دوم

شبکه‌های پتری

شبکه‌های پتری [۴،۶] یک فرمالیسم پرکاربرد برای مدل‌سازی سیستم‌های رویداد گسسته است. در واقع شبکه‌های پتری یک ابزار مدل‌سازی گرافیکی و ریاضیاتی قابل اعمال به بسیاری از سیستم‌هاست. این شبکه‌ها مدل‌سازی بسیاری از جنبه‌های مهم سیستم‌ها مانند همگامی، دسترس‌پذیری منابع، همزمانی، موازی بودن و تصمیم‌گیری در محیط‌های تصادفی و غیرقطعی را امکان‌پذیر می‌سازد. بعنوان یک ابزار گرافیکی، این شبکه‌ها می‌توانند بعنوان یک وسیله کمکی ارتباط بصری مشابه فلوچارت‌ها و بلاک دیاگرام‌ها استفاده شوند. بعلاوه، مفهوم توکن‌ها در این شبکه‌ها برای شبیه‌سازی فعالیت‌های دینامیک و همزمان سیستم‌ها استفاده می‌شوند.

از نظرگاه تاریخی، مفهوم شبکه پتری منشأ خود را از تز دکتری آقای کارل آدام پتری دارد که در سال ۱۹۶۲ در دانشکده ریاضی و فیزیک دانشگاه صنعتی دارمستاد آلمان غربی انجام شد. از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۵، گروه ساختار محاسبات دانشگاه MIT فعال‌ترین گروه در زمینه‌ی تحقیقات پیرامون شبکه پتری بود و گزارش‌ها و تزهای فراوانی را با موضوع شبکه پتری منتشر کرد. از اواخر سال ۱۹۷۰، اروپایی‌ها نیز فعالیت گسترده خود را در زمینه شبکه پتری با برگزاری کارگاه‌های آموزشی و منتشر کردن

مجموعه مقالات کنفرانس‌هایشان آغاز کردند. به مرور و با گذشت زمان فعالیت‌ها و تحقیقات در مورد این شبکه‌ها بسیار گسترده‌تر شد و در اکثر مناطق دنیا، در گروه‌های علمی و تحقیقاتی، شبکه پتری گسترش یافت و روز به روز جایگاه خود را محکم‌تر ساخت.

آنچه بیان شد تاریخچه بسیار مختصری از شبکه‌های پتری بود. در این قسمت کاربردهای این شبکه‌ها که برای دامنه گسترده‌ای از زمینه‌ها پیشنهاد شده‌اند بحث شده است. از این شبکه‌ها می‌توان در سیستم‌هایی که همزمانی فعالیت‌ها و موازی‌سازی آنها مطرح است، استفاده کرد. دو کاربرد مهم و موفق شبکه‌های پتری در ارزیابی عملکرد و کارایی و پروتکل‌های ارتباطی است. زمینه‌های دیگر کاربرد این شبکه‌ها استفاده در مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های توزیع شده، پایگاه‌داده‌های توزیع شده، برنامه‌های موازی و همزمان، سیستم‌های کنترل تولیدی و صنعتی، سیستم‌های چند پردازنده‌ای، سیستم‌های رویداد گسسته و دیگر زمینه‌ها است [۴].

۱ تعریف ریاضیاتی و رسمی شبکه پتری

یک شبکه پتری، یک گراف دو بخشی جهت‌دار است که یک حالت اولیه دارد که آنرا مارکینگ یا نشان‌گذاری اولیه شبکه (M_0) می‌گویند. گراف مربوط به یک شبکه پتری عبارتست از یک گراف دوبخشی وزندار جهت‌دار مانند N است که شامل دو نوع رأس به نام‌های مکان‌ها و انتقال‌ها است که یال‌ها در آن از یک مکان به یک انتقال و از انتقال به یک مکان می‌تواند وجود داشته باشد. در نمایش گرافیکی، مکان‌ها بصورت دایره و انتقال‌ها بصورت یک مستطیل نشان داده می‌شوند. یال‌ها با اعداد صحیح مثبت وزن‌دار می‌شوند و وزن k برای یک یال به معنی وجود تعداد k یال موازی است.

در مدل‌سازی، با استفاده از مفاهیم شرایط و رخدادها، مکان‌ها نشان‌دهنده شرایط و انتقال‌ها نشان‌دهنده رخدادها هستند. یک انتقال (یک رخداد) دارای تعداد مشخصی مکان‌های ورودی و خروجی است که به ترتیب پیش‌شرط و پس‌شرط‌های آن رخداد می‌باشند. وجود توکن در یک مکان نشانگر صحیح بودن

یا برقراری شرطی است که با استفاده از آن مکان نشان داده شده است.

تعریف رسمی شبکه پتری [۴] بصورت زیر است:

تعریف ۱.۱. *یک شبکه پتری یک ۵ تایی بصورت* $PN = (P, T, F, W, M_۰)$ *است که در آن:*

(آ) $P = \{P_۱, P_۲, ..., P_m\}$ *یک مجموعه متناهی از مکان‌هاست.*

(ب) $T = \{t_۱, t_۲, ..., t_n\}$ *یک مجموعه متناهی از انتقال‌هاست.*

(پ) $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ *مجموعه ای از کمانهاست.*

(ت) $W : F \to \{۱, ۲, ۳, ...\}$ *یک تابع وزن است.*

(ث) $M_۰ : P \to \{۰, ۱, ۲, ۳, ...\}$ *نشان‌گذاری اولیه است.*

(ج) $P \cap T = \emptyset$ و $P \cup T \neq \emptyset$.

یک ساختار شبکه پتری $N = (P, T, F, W)$ *بدون هیچ نشان‌گذاری اولیه را با* N *نمایش می‌دهند. اگر شبکه پتری نشان‌گذاری اولیه داشته باشد آن‌را با* $(N, M_۰)$ *نمایش می‌دهند.*

۲ قانون آتش شدن انتقال در شبکه پتری

همانگونه که بیان شد، رفتار بسیاری از سیستم‌ها را می‌توان در قالب حالات سیستم و تغییرات آنها توصیف کرد. برای شبیه‌سازی رفتار پویای یک سیستم، حالت یا نشان‌گذاری در شبکه پتری بر مبنای قانون انتقال (آتش شدن) زیر تغییر می‌کند:

(آ) یک انتقال t را فعال می‌گویند هرگاه هر مکان ورودی p به t توسط حداقل $W(p,t)$ توکن نشان‌گذاری شده باشد، که در آن $W(p,t)$ وزن کمان p به t است.

(ب) یک انتقال فعال شده می‌تواند آتش شود و یا نشود (بستگی به این دارد که آن رویداد رخ داده است یا نه).

(پ) آتش شدن یک انتقال t به تعداد $W(p,t)$ توکن از هر مکان ورودی p از t حذف می‌کند و به تعداد $W(t,p)$ توکن به هر کدام از مکان‌های خروجی p از t اضافه می‌کند، که در آن $W(t,p)$ وزن کمان از t به p است.

با توجه به قانون انتقال بیان شده به نظر می‌رسد که هر مکان تعداد نامحدودی توکن می‌تواند در بر گیرد. به یک چنین شبکه پتری شبکه با ظرفیت نامحدود گفته می‌شود. برای مدل کردن بسیاری از سیستم‌های فیزیکی، معمولا یک حد بالایی برای تعداد توکن‌هایی که هر مکان می‌تواند در بر بگیرد تعیین می‌کنند. چنین شبکه پتری شبکه با ظرفیت محدود می‌گویند.

فصل سوم

چارچوب مدل‌سازی فعالیت ربات با استفاده از شبکه پتری

در این بخش چارچوبی ([۲]) که در این پایان‌نامه از آن برای مدل کردن کار ربات دروازه‌بان استفاده شده است، معرفی می‌شود. همانطور که ذکر شد این چارچوب بر اساس شبکه‌های پتری است و یک راه‌حل رسمی برای طراحی فعالیت و کار ربات، با در نظر گرفتن درجه بالایی از ماژولاریته و با استفاده از لایه‌های مختلف، فراهم می‌کند. بدین ترتیب، یک مدل کامل و کلی یک سیستم بزرگ می‌تواند از ترکیب مدل‌های کوچکتر که جداگانه طراحی شده‌اند، بدست آید. بنابراین، بحث کلیدی در این بین، ترکیب یا گسترش همه مدل‌ها در یک مدل کامل نهایی است که در ادامه بیشتر راجع به آن صحبت خواهد شد.

۱ بلاک‌های ساختاری چارچوب

در این چارچوب شبکه‌های پتری با اضافه کردن چند ویژگی اضافه‌تر بکار برده شده است، از جمله اینکه در این چارچوب انواع مختلف مکان‌ها را داریم که هرکدام نشان‌دهنده نوع خاصی مکان است و از طریق پیشوندهایی که در ابتدای نام آن‌ها اضافه می‌شود از هم متمایز می‌شوند. این نامگذاری بدلیل راحتی کار با انواع مختلف مکان‌ها بکار برده می‌شود. انواع مکان‌های استفاده شده در این چارچوب در زیر آمده است:

(آ) **مکان‌های گزاره‌ای:** مکان‌های گزاره‌ای مکان‌هایی هستند که برای نشان دادن دانش در قالب مجموعه‌ای از گزاره‌های منطقی بکار برده می‌شود که همواره شامل صفر یا یک توکن می‌باشند. هر گزاره با دو مکان شبکه پتری مدل می‌شود، مثبت و منفی یا نقیض یک گزاره که به ترتیب با $p.$ و $p.NOT_$ نمایش داده می‌شوند.

(ب) **مکان‌های عمل:** یک عمل اساسی‌ترین و ابتدایی‌ترین عنصر برای انجام یک کار یا رفتار توسط یک ربات است. اجرای یک عمل باعث تغییر در جهان می‌شود. مکان‌های عمل بلاک‌های اولیه برای ایجاد مدل‌های شبکه پتری کار ربات است. این‌ها مکان‌های اولیه اجرای عمل هستند که قابل تجزیه به اجزای کوچکتر نیستند. مکان‌های عمل را با برچسبی با پیشوند $a.$ نشان می‌دهند.

(پ) **مکان‌های کار یا رفتار:** این مکان‌ها نشان دهنده کار ربات هستند و برای ساخت سلسله مراتب شبکه‌های پتری استفاده می‌شوند که ماژولاریته بودن طراحی را نشان می‌دهند. این مکان‌ها دارای برچسب با پیشوند $t.$ می‌باشند.