بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق
گرایش کنترل

طراحی کنترل کننده هیبریدی فازی توسط الگوریتم اتوماتای یادگیری

استاد راهنما:
دکتر علی اکبر قره ویسی

مولف:
محمودرضا معرفت

شهریورماه ۱۳۹۰

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی برق

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمیشود.

دانشجو : **محمودرضا معرفت**

استاد راهنما : **دکتر علی اکبر قره ویسی**

استاد مشاور :

داور ۱ : **دکتر محمود سموات**

داور ۲ : **دکتر محمدعلی ولی**

نماینده ی تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع : **دکتر رضا رهگذر**

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : **دکتر حجت اله رنجبر**

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

پدر و مادر دلسوزم که در تمام دوران تحصیل پشتیبانم بوده اند.

تشکر و قدردانی:

از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر قره ویسی که در طول تحصیل در این مقطع به خصوص در تدوین و نگارش این پایان نامه با راهنمایی های ارزشمند و مدبرانه خود مرا یاری دادند، کمال تشکر را دارم. همچنین از اساتید محترم جناب آقای دکتر سموات و جناب آقای دکتر ولی که دعوت داوری این پایان نامه را پذیرفتند، سپاسگزارم.

چکیده

یکی از انواع سیستم های غیرخطی، سیستم های هیبریدی می باشند. این سیستم ها دارای چند مود کاری بوده و در هر مود معادلات دینامیکی متفاوتی بر آن ها حاکم است. با شروع کار سیستم از یک شرایط اولیه معین در یک مود، تحت شرایط خاصی سیستم به مودهای دیگر انتقال می یابد. با توجه به ساختار هیبریدی بسیاری از سیستم های صنعتی شامل سیستم های سویچینگ مانند خودروهای هیبریدی، سیستم تعلیق خودرو، خطوط تولید و ... ضرورت بررسی کنترل و تأمین عملکرد مناسب این سیستم ها مشخص می گردد. با توجه به غیرخطی بودن سیستم های هیبریدی استفاده از الگوریتم های کلاسیک برای کنترل بهینه این سیستم ها دشوار بوده و پیچیدگی های خاص خود را دارد؛ در نتیجه امروزه استفاده از الگوریتم های ابتکاری شامل عدم قطعیت برای کنترل سیستم های هیبریدی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. در این پایان نامه ابتدا روش های گوناگون مدلسازی سیستم های هیبریدی تشریح شده و روش اتوماتای هیبریدی به عنوان جامع ترین مدل نمایش و تجزیه و تحلیل سیستم های هیبریدی انتخاب گردیده است. سپس یکی از استراتژی های کنترل بهینه با عنوان یادگیری تقویتی و الگوریتم های مختلف کنترل مرتبط با آن مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه الگوریتم مورد استفاده در این پایان نامه به نام الگوریتم اتوماتای یادگیری تقویتی پیوسته و گسسته توضیح داده شده است. در نهایت دو سیستم کنترل ورود آب به دو تانک و کنترل حرکت تک چرخ به سمت مبدأ با استفاده از کنترل کننده های فازی و PI شبیه سازی شده و از الگوریتم اتوماتای یادگیری تقویتی پیوسته و گسسته برای تنظیم بهینه پارامترهای کنترل کننده های مذکور استفاده گردیده است.

کلمات کلیدی: سیستم های هیبریدی، اتوماتای هیبریدی، الگویتم اتوماتای یادگیری تقویتی، کنترل فازی، کنترل PI

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- بیان مسئله..... ۲

۱-۲- دلائل اهمیت..... ۲

۱-۳- سیستم های هیبریدی..... ۲

۱-۴- الگوریتم های بهینه سازی..... ۳

۱-۵- الگوریتم اتوماتای یادگیری تقویتی پیوسته و گسسته..... ۴

۱-۶- مثال های مورد مطالعه..... ۴

۱-۷- اجزای پایان نامه..... ۵

فصل دوم: روش های مدلسازی سیستم های هیبریدی..... ۶

۲-۱- شبکه پتری..... ۷

۲-۲ - اتوماتای هیبریدی..... ۱۴

۲- ۳- مدل MLD..... ۱۹

۲- ۴- مدل سیستم ذرات..... ۲۰

فصل سوم: انواع روش های یادگیری تقویتی..... ۲۳

۳-۱- یادگیری تقویتی..... ۲۴

۳-۲- فرایند تصمیم گیری مارکوف..... ۲۷

۳-۳- مدل عامل- ارزیاب..... ۲۸

۳-۴- یادگیری Q..... ۲۹

۳-۵- SARSA..... ۳۱

۳-۶- خطای تفاضل گذرا..... ۳۲

۳-۷- روش مونته کارلو..... ۳۴

۳-۸- اتوماتای یادگیری تقویتی پیوسته..... ۳۶

۳-۹- روش ترکیبی اتوماتای یادگیری تقویتی گسسته و پیوسته..... ۳۹

۳-۱۰- اتوماتای یادگیری تقویتی گسسته..... ۴۰

فصل چهارم: طراحی کنترل هیبریدی برای سیستم دو تانک..... ۴۴

۴-۱- مدلسازی سیستم در محیط سیمولینک..... ۴۵

۴-۲- شبیه سازی سیستم با کنترل کننده هیبریدی فازی..... ۴۷

۴-۲-۱- ساختار کنترل کننده فازی..... ۴۷

۴-۲-۲- شبیه سازی سیستم..... ۴۹

۴-۳- تحلیل شبیه سازی ها..... ۵۴

فصل پنجم: طراحی کنترل حرکت تک چرخ به سمت مبدأ..... ۵۵
۵-۱- مدلسازی تک چرخ..... ۵۶
۵-۲- طراحی کنترل و شبیه سازی سیستم..... ۵۸
۵-۲-۱- کنترل فازی..... ۵۸
۵-۲-۲- کنترل PI..... ۶۴
۵-۲-۲-۱- ساختار کنترل کننده PID..... ۶۴
۵-۲-۲-۲- شبیه سازی با کنترل کننده PI..... ۶۵
۵-۳- تحلیل نتایج شبیه سازی ها..... ۷۱
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۷۲
۶-۱- جمع بندی..... ۷۳
۶-۲- پیشنهادات..... ۷۳
مراجع..... ۷۴

فهرست شکل ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۲-۱- اجزای موجود در شبکه های پتری..... ۸
شکل ۲-۲- انواع انتقال ها در یک شبکه پتری..... ۸
شکل ۲-۳- سیستم کنترل تانک..... ۹
شکل ۲-۴- مدل شبکه پتری کلاس تانک..... ۹
شکل ۲-۵- مدل اتفاق گسسته شبکه پتری..... ۱۰
شکل ۲-۶- مدل یک شبکه پتری هیبریدی..... ۱۳
شکل ۲-۷- اجزای اتوماتای محدود در یک سیستم دارای چهار حالت..... ۱۵
شکل ۲-۸- اجزای اتوماتای هیبریدی در یک سیستم دارای چهار مود کاری..... ۱۶
شکل ۲-۹- نمایش زمان به صورت گسسته $Q(i)$ و پیوسته $x(i,t)$..... ۱۷
شکل ۲-۱۰- مدل سیستم ذرات برای حرکت غلتک روی سطح هموار..... ۲۱

شکل ۳-۱- چارچوب RL برای کنترل بهینه سیستم..... ۲۴
شکل ۳-۲- انواع راه حل های مورد استفاده در یادگیری تقویتی..... ۲۶
شکل ۳-۳- چارچوب فرایند تصمیم گیری مارکوف..... ۲۷
شکل ۳-۴- مدل عامل- ارزیاب در اتوماتای یادگیری تقویتی..... ۲۹
شکل ۳-۵- خطای تفاضل گذرا در چارچوب عامل- ارزیاب..... ۳۲
شکل ۳-۶- خطای تفاضل گذرا در سیستم حلقه باز..... ۳۳
شکل ۳-۷- ساختار و نحوه محاسبه خطای تفاضل گذرا..... ۳۳
شکل ۳-۸- مقایسه روش های پیش بینی مونته کارلو و TD با DP و جستجوی کامل ۳۵
شکل ۳-۹- دیاگرام یادگیری تقویتی..... ۳۶
شکل ۳-۱۰- رابطه سیگنال تقویت و هزینه..... ۳۸
شکل ۳-۱۱- رویه همگرایی پیوسته..... ۳۹
شکل ۳-۱۲- شماتیک روش DARLA..... ۴۱
شکل ۳-۱۳- رویه همگرایی روش DARLA..... ۴۳

شکل ۴-۱- شمای سیستم با دو تانک..... ۴۵
شکل ۴-۲- اجرای لرزش در سیستم شامل دو تانک..... ۴۶
شکل ۴-۳- شمای سیستم با دو تانک در نرم افزار سیمولینک..... ۴۶
شکل ۴-۴- شمای بلوک تعریف مود کاری سیستم در نرم افزار سیمولینک..... ۴۷
شکل۴-۵- ساختار کلی سیستم استنتاج فازی..... ۴۸

شکل۴-۶- نمونه ای از استنتاج فازی..... ۴۸
شکل ۴-۷- خروجی سیستم بدون کنترل کننده ۴۹
شکل ۴-۸- خروجی بهینه سیستم با استفاده از الگوریتم DARLA ۵۰
شکل ۴-۹- سیگنال خروجی دو کنترلر فازی تحت الگوریتم DARLA..... ۵۱
شکل ۴-۱۰- تابع توزیع احتمال گسسته (DPDF) برای پارامتر میانگین تابع عضویت اول فازی ۵۱
شکل ۴-۱۱- خروجی بهینه سیستم با استفاده از الگوریتم CARLA ۵۲
شکل ۴-۱۲- سیگنال خروجی دو کنترلر فازی تحت الگوریتم CARLA..... ۵۳
شکل ۴-۱۳- تابع توزیع احتمال پیوسته (CPDF) برای پارامتر میانگین تابع عضویت اول فازی ۵۳

شکل ۵-۱- نمای جانبی و بالای تک چرخ..... ۵۶
شکل ۵-۲- شمای تک چرخ پیاده سازی شده با کنترل فازی در نرم افزار سیمولینک ۵۹
شکل ۵-۳- مسیر حر کت تک چرخ با کنترل فازی و الگوریتم DARLA..... ۶۱
شکل ۵-۴- سیگنال های خروجی کنترل کننده های فازی u_1 و u_2 در الگوریتم DARLA..... ۶۲
شکل ۵-۵- مسیر حر کت تک چرخ با کنترل فازی و الگوریتم CARLA..... ۶۲
شکل ۵-۶- سیگنال های خروجی کنترل کننده های فازی u_1 و u_2 در الگوریتم CARLA..... ۶۳
شکل ۵-۷- تابع توزیع احتمال گسسته (DPDF) با کنترل فازی..... ۶۳
شکل ۵-۸- تابع توزیع احتمال پیوسته (CPDF) با کنترل فازی..... ۶۴
شکل ۵-۹- ساختار کنترل کننده PID..... ۶۴
شکل ۵-۱۰- شمای تک چرخ پیاده سازی شده با کنترل PI در نرم افزار سیمولینک..... ۶۶
شکل ۵-۱۱- مسیر حر کت تک چرخ با کنترل PI تحت الگوریتم DARLA..... ۶۷
شکل۵-۱۲- سیگنال خروجی دو کنترلر PI تحت الگوریتم DARLA..... ۶۸
شکل ۵-۱۳- مسیر حر کت تک چرخ با کنترل PI تحت الگوریتم CARLA..... ۶۹
شکل ۵-۱۴- سیگنال خروجی دو کنترلر PI تحت الگوریتم CARLA..... ۶۹
شکل ۵-۱۵- تابع توزیع احتمال گسسته (DPDF) با کنترل PI..... ۷۰
شکل ۵-۱۶- تابع توزیع احتمال پیوسته (CPDF) با کنترل PI..... ۷۰

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۴-۱- پارامترهای بهینه توابع عضویت فازی گوسی در DARLA..... ۵۰
جدول ۴-۲- پارامترهای بهینه توابع عضویت فازی گوسی به دست آمده از CARLA..... ۵۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

در این پایان نامه هدف بررسی یک روش جدید در کنترل سیستم های هیبریدی است. در این روش از ترکیب دو الگوریتم ابتکاری DARLA[1] و CARLA[2] با کنترل فازی برای کنترل بهینه سیستم های هیبریدی استفاده شده است. بدین ترتیب که سیستم کنترل فازی برای تعیین ورودی های سیستم هیبریدی در یک حلقه فیدبک قرار گرفته است؛ اما پارامترهای این سیستم به وسیله الگوریتم ترکیبی DARLA و CARLA تنظیم شده و مقادیر بهینه این پارامترها برای تأمین معیارهای عملکرد مناسب سیستم تعیین می گردد.

۱-۲- دلائل اهمیت

بهینه سازی و کنترل بهینه در بسیاری از سیستم ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به همین جهت تاکنون روش های متعددی برای آن طراحی شده است که حجم عظیمی از دانش کنترل بهینه و سیستم های هوشمند را به خود اختصاص داده است. الگوریتم های قطعی مبتنی بر کمینه سازی یا بیشینه سازی گرادیان و الگوریتم های متعدد مبتنی بر فرایندهای تصادفی و خواص آماری سیستم ها در همین راستا طراحی شده اند. [۱] الگوریتم ترکیبی DARLA و CARLA نیز با تنظیم مناسب پارامترهای توابع توزیع احتمال انتخاب نقاط، نقطه بهینه را در فضای جستجو، کاوش می کند.

از سوی دیگر یکی از کنترل کننده هایی که امروزه زیاد مورد توجه قرار گرفته و استفاده می شود، کنترل کننده فازی می باشد. تنظیم پایگاه قواعد و پارامترهای توابع عضویت فازی این کنترل کننده جهت عملکرد مناسب سیستم، نیاز به دقت و ظرافت زیادی دارد و معمولاً از اطلاعات یک شخص یا سیستم خبره برای طراحی آن استفاده می گردد.

در این پایان نامه، با استفاده از الگوریتم ترکیبی DARLA و CARLA، پارامترهای بهینه توابع عضویت فازی انتخاب می گردند.

۱-۳- سیستم های هیبریدی

بسیاری از سیستم های مورد استفاده در صنایع، سیستم های غیرخطی هستند. این سیستم ها دارای دینامیک های پیچیده بوده و کنترل آن ها شامل پایدارسازی و تأمین معیارهای عملکردی سختی های خاص خود را دارد. دسته ای از سیستمهای غیرخطی، سیستم های هیبریدی می باشند. در سیستم های هیبریدی دینامیک های پیوسته و گسسته به صورت ترکیبی وجود دارد. معمولاً در این گونه سیستم ها، چند مود کاری وجود دارد که همین تعدد مودها دینامیک گسسته سیستم است و دینامیک های پیوسته در هر مود متفاوت با مود دیگر تعریف می شوند. [۲]

سیستم های هیبریدی را به شکل های متفاوت می توان مدل کرد که هر یک از این مدل ها بر ویژگی خاصی از این سیستم ها تأکید می کند و درعمل با توجه به هدف مدلسازی باید مدل مناسب برای یک

[1] Discrete Action Reinforcement Learning Automa
[2] Continuous Action Reinforcement Learning Automa

سیستم هیبریدی تعیین کرد. به طور مثال در روش مدلسازی شبکه پتری[1]، بر دینامیک های گسسته تأکید بیشتر می گردد و دینامیک های پیوسته در حاشیه آن با کمک شبکه پتری پیوسته و شبکه های پتری شیءگرا مورد بحث قرار می گیرد. [۳] از سوی دیگر در روش مدلسازی اتوماتای هیبریدی[2] بیشتر بر ماهیت دینامیک های پیوسته درون هر مود با کمک معادلات دیفرانسیل و فضای حالت تأکید می شود و مجموعه مودهای سیستم (دینامیک های گسسته) در قالب اتوماتای محدود[3] مدل می گردد. [۲] روش MLD[4] نیز برای سیستم هایی به کار می رود که دینامیک های آنها در مودهای مختلف نزدیک به یکدیگر است و با تعریف مجموعه ای از متغیرهای منطقی با مقادیر صفر و یک می توان مودهای گوناگون را از هم متمایز کرد. [۴] در روش سیستم ذرات[5] هم با تأکید بر گسسته سازی، سیستم به صورت مجموعه ای از ذرات کوچک در نظر گرفته می شود که ویژگی ها و دینامیک های خاصی بر آن ها حاکم است. پس از شروع حرکت سیستم از یک شرایط اولیه، همان دینامیک های حاکم، حرکت و تغییر حالت مجموعه سیستم را در قالب مودهای گوناگون به نمایش می گذارد. [۵] با بررسی جزئیات مجموعه روش های فوق می توان به این نتیجه رسید که روش اتوماتای هیبریدی به بهترین شکل انواع دینامیک های سیستم هیبریدی را مدل می کند.

۱-۴- الگوریتم های بهینه سازی

در سیستم های کنترل، همواره برای تأمین پایداری و رسیدن به عملکرد مناسب معیارهای خاصی تعیین می گردد که هدف سسیتم کنترل رسیدن به این معیارها است. یکی از راهکارها برای تحقق این موضوع، تعریف توابع هدف در راستای معیارهای عملکرد سیستم و تلاش برای بهینه کردن مقدار تابع هدف (بیشینه یا کمینه سازی) می باشد که این راهکار در کنترل بهینه مورد بحث و بررسی قرار می گیرد. استراتژی ها و الگوریتم های مختلفی برای کنترل بهینه سیستم ها به کار می رود که در یک دسته بندی کلی به دو دسته الگوریتم ها کلاسیک و ابتکاری تقسیم می شوند. در الگوریتم های کلاسیک عموماً روش های قطعی مبتنی بر محاسبات ریاضی دقیق استفاده می گردد در حالی که در الگوریتم ها ابتکاری از پدیده های احتمالی و تصادفی برای جستجوی نقاط بهینه استفاده می شود.

یکی از استراتژی های کلی برای حل مسائل کنترل بهینه یادگیری تقویتی است که در آن در طول یک الگوریتم تکراری با بررسی بازخورد حالت سیستم در هر تکرار، چگونگی عمل یک عامل به منظور بهینه سازی تابع هدف مورد بررسی قرار می گیرد. [۶] برخی روش های مورد استفاده در یادگیری تقویتی عبارتند از یادگیری Q[6]، SARSA[7] وچارچوب عامل- ارزیاب[8].

---

[1] Petri- Net
[2] Hybrid Automata
[3] Finite Automata
[4] Mixed Logical Dynamics
[5] Particle Systems
[6] Q_ Learning
[7] State-Action-Reward-State-Action
[8] Actor Critic

۱-۵- الگوریتم اتوماتای یادگیری تقویتی پیوسته و گسسته[1]

در الگوریتم ترکیبی اتوماتای یادگیری تقویتی گسسته و پیوسته (DARLA و CARLA) نقطه بهینه فضا به منظور بیشینه یا کمینه سازی یک تابع هدف جستجو می گردد. در این الگوریتم ابتدا فضای جستجو به تعداد معینی محدوده مربعی تقسیم شده و با استفاده از DARLA محدوده بهینه پیدا می گردد و سپس با استفاده از CARLA نقطه بهینه در این محدوده جستجو می شود. در هر یک از این الگوریتم ها در ابتدا نقاط فضا به صورت تصادفی با توزیع احتمال یکنواخت جستجو می گردند تا یک نقطه زیربهینه یافت شود اما در مراحل بعد نقاط نزدیکتر به نقطه زیربهینه به دست آمده، از شانس بیشتری برای انتخاب شدن برخوردارند. با توجه به اینکه تعداد تکرار الگوریتم از ابتدا تعیین می گردد، در $3/4$ تکرارها، الگوریتم به دنبال کاوش در محیط و در $1/4$ انتهایی الگوریتم به دنبال همگرایی و یافتن پاسخ بهینه بوده و از شدت کاوش خود می کاهد. [۷]

۱-۶- مثال های مورد مطالعه

در این پایان نامه دو سیستم مورد مطالعه قرار گرفته و با الگوریتم ترکیبی DARLA و CARLA کنترل شده اند. هدف اصلی در کنترل این دو سیستم استفاده از الگوریتم های فوق برای تنظیم پارامترهای کنترل کننده فازی و بررسی کارایی این روش در کنترل بهینه سیستم هاست. در فصل پنجم سیستم کنترل ورود آب به دوتانک و در فصل ششم سیستم کنترل حرکت یک تک چرخ[2] به سمت مبدأ مختصات بررسی می گردد.

در سیستم کنترل ورود آب، هدف تنظیم نحوه تقسیم جریان ورودی آب درطول زمان بین دو تانک است. از آنجا که هر دو تانک علاوه بر جریان ورودی، جریان خروجی آب با دبی معین نیز دارند، کنترل جریان ورودی طوری باید انجام گیرد که دو تانک هیچگاه سرریز آب نداشته یا تخلیه کامل نگردند. یکی از مشکلاتی که در کنترل این سیستم خودنمایی می کند، استعداد زیاد این سیستم برای ایجاد پدیده لرزش است که در آن سیستم کنترل با سرعت بسیار زیاد بین مودهای مختلف سویچ نموده و در نهایت ناپایدار می گردد.

در سیستم کنترل حرکت یک تک چرخ به سمت مبدأ، هدف حرکت تک چرخ به گونه ایست که کمترین مسیر در کمترین زمان با کمترین انرژی کنترلی طی شود. مسئله قابل توجه در این تک چرخ وجود دو مود حرکت چرخش و لغزش است که در مود چرخشی سیستم حرکت معمولی دارد و در مود لغزشی تک چرخ سر می خورد. با توجه به وجود معیارهای عملکرد مختلف برای این سیستم و به علت در نظر گرفتن حالت لغزش، کنترل این سیستم پیچیدگی های خاص خود را دارد که در فصل مربوطه بررسی می گردد. [۸]

[1] Continuous & Discrete Action Reinforcement Learning Automa Algorithm
[2] Unicycle

۱-۷- اجزای پایان نامه

در ادامه این پایان نامه، در فصل دوم روش های مختلف مدلسازی سیستم های هیبریدی مورد بررسی قرار می گیرد.

در فصل سوم راهکار یادگیری تقویتی و روش های مختلف مرتبط با آن برای کنترل بهینه سیستم هیبریدی بررسی شده است. در ادامه به طور خاص الگوریتم اتوماتای یادگیری تقویتی پیوسته و به دنبال آن الگوریتم اتوماتای یادگیری تقویتی گسسته که از پیوسته مشتق شده است، تشریح گردیده و در نهایت ترکیب دو الگوریتم برای افزایش کارایی آن در بهینه سازی بیان شده است.

در فصل چهارم ترکیب دو الگوریتم فوق برای تنظیم پارامترهای کنترل فازی روی سیستم کنترل ورود آب به تانک پیاده گردیده است.

در فصل پنجم همان الگوریتم روی سیستم کنترل حرکت تک چرخ به سمت مبدأ اعمال شده و عملکرد آن با به کارگیری الگوریتم اتوماتای یادگیری ترکیبی برای تنظیم پارامترهای کنترل PI مقایسه شده است.

در نهایت در فصل ششم، نتیجه گیری کار انجام شده و پیشنهاداتی برای ادامه کار در این زمینه ارائه گردیده است.

فصل دوم

روش های مدلسازی سیستم های هیبریدی

در این فصل به روش های مختلف مدلسازی سیستم های هیبریدی می پردازیم.
این روش ها عبارتند از:

۱- شبکه پتری
۲- اتوماتای هیبریدی
۳- MLD
۴- سیستم ذرات

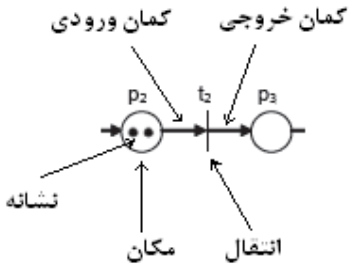
۲-۱- شبکه پتری

یکی از راه های مدلسازی و نمایش سیستم های هابرید، استفاده از شبکه های پتری است. این شبکه ها بیشتر به دینامیک های گسسته تکیه دارند و در ابتدا صرفاً برای نمایش سیستم های گسسته به کار می رفته اند. شبکه پتری برای بهینه سازی عددی شبکه های گسسته بسیار کارامد و مقاوم است اما از سوی دیگر نسبت به سایر مدل ها پیچیدگی بیشتری دارد. [۹]
اجزای این شبکه عبارتند از:

۱- مکان[۱]: هر مکان نمایش دهنده حالتی از سیستم است که می تواند شامل نشانه ها[۲] یا معادلات دیفرانسیل (در شبکه پیوسته) باشد.
۲- انتقال[۳]: هر انتقال نشان دهنده یک سویچینگ[۴] از یک مکان به مکان دیگر است.
۳- نشانه[۵]: هر مکان شامل تعداد صحیح و مثبت یا صفر نشانه می باشد.
۴- کمان های ورودی و خروجی[۶]: کمان های ورودی یک انتقال را به مکان پیش از آن و کمان های خروجی یک انتقال را به مکان پس از آن متصل می کند.
۵- وزن کمان: وزن کمان متصل به یک مکان نشان دهنده این نکته است که در هر انتقال چه تعداد نشانه از آن مکان حذف یا به آن اضافه می شوند.
۶- نشانه گذاری[۷]: توزیع نشانه ها در مکان ها را نشانه گذاری می نامند؛ نشانه گذاری در واقع حالت سیستم را در هر زمان نمایش می دهد. [۳]

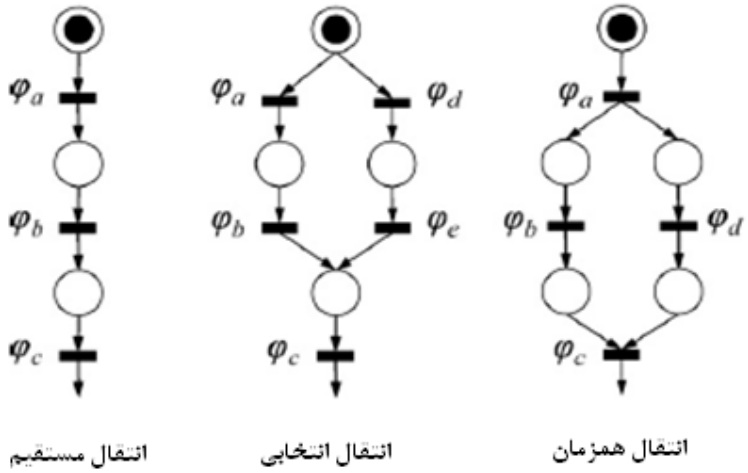
شکل (۲-۱) اجزای موجود در یک شبکه پتری را به صورت نمادین نمایش می دهد.

[1] Place
[2] Token
[3] Transition
[4] Switching
[5] Token
[6] Arc
[7] Marking



شکل ۲-۱- اجزای موجود در شبکه های پتری

چگونگی وقوع یک انتقال: وقوع انتقال نشان دهنده رفتار سیستم و سویچینگ بین مودهای مختلف است. هرگاه تعداد نشانه های مکان ورودی یک انتقال از وزن کمان ورودی آن بیشتر شود، انتقال اتفاق می افتد و نشانه ها از مکان ورودی انتقال به مکان خروجی آن منتقل می گردند. انتقال ها می توانند به صورت مستقیم، انتخابی یا همزمان باشند که در شکل (۲-۲) نمایش داده شده است. [۹]

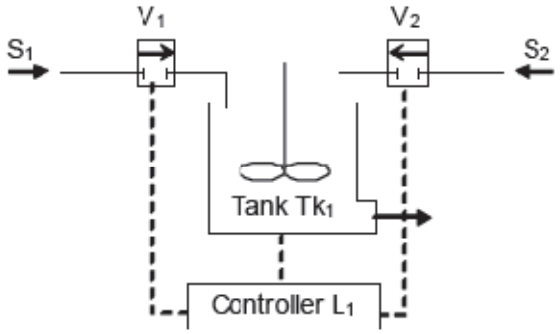


شکل ۲-۲- انواع انتقال ها در یک شبکه پتری

در انتقال مستقیم مسیر جابه جایی نشانه ها ثابت و مشخص است؛ در انتقال انتخابی نشانه ها می توانند از میان دو یا چند مسیر یکی را برای جابه جایی انتخاب کنند؛ در انتقال همزمان نشانه ها دو یا چند مسیر را باید به طور همزمان بپیمایند. باید توجه داشت که تفاوت مسیر انتخابی و همزمان در شکل این است که انشعاب در انتقال انتخابی از یک مکان و در انتقال همزمان از یک انتقال شروع می گردد. شبکه پتری به خوبی توانایی مدلسازی ناسازگاری (انتقال انتخابی) و هم زمانی (انتقال همزمان) در سیستم های هیبریدی را دارد.

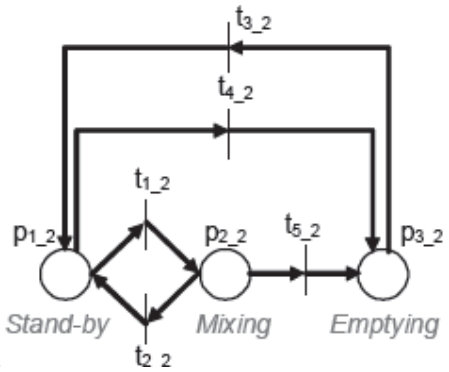
شبکه پتری را میتوان براساس مفاهیم مدلسازی شیء گرا نیز فورمول بندی کرد. در این روش، شبکه پتری به چند زیرشبکه تقسیم می شود که هرکدام یک کلاس از اشیا را تشکیل می دهند. مثلاً در سیستم کنترل تانک مطابق شکل (۲-۳)، هر کدام از تانک(TK)، شیرکنترل(V) و کنترل کننده(L) یک کلاس از اشیا در

شبکه پتری را نشان می دهند. V_1 و V_2 اشیای کلاس V، TK_1 شیئی از کلاس TK و L_1 شیئی از کلاس L است.



شکل ۲-۳- سیستم کنترل تانک

مدل شبکه پتری کلاس تانک (زیرشبکه TK) در شکل (۲-۴) نمایش داده شده است.



شکل ۲-۴- مدل شبکه پتری کلاس تانک

در شبکه پتری شیءگرا در صورت ثابت و معین بودن تعداد اشیا می توان شبکه را باز و مسئله را با شبکه پتری معمولی حل کرد. همچنین از این طریق می توان مدلسازی شبکه پتری را به مدلسازی اتوماتای هیبریدی نزدیک ساخت. [۳]

لازم به ذکر است تفاوت مدل اتفاق گسسته شبکه پتری و مدل زمان گسسته سیستمها این است که در مدل زمان گسسته، زمان های مورد استفاده در مدلسازی، زمان های واقعی است اما در مدل اتفاق گسسته شبکه پتری زمان های به کار برده شده به عنوان توصیف کیفی جزئی از فرایند است و مدلسازی شبکه پتری کیفی است نه کمّی[۱۰] به عبارت دیگر، در مدل شبکه پتری، سیستم به صورت اتفاق گسسته[1] توصیف می شود و توصیف کیفی از سیستم در هر مکان ارائه می گردد. البته می توان برای مشخص شدن وضعیت زمانی فرایند، به انتقال ها یا مکان ها زمان معین نسبت داد که نمونه ای از آن در شکل (۲-۵) نمایش داده شده است.

[1] discrete-event