

بسم الله الرحمن الرحيم



مرکز آموزشهای الکترونیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوش مصنوعی

یک مدل کنترل رباتیک جمعی با استفاده از شبکه‌های پتری

نگارنده: فاطمه عزآبادی

استاد راهنما

دکتر علی اکبر پویان

استاد مشاور

دکتر فاطمه جعفری نژاد

شهریور ۱۳۹۶



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، اوزیایی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد حاتم / آقای فاطمه عزآبادی
با شماره دانشجویی ۹۴۱۲۲۲۴ رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی
بجای عنوان یک مدل کنترل رباتیک جمعی با استفاده از شبکه های پتری که در تاریخ ۹۶/۰۴/۱۳ با حضور
هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: <u>خوب</u>) ☒ مردود ☐			
نوع تحقیق: ☐ نظری ☐ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر علی اکبر بویان	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور	دکتر فاطمه جعفری نژاد		
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی اکبر بویان		
۵- استاد عمیق اول	دکتر مرتضی راهدی	استادیار	
۶- استاد عمیق دوم	دکتر ابوالقاسمی	استادیار	

نام و نام خانوادگی دانشجو: حاتم عزآبادی

تاریخ امضاء و مهر دانشجو: ۱۳۹۷/۷/۲۵



تصدیق در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (موضوعی که در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع

مجدد باید و در آن باره برگزار شود)

" تقدیم به تمام کسانی که از جان گرانمایه خویش در جهت رشد علم و اعتلای فرهنگ بشری خالصانه گذشتند."

تشکر و قدردانی

سپاس خداوند را که بر بشر منت نهاد و تارهای جهل و نادانی را با دستهای قدرتمندش از نگاه او زدود و راهی برایش به سوی علم و کمال بشری باز کرد.

از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر پویان و سرکار خانم دکتر جعفری نژاد، صمیمانه تشکر می‌کنم که در این کار مرا یاری کردند، هر چند بضاعت کم بود و توانم اندک.

و با سپاس از همسرم که در تمام راه مشوق و پشتیبانم بود و فرزندان نازنینم که امیدوارم لذت آموختن را هر چه بیشتر دریابند.

تعهد نامه

اینجانب فاطمه عزآبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته هوش مصنوعی دانشکده مرکز آموزشهای الکترونیکی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه یک مدل کنترل رباتیک جمعی با استفاده از شبکه‌های پتری

تحت راهنمایی جناب آقای دکتر علی اکبر پویان متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .
- تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

رباتیک‌جمعی^۱ حیطه‌ی کاری جدیدی است که از همکاری چندین ربات با قابلیت‌های خاص برای رسیدن به اهداف مورد نظر، استفاده می‌کند. مفهوم ازدحام^۲ یا تجمیع در زمینه‌ی ساختار رباتیک‌جمعی، از زندگی حشرات و حیواناتی که به صورت اجتماعی زندگی می‌کنند الهام گرفته‌است تا بتواند رفتار گروهی از ربات‌ها را به رفتارهای اجتماعی حشرات نزدیک کند. بنابراین کنترل رباتیک‌جمعی دارای ماهیت هیورستیک^۳ یا اکتشافی است و نمی‌تواند فرمال^۴ باشد. روش‌های فرمال، روش‌هایی هستند که قابلیت تحلیلی و اثبات با فرمول‌های ریاضی را دارا می‌باشند. بر خلاف آن مدل-سازی با شبکه‌های پتری^۵، حالت فرمال داشته و قابلیت تبدیل به کدهای اجرایی را دارند. از این رو اگر بتوانیم برای کنترل رباتیک‌جمعی از ساختار فرمال و قابلیت مدل‌سازی آن با شبکه‌های پتری استفاده کنیم به نتایج بهتری دست خواهیم یافت.

ما در ابتدا به بررسی تحلیلی و مقایسه‌ای رباتیک‌جمعی می‌پردازیم. سپس با استفاده از مکانیزم‌های کنترلی رباتیک‌جمعی و ترکیب این مکانیزم‌ها با مکانیزم‌های کنترلی شبکه‌های پتری، سعی داریم ماهیتهای هیورستیک را به ماهیتهای فرمال تبدیل کنیم. برای دستیابی به این هدف، ما سعی داریم از نوعی معماری استفاده کنیم که در آن می‌توان کارهای پیچیده^۶ را به کارهای ساده‌تر، تجزیه کرد. در این معماری با خوشه‌بندی^۷ ربات‌ها و تقسیم وظایف بین خوشه‌ها، علاوه بر بهینه‌کردن تقسیم وظایف برای ربات‌ها، مسائل کنترلی ربات‌ها نیز تا حد زیادی بهینه‌سازی می‌شود. همچنین پیچیدگی مساله نیز به صورت قابل توجهی کاهش خواهد یافت. با در نظر گرفتن مسائل فوق می‌توان ساختار رباتیک جمعی را توسط شبکه‌های پتری مدل‌سازی کرد.

کلمات کلیدی: کنترل رباتیک‌جمعی، الگوریتم‌های ازدحام، شبکه‌های پتری

¹ swarm robotic

² swarm

³ hiurestic

⁴ formal

⁵ Petri nets

⁶ complex task

⁷ clustering

فهرست مطالب

فصل اول:	۱.....
مقدمه	۱.....
۱-۱- مقدمه	۲.....
فصل دوم:	۵.....
ادبیات موضوع	۵.....
۱-۲- ازدحام یا تجمیم:	۶.....
۲-۲- تعریف رباتیک جمعی:	۹.....
۳-۲- ویژگیهای رباتیک جمعی:	۱۱.....
۱-۳-۲ موازیکاری:	۱۱.....
۲-۳-۲ پایداری:	۱۱.....
۳-۳-۲ مقیاس پذیری:	۱۲.....
۴-۳-۲ استقلال:	۱۲.....
۵-۳-۲ عدم تمرکز:	۱۲.....
۶-۳-۲ عدم تخصیص کامل وظایف:	۱۲.....
۷-۳-۲ همگن بودن:	۱۳.....
۸-۳-۲ انعطاف پذیری:	۱۳.....
۴-۲ کاربرد رباتیک جمعی:	۱۳.....
۱-۴-۲ کار در یک منطقه‌ی بزرگ و وسیع:	۱۳.....
۲-۴-۲ کارهای خطرناک:	۱۴.....
۵-۲ برقراری ارتباط در رباتیک جمعی:	۱۴.....
۱-۵-۲ ارتباط ربات با رباتهای دیگر (ارتباط مستقیم):	۱۵.....
۲-۵-۲ ارتباط رباتها از طریق محیط (ارتباط غیر مستقیم):	۱۵.....
۶-۲ مدل‌های رباتیک جمعی:	۱۵.....
۱-۶-۲ مدل عمومی:	۱۵.....
۱-۱-۶-۲ ماژول رفتار عمومی:	۱۶.....
۲-۱-۶-۲ ماژول رفتار پیشرفته:	۱۶.....
۲-۶-۲ مدل میکروسکوپی:	۱۶.....
۳-۶-۲ مدل ماکروسکوپی:	۱۶.....

۱۷	۴-۶ مدل مبتنی بر سنسور:.....
۱۷	۵-۶ مدل بر مبنای الگوریتمهای هوش گروهی:.....
۱۷	۷-۲ معماری رباتیک جمعی:.....
۱۸	۸-۲ موقعیت یابی در رباتیک جمعی:.....
۱۸	۹-۲ جهت یابی:.....
۱۸	۱-۹-۲ جهت یابی با استفاده از رباتهای دیده بان:.....
۱۹	۲-۹-۲ جهت یابی با استفاده از کلونی مورچه ها:.....
۱۹	۱۰-۲ عدم برخورد با موانع در رباتیک جمعی:.....
۲۰	۱۱-۲ وظایف اصلی رباتیک جمعی:.....
۲۰	۱۲-۲ کنترل رباتیک جمعی:.....
۲۱	۱-۱۲-۲ استفاده از افراد آگاه یا رهبر:.....
۲۱	۲-۱۲-۲ تجمیع خودسازمان یافته:.....
۲۲	۳-۱۲-۲ استفاده از معیار فاصله:.....
۲۲	۴-۱۲-۲ استفاده از نیروهای جاذبه و دافعه ای مجازی:.....
۲۲	۵-۱۲-۲ استفاده از کنترل مرکز هندسی:.....
۲۲	۶-۱۲-۲ رویکرد مبتنی بر رفتار:.....
۲۳	۷-۱۲-۲ کنترل با سنسور:.....
۲۴	۱۳-۲ الگوریتمهای جستجو:.....
۲۴	۱-۱۳-۲ الهام از الگوریتمهای هوش گروهی:.....
۲۴	۲-۱۳-۲ الهام از روشهای دیگر:.....
۲۵	۱۴-۲ الگوریتمهای پیدا کردن هدف:.....
۲۶	۱۵-۲ شبکه های پتری:.....
۲۶	۱-۱۵-۲ سیستمهای تخصیص منابع:.....
۲۷	۱۶-۲ تعریف آسنکرون:.....
۲۷	۱۷-۲ از دیگر مزایای شبکه های پتری میتوان به موارد زیر اشاره کرد:.....
۲۸	۱۸-۲ تعریف:.....
۲۸	۱۹-۲ فضای حالت در شبکه های پتری:.....
۲۹	۲۰-۲ ماتریس وقوع یا حالت:.....
۲۹	۲۱-۲ تعریف:.....
۲۹	۲۲-۲ قانون اجرا (آتش) شدن گذرها:.....

۲۳-۲	ویژگیهای مختلف شبکه‌های پتری:	۳۰
۲۳-۲-۱	همروندی یا موازیکاری:	۳۰
۲۳-۲-۲	تصادم:	۳۰
۲۳-۲-۳	تعریف انحصار یک جانبه:	۳۱
۲۳-۲-۴	تعارض:	۳۱
۲۴-۲	بنبست:	۳۱
۲۵-۲	زنده بودن:	۳۲
۲۶-۲	بازگشت پذیری:	۳۲
۲۷-۲	شبکه‌های پتری کراندار:	۳۲
۲۸-۲	تعریف شبکه‌ی امن:	۳۲
۲۹-۲	تعریف:	۳۲
۳۰-۲	تعریف:	۳۳
۳۱-۲	گراف دسترسی:	۳۳
۳۲-۲	گراف پوشانندگی:	۳۳
۳۳-۲	کنترل:	۳۴
۳۵	فصل سوم:	۳۵
۳۵	مروری بر کارهای گذشته:	۳۵
۳-۱	تعریف خوشه‌بندی:	۳۶
۳-۲	استفاده از الگوریتم PSO:	۴۰
۳-۳	تعریف ازدحام استاتیک:	۴۱
۳-۴	رای گیری برای انتخاب رهبر:	۴۳
۳-۵	حرکت رهبر:	۴۵
۳-۶	سرعت رهبر:	۴۵
۳-۷	کنترل نظارتی:	۴۵
۳-۸	مدل رفتارهای آزاد:	۴۶
۳-۹	مشخصات کنترلی:	۴۷
۳-۱۰	حالات امن:	۴۷
۳-۱۱	گروه‌بندی یا تجمیع:	۴۸
۵۱	فصل چهارم:	۵۱
۵۱	روش پیشنهادی:	۵۱

۵۳	۱-۴ انتزاع وظیفه:
۵۳	۲-۴ کار هسته‌های (ساده):
۵۳	۳-۴ مجموعه‌ی کاری:
۵۴	۴-۴ کارهای پیچیده:
۵۵	۵-۴ کارهای تودرتو:
۵۵	۶-۴ رابطه‌ی دائمی:
۵۵	۷-۴ رابطه‌ی همزمانی:
۵۵	۸-۴ مدل سطح بالا:
۵۶	۹-۴ مدل سطح پایین:
۵۷	۱۰-۴ معماری کنترل:
۵۹	۱۱-۴ لایه‌ی (HCI):
۶۰	۱۲-۴ لایه‌ی طراحی (برنامه‌ریزی):
۶۲	۱۳-۴ لایه‌ی اجرا:
۶۳	۱۳-۴ رفتار ترکیبی:
۶۴	۱۴-۴ کنترل رفتار:
۶۸	۱۵-۴ ربات کار - محور:
۶۸	۱۶-۴ سیستم گروهی کار - محور:
۶۸	۱۷-۶ مدل سازمانی کار - محور:
۶۹	۱۸-۴ همکاری:
۶۹	۱۸-۴ همکاری بازار:
۶۹	۱۸-۴ همکاری شبکه:
۶۹	۱۸-۴ همکاری ترتیبی:
۶۹	۱۹-۴ توصیف کار:
۷۰	۲۰-۴ ساختار کنترلی:
۷۲	۲۱-۴ ارائه‌ی معماری سیستمی با اضافه کردن clustering به این مجموعه:
۷۲	۲۲-۴ طرح یک مثال:
۷۳	۲۳-۴ مراحل انجام کار:
۷۴	۲۴-۴ مراحل اجرایی مثال:
۷۷	۲۵-۴ بررسی خواص شبکه:
۸۱	فصل پنجم:

نتیجه گیری ۸۱

منابع و مواخذ ۸۳

فهرست شکل ها :

- شکل ۱-۲ برگرفته از مرجع [۲۱] نحوه‌ی تغییر حالت شبکه‌ی پتری با اجرا شدن یک گذر فعال ۳۰
- شکل ۲-۲ برگرفته از مرجع [۲۱] در مورد تصادم دو گذر ۳۱
- شکل ۳-۲ برگرفته از مرجع [۲۱] در مورد تعارض ۳۱
- شکل ۱-۳ اشکال توپولوژیها بر گرفته از مرجع [۲۵] ۴۱
- شکل ۲-۳ برگرفته از مرجع مربوط به توزیع نقشها در ازدحام [۲۶] ۴۲
- شکل ۳-۳ مربوط به مدل رفتار آزاد مرجع [۳۱] ۴۷
- شکل ۱-۴ برگرفته از مرجع [۳۳] مربوط به کار هسته‌های ۵۳
- شکل ۲-۴ برگرفته از مرجع [۳۳] مربوط به مجموعه‌هایکاری و سازماندهی آنها برای انجام ۵۴
- شکل ۳-۴ برگرفته از مرجع [۳۳] مربوط به ارتباط بین مجموعه‌های کاری ۵۶
- شکل ۴-۴ برگرفته از مرجع [۳۲] مربوط به لایه‌های سه گانه معماری ۵۹
- شکل ۵-۴ برگرفته از مرجع [۳۲] مربوط به روابط بین عمل، رفتار و رویداد ۶۳
- شکل ۶-۴ برگرفته از مرجع [۳۲] مربوط به رابطه ساختاری و کنترلی رفتار ۶۴
- شکل ۷-۴ برگرفته از مرجع [۳۲] واحد کنترل parallel- and (A,B) ۶۵
- شکل ۸-۴ برگرفته از مرجع [۳۲] واحد کنترل parallel- or (A,B) ۶۶
- شکل ۹-۴ برگرفته از مرجع [۳۲] واحد کنترل If-then-else ۶۷
- شکل ۱۱-۴ اضافه شدن قسمت clustering به معماری مرجع [۳۱] ۷۲
- شکل ۱۲-۴ پیکر بندی و خوشه بندی اولیه رباتها ۷۵
- شکل ۱۳-۴ مدل شبکه پتری مثال مطرح شده ۷۶

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

تحقیقات در زمینه رباتیک جمعی از دو دهه‌ی پیش مورد توجه محققان قرار گرفته است. یکی از دلایلی که دانشمندان را به این زمینه تحقیقاتی علاقمند کرده این است که از رباتیک جمعی در زمینه‌های زیادی می‌توان بهره‌برد که ممکن است برای انسانها خطرآفرین باشد و یا وقت و انرژی زیادی را از انسان بگیرد. استفاده از رباتیک جمعی می‌تواند به عنوان یک روش نوظهور و کارآمد مطرح گردد. اما متأسفانه بیشتر کارهایی که در این زمینه انجام شده‌اند در حالت تئوری باقی مانده‌اند. یکی از دلایل این است که در حال حاضر بیشتر سیستمهای نرم افزار کنترل رباتیک جمعی به صورت منحصر به فرد و تک حالتی گسترش یافته‌اند که همین امر استقرار این سیستمها را در دنیای واقعی پیچیده و دشوار کرده‌است. بنابراین استفاده از ابزارهای فرمال در این بین می‌تواند تا حد زیادی این مشکلات را از بین برده و شبیه‌سازی این سیستمها را در دنیای واقعی^۱ از پیچیدگی‌های ذکر شده خارج کند. از طرفی شبکه‌های پتری را می‌توان به عنوان یکی از مهمترین ابزار فرمال برای تجزیه و تحلیل این‌گونه سیستمها نام برد. شبکه‌های پتری قابلیت این را دارند که یک نمایش گرافیکی از سیستم ارائه دهند. سیستم را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند و شرایط را برای مدل‌سازی و تبدیل مدل به دنیای واقعی فراهم کنند.

در کارهایی که در زمینه‌ی رباتیک جمعی انجام گرفته‌اند از روشهای مختلفی از جمله معیارهای فاصله، نیروهای پتانسیل مجازی و عضو رهبر^۲ برای کنترل و هدایت گروه استفاده شده‌است. ما در این پایان-نامه سعی داریم کارهایی که توسط رباتیک جمعی انجام می‌گیرند را با استفاده رویکرد تجزیه‌ی کار^۳، به کارهای ساده‌تری تجزیه کنیم. سپس این کارهای ساده شده را با شبکه‌های پتری مدل کنیم. زیرا مدل‌سازی کارهای پیچیده به یکباره امکان پذیر نبوده و یا بسیار دشوار می‌باشند. این موارد در چهار بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

^۱ real word

^۲ leader

^۳decomposition task

در بخش دوم به بررسی ادبیات موضوع می‌پردازیم. در بخش سوم مروری بر کارهای گذشته خواهیم داشت. در بخش چهارم، روش پیشنهادی ارائه می‌گردد و در بخش پنجم، نتیجه‌گیری از این مباحث را خواهیم داشت.

فصل دوم:

ادبیات موضوع

۲-۱- ازدحام یا تجمع:

در اکثر مقالات برای این مفهوم از واژه سوارم استفاده می‌شود. ما در اینجا بیشتر از واژه‌های گروه، تجمع و یا ازدحام استفاده می‌کنیم.

بیشتر پروژه‌ها در زمینه هوش مصنوعی الهام گرفته از طبیعت هستند. بخصوص ازدحام که برگرفته از زندگی حشرات یا موجوداتی است که به صورت گروهی زندگی می‌کنند و دارای هوش گروهی هستند مانند مورچه‌ها، زنبورهای عسل، ماهی‌ها، پرندگان، قورباغه‌ها و غیره. بعضی از این کلونی‌ها بیش از میلیون‌ها عضو دارند که همگی با هم در تعامل هستند. آنها می‌توانند کارهای گروهی را با توجه به رفتارهای فردی هر یک از اعضا و رفتارهای ترکیبی، بخوبی به انجام برسانند. رفتارهای فردی ظاهر شده در گروه نشان دهنده انعطاف‌پذیری و قدرت بالای گروه است. رفتارهایی مانند ساخت لانه، برنامه ریزی مسیر، تهیه غذا و تخصیص وظایف از این جمله‌اند.

در الگوریتم کلونی مورچگان (ACO)^۱ پروسه‌ی پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر توسط مورچه‌ها، مطرح می‌شود. مورچه‌ها باید بتوانند در مسیری که به عنوان کوتاه‌ترین مسیر در نظر گرفته می‌شود به غذا دست یابند و علاوه بر آن منبع غذایی را به سایر مورچه‌ها معرفی کرده و مسیر را به آنها نشان دهند. مورچه‌ها طول مسیری که حرکت می‌کنند را با موادی به نام فرمون^۲ علامت‌گذاری می‌کنند. فرمون ماده‌ای شیمیایی است که از بدن مورچه ترشح می‌شود. مورچه‌های دیگر سعی می‌کنند مسیر مشخص شده با فرمون را دنبال کنند. آنها سعی می‌کنند مسیری را انتخاب کنند که چند بار توسط مورچه‌های مختلف با فرمون علامت‌گذاری شده باشد. ویژگی‌های جالبی در این کلونی وجود دارد. اول از همه قابلیت تعمیم بالا و خودسازماندهی آنها است. هیچ مکانیزم کنترل مرکزی بین مورچه‌ها برای کنترل آنها وجود ندارد. ویژگی دوم قدرت بالای کلونی است زیرا کلونی شامل تعداد زیادی از عواملی است که هر کدام به تنهایی بی‌اهمیت هستند. بنابراین تلف شدن یک یا چند عامل، تاثیر زیادی روی

^۱ Ant Colony Optimization

^۲fermon

کارایی کلونی نخواهد داشت. با این وجود وقتی تک تک این عاملها با هم برای رسیدن به یک هدف تلاش می کنند دارای قدرت فوق العاده ای خواهند شد. سومین ویژگی این است که این پروسه یک فرآیند تطبیقی است. از آنجایی که رفتار هیچ کدام از مورچه ها معین نیست و تعدادی از مورچه ها همچنان مسیر طولانی تر را انتخاب می کنند. با این حال کلونی می تواند خود را با تغییرات محیط منطبق کند. ویژگی آخر این که این پروسه قابل توسعه است و می تواند به اندازه ی دلخواه بزرگ شود. هر چه تعداد اعضاء کلونی بیشتر شود روی کارایی آن تاثیر مثبت خواهد داشت و گروه را قویتر خواهد کرد. این ویژگی ها توانسته اند باعث طراحی الگوریتم هایی شوند و به حل مسائلی که نیازمند این ویژگی ها هستند کمک شایانی کنند [۱،۲]

در الگوریتم کلونی زنبور عسل (BCO)^۱ این نکته حائز اهمیت است که یک کلونی زنبور عسل می تواند در مسافتی زیاد و در جهت های مختلف پخش شود تا از منابع غذایی بهره برداری کند. جمع آوری گرده در نوع خود یک فرایند سازماندهی شده ی پیشرفته محسوب می شود. هر زنبور ترجیح می دهد که راه قبلی زنبور هم کندوی خود را دنبال کند به جای اینکه خود به دنبال گلهای جدید بگردد. گله با مقادیر زیادی گرده، به وسیله ی تعداد زیادی زنبور بازدید می شوند. مناطقی که گله ها و گرده های کمتری دارد، تعداد کمتری زنبور را جلب می کند. پروسه ی جستجوی غذای یک کلونی به وسیله ی زنبورهای دیده بان آغاز می شود. دیده بانها برای جستجوی گلزارهای امید بخش (دارای امید بالا برای وجود گرده) فرستاده می شوند. زنبورهای دیده بان از گلزاری به گلزار دیگر حرکت می کنند. هنگامی که جستجوی تمام گلزارها پایان یافت، هر زنبور دیده بان، بالای گلزاری که اندوخته ی گرده ی خوب و با کیفیتی دارد، رقص خاصی را اجرا می کند. این رقص، اطلاعات مربوط به جهت و فاصله تا گلزار و کیفیت گلزار را به زنبورهای دیگر انتقال می دهد. این اطلاعات، زنبورهای پیرو^۲ را به سوی گلزار می کشاند. بیش تر زنبورهای پیرو به سوی گلزارهایی می روند که امید بخش تر هستند و امید بیش تری برای یافتن گرده در آنها وجود دارد. بنابراین زنبورهای عسل از یک سیستم

^۱ Bee colony optimization

^۲ follower

ارتباطی پیچیده استفاده می‌کنند. این سیستم آنها را قادر می‌سازد اطلاعاتی در مورد محل و کیفیت منابع غذایی موجود در خارج از کندو بدست آورند. ارتباط بین زنبورها توسط زبان رقص انجام می‌گیرد. زبان رقص شامل مجموعه‌ای از حرکات پشت سر هم است که توسط زنبورها انجام می‌شود. الگوریتم زنبور عسل هر نقطه را در فضای متشکل از پاسخ‌های ممکن به عنوان منبع غذا، تحت بررسی قرار می‌دهد. زنبورهای دیده‌بان به صورت تصادفی فضای پاسخ‌ها را ساده می‌کنند و به وسیله‌ی تابع شایستگی کیفیت، موقعیتهای بازدید شده را گزارش می‌دهند. جواب‌های ساده شده رتبه‌بندی می‌شوند. الگوریتم گلزارهای دیگر را برای یافتن نقطه‌ی بیشینه‌ی تابع شایستگی جستجو می‌کند و بدین ترتیب بهترین گلزارها بوسیله تعداد زیادی زنبور بازدید می‌شوند. [۳]

الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO)^۱، که به نام الگوریتم پرواز پرندگان نیز مشهور است، یک خانواده از روش‌های هوش جمعی و یکی از الگوریتم‌های موفق در زمینه بهینه‌سازی می‌باشد. در این الگوریتم از روش پرواز پرندگان و چگونگی هجوم آوردن آنها به سوی غذا الهام گرفته شده‌است. پرندگان و نحوه‌ی هجوم آنها به گونه‌ای است که حتی کوچکترین برخوردی بین آنها پیش نمی‌آید. در ابتدا یک سرعت ابتدایی به ذرات داده می‌شود و کانالهای ارتباطی برای آنها در نظر گرفته می‌شود. این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج بر مبنای یک ملاک شایستگی پس از هر بازه زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان ذرات به سوی ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند شتاب می‌گیرند. از این الگوریتم بیشتر در مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. [۴،۵]

یکی دیگر از موارد ازدحام الگوریتم ترکیبی جهش قورباغه‌ها (SFLA)^۲ است. الگوریتم با انتخاب تصادفی گروه‌های قورباغه شروع می‌شود. گروه‌های قورباغه به چندین زیرگروه تقسیم می‌شوند. هر یک از این زیرگروه‌ها می‌توانند جستجوی محلی را به صورت مستقل و با روش متفاوتی انجام دهند. قورباغه‌های موجود در یک زیرگروه می‌توانند بر روی سایر قورباغه‌های موجود در همان زیرگروه اثر بگذارند. بدین ترتیب قورباغه‌های موجود در یک زیرگروه تکامل می‌یابند. تکامل قابلیت دستیابی به

^۱Particle swarm optimization

^۲Shuffled frog leaping algorithm

هدف را افزایش می‌دهد. برای رسیدن به یک هدف خوب می‌توان وزن(شایستگی) قورباغه‌های خوب را افزایش و وزن قورباغه‌های بد را کاهش داد. بعد از تکامل ، زیرگروه‌ها، با هم ترکیب می‌شوند. بواسطه‌ی مکانیزم ترکیب، زیرگروه‌های جدید ایجاد می‌شوند. ترکیب، کیفیت گروه‌هایی که تحت تاثیر زیرگروه‌های مختلف قرار می‌گیرند را افزایش می‌دهد. جستجوی محلی و جستجوی سراسری تا برآورده شدن شرط همگرایی ترکیب می‌شوند جستجوی محلی به الگوریتم امکان می‌دهد تا به راحتی از مینیمم محلی پرش کند و تا دستیابی به بهینه‌سازی توسعه یابد. یکی از خصیصه‌های الگوریتم SFLA همگرایی سریع آن است.

در ابتدا پژوهشگران فکر می‌کردند که هر فرد در این گروه‌های اجتماعی دارای شناسه منحصر به فردی است و تبادل اطلاعات در گروه بصورت متمرکز صورت می‌گیرد.[۶] تصور بر این بود که ملکه در مورچه و زنبور عسل وظیفه‌ی انتقال اطلاعات را به عهده دارند اما زیست شناسان توانستند دریابند که چنین نیست یعنی علاوه بر اینکه شناسه‌ی منحصر به فردی وجود ندارد بلکه کل شبکه حالت غیر متمرکز دارد و بدون رهبر(ملکه) می‌توان به تمام اطلاعات ازدحام دسترسی داشت. افراد در ازدحام از قوانین گروه پیروی می‌کنند و اطلاعات به صورت محلی^۱ در نظر گرفته می‌شوند زیرا اگر تبادلات به صورت سراسری^۲ باشند در این صورت هر کدام از اعضای گروه باید از موقعیت تمام اعضای گروه آگاهی داشته باشند تا بتوانند با آنها به صورت سراسری تبادل اطلاعات کند. پس برای اینکه بتوانیم محدوده‌ی تبادل اطلاعات را کمتر کرده و از پیچیده‌شدن شرایط جلوگیری کنیم بهتر است از تبادلات محلی استفاده کنیم.

۲-۲- تعریف رباتیک جمعی:

رفتارهای ازدحام توانسته‌اند توجه پژوهشگران را به خود جلب کنند. بنابراین پژوهشگران زیادی از این پدیده الهام گرفته‌اند. آنها سعی کرده‌اند رباتهایی را طراحی کنند که بتوانند رفتار این موجودات را

¹local

²global

برای رسیدن به اهدافی خاص شبیه‌سازی کنند. این کاربرد به عنوان رباتیک‌جمعی نام گرفته‌است. سیستم رباتیک جمعی، دارای ساختار سازمانی ویژه‌ای است. این سیستم قابلیت انعطاف‌پذیری^۱ و غیرقابل پیش‌بینی بودن را دارد. رباتیک‌جمعی شامل تعداد نامحدودی از رباتها است که در یک محدوده وسیع و با ساختارهای فردی با هم همکاری دارند. آنها قادرند که با یکدیگر و با محیط اطرافشان تعامل داشته باشند. در سیستم‌های رباتیک‌جمعی کارها متفاوت و تغییر پذیرند و افراد به صورت پویا در محیط توزیع می‌شوند.

حوزه‌ی کاربرد رباتیک‌جمعی بسیار وسیع است به عنوان نمونه از رباتیک‌جمعی در کارهایی استفاده شده‌است که برای بشر خطرناکند یا کار در مناطقی که دسترسی به آنها برای بشر دشوار می‌باشد. مثل کار در محیط‌های خطرناک، زمین شناسی و اکتشاف، امداد رسانی بعد از فاجعه، کاربردهای نظامی. همچنین رباتیک‌جمعی در برنامه‌های پزشکی مثل نانوپزشکی کارایی‌های زیادی از خود نشان داده‌است. نانو رباتها که از جدیدترین مباحث در رباتیک‌جمعی هستند در نانوپزشکی برای درمان هوشمندانه‌ی بیماریها، کاربرد زیادی دارند.[۶] نانورباتها با استفاده از مکانیزمهایی، هدف را تشخیص می‌دهند و بعد از تشخیص قسمت‌های درگیر با بیماری، داروها را به صورت هوشمندانه و فقط در نقطه‌ی هدف، بکار می‌برند. با استفاده از این رویکرد برای درمان بیماریها، دیگر لازم نیست داروها در تمام قسمت‌های بدن پخش شده و عوارض جانبی آنها کار بعضی از اندامها را دچار اختلال کنند.

برای دستیابی به این اهداف، پژوهشگران، رباتهایی را بکار گرفته‌اند که از نظر فیزیکی، در حد توان ساده طراحی شده و از لحاظ ساخت کم هزینه باشند. سادگی و کم هزینه بودن دو ویژگی است که امکان تولید این رباتها را در تعداد زیاد به محققان داده است. این رباتها برای انجام کارهایی که نیاز به همکاری^۲ چند ربات دارند به کار گرفته شده‌اند. در عوض رباتهای منفرد^۳ رفتارهای انسانی را شبیه‌سازی کرده و رباتهایی هستند با پیچیدگی زیاد، هزینه بالا که در ابعاد بزرگ طراحی می‌شوند. وقتی

^۱flexibility

^۲cooperation

^۳single robots

در پروژه‌ای از ربات منفرد استفاده می‌شود، در صورتی که خرابی کوچکی در ربات ایجاد شود، کار ربات دچار اختلال شده و حتی ممکن است کل ربات از کار بیفتد. همچنین از نظر میزان انرژی مصرفی و کارایی، رباتیک‌جمعی می‌تواند موفق‌تر عمل کرده و کار ربات منفرد را از طریق همکاری چندین ربات کوچکتر، ساده‌تر، ارزان‌تر و با پیچیدگی کمتر به انجام برساند و در صورت خرابی و از کار افتادگی یک یا حتی چند ربات، به کل سیستم آسیبی وارد نشده و کار سیستم ادامه پیدا می‌کند. از آنجایی که تعداد رباتها در رباتیک‌جمعی زیاد است، انرژی ذخیره شده در باتری آنها نیز بیشتر از انرژی ذخیره شده در باتری یک ربات منفرد است و مدت زمان انجام کار، برای رباتیک‌جمعی در یک محیط بدون امکانات سیم برق، طولانی‌تر خواهد بود. به خاطر وجود همین ویژگی‌هاست که امروزه رباتیک جمعی مورد توجه زیادی قرار گرفته و به مرور به کارایی‌های آن افزوده شده‌است.

۲-۳- ویژگی‌های رباتیک جمعی:

علاوه بر موارد ذکر شده باید به ویژگی‌های فوق در مورد رباتیک جمعی اشاره کرد.

۲-۳-۱ موازی کاری^۱:

کارهایی که به صورت همگام با هم انجام می‌شوند را کارهای موازی می‌گویند. رباتیک‌جمعی این قابلیت را دارد که چندین کار را به صورت هماهنگ با هم به انجام برساند. به عنوان مثال تبادل اطلاعات، حرکت به سوی هدف تعیین شده و جلوگیری از برخورد های احتمالی، کارهایی هستند که باید به صورت هماهنگ و با هم پیش بروند تا کل سیستم بتواند به هدف تعریف شده دست یابد. [۶]

۲-۳-۲ پایداری^۲:

وقتی تعدادی از رباتهای گروه توانستند به هدف مورد نظر برسند، کار رباتیک‌جمعی متوقف نمی‌شود بلکه کار سیستم تا زمانی که اکثر افراد گروه بتوانند به اهداف تعیین شده برسند ادامه پیدا می‌کند. این موضوع پایداری سیستم را به تصویر می‌کشد. [۶]

^۱parallel task
^۲stable

۲-۳-۳ مقیاس پذیری^۱:

رباتیک جمعی می تواند به گونه ای طراحی شود که تعدادی از رباتها بتوانند سیستم را ترک کنند یا به سیستم اضافه شوند. یعنی سیستم می تواند با کم یا زیاد شدن تعداد اعضای گروه تطابق حاصل کند و مقیاس پذیر باشد به عنوان مثال برای جستجوی قربانیان یک حادثه، در ابتدا گروه با بیشترین تعداد رباتها در نظر گرفته می شود و با گذشت زمان، می توان تعداد این رباتها را کاهش داد. [۶]

۲-۳-۴ استقلال^۲:

علاوه بر اینها رباتها در رباتیک جمعی باید مستقل باشند یعنی هریک از رباتها باید قادر به تعامل با دیگر رباتها بوده و بتواند با محیط اطراف خود نیز به صورت جداگانه ارتباط برقرار کند.

۲-۳-۵ عدم تمرکز^۳:

رباتیک جمعی حالت متمرکز ندارد یعنی کنترل کامل داخلی بر روی رباتها صورت نمی گیرد. علاوه بر آن کنترل خارجی نیز بر روی رباتها اعمال نمی شود. [۶]

۲-۳-۶ عدم تخصیص کامل وظایف:

مشخص نکردن وظایف رباتها به صورت کامل در رباتیک جمعی، نکته مهمی است که باید به آن توجه ویژه ای داشت. زیرا ممکن است کار رباتیک جمعی با کارهای چندرباتی^۴ اشتباه گرفته شوند. در کارهای چندرباتی، تعدادی ربات با همکاری خود، کار خاصی را انجام می دهند. وظایف این رباتها به طور کامل مشخص شده و کنترل کاملی بر روی آنها صورت می گیرد. رباتهای فوتبالیست نمونه ای از این کاربرد می باشند. اما این کاربرد با کار رباتیک جمعی متمایز است زیرا وظایف در رباتیک جمعی کاملاً مشخص نمی شود و رباتها با اکتشاف حالات، سعی در رسیدن به هدف تعیین شده را دارند.

¹scalable

²autonomous

³decentralization

⁴Multi robot

۲-۳-۷ همگن بودن^۱:

رباتیک‌جمعی تعداد نقشه‌های کمی را بین تعداد زیادی ربات تقسیم می‌کند و این نقشه‌ها همان حالت‌هایی است که یک ربات می‌تواند داشته باشد. با توجه به حالت‌های تعیین‌شده، ربات‌ها قادرند حرکاتی را انجام دهند تا به اهداف مورد نظر دست یابند.

۲-۳-۸ انعطاف‌پذیری:

علاوه بر خواص ذکر شده درباره‌ی رباتیک‌جمعی، خاصیت انعطاف‌پذیری را نیز باید به آن اضافه کرد. بدینوسیله ربات‌ها می‌توانند وظایف مختلفی را که برایشان پیش‌بینی شده را به خوبی انجام دهند. رباتیک‌جمعی می‌تواند با استراتژی‌های مختلفی که برای انجام کارها در پیش می‌گیرد به اهداف تعیین شده دست پیدا کند. ربات‌ها این توانایی را دارند که با محیط وفق پیدا کنند و از طریق یادگیری، استراتژی از پیش تعیین شده را بهبود ببخشند. آنها این قدرت را دارند که برای رسیدن به اهداف، به صورت بهینه تلاش کنند. به خاطر این ویژگی است که می‌گوییم رباتیک‌جمعی انعطاف‌پذیر است. [۶]

با توجه به نکات ذکر شده رباتیک‌جمعی برای کارهایی که زمانبر است و در آنها وظایف زیادی باید در یک زمان و به صورت موازی انجام شوند بسیار مفید و موثر خواهد بود. به ویژه برای کارهایی که باید در مقیاس بزرگ انجام شوند.

۲-۴ کاربرد رباتیک‌جمعی:

چند حوزه کاربرد مهم برای رباتیک‌جمعی وجود دارند.

۲-۴-۱ کار در یک منطقه‌ی بزرگ و وسیع:

ربات‌های یک گروه می‌توانند در محیط توزیع شوند و با حرکات پویا در محیط، کل منطقه را مورد شناسایی قرار دهند، هر چند وسعت منطقه‌ی مورد نظر زیاد باشد. ربات‌ها می‌توانند اهداف تعیین شده

^۱homogenous

در منطقه‌ی کاری وسیع را یافته و به سوی آنها حرکت کنند و کارهایی را با همکاری هم انجام دهند. به عنوان مثال از این خاصیت در جاهایی که نشت مواد شیمیایی و نفتی و یا آلودگی‌های زیست محیطی گسترش زیادی یافته‌اند، استفاده می‌شود. [۷]

۲-۴-۲ کارهای خطرناک:

رباتیک‌جمعی از تعداد زیادی رباتهای کوچک برای دستیابی به هدفی که در نظر گرفته شده استفاده می‌کند. اگر تعدادی از این رباتها، آسیب ببینند گروه باز هم می‌تواند به هدف، دسترسی پیدا کند. به همین خاطر یکی از شرایط مناسبی که رباتیک جمعی ایجاد می‌کند کار در محیطهایی است که برای بشر خطرناکند. نکته‌ی دیگر اینکه چون هر کدام از رباتها ساده و ارزان هستند حتی اگر در رویارویی با کارهای خطرناک، تعداد زیادی از آنها دچار آسیب شوند باز هم هزینه‌ی زیادی به سیستم اعمال نخواهد شد.

۲-۵ برقراری ارتباط در رباتیک جمعی:

یکی دیگر از ویژگیهای مهم در رباتیک جمعی، محلی بودن تعامل رباتها با هم و با محیط اطرافشان است. رباتها با تبادل اطلاعات با یکدیگر و انجام رفتارهای مستقل، می‌توانند در سطح گروه همکاری داشته باشند. هر کدام از اعضاء گروه وقتی اطلاعاتی را از محیط دریافت کردند واکنشهای خاصی را نشان می‌دهند. این واکنشها می‌تواند به صورت پیام بازخورد به محیط باشد. به عنوان مثال هر یک از رباتها می‌توانند با استفاده از حسگرهای تعبیه شده در آنها، محیط را حس کنند و با همسایگان خود در ارتباط باشند. [۷]

اگر تعامل رباتها را به صورت سراسری در نظر بگیریم، در این صورت هر یک از رباتها باید از موقعیت تمام اعضاء گروه با خبر باشد. این کار علاوه بر اینکه در همه‌جا امکان پذیر نیست بلکه هزینه‌ی زیادی را نیز به سیستم اعمال خواهد کرد. به همین خاطر سعی بر این است تا از تعاملات به صورت محلی استفاده شود.

۲-۵-۱ ارتباط ربات با رباتهای دیگر (ارتباط مستقیم):

این ارتباط می‌تواند از طریق سنسورها^۱ و یا از طریق پخش پیام بازخورد برقرار گردد. سنسورها قادرند برای رباتها خط دیدی را ایجاد کرده و ربات با توجه به دیدی که برایش ایجاد می‌شود به درک محیط اطرافش می‌پردازد. سپس هر ربات با ارسال پیامهایی خود را معرفی می‌کند. این معرفی با استفاده از کد منحصر به فردی است که به هر ربات در گروه نسبت داده می‌شود. حالا هر ربات برای شروع ارتباط با دیگر اعضاء گروه تلاش می‌کند. ارسال و دریافت پیامها می‌تواند از سوی رباتها ادامه پیدا کند. بعد از این که رباتها یکدیگر را مورد شناسایی قرار دادند می‌توانند برای انجام کارها، با یکدیگر همکاری داشته باشند.

۲-۵-۲ ارتباط رباتها از طریق محیط (ارتباط غیر مستقیم):

در این نوع از ارتباط، محیط نقش واسطه را بازی می‌کند. رباتها با درک محیط، آثاری را از خود بر جا می‌گذارند. وقتی آنها محیط را ترک کردند این آثار باعث تحریک دیگر رباتها می‌شود. به عنوان مثال در کلونی مورچه‌ها تعامل با کمک فرمونهایی که مورچه‌ها در محیط از خود به جا می‌گذارند، صورت می‌گیرد. البته تبادل اطلاعات می‌تواند به صورت ترکیبی از هر دو نوع مستقیم یا غیر مستقیم نیز باشد.

۲-۶ مدل‌های رباتیک جمعی:

۲-۶-۱ مدل عمومی:

در مدل عمومی جزئیاتی مانند سنجش، برقراری ارتباط و حرکت رباتها مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مدل به دو ماژول^۲ تقسیم می‌شود. تبادل اطلاعات در هر دو ماژول به عنوان مهمترین موضوع مطرح است.

^۱sensor
^۲moudul

۲-۱-۶-۱ مازول رفتار عمومی^۱:

رفتارهای عمومی اعضاء شامل توابع حرکتی و برنامه‌ریزیهای محلی است. بر اساس ارتباطات انجام شده و یا اطلاعات دریافت شده از سنسورها، رباتها حرکات مورد نظر خود را محاسبه کرده و اجرا می‌کنند. با کنترل این مازول، گروه می‌تواند با ارتباطات کمتر، کارایی بهتری را ارائه دهد. [۸]

۲-۱-۶-۲ مازول رفتار پیشرفته^۲:

در رباتیک جمعی پیچیده، رباتها ممکن است توابع اضافی برای رفتارها و حرکاتشان داشته باشند. این در مواردی است که کارهایی محول شده به آنها محدود نباشد. تخصیص کار برای رباتها مسئله‌ی مهمی است. همچنین رباتها می‌توانند با یادگیری خود تطبیقی و بهینه سازی روشها، سازگاری بهتری را در محیط از خود نشان دهند. [۶]

۲-۶-۲ مدل میکروسکوپی^۳:

در این مدل رباتها و فعل و انفعالاتشان به عنوان یک ماشین حالت محدود مدل می‌شوند. رفتار رباتها نیز به عنوان حالت‌های سیستم در نظر گرفته می‌شوند. چون مدل بر پایه رفتار رباتها پی‌ریزی شده است، شبیه سازیها باید چند بار انجام شوند تا بدینوسیله بتوان متوسط رفتارها را در گروه بدست آورد. همچنین می‌توان از مدل احتمالاتی نیز برای بدست آوردن متوسط رفتارها استفاده کرد. به عبارت دیگر مدل میکروسکوپی به بررسی جزئیات رفتاری رباتها اشاره می‌کند. [۹]

۲-۶-۳ مدل ماکروسکوپی^۴:

این مدل مخالف روش میکروسکوپی عمل می‌کند. در این مدل رفتار رباتها به عنوان یک معادله دیفرنس تعریف می‌شود. در این مدل یک حالت سیستم، نشان دهنده میانگین تعداد رباتها در آن

¹Basic behavior module

²Advanced behavior module

³microscopic modeling

⁴ macroscopic modeling

حالت است. البته این میانگین در یک مرحله زمانی خاص لحاظ می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت که مدل میکروسکوپی، مدل رفتارهای فردی برای شبیه‌سازی رفتارهای گروهی را به نمایش می‌گذارد و مدل ماکروسکوپی شبیه‌سازی این رفتارها در گروه را به تصویر می‌کشد. ازدیدگاه دیگر مدل میکروسکوپی جزئیات رفتار افراد در گروه را بررسی می‌کند در حالی که مدل ماکروسکوپی یک نگاه کلی به رفتار گروه دارد.[۱۰]

۲-۶-۴ مدل مبتنی بر سنسور:

این مدل از قدیمی‌ترین مدلها در رباتیک جمعی است که بیشتر در آزمایشات مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش رباتها به سنسورهایی مجهز هستند و تراکنشها از طریق این سنسورها به سادگی امکان پذیر است.

۲-۶-۵ مدل بر مبنای الگوریتمهای هوش گروهی:

الگوریتمی که در این مورد کارایی و استفاده بیشتری داشته، الگوریتم PSO است که با تقلید از روند هجوم آوردن در پرندگان طراحی شده است. همچنین الگوریتمهای مورچگان و زنبورهای عسل نیز در این حوزه، کارایی مخصوص به خود را دارند. این مدل، رفتارهای افراد در گروه را به رفتارهای گروهی حشرات و یا پرندگان نزدیک می‌کند. این الگوریتمها سعی در شبیه‌سازی رفتارها در سطح گروه را دارند.

۲-۷ معماری^۱ رباتیک جمعی:

معماری چهارچوب خاصی را برای رباتها فراهم می‌کند. معماری می‌تواند توپولوژی بین رباتها را مشخص کند تا بدین وسیله مشخص شود که تبادل اطلاعات در میان رباتها با چه ساختاری باید

^۱architecture

صورت بگیرد. چگونگی همکاری و عملکرد گروهی رباتها تا حد زیادی به نوع معماری آنها بستگی دارد. به عبارت دیگر معماری بیان مراحل و چگونگی انجام کارهاست.

۲-۸ موقعیت یابی^۱ در رباتیک جمعی:

در تجمیع، تشخیص موقعیت هدف، تشخیص نزدیکی رباتها به یکدیگر و تشخیص اشیاء و موانع موجود در محیط بسیار مهم هستند. این تشخیصها با استفاده از موقعیت یابی محیط انجام می شوند. در محیطهای باز و بزرگ که لازم است همه ی رباتها از پیکربندی کل گروه با خبر باشند، باید از موقعیت یابی های سراسری استفاده کرد. البته این کار پر هزینه بوده و نیاز به سخت افزار زیادی دارد. به همین خاطر در رباتیک جمعی بیشتر از موقعیت یابی های محلی استفاده می شود که علاوه بر کاهش هزینه ها، پیچیدگی های مساله را نیز کاهش می دهد. هر کدام از رباتها یک سیستم موقعیت یابی دارند که آنها را قادر می سازد وجود یک ربات یا شیء را در نزدیکی خود تشخیص دهند. برای موقعیت یابی می توان از ترکیب سنسور با یک فیلتر خاص نیز استفاده کرد. سنسورها می توانند با توجه به کارایی مورد نظر سیستم، امواج مختلف مانند نور مرئی، مادون قرمز و صدا را تشخیص دهند. [۶]

۲-۹ جهت یابی^۲:

۲-۹-۱ جهت یابی با استفاده از رباتهای دیده بان^۳:

در بعضی از پژوهشها از رباتهای دیده بان یا جستجوگر استفاده شده است. این رباتها منطقه را جستجو کرده و نقشه کلی محیط را بدست می آورند. بدین ترتیب اگر رباتهای جستجوگر به اندازه کافی وجود داشته باشند سیستم می تواند با دقت تقریباً بالایی هماهنگ شده و کل محیط را بررسی کند. [۱۱]

¹locating

²wavigation

³beacons

در این رویکرد هر ربات، رباتهای اطراف خود را با دو شاخص فیزیکی جهت و فاصله می‌سنجد. در این‌جا نیز تبادل اطلاعات بصورت محلی صورت می‌گیرند. این رویکرد به طور کامل توزیع‌پذیر، مقیاس‌پذیر، ارزان و قوی می‌باشد.

۲-۹-۲ جهت‌یابی با استفاده از کلونی مورچه‌ها:

در طبیعت مورچه‌ها برای جهت‌یابی و هدایت گروه به سوی هدف از فرمون‌ها کمک می‌گیرند. وقتی مورچه‌ای مسیری را با فرمون علامت‌گذاری می‌کند مورچه‌های دیگر می‌توانند این مسیر را پیدا کرده و مسیر را ادامه دهند. آزمایشات بر روی ربات‌ها نشان داد که ربات‌ها با این رویکرد توانستند محیط را کشف کنند. همچنین آنها یک مسیر حرکتی بین دو نقطه ایجاد کردند. حتی اگر این نقاط از هدف تعیین شده دور باشند باز هم ربات‌ها موفق به انجام کار خواهند شد. با استفاده از این نوع جهت‌یابی رباتیک جمعی توانست به سمت کوتاهترین مسیر بسوی هدف همگرا شود.

۲-۱۰-۲ عدم برخورد با موانع در رباتیک جمعی:

علاوه بر موضوع مهم جهت‌یابی که در مورد روشهای آن بحث شد عدم برخورد با موانع نیز اهمیت خاص خود را دارد. در تجمیع سعی بر این است تا بین ربات‌ها و اشیاء موجود در محیط برخوردی پیش نیاید. برای دستیابی به این مقصود یک رویکرد استفاده از میدان پتانسیل مجازی است. در این روش موانع مانند هسته‌ای اتم دارای نیروی دافعه در نظر گرفته می‌شوند. ربات‌ها هم نقش الکترون‌ها را خواهند داشت. نیروی دافعه‌ی مجازی که توسط موانع ایجاد می‌شود، ربات را از مانع دور کرده و از برخورد آنها جلوگیری می‌کند. رویکرد دیگر، اتصال توپولوژیکی بین همسایگان ربات‌ها است. برقراری این اتصالات می‌تواند مانع از برخورد اعضاء با یکدیگر و با موانع گردد. این رویکرد، انعطاف‌پذیر است اما قدرت کافی را ندارد.

در بعضی دیگر از تحقیقات از یک تابع پتانسیل استفاده شده است. [۴] این تابع می‌تواند مسیر حرکت ربات را تغییر دهد. اگر ربات در جهت مسیر تعیین شده برای حرکت قرار نگرفته باشد یا بخواهد به

یک مانع برخورد کند، در این صورت تابع پتانسیل شرایط برخورد یا عدم برخورد را برایش تخمین می‌زند.

روش دیگری که در محیط‌های پویا کارآیی دارد بر اساس یک مدل ریاضی است. در این مدل سرعت و جهت حرکت عبور از موانع با یک الگوریتم PSO بهینه‌سازی می‌شود. [۱۲] آزمایشات نشان داده‌است که این روش نسبت به روش میدان پتانسیل مصنوعی بهتر جواب می‌دهد ولی نیاز به مقدار زیادی محاسبات جداگانه برای هر ربات دارد. این روش باعث افزایش زمان مورد نیاز برای انجام کار خواهد شد.

۲-۱۱ وظایف اصلی رباتیک جمعی:

رباتیک جمعی دارای کارایی‌های زیادی است و به گونه‌ای عمل کرده که افق‌های دید پژوهشگران به آن برای آینده بسیار روشن است. همچنین کاربردهای آن در آینده بسیار بیشتر و دقیق‌تر خواهد شد. از حوزه‌های کاربرد اصلی آن می‌توان شبکه‌های سنسوری تلفن همراه، نانوپزشکی، جستجو، امداد و نجات مسدومین حوادث طبیعی، کشف محل نشت گازهای سمی یا نفت، اکتشاف معادن در مناطقی که برای انسان صعب العبورند را نام برد.

البته هماهنگ کردن تعداد زیادی ربات برای انجام کاری واحد با ارتباطات محدود و ساده بسیار سخت و پیچیده‌است. موارد زیادی است که باید در این هماهنگی‌ها لحاظ شوند. از جمله عدم برخورد رباتها با یکدیگر و یا با موانع موجود در محیط، چگونگی تجمیع رباتها در جاهای مورد نظر، فعل و انفعالات رباتها با هم و با محیط و مسائلی مشابه آن که باید به آنها توجه ویژه‌ای داشت.

۲-۱۲ کنترل رباتیک جمعی:

مسائل کنترلی رباتیک جمعی بخش مهمی است که توانسته تحقیقات زیادی را به خود اختصاص دهد. مکانیزم‌های متعددی برای کنترل رباتیک جمعی تعریف شده که هر کدام به نوبه خود می‌تواند کارایی خاصی را داشته باشد. البته گاهی نیز از ترکیب مکانیزم‌های کنترلی استفاده می‌شود. این موضوع

بستگی به هدفی دارد که برای سیستم تعریف می‌شود. از مهمترین مکانیزمهای کنترلی می‌توان به شرح زیر نام برد.

۲-۱۲-۱ استفاده از افراد آگاه یا رهبر^۱:

یکی از استراتژیهای ساده برای کنترل رباتیک جمعی استفاده از افراد آگاه است که می‌توان به آنها عنوان رهبر را داد. در مطالعاتی که روی گروه‌های حیوانی انجام شد، حکایت از نقش موثر رهبر در تصمیم‌گیری‌ها و هدایت گروه داشت. از این دیدگاه در رباتیک جمعی نیز استفاده شده است. در اینجا تعداد کمی از افراد گروه در مورد جهت و مسیری که به هدف منتهی می‌شود اطلاع دارند. این افراد به عنوان رهبر گروه تعریف می‌شوند. آنها قادرند سایر اعضای گروه را به سمت هدف هدایت کنند. گروه بدون هیچ‌گونه کنترل یا دستوراتی که خارج از سیستم باشند هدایت می‌شود. رهبران گروه نیز، بوسیله مکانیزم‌های کنترلی خاصی قابل کنترلند. در این حالت اعضای گروه نمی‌توانند اطلاعات را به صورت مستقیم انتقال دهند. بلکه رهبر نقش واسطه برای تبادل اطلاعات را بر عهده دارد. در این حالت کلیه تعاملات به صورت محلی هستند. [۶] البته این نکته نیز قابل توجه است که رهبر می‌تواند علاوه بر اینکه قابلیت‌های کلی گروه را داراست به یک سری قابلیت‌های منحصر به فرد نیز مجهز باشد. این قابلیت‌ها مختصر است و همواره سعی بر این است تا رهبر، ویژگی‌های خاص زیادی نسبت به سایر اعضا نداشته باشد.

۲-۱۲-۲ تجمیع خودسازمان یافته^۲:

خودسازمان یک طرح پویا برای ایجاد یک ساختار عمومی است که تنها بر تعاملات محلی استوار است. در این رویکرد ربات‌ها، بدون داشتن هرگونه اطلاعات قبلی از اهداف تعیین شده، سعی در رسیدن به اهداف را دارند. [۱۳]

^۱leader

^۲Self-organization swarm

شبیه‌سازیها نشان داد که تنها با تعاملات محلی باز هم رباتها می‌توانند برای ایجاد تجمیع با هم همکاری داشته باشند.

۲-۱۲-۳ استفاده از معیار فاصله:

یک معیار برای تجمیع رباتها، معیار فاصله است که در تحقیقات زیادی مورد توجه قرار گرفته است. در این مدل رفتارهای گروهی و رفتارهای فردی نمی‌توانند به صراحت و به طور کامل تعریف شوند. کنترل رباتها با استفاده از فاصله‌ای است که آنها با هم یا از موانع و اشیاء موجود در محیط دارند. [۱۴]

۲-۱۲-۴ استفاده از نیروهای جاذبه و دافعه‌ی مجازی:

در این مدل نیروهای مجازی در نظر گرفته می‌شوند که می‌توانند به صورت دافعه یا جاذبه ظاهر شوند و کنترل رباتها بوسیله‌ی همین نیروها انجام می‌گیرد. رباتها با استفاده از نیروی جاذبه یکدیگر را پیدا کرده و برای انجام کار با هم همکاری می‌کنند. نیروی دافعه نیز همانطور که قبلاً به آن اشاره شد می‌تواند از برخورد رباتها با موانع جلوگیری کند. موضوعی که باید مورد توجه قرار بگیرد این است که حتی زمانی که کنترل، با استفاده از نیروهای مجازی صورت می‌گیرد باز هم از یک معیار فاصله برای تعیین جاذبه یا دافعه استفاده می‌شود.

۲-۱۲-۵ استفاده از کنترل مرکز هندسی:

این رویکرد زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد که ما از مختصات، سرعت و جهت حرکت همه‌ی رباتها اطلاع داشته باشیم. [۴]

این الگوریتم کنترل، براساس مرکز ثقل ازدحام پایه‌ریزی شده‌است. به منظور پایداری کل ازدحام از نیروهای جاذبه و دافعه محلی نیز استفاده شده‌است. [۱۴]

۲-۱۲-۶ رویکرد مبتنی بر رفتار:

با تجزیه و تحلیل رفتارهای تجمیع پژوهشگران توانسته‌اند به الگوهای دست یابند. آنها با مطالعه رفتارهای تجمیع در پرندگان دریافتند که تعامل بین پرندگان تنها به معیار فاصله متریک آنها بستگی

ندارد بلکه به فاصله توپولوژیکی^۱ آنها نیز بستگی دارد. اگر چه در بیشتر مدل‌های رباتیک جمعی، رباتها فقط با همسایگان خود در تعامل هستند و با ربتهایی که در فاصله زیادی از آنها قرار گرفته‌اند تعامل ندارند. اما در این مدل توپولوژی‌های خاصی در نظر گرفته می‌شوند که هر ربات می‌تواند با شش، هفت و یا تعداد بیشتری از رباتها تعامل داشته باشد. این توپولوژی‌ها می‌توانند با ساختاری خاص و در تعدادی خاص در نظر گرفته شوند. که بعداً در این مورد بیشتر بحث خواهد شد.

۲-۱۲-۷ کنترل با سنسور:

یکی دیگر از مکانیزم‌های کنترلی در رباتیک جمعی که البته از مهمترین آنها نیز می‌باشد استفاده از سنسورها است. سنسور قادر است با توجه به دیدی که برای ربات ایجاد می‌کند او را در رسیدن به هدف هدایت کند. البته دید سنسور را می‌توان چنین توضیح داد. اگر رباتها را با رنگ سبز و اشیاء موجود در محیط را با رنگ قرمز و دیواره‌های محیط را با رنگ سفید نشان دهیم به منظور تشخیص آنها به وسیله‌ی سنسور در محیط به این صورت عمل می‌شود که: دوربین سنسور یک تصویر رنگی را از محیط می‌گیرد و تصویر به زیر نمونه‌هایی تقسیم می‌شود. یک پنجره 10×10 پیکسلی که در مرکز این تصویر زیر نمونه وجود دارد به عنوان اساس کار در نظر گرفته می‌شود. هر پیکسل برای تشخیص اینکه چه رنگی در مقابلش وجود دارد (سفید، سبز یا قرمز) از یک مقدار آستانه استفاده می‌کند. اگر در تصویر کمتر از دو پیکسل سبز و دو پیکسل قرمز وجود داشته باشد، سنسور $i=0$ را می‌خواند که به رنگ سفید اشاره دارد (یک مانع یا دیوار) و اگر اکثر پیکسل‌های تصویر سبز باشند $i=2$ خوانده می‌شود. اگر اکثر پیکسل‌های تصویر، قرمز باشند $i=1$ خوانده می‌شود. این اطلاعات به ربات منتقل شده و ربات برای تشخیص محیط از آن استفاده می‌کند.

¹ topology

۲-۱۳ الگوریتمهای جستجو:

الگوریتمهای جستجو در رباتیک جمعی یکی از پر دغدغه‌ترین مسائل محققان است. در این قسمت استراتژی‌های جستجو به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۲-۱۳-۱ الهام از الگوریتمهای هوش گروهی:

یکی از الگوریتمهای هوش گروهی که می‌تواند با رباتیک جمعی مطابقت زیادی پیدا کند، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات **pso** است. [۱۵]

این الگوریتم از نظر نحوه‌ی تجمیع و طرح جستجو با رباتیک جمعی شباهت زیادی دارد. الگوریتمهای دیگری از جمله الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌گان (**ACO**) نیز تا حد زیادی می‌توانند در رباتیک جمعی مورد استفاده قرار بگیرند. حیطة‌ی کاری در این روشها پیدا کردن مسیر، جهت‌یابی و محلی‌سازی است. الگوریتمهای هوش گروهی توانایی زیادی را در مقیاس پذیری، انعطاف‌پذیری و قدرتمندی نشان می‌دهند. البته این الگوریتمها کاستی‌هایی هم دارند که تعداد زیاد حرکات تصادفی، تعاملات سراسری به جای تعاملات محلی و مخصوصاً قرار گرفتن در مینیمم‌های محلی از آن جمله‌اند. برای کاهش کاستی‌های گفته‌شده پیشنهاد استفاده از الگوریتم **FDPSO** داده شده‌است. در این روش گروه به زیرگروههایی تقسیم می‌شود. یک توپولوژی پویا نیز بر اساس مکانیزم پاداش و تنبیه ارائه می‌گردد. زیرگروهها بدون در نظر گرفتن معیار فاصله تشکیل می‌شوند. فرار از مینیممهای محلی و هماهنگی سیستم از مزایای استفاده از این روش می‌باشد. [۱۶]

۲-۱۳-۲ الهام از روشهای دیگر:

بویایی توانایی دیگری است که حیوانات در فعالیتهای روزمره خود مانند شکار، ارتباط و فرار از دست شکارچیان از آن استفاده می‌کنند. این طرح می‌تواند در رباتیک جمعی نیز مورد استفاده قرار بگیرد. از این روش می‌توان برای شناسایی منابع بو در زمینه‌های کاری که برای کشف مواد مخدر، نشت

گازهای سمی یا مضر، اکتشاف منابع معدنی و امداد و نجات در هنگام حوادث برای شناسایی افراد زنده و یا اجساد استفاده کرد.[۶]

۲-۱۴ الگوریتمهای پیدا کردن هدف:

در این نوع از الگوریتمها هر یک از رباتها به عنوان یک ذره یا یک عامل در نظر گرفته می‌شوند. به هر جستجو در محیط مقداری نسبت داده می‌شود که به آنها مقدار تناسب گفته می‌شود. از این مقادیر متناسب برای جستجوی اهداف استفاده می‌شود. به عبارت دیگر به جستجوهای متفاوت که توسط هر کدام از رباتها صورت می‌گیرد مقادیری نسبت داده می‌شود. هر جستجویی که بتواند مقدار تناسب بیشتری را به خود اختصاص دهد می‌تواند به هدف منتهی شود. یعنی مسیری که بیشترین تعداد رباتها آن را جستجو کرده‌اند به احتمال زیاد می‌تواند به اهداف مورد نظر دسترسی پیدا کند. می‌توان از الگوریتم PSO برای جستجوی هدف به طور مستقیم استفاده کرد.[۱۷]

در این الگوریتم هر ربات با استفاده از یک توپولوژی خاص با همسایگان خود در ارتباط است. الگوریتم اجازه می‌دهد تا گروهی از رباتها برای پیدا کردن هدف با هم همکاری داشته باشند. همچنین می‌توان اهداف را با نشانه شیمیایی خاصی مشخص کرد. اگر هیچ نشانه شیمیایی خاصی در همسایگی رباتها وجود نداشته‌باشد، رباتها یکدیگر را دفع می‌کنند. اگر رباتها نشانه‌ی شیمیایی در اطرافشان حس کنند به سمت هدف حرکت می‌کنند.[۷]

البته این رویکرد همان روش استفاده از فرمونهای مجازی است. روش دیگری که برای پیدا کردن اهداف ناشناخته استفاده شده‌است، استفاده از الگوریتم PSO با استفاده از یک فاکتور وزن برای اهداف می‌باشد. در این الگوریتم به هر کدام از اهداف وزنی نسبت داده می‌شود. جمع با استفاده از این فاکتور وزن صورت می‌گیرد. اهدافی که دارای وزن بیشتری باشند در ابتدا مورد توجه قرار خواهند گرفت. البته این روش در دستیابی به اهداف نوعی بهینه‌سازی را لحاظ می‌کند.[۱۸]

در آزمایشات و شبیه‌سازیها در رباتیک‌جمعی، بیشتر از دو نمونه رباتهای کوچک با طراحی ساده و امکانات سنسوری خاص، استفاده می‌شود.

Kilobots: این سیستم به صورت خودسازمان ساخته شده‌است. این رباتها می‌توانند به صورت توپولوژیهای خاصی سازماندهی شوند و برای اهداف متفاوتی مورد استفاده قرار بگیرند.[۱۹]

e-puck: این رباتهای نیز رباتهایی هستند که در ابعاد کوچک و با قابلیت استفاده از سنسورها طراحی شده‌اند. آنها نیز قابلیت خودسازمانی را دارند.

۲-۱۵ شبکه‌های پتری:

مفهوم دیگری که باید به آن توجه داشت شبکه‌های پتری هستند. شبکه‌های پتری^۱ در سال ۱۹۶۲ توسط فیزیکدان، کارل آدام پتری معرفی شد.[۲۰] که یک نظریه ریاضیاتی را با یک نمایش گرافیکی ترکیب می‌کند. این ترکیب باعث موفقیت این مدل در بسیاری از جنبه‌های سیستم‌های مبتنی بر رخداد شده‌است.[۲۱]

در شبکه‌های پتری با سیستمهای گسسته رخداد مواجه هستیم. این سیستمها با تامین منابع مورد نیاز، امکان اجرایی شدن را خواهند داشت.

۲-۱۵-۱ سیستمهای تخصیص منابع^۲:

سیستمهای گسسته رخدادی هستند که در آنها مجموعه‌ی متناهی از فرایندهای همروند برای دسترسی به مجموعه‌ای از منابع محدود با یکدیگر رقابت می‌کنند. تخصیص امن منابع از مسائل مهم در این سیستمها است. این سیستمها بسیار حساس به خطا هستند و برای اعتبار سنجی آنها می‌توان از روشهای اعتبار سنجی فرمال استفاده کرد. یکی از مهمترین ابزارهایی که برای تحلیل چنین سیستمهایی کاربرد دارد شبکه‌های پتری هستند.[۲۱]

^۱Petri net

^۲Resource allocation systems

در سیستمهای گسسته رخداد هنگامی که یک اتفاق می‌خواهد روی دهد و سیستم از حالت S1 به حالت S2 برود، می‌توانیم شرطهایی را برای آن تعیین کنیم. اگر این شرطها برقرار شوند، تغییر حالت سیستم اتفاق خواهد افتاد. برای ما مهم نیست که چه زمانی این شرطها محقق شوند زیرا در شبکه‌های پتری ما معمولاً از مفهوم زمان استفاده نمی‌کنیم.

۲-۱۶ تعریف آسنکرون^۱:

یا عدم وابستگی به زمان یعنی زمان پایان یک فرایند برای سیستم مهم نیست. چیزی که اهمیت دارد توالی انجام کارها این است که مثلاً عمل ۱ بعد از اتمام عمل ۲ باید آغاز شود. شبکه‌های پتری یک زبان توصیفی سطح بالای فرمال هستند. این شبکه‌ها برای مدل‌سازی سیستمهای پیچیده به کار می‌روند. سیستمهای پیچیده سیستمهایی هستند که در آنها فرآیندهای همروند^۲ یا موازی^۳ مورد پردازش قرار می‌گیرند. شبکه‌های پتری علاوه بر اینکه دارای ساختار و رفتار صوری هستند، قابلیت نمایش گرافیکی را نیز دارند. به همین سبب مدل‌سازی توسط آنها آسان است. یکی از دلایل موفقیت شبکه‌های پتری سادگی در نمایش، مدل‌سازی و تحلیل آنهاست. قدرت تحلیلی شبه‌های پتری بسیار بالاست. عیب‌یابی سیستمهایی که با این ابزار مدل می‌شوند نیز به مراتب نسبت به مدل‌های دیگر ساده‌تر است. [۲۱]

۲-۱۷ از دیگر مزایای شبکه‌های پتری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- قابلیت نمایش همروندی
- قابلیت نگاشته شدن شبکه‌های پتری به فرمالیزمهای دیگر
- دارا بودن ساختار سلسله مراتبی
- قابلیت شبکه‌های پتری در کامپایل شدن به کد قابل اجرا در سخت افزار

¹asancroniz
²cuncurrency
³parallel

از نظر نمایشی شبکه‌ی پتری شامل مکان^۱، گذر^۲ و کمان^۳ هستند. از نظر تحلیلی مکانها نشان دهنده حالت یا اشیاء موجود در سیستم می‌باشند. گذرها، عملها را مدل می‌کنند. همچنین نشانه‌ها، منابع تحت اختیار سیستم هستند. در واقع نشانه‌ها در دسترس بودن یا نبودن منابع سیستمی را مدل‌سازی می‌کنند. مکانها می‌توانند شامل نشانه‌ها باشند. این به معنی در اختیار گرفتن منابع و آمادگی سیستم برای تغییر حالت، خواهد بود. به چگونگی توزیع نشانه‌ها در داخل مکانها نشانه‌گذاری یا مارکینگ^۴ گفته می‌شود. کمانها نیز اتصالاتی را از مکانها به گذرها برقرار می‌کنند که می‌توانند وزن‌دار^۵ نیز باشند.

۲-۱۸ تعریف:

شبکه‌ی پتری به صورت یک پنج‌تایی مرتب به صورت فوق نشان داده می‌شود.

$$N = (P, T, F, W, M_0) \quad \text{فرمول ۲-۱}$$

P: همان مکانها هستند که به صورت دایره نمایش داده می‌شوند.

T: گذرها هستند که به صورت مستطیل نمایش داده می‌شوند. اگر شبکه فاقد زمان باشد مستطیلها به صورت توپر خواهند بود.

F: مجموعه‌ای از کمانها که رابط میان مکانها و گذرها هستند.

W: تابع وزن کمان است که به هر کدام از کمانها وزنی را اختصاص می‌دهد.

M₀: نشانه گذاری اولیه سیستم را نشان می‌دهد.

۲-۱۹ فضای حالت در شبکه‌های پتری:

فضای حالت توصیف کننده تمام حالت‌هایی است که سیستم می‌تواند داشته باشد. البته این فضای حالت می‌تواند بسیار بزرگ باشد. حتی گاهی با انفجار فضای حالت مواجه خواهیم شد. فضای حالت

¹ place
² transition
³ arc
⁴ marking
⁵ weight

در هر زمان گویای این است که الان چه گذرهایی قابلیت فعال شدن را دارند و اگر هر کدام از آنها فعال شوند سیستم را به چه حالتی خواهند برد. با ترسیم فضای حالت ما می‌توانیم حالت‌های مناسب برای سیستم را مشخص کرده و حالت‌های نامناسبی که می‌تواند سیستم را دچار بن بست کند را تشخیص دهیم. با ترسیم فضای حالت می‌توان تا حد امکان از قرار گرفتن سیستم در حالت‌های نامناسب جلوگیری کرد. فضای حالت را با نمودار درختی یا گراف نشان می‌دهیم

۲-۲۰ ماتریس وقوع^۱ یا حالت:

از تفاضل ماتریس ورودی و ماتریس خروجی ماتریس وقوع بدست می‌آید. ماتریس ورودی یا W^+ ماتریسی است که مکان‌های ورودی به گذرها را مشخص می‌کند و ماتریس خروجی یا W^- نیز مکان‌های خروجی از گذرها را به تصویر می‌کشد. ماتریس وقوع را با W نمایش می‌دهیم

$$W_{ij} = w(t_j, p_i) - w(p_i, t_j) \quad \text{فرمول ۲-۲}$$

یا

$$W = \text{out-in}$$

۲-۲۱ تعریف:

در یک نشانه‌گذاری Mk گذر t را فعال^۲ می‌گوییم اگر هر یک از مکان‌های ورودی آن، حداقل به تعداد وزن کمان‌های اتصال دهنده، نشانه داشته باشند.

۲-۲۲ قانون اجرا (آتش) شدن^۳ گذرها:

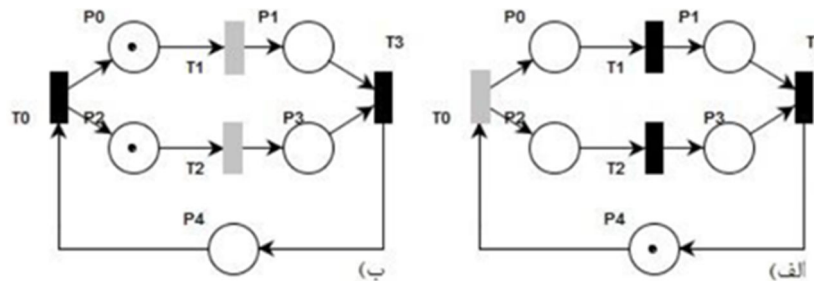
اگر گذری اجرا شود از هر یک از کمان‌های ورودی آن با توجه به وزن کمان اتصال دهنده، نشانه کم خواهد شد. به مکان‌های خروجی آن گذر، نیز با توجه به وزن کمان اتصال دهنده، نشانه اضافه خواهد

^۱incidence

^۲enable

^۳fire

شد. سپس حالت سیستم از نشانه گذاری M_k به نشانه گذاری M_{k+1} تغییر خواهد کرد. اجرا شدن گذرها در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲-۱ برگرفته از مرجع [۲۱] نحوه تغییر حالت شبکه‌ی پتری با اجرا شدن یک گذر فعال. اجرای گذر فعال t_0 در شکل الف منجر به تغییر وضعیت سیستم به شکل ب می‌شود. گذرهای فعال با رنگ طوسی و گذرهای غیر فعال با رنگ مشکی نشان داده شده‌اند.

با داشتن نشانه‌گذاری اولیه و محاسبه تمامی نشانه‌گذاری‌های بعدی به فضای حالت شبکه‌ی پتری می‌رسیم.

۲-۲۳ ویژگی‌های مختلف شبکه‌های پتری:

ویژگی‌های خاصی که شبکه‌های پتری را از سایر ابزارهای تحلیلی متمایز می‌سازد عبارتند از همروندی، تصادم، تعارض و انحصار.

۲-۲۳-۱ همروندی یا موازی کاری:

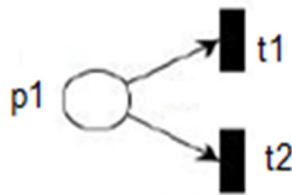
برای دو گذری که از هم مستقل هستند، اگر یکی بتواند قبل، بعد، یا همزمان با دیگری اجرا شود به آن همروندی یا موازی کاری گفته می‌شود.

۲-۲۳-۲ تصادم^۱:

یکی از ویژگی‌هایی است که به خاطر عدم قطعیت می‌تواند اتفاق بیفتد. وقتی دو گذر شرایط یکسانی برای اجرا شدن داشته باشند، هر کدام که بتواند زودتر اجرا شود، شانس اجرا در همان لحظه را از دیگری می‌گیرد.

¹conflict

به این ویژگی انتخاب یا تصمیم نیز می‌گویند. که در زیر نمایش داده شده است.



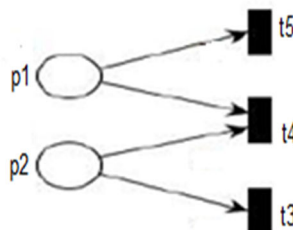
شکل ۲-۲ برگرفته از مرجع [۲۱] در مورد تصادم دو گذر

۲-۲۳-۳ تعریف انحصار یک جانبه^۱:

اگر منبعی توسط یک بخش از سیستم مورد استفاده قرار گرفته باشد در همان لحظه بخش دیگری از سیستم نمی‌تواند از آن منبع استفاده کند و باید منتظر آزاد شدن منبع بماند. به این ویژگی انحصار یک جانبه گفته می‌شود.

۲-۲۳-۴ تعارض^۲:

ویژگی دیگری که این شبکه‌ها می‌توانند داشته باشند تعارض است. این ویژگی زمانی رخ می‌دهد که سیستم دارای رخدادهای موازی و متعارض باشد.



شکل ۲-۳ برگرفته از مرجع [۲۱] در مورد تعارض

۲-۲۴ بن‌بست^۳:

یک شبکه وقتی دچار بن‌بست خواهد شد که با قرار گرفتن در حالت M هیچ گذر دیگری امکان فعال شدن را نداشته باشد.

¹ mutual exclusion

² confusion

³ dead lock

۲-۲۵ زنده بودن^۱:

زمانی اتفاق می‌افتد که گذر t بتواند توسط دنباله‌ای از اجراها فعال شود. زنده بودن یک سیستم نشان دهنده این است که حالت بن‌بست برای آن اتفاق نخواهد افتاد. عکس آن یعنی مرده بودن برای زمانی است که گذر t نتواند توسط هیچ دنباله‌ای از اجراها فعال شود.

۲-۲۶ بازگشت پذیری:

اگر برای یک حالت دسترس پذیر M دنباله‌ای از گذرها وجود داشته باشند که با اجرای آنها سیستم بتواند به حالت اولیه M_0 برگردد این سیستم بازگشت پذیر خواهد بود. بازگشت پذیری این مزیت را دارد که اگر سیستم در شرایط نامناسبی قرار گرفت، بتواند به حالت اولیه خود برگردد.

۲-۲۷ شبکه‌های پتری کراندار^۲:

یک مکان $P \in P$ را در یک شبکه (N, M_0) کراندار می‌گوییم اگر و تنها اگر تعداد نشانه‌هایی که در P وجود دارند یک عدد متناهی باشد.

$$\exists k \in \mathbb{N} \cup \{0\}, \forall M \in R(N, M_0) \rightarrow M(P) \leq k \quad \text{فرمول ۲-۳}$$

در صورتی که در شبکه (N, M_0) تمامی مکانهای شبکه کراندار باشند، آن شبکه کراندار خواهد بود. کراندار بودن از ویژگی‌های مهم شبکه است که می‌تواند از سرریز بافر جلوگیری کرده و سیستم را به پایداری برساند. [۲۱]

۲-۲۸ تعریف شبکه‌ی امن^۳:

اگر حداکثر تعداد نشانه‌ها برای تمامی مکانها عدد ۱ باشد به آن یک شبکه پتری امن می‌گویند.

۲-۲۹ تعریف:

p -invariant به عنوان یک بردار I تعریف می‌شود که $I.W=0$ در مورد آن برقرار است.

¹ liveness

² boundedness

³ Safe petri net

p-invariant می‌تواند به عنوان یک گام پیش پردازش برای آنالیز گراف دسترسی^۱ مفید باشد.

۲-۳۰ تعریف:

T-invariant به صورت بردار I تعریف می‌شود که $W.I=0$ در مورد آن برقرار است.

۲-۳۱ گراف دسترسی:

مهمترین ابزار برای تجزیه و تحلیل شبکه‌های پتری گراف دسترسی است. این گراف می‌تواند امن بودن یا نبودن شبکه را مورد بررسی قرار دهد. برای بدست آوردن گراف دسترسی کار را با نشانه-گذاری اولیه شبکه آغاز می‌کنیم. بعد از آن به مطالعه‌ی گذرهای می‌پردازیم که شرایط فعال شدن را داشته باشند. سپس در نظر می‌گیریم که با اجرایی شدن آن گذرها سیستم به چه نشانه‌گذاری تغییر حالت خواهد داد. به همین ترتیب مرحله به مرحله نشانه‌گذاریهای جدید سیستم را بدست می‌آوریم. گرافی که بدین ترتیب بدست می‌آید گراف دسترسی است. با بررسی این گراف می‌توانیم کلیه حالت‌هایی که برای سیستم اتفاق خواهد افتاد را مطالعه کنیم. البته به این نکته باید توجه کرد که بدست آوردن این گراف برای همه‌ی شبکه‌ها امکان پذیر نیست.

۲-۳۲ گراف پوشانندگی^۲:

برای مطالعه روی زنده‌بودن و کرانداربودن یک شبکه می‌توان از گراف پوشانندگی استفاده کرد. گراف پوشانندگی می‌تواند نشان دهد که آیا گراف دسترسی بینهایت است یا نه؟ بینهایت بودن گراف دسترسی شبکه را دچار پیچیدگی زیادی می‌کند و بار محاسباتی بالایی را ایجاد خواهد کرد. بنابراین مطالعه گراف پوشانندگی می‌تواند بسیار کارآمد باشد.

^۱ reachability graph

^۲ Coverability graph

۲-۳۳ کنترل:

وقتی شبکه‌ی پتری ما توسط مکانها، گذرها و نشانه‌ها مدل شد، می‌توان کنترل را بر روی آن اعمال کرد. کنترل، کارهایی که سیستم می‌تواند انجام دهد را با فعال کردن گذرها مورد بررسی قرار می‌دهد. در این شبکه‌ها می‌توان کنترل نظارتی (سوپروایزری)^۱ را نیز اعمال کرد. سوپروایزر در واقع کارهایی است که سیستم باید انجام دهد و کنترل کارهایی است که سیستم می‌تواند انجام دهد. بنابراین با اعمال کنترل نظارتی بر روی شبکه ما می‌توانیم سیستم را در جهت کارهایی که برای ما مطلوب و مدنظر ما هستند پیش ببریم.

بعد از ارائه‌ی روشهای آنالیز بر روی شبکه‌های پتری و بدست آوردن معادله‌ی حالات شبکه، در نهایت می‌توان این معادله‌ی حالات را تبدیل به یک کد قابل اجرا کرد. این کدها به صورت فرمانهای کنترلی صادر شده و به صورت یک کد کنترلی روی سیستم نصب و اجرا خواهد شد.

^۱ Supervisory control

فصل سوم:

مروری بر کارهای گذشته

در دو دهه گذشته رباتیک جمعی توانسته است به عنوان یک موضوع جدید، محققان زیادی را به سوی خود جذب کند. از دلایل توجه به رباتیک جمعی این بود که کارها توسط این گونه سیستمها، سریعتر انجام شده و با بهره‌گیری از خاصیت موازی کاری آنها، در استفاده از زمان کاهش قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌شود. علاوه بر آن چون پیچیدگی تک تک رباتها کم است هزینه‌های ساخت، تعمیرات و نگهداری، کاهش زیادی خواهند داشت.

در رباتیک جمعی می‌توان قابلیت رباتها را با توجه به کاری که قرار است انجام دهند افزایش یا کاهش داد. ولی در مجموع رباتها هر چه ساده‌تر در نظر گرفته شوند برای ما اهمیت بیشتری خواهند داشت. سادگی رباتها باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و فضای اشغالی توسط آنها خواهد شد که هر کدام از این موضوعات از جنبه‌هایی حائز اهمیت هستند. سادگی رباتها این امکان را به آنها می‌دهد تا ویژگی‌های حداقلی را از محیط استخراج کنند. در این صورت انتقال سیستم از محیط شبیه‌سازی به دنیای واقعی راحت‌تر و کم هزینه‌تر خواهد بود.

در تحقیقی که به وسیله گوسی و همکاران انجام شد، خوشه‌بندی^۱ رباتهایی که قدرت محاسباتی نداشتند مورد مطالعه قرار گرفت. [۲۲]

۳-۱ تعریف خوشه‌بندی:

در خوشه‌بندی سعی بر این است تا نمونه‌ها به زیر نمونه‌هایی تقسیم شوند. به هر کدام از این زیر نمونه‌ها یک خوشه گفته می‌شود. نمونه‌هایی که در یک خوشه قرار گرفته‌اند باید بیشترین شباهت را با هم و بیشترین تفاوت را با خوشه‌های مجاور خود داشته باشند. در خوشه‌بندی ما از یک یا چند ویژگی برای قرار دادن اشیاء در خوشه‌ها استفاده می‌کنیم. در مباحث رباتیک جمعی مهمترین ویژگی برای خوشه‌بندی، ویژگی فاصله است. اشیاء موجود در یک خوشه باید کاملاً به هم نزدیک شوند و در مجاورت یکدیگر قرار بگیرند. به گونه‌ای که شیء دیگری نتواند در بین آنها مستقر شود.

^۱clustering

در این تحقیق رباتها فقط قادر بودند در هر لحظه با توجه به اطلاعاتی که از سنسورهایشان دریافت می‌کردند، واکنشهایی را نشان دهند. رباتهای e-puck که در این تحقیق استفاده شدند فقط به یک سنسور مجهز بودند. واکنش به سنسورها نیز فقط به این صورت بود که بتوانند وجود شیئی را در نزدیکی خود تشخیص دهند ولی نمی‌توانستند فاصله خود را با آن تخمین بزنند.

نتایج شبیه‌سازیها نشان داد که با وجود قابلیت‌های حداقلی ذکر شده باز هم رباتها قادر بودند خوشه‌بندی را انجام دهند. حتی اگر آنها نتوانند بین یک شیء یا یک ربات تمایز قائل شده و میزان فاصله از آنها را تخمین بزنند. اما اگر رباتها این قابلیت را داشته باشند که بین رباتها با اشیاء تمایز قایل شود، عملکرد خوشه‌بندی بطور قابل توجهی بهبود پیدا خواهد کرد.

در این تحقیق چون فقط از یک سنسور استفاده شد، محدودیتی در اندازه اشیاء برای سیستم وجود نخواهد داشت. اما جایی که از دو سنسور استفاده می‌شود و ربات می‌تواند علاوه بر تشخیص اشیاء، فاصله را نیز تشخیص بدهد سیستم مجبور است برای اندازه‌ی اشیاء محدودیت در نظر بگیرد. بگونه‌ای که اندازه اشیاء نباید از فاصله دو سنسور بیشتر باشد. [۲۳]

هدف در این تحقیق این بود که رباتها و اشیاء موجود در محیط با هم و با بیشترین سرعت ممکن، به یکی از خوشه‌ها بپیوندند. کمکی که سنسور به ربات می‌کند این است که خط دیدی را برای آن ایجاد می‌کند. این خط دید با مقدار دهی به متغیر I ایجاد شده و به ربات می‌فهماند که آیا چیزی در مقابلش قرار گرفته یا نه؟ اگر $I=0$ باشد یعنی چیزی در مقابل ربات وجود ندارد. اگر $I=1$ باشد یعنی یک شیء در خط دید سنسور وجود دارد. اگر $I=2$ توسط سنسور مقدار دهی شود گویای آن است که یک ربات در خط دید وجود دارد. ربات با توجه به اطلاعات دریافتی از سنسور می‌تواند واکنشهایی که از قبل برایش تعریف شده‌اند را به نمایش بگذارد.

برای اینکه رباتها بتوانند اشیاء و رباتها را از یکدیگر تشخیص دهند می‌توان از رنگها نیز استفاده کرد. برای دستیابی به این منظور برای رباتها از سنسورهایی استفاده می‌کنند که قادرند رنگها را تشخیص دهند.

آزمایشات نشان داد که رباتها توانستند راهشان را در میان اشیاء پیدا کنند و در یک مسیر دایره‌ای در اطراف اشیاء حرکت کنند. آنها توانستند با استفاده از نیروی دافعه، اشیاء را حول داده و به سمت داخل بکشانند و این کار را تا رسیدن به یک خوشه ادامه دهند. کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که حتی یک ربات یا شیء در محیط قرار گرفته باشند. فقط رباتها یا اشیائی که در پیکربندی اولیه از بقیه‌ی گروه خیلی دور افتاده باشند، نمی‌توانند توسط هیچ ربات دیگری دیده شوند. این رباتها از خوشه جا خواهند ماند. [۲۲]

در بحث خوشه‌بندی فضایی^۱ که توسط نیکلاس و همکاران انجام شد [۲۴] از یک نشانه‌گذاری فضایی برای خوشه‌بندی در رباتیک جمعی استفاده شده‌است. هر کدام از خوشه‌ها با توجه به موقعیتی که در محیط برایشان ایجاد شده برای انجام وظیفه‌ای خاص در نظر گرفته می‌شوند. همانطور که اشاره شد هر خوشه بر اساس ویژگی‌هایی مثل میزان شباهت رباتها یا نزدیکی فیزیکی آنها شکل می‌گیرد. بعد از خوشه‌بندی اولیه، رباتها می‌توانند برای پیدا کردن خوشه‌ی بهتر حرکت کنند. ارزیابی پیدا کردن خوشه‌ی بهتر از طریق چشم (سنسور) رباتها صورت می‌گیرد. آنها می‌توانند درک کنند که کدام خوشه بهتر و متراکم‌تر است. با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده از رباتهای همسایه و میزان فاصله با آنها و فاصله‌ای که رباتها از اهداف تعیین شده دارند، یک نشانه‌گذاری (توکن) برای رباتها صورت می‌گیرد. به تدریج نقشه‌ی نشانه‌گذاری کامل می‌شود. حالا رباتهایی که دارای نشانه‌هایی با وزن بالاتر هستند در خوشه‌ی اول و رباتهای دارای نشانه‌هایی با وزنهای کمتر در خوشه‌ی دوم قرار می‌گیرند. بدین ترتیب خوشه‌بندی کامل می‌شود. در این تحقیق از دو خوشه استفاده شده اما با توجه به الگوریتم ارائه شده، خوشه‌ها قابل گسترش هستند. با توجه به وظایفی که به رباتها محول می‌شود آنها می‌توانند با اعضای خوشه‌ی خود برای رسیدن به اهدافشان تلاش کنند. [۲۴]

یکی دیگر از عواملی که در رباتیک جمعی به آن، زیاد پرداخته شده، رهبر گروه است. همانطور که قبلا نیز اشاره شد رهبر همانند سایر اعضاء دارای یک سری قابلیت‌های عمومی است که همه‌ی اعضاء این

¹Spatial clustering

قابلیت‌ها را دارند. رهبر علاوه بر قابلیت‌های عمومی می‌تواند دارای قابلیت‌های اختصاصی نیز باشد. رهبر در گروه می‌تواند ربات‌های پیرو^۱ را به سوی هدف هدایت کند. ربات‌های پیرو ربات‌هایی هستند که تحت سرپرستی یک ربات رهبر قرار می‌گیرند و از فرمان‌های رهبر برای انجام وظیفه‌ای خاص، پیروی می‌کنند. پایداری گروه در این است که رهبر از گروه جدا نشود. تمام اعضای گروه حتی رهبر دارای محدودیت‌های دید هستند. هر چه سرعت و عملکرد رهبرگروه بهتر باشد سرعت و عملکرد گروه نیز بهبود خواهد داشت.

برای بهینه‌سازی سرعت رهبر که تاثیر زیادی بر روی سرعت حرکت کل گروه دارد وطن خواه و همکاران تحقیقی را انجام دادند. آنها از الگوریتم بهینه‌سازی پرواز پرندگان برای بهینه‌سازی سرعت در رباتیک جمعی استفاده کردند. حرکت رهبر بر روی حرکت اعضای گروه تاثیرگذار است. همچنین فاصله ربات‌ها از رهبر نیز بر روی حرکت آنها تاثیر می‌گذارد. در صورتی که ربات رهبر با سرعت زیاد حرکت کند، ممکن است از گروه جدا شود. در این صورت گروه پایداری خود را از دست خواهد داد. در صورتی که رهبر با سرعت پایین حرکت کند، باعث کند شدن حرکت گروه و اتلاف زمان خواهد شد. بنابراین بدست آوردن سرعت بهینه‌ی رهبر تاثیر زیادی در بهینه‌سازی سرعت گروه خواهد داشت. در این تحقیق با پیدا کردن سرعت بهینه برای ربات رهبر، ماکزیمم سرعت برای گروه بدست آمد. در اینجا از فاصله تعادلی بین ربات‌ها استفاده شده که محاسبه این فاصله در فرمول زیر نشان داده شده- است. [۲۵]

$$G_{ij} = (x^i - x^j) \cdot g_{ij} = \begin{cases} g_r \cdot (x^i - x^j) & \|x^i - x^j\| < d_r \\ -\mu \cdot (x^i - x^j) & d_r < \|x^i - x^j\| < f_v \\ 0 & \|x^i - x^j\| > f_v \end{cases} \quad \text{فرمول ۱-۳}$$

وقتی فاصله‌ی دو ربات از مقدار d بیشتر باشد، نیروی جاذبه بین آنها برقرار خواهد شد و ربات‌ها به سوی هم حرکت خواهند کرد. اگر فاصله‌ی ربات‌ها از این فاصله‌ی تعادلی کمتر شود به این معناست که ربات‌ها

^۱Follower robots

ممکن است با یکدیگر برخورد داشته باشند. بنابراین نیروی دافعه بین آنها برقرار شده و رباتها از هم دور می‌شوند. حرکت رباتها علاوه بر موقعیت مکانی رباتها نسبت به هم به فاصله‌ی آنها از رهبر نیز بستگی دارد. در این تحقیق سعی بر آن است تا مرکز هندسی رباتها یعنی جایی که تراکم رباتها در آنجا بیشتر است محاسبه شود. سپس با مشتق‌گیری از این معادله‌ی مکان به معادله سرعت بهینه برسند. برای ربات رهبر نیز یک محدوده‌ی دید در نظر گرفته شده است. [۲۵]

با استفاده از فرمول زیر معادله‌ی مکان برای مرکز ثقل بدست خواهد آمد.

$$\bar{X} = \frac{\beta Q}{M} (C - Z)$$

فرمول ۲-۳

Q نشان دهنده تعداد اعضاء گروه، β یک عدد ثابت مثبت، M مرکز توده و C مکان ربات رهبر است. با مشتق‌گیری از این معادله معادله‌ی سرعت را خواهیم داشت که در آن، سرعت مرکز هندسی رباتیک جمعی تابعی از تعداد رباتهایی است که قادرند وجود ربات رهبر را در نزدیکی خود حس کنند. همچنین سرعت گروه با توجه به فاصله‌ای که مرکز هندسی رباتها از ربات رهبر دارند محاسبه می‌شود.

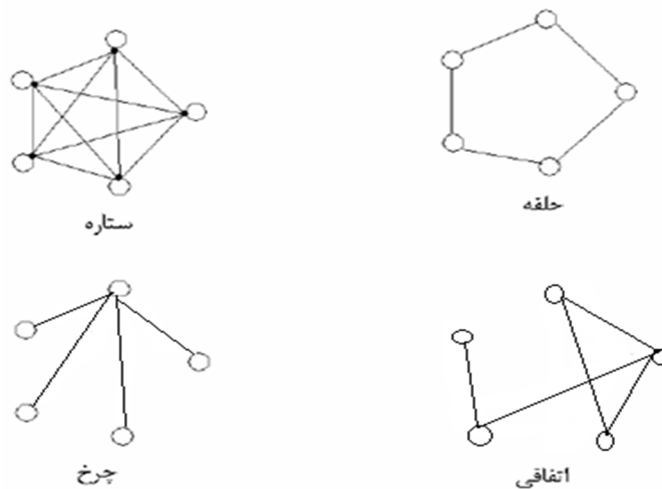
۲-۳ استفاده از الگوریتم PSO:

در این روش هر پرنده برای یافتن غذا علاوه بر تجربه‌ی فردی خود از تجربه‌ی دیگر پرندگان نیز استفاده می‌کند. جمعیت مناسب برای این الگوریتم بین ۱۰ تا ۵۰ ذره یا ربات است. در این الگوریتم به هر ذره سرعت V و مکان X نسبت داده می‌شود. با توجه به تابع هدف، یک مقدار برازندگی به این ذرات نسبت داده می‌شود. در این الگوریتم مکان هر ذره متناظر با یک سرعت برای ربات رهبر است. [۲۵]

$$V_i = w.V_i + c_1.r_1(P_i - X_i) + c_2.r_2(X_g - X_i)$$

فرمول ۳-۳

در این الگوریتم توپولوژیهای مختلفی را می‌توان برای ذرات در نظر گرفت. در روش ستاره، تمام اعضاء به یکدیگر متصلند. در توپولوژی چرخ، یک عضو رهبر وجود دارد که تمام ذرات با آن در ارتباط هستند. در اتصال با حلقه، هر ذره فقط با ذره قبل و بعد خود در ارتباط است. در توپولوژیهای سراسری نسبت به توپولوژیهای محلی، سرعت همگرایی بیشتر است. اما احتمال قرار گرفتن در مینیمم‌های محلی نیز وجود دارد.



شکل ۱-۳ اشکال توپولوژی‌ها بر گرفته از مرجع [۲۵]

یکی دیگر از مسائل مهم در رباتیک جمعی چگونگی انتخاب رهبر است. والری کارپو و همکاران درباره-ی تشکیل ساختار کلی در ازدحام استاتیک^۱ به مشکلات تعیین رهبر و چگونگی توزیع نقشها در میان اعضای گروه پرداختند. آنها به دنبال حل مشکلات پیچیده در سطح رفتاری و پردازش اطلاعات و تصمیم‌گیری‌ها بودند. [۲۶]

۳-۳ تعریف ازدحام استاتیک:

مدلی توصیفی است با تعداد زیادی از عاملها یا رباتهایی که قادرند به صورت محلی تعامل داشته باشند. بدون اینکه در محیط جابه‌جا شوند. در این مدل یک مرکز کنترل داخلی یا خارجی وجود ندارد.

¹static

که در حاشیه شبکه قرار دارند (رباتهای S) به عنوان مسئول جمع آوری اطلاعات نقش‌دهی می‌شوند. رباتهایی که در نزدیکی رهبر قرار گرفته‌اند (رباتهای B) نقش تجزیه و تحلیل اطلاعات را خواهند داشت.

۳-۴ رای گیری برای انتخاب رهبر:

با فرض ناشناخته بودن توپولوژی، هر کدام از رباتها می‌توانند با همسایگان خود ارتباط برقرار کنند. بدین ترتیب گراف شکل می‌گیرد. در اینجا هر ربات به عنوان یک گره در گراف منظور می‌شود و رباتها می‌توانند با توجه به فرمول زیر برای انتخاب رهبر رای بدهند. [۲۶]

$$A = (\alpha, L, C, W) \quad \text{فرمول ۳-۴}$$

α : شناسه‌ی رهبر، L : لیستی از رباتهای همسایه، C : شناسه‌ی کاندید برای رهبری، W : وزن کاندید رهبری

بدین ترتیب می‌توان رهبر را در یک گروه انتخاب کرد.

در تحقیق دیگری از رامین وطن‌خواه و همکاران برای طراحی کنترلر در یک گروه از رباتها برای ازفیلتر کالمن استفاده شد. رباتها باید هدف متحرک را شناسایی کرده و تعقیب می‌کردند. رباتها علاوه بر حفظ یکپارچگی خود نباید با سایر رباتها برخورد داشته باشند. همچنین رباتها دارای دید محدود بوده و حرکت هدف متحرک نیز به صورت تصادفی است. با این اوصاف داشتن تمام متغیرهای حالت عضو هدف ممکن نبود. بنابراین آنها برای تخمین متغیرهای حالت عضو هدف و استفاده از آن در محاسبه‌ی نیروی کنترلی از فیلتر کالمن استفاده کردند. [۲۷]

امروزه استفاده از منطق فازی نیز در بسیاری از تکنولوژیهای پیشرفته رواج پیدا کرده که یکی از مهمترین این حوزه‌ها، کنترل است. صیادی و همکاران با استفاده از منطق فازی مسیر مطلوب برای رباتهای متحرک را تولید کرده و سپس با استفاده از روش کنترل غیرخطی، رباتها مسیر مطلوب را دنبال می‌کنند. برای طراحی تابع پتانسیل نیز از منطق فازی استفاده می‌شود. همچنین برای

جلوگیری از برخورد با موانع نیز از توابع پتانسیل فازی استفاده می‌شود. تغییر دادن پارامترهای توابع فازی راحت‌تر از پارامترهای توابع پتانسیل مصنوعی است. همچنین قابلیت تعمیم آنها برای عوامل یا رباتها، بیشتر است. زیرا فرمانهای کنترلی برای تمام رباتها یکسان بوده و ضرایب توابع فازی نیز برای آنها یکسان هستند. نکته‌ی دیگر اینکه استفاده از توابع فازی سادگی در محاسبات و فهم راحت‌تر را در بر خواهند داشت. [۲۸] در همین راستا مرادی و همکاران بر روی یکپارچگی رباتیک جمعی با کمک رهبر، تحقیقی را انجام دادند. ممکن است موقعیت اولیه‌ی اعضا یا همان پیکربندی اولیه به گونه‌ای باشد که در شروع حرکت، رباتها چندین خوشه‌ی جدا از هم تشکیل دهند. آنها از یک عضو رهبر استفاده کردند. رهبر با الگوریتمهای حرکتی خاص و با کمک یک کنترل فازی توانست اعضا را به سمت ایجاد یک خوشه‌ی واحد سوق دهد. [۲۹]

با توجه به اینکه M عضو گروه یکسان هستند بنابراین مرکز هندسی (p) را می‌توان با استفاده از فرمول زیر بدست آورد. [۲۹]

$$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_i$$

فرمول ۳-۵

سپس حرکت مرکز هندسی گروه با توجه به عضو رهبر از رابطه‌ی فوق بدست

خواهد آمد. [۲۹]

$$H = \frac{\beta Q}{M} (C - Z)$$

فرمول ۳-۶

رهبر بر اساس دیدی که از گروه برایش ایجاد می‌شود می‌تواند سرعت خود را تنظیم کند. قبلاً گفتیم که سرعت رهبر بر روی سرعت کل گروه تاثیر گذار است. اگر سرعت رهبر کم باشد، سرعت گروه نیز بسیار کم خواهد شد و اگر سرعتش زیاد باشد ممکن است از دید سایر اعضا دور بماند.

انتظار این است که رهبر علاوه بر داشتن توانایی‌های محدود، از موقعیت و شرایط همه‌ی اعضا گروه باخبر نباشد.

۳-۵ حرکت رهبر:

رهبر می‌تواند نزدیکترین عضو به خود را مبنای حرکت قرار داده و به سوی آن با سرعت V حرکت کند. وظیفه‌ی رهبر این است که اعضاء را در محدوده‌ی دید یکدیگر قرار دهد. او باید سعی کند خوشه را به صورت منسجم‌تری درآورد تا اعضاء گروه به صورت دایره وار گرد هم جمع شوند. [۲۹]

۳-۶ سرعت رهبر:

برای تعیین سرعت شعاعی رهبر V_r از دو پارامتر استفاده می‌شود. یکی تعداد اعضایی که رهبر را می‌بینند (Q) و دوم فاصله‌ی متوسطی که این اعضاء از رهبر دارند $\|c-z\|$. بنابراین کنترل فازی با استفاده از این دو پارامتر و مجموعه‌ای از قوانین فازی می‌تواند سرعت شعاعی رهبر را تعیین کند. [۲۹]

عبدالرحمن و همکاران یک راه حل بهینه‌سازی برای برنامه‌ریزی و کنترل رباتها با استفاده از شبکه‌های پتری را مورد بحث قرار دادند. در این کار از یک مدل ریاضی برای بدست آوردن توالی اجزای بهینه‌ی گذرها استفاده شد. از این تحقیق می‌توان برای تعمیم کنترل رباتیک‌جمعی با استفاده از شبکه‌های پتری نیز بهره برد. [۳۰]

در تحقیق دیگری لوپس و همکاران پیشنهاد استفاده از کنترل نظارتی^۱ (SCT) یا سوپروایزری کنترل را در رباتیک‌جمعی دادند.

۳-۷ کنترل نظارتی:

اگر در شبکه‌های پتری موضوع کنترل را به صورت نظارتی در بیاوریم می‌تواند بسیار کمک کننده باشد. این موضوع در رباتیک‌جمعی نیز قابل طرح است. [۳۱] سوپروایزری چهار چوبی است که بر روی اعمال کنترلی به منظور کمتر کردن فضای حالت مساله و جلوگیری از قرار گرفتن سیستم در حالت‌های نامناسب اعمال می‌شود. می‌توان چنین گفت که کنترل با فعال کردن گذرها کلیه‌ی کارهایی

^۱Control thory Supervisory

را که سیستم می‌تواند انجام دهد را به تصویر می‌کشد اما سوپروایزری کنترل با غیر فعال کردن بعضی از گذرها از ایجاد شرایط نامناسب برای سیستم جلوگیری به عمل می‌آورد. [۲۱]

در حقیقت کنترل، کارهایی است که سیستم می‌تواند انجام دهد و SCT کارهایی است که سیستم باید انجام دهد. [۲۱] ما با کنترل SCT رفتارهای سیستم را محدودتر می‌کنیم. می‌توان با غیر فعال کردن بعضی از گذرهایی که سیستم را در شرایط نامناسبی مثل بن‌بست قرار می‌دهد یک نوع محدودیت رفتاری را بر سیستم اعمال کرده و کنترل را به صورت نظارت شده درآورد.

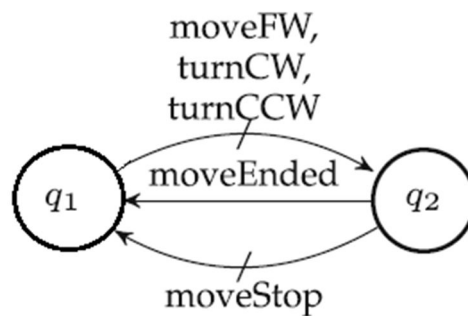
در سیستمهای گسسته رخداد، ما دو نوع رویداد داریم، رویدادهای کنترلی و رویدادهای غیرکنترلی. SCT در واقع تمایز بین این رویدادها را به تصویر می‌کشد.

به عبارت دیگر SCT تعدادی از مدلهای رفتار آزاد سیستم را توصیف می‌کند که این رفتارها خود نشان دهنده قابلیت‌های سیستم می‌باشند. این رفتارها با استفاده از یک زبان فرمال به صورت دنباله‌ای از نمادها درمی‌آیند که هر کدام از آنها به یک رویداد اشاره دارند. SCT روی رویدادهای کنترلی اعمال می‌شود. اگر رویدادی غیر قابل کنترل اتفاق بیفتد، SCT باید رویدادهای کنترلی را برای محدود کردن اثر آن فعال کند. [۲۱]

۳-۸ مدل رفتارهای آزاد^۱:

کلیه‌ی رفتارهایی که هر کدام از رباتها می‌توانند در گروه از خود نشان دهند را مدل رفتار آزاد می‌نامند. رفتارهای آزاد یعنی هنوز هیچ کنترل و یا نظارتی روی رفتارها اعمال نشده و ما فقط تعیین می‌کنیم که رباتها چگونه می‌توانند در سیستم رفتار کنند. مثلاً قابلیت‌های حرکتی می‌تواند جزء رفتارهای آزاد باشد. در اینجا برای رباتها حرکت رو به جلو، حرکت در جهت عقربه‌های ساعت و حرکت در جهت خلاف عقربه‌های ساعت به عنوان مدل رفتار آزاد در نظر گرفته شده‌اند. در شکل زیر با انجام هر کدام از حرکات توسط ربات سیستم از حالت q_1 به حالت q_2 خواهد رفت.

¹Free behaviour



شکل ۳-۳ مربوط به مدل رفتار آزاد مرجع [۳۱]

محدودیتی که برای حرکات رباتها وجود دارد این است که رباتها نباید با یکدیگر و یا با دیواره-های محیط برخوردی داشته باشند.

۳-۹ مشخصات کنترلی^۱:

مشخصات کنترلی بر روی یک یا چند رفتار آزاد اعمال می‌شوند تا رفتار آزاد را در جهت رسیدن به کار مطلوب سیستم، محدود کرده و قانونمند سازند. [۳۱]

۳-۱۰ حالات امن^۲:

به حالتهایی در یک سیستم گفته می‌شود که سیستم را در شرایط بد و نامطلوب مثل بن‌بست قرار نمی‌دهد.

آنها در این تحقیق از تعدادی ربات e-puck استفاده کردند که قابلیت‌های حرکتی و محدودیتهای حرکتی خاصی دارند. رباتها با توجه به شناختی که از محیط توسط سنسورهایشان بدست می‌آورند می‌توانند حرکتهای محدودی را انجام دهند. حرکات باید به گونه‌ای انجام شوند که رباتها با دیواره‌های محیط و با یکدیگر برخورد نکنند و برای رسیدن به هدفی که برایشان طراحی شده‌است تلاش کنند. برای دست یافتن به این موضوع رباتها به یک سنسور باینری مجهز می‌شوند تا توسط آن بتوانند

^۱Control specifications

^۲Safe stats

حضور رباتهای دیگر را در خط دیدشان تشخیص دهند. اگر $i=1$ باشد یعنی یک ربات در خط دید وجود دارد و در غیر اینصورت $i=0$ مقدار دهی خواهد شد.

۳-۱۱ گروه‌بندی یا تجمیع:

رویکرد تجمیع اجازه می‌دهد تا یک گروه از رباتها در یک محیط همگن برای رسیدن به هدفی در کنار هم جمع شوند.

در این تحقیق علاوه بر رباتها، تعدادی شیء نیز در محیط وجود دارند که رباتها سعی می‌کنند با عمل خوشه‌بندی، اشیاء موجود در محیط را در یک خوشه قرار داده و خودشان نیز نزدیک به آنها در یک خوشه‌ی جداگانه قرار بگیرند. رباتها برای اجرای عملیات از نیروهای پتانسیل مجازی استفاده می‌کنند. وقتی رباتی یک شیء را در محیط تشخیص داد، با نیروی دافعه آن را از خود دور کرده و به سمت نقطه‌ای که به عنوان هدف در نظر گرفته شده حول می‌دهد. نیرویی که بین خود رباتها وجود دارد نیروی جاذبه است که باعث می‌شود رباتها به یکدیگر نزدیک شده و سرانجام در داخل یک خوشه قرار بگیرند.

با توجه به مطالبی که در مورد حرکات رباتها و تعاملاتشان با محیط و با رباتهای دیگرگفته شد و با توجه به محدودیتهای مساله یعنی اتفاقاتی که نباید رخ دهند، کنترل نظارتی وارد عمل می‌شود. این کنترل با قوانین خاصی که ایجاد می‌کند، سیستم را برای رسیدن به اهدافش یاری می‌کند. این کار با جلوگیری از ایجاد حرکات نامطلوب رخ می‌دهد.

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد در سیستمهای رباتیک جمعی می‌توان از برخی اعضاء به عنوان رهبران گروه استفاده کرد. یکی از راههای برقراری ارتباط بین رباتها با هم و با رهبرانشان ارسال پیامهایی است. با توجه به این پیامها رباتها می‌توانند با یک شناسه‌ی منحصر به فرد خود را معرفی کرده و به عضویت در یک گروه که توسط یک رهبر هدایت می‌شود درآیند.

در این تحقیق سه رهبر در نظر گرفته شدند که با رنگهای سبز، آبی و قرمز مشخص شده‌اند. رهبران در محیط پراکنده می‌شوند و پیامهایی را در محیط پخش می‌کنند. اگر رباتی در محدوده‌ای قرار گرفته باشد که آن پیام را دریافت کند، می‌تواند با ارسال پیامی کد شناسایی خود را برای آن رهبر ارسال کند. رهبر با دریافت این پیام به بررسی این می‌پردازد که آیا ربات قابلیت عضویت در گروه را دارد یا نه؟ اگر ربات معیارهای لازم را داشته باشد رهبر با ارسال پیامی آن را به عضویت در گروه در-می‌آورد. ربات پیرو نیز یک پیام دیگر به رهبر می‌فرستد و پیشنهاد پذیرش در گروه را قبول می‌کند. بدین ترتیب گروههای سبز، قرمز و آبی شکل می‌گیرند. هر کدام از این گروهها، خود می‌توانند برای انجام کار یا وظیفه‌ای اقدام کنند. لازم به ذکر است که کلیه تبادلات و تعاملات بین رباتها به صورت محلی صورت می‌گیرد. زیرا در صورت سراسری بودن، تعاملات گروه، بسیار زیاد می‌شود. بنابراین برقراری این روابط بسیار دشوار و سازماندهی و کنترل آنها بسیار پیچیده خواهد شد. بخصوص وقتی که تعداد رباتهای موجود در محیط زیاد باشند، فضای حالت مساله بزرگ شده و کار با آن سخت خواهد شد. به همین خاطر ما از تعاملات محلی در رباتیک جمعی استفاده می‌کنیم. با توجه به مطالب ذکر شده رباتیک جمعی می‌تواند با استفاده از مکانیزمهای کنترلی، بخصوص کنترل نظارتی به انجام وظایف محوله بپردازد. البته وقتی یک کار پیچیده برای رباتیک جمعی در نظر گرفته می‌شود شرایط پیچیده‌ای برای مساله ایجاد خواهد شد. هرچه تعداد کارهای محوله و تعداد رباتهایی که باید آن کار را انجام دهند بیشتر باشد، پیچیدگی مساله نیز بیشتر خواهد شد. بنابراین ما تصمیم گرفتیم از دیدگاه دیگری به کارها و چگونگی انجام آنها در رباتیک جمعی نگاه کنیم. این رویکرد در قسمت روش پیشنهادی توضیح داده خواهد شد.

فصل چهارم:

روش پیشنهادی

در بخشهای قبلی ما بیشتر به مطالعه بر روی جزئیات رباتیک جمعی پرداختیم. نگاه ما به مساله‌ی رباتیک جمعی از دیدگاه مدل میکروسکوپی بود. اما در این قسمت ما بیشتر قصد داریم از دیدگاه ماکروسکوپی به قضیه نگاه کنیم. در این بخش سعی شده است در موضوع رباتیک جمعی از یک نوع معماری ترتیبی که توسط یوکیوان و همکارانش ارائه شده استفاده شود. همچنین قسمتی به این معماری اضافه شده است. این معماری جدید، برای انجام کارها می‌تواند مفید واقع شود.

در این مباحث معماری سیستمی سعی دارد مکانیزمهای اجتماعی بشری را بر روی سیستم رباتیک جمعی شبیه‌سازی کند. یوکیوان در این مقاله سعی کرده از یک معماری سیستمی جدید صحبت کند. این معماری سعی دارد رفتارهای انسانی را توسط رباتیک جمعی شبیه‌سازی کند. بنابراین نگاه او یک نوع نگاه تازه به این مساله است. زیرا قبلاً بیشتر نگاه‌ها به رباتیک جمعی به جهت الگو برداری از رفتارهای حیوانی و شبیه‌سازی این رفتارها توسط رباتها بوده است. اما یوکیوان سعی دارد رباتیک جمعی را به سوی بهره‌گیری از رفتارهای انسانی سوق دهد. او معتقد است چون رباتها باید در خدمت بشر قرار بگیرند، ما باید سعی کنیم تا رفتارهای آنها را تا حد ممکن به رفتارهای بشری نزدیک کنیم. همچنین می‌توانیم از ویژگی‌های رباتیک جمعی نیز استفاده کنیم. [۳۲]

این مقاله به طور عمده فعالیتهای انسانی را به منظور انعکاس کلیه‌ی روشهای طراحی و سازمانی، شبیه‌سازی می‌کند و یک مفهوم جدید از رباتیک جمعی با توانایی خودسازمانی را مورد بحث قرار می‌دهد. در سیستمهای رباتیک جمعی تمرکز موضوع بر روی خودسازمانی است و مهمترین نکته‌ای که رباتیک جمعی را از سیستمهای چند رباتی مجزا می‌کند نیز همین خاصیت است. نکته‌ی قابل توجه این است که در روابط انسانی، با توجه به ساختار اجتماعی، هر یک از اعضاء گروه می‌تواند جهت یافتن موقعیتش در یک سیستم و تحت نظارت یک رهبر تلاش کند.

۴-۱ انتزاع وظیفه^۱:

برای اینکه یک کار را به صورت انتزاعی نمایش دهیم باید جزئیات انجام آن کار را حذف کنیم. به عنوان مثال وقتی قرار است رباتی کار نظافت را برای ما انجام دهد، دیگر جزئیات انجام کار مطرح نمی‌شود و ما تعریف نمی‌کنیم که ربات نظافت را چگونه باید انجام دهد. یا وقتی می‌خواهیم از دستگاه قهوه‌ساز، قهوه دریافت کنیم ما فقط نوع قهوه را مشخص می‌کنیم و برای ما مهم نیست که دستگاه، قهوه را چگونه درست می‌کند. نمایش انتزاعی کارها کمک شایانی در کاهش پیچیدگی کارها به ما می‌کند. به گونه‌ای که ما فقط انجام کار را بررسی می‌کنیم و از جزئیات انجام کارها فارغ هستیم. البته نوع نگاه انتزاعی ما به مساله می‌تواند در درجات مختلفی قرار بگیرد و سطح انتزاع، در هر مساله‌ای قابل تعریف است.

۴-۲ کار هسته‌ای^۲ (ساده):

کارهای هسته‌ای قابل تجزیه به زیر مجموعه‌های کاری نیستند آنها کارهای ساده‌ای هستند که می‌توانند توسط یک ربات و به یکباره انجام شوند مثل حرکت ربات از یک مکان به مکان دیگری که فاصله‌ی زیادی از هم ندارند. [۳۳]



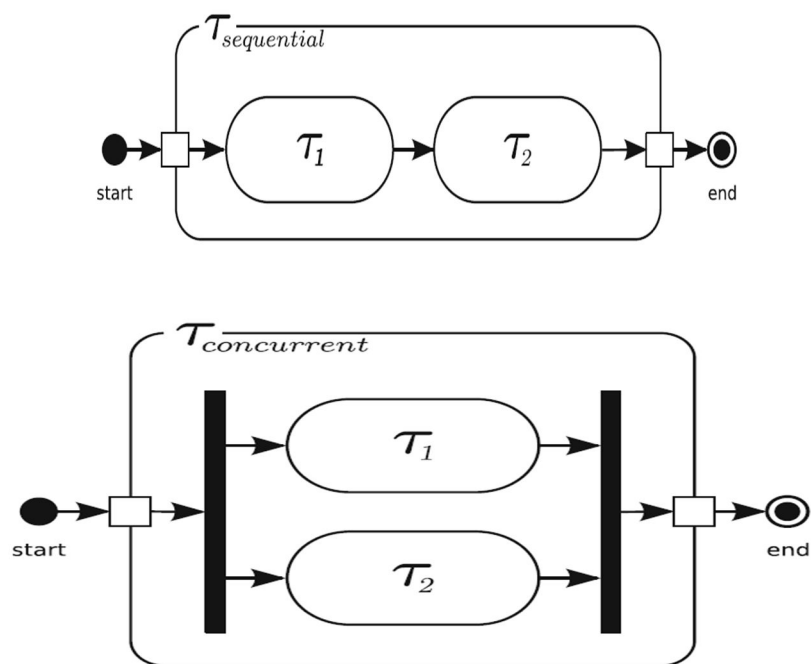
شکل ۴-۱ برگرفته از مرجع [۳۳] مربوط به کار هسته‌ای

۴-۳ مجموعه‌ی کاری:

به تعدادی کار که برای انجام در یک مجموعه قرار گرفته‌اند یک زیرمجموعه‌ی کاری گفته می‌شود. این کارها ممکن است به صورت ترتیبی انجام شوند یا به صورت همزمان اجرایی گردند. [۳۳]

^۱Abstracting task

^۲Atomic task



شکل ۴-۲ برگرفته از مرجع [۳۳] مربوط به مجموعه‌های کاری و سازماندهی آنها برای انجام

۴-۴ کارهای پیچیده^۱:

یک کار پیچیده قابل تجزیه به کارهای ساده‌تر است که هر کدام از این کارها خود تشکیل یک مجموعه‌ی کاری را می‌دهند. کارهای پیچیده از تعدادی زیرمجموعه‌ی کارهسته‌ای تشکیل شده‌اند. این کارها با توجه به روابط درونی بین زیر مجموعه‌های کاری، از هم تفکیک می‌شوند. این گونه کارها برای انجام، نیاز به یک همکاری گروهی دارند. به عنوان مثال ما می‌خواهیم یک تکه چوب را از نقطه-ی a به نقطه‌ی b و سپس به نقطه‌ی c انتقال دهیم. این کار در رباتیک جمعی به عنوان یک کار پیچیده مطرح بوده و می‌توان آن را به دو زیرمجموعه‌ی کاری تقسیم کرد. هر کدام از این زیرمجموعه-ها شامل یک کار هسته‌ای خواهند بود. مجموعه‌ی کاری اول این است که تکه چوب از نقطه‌ی a به نقطه‌ی b منتقل شود و مجموعه‌ی کاری دوم انتقال تکه چوب از نقطه‌ی b به نقطه‌ی c می‌باشد.

¹ Complex task

۴-۵ کارهای تودرتو^۱:

کارهایی هستند که از تعدادی مجموعه‌ی کاری تشکیل شده‌اند که هر کدام از این مجموعه‌های کاری خود از تعدادی زیرمجموعه‌ی کاری تشکیل می‌شود. بنابراین تعداد کارهایی که باید به انجام برسند بسیار زیاد بوده و ما با یک مساله‌ی بسیار پیچیده سروکار خواهیم داشت.

۴-۶ رابطه‌ی دائمی:

ما برای انجام یک زیرمجموعه‌ی کاری نظم و ترتیبی را مشخص می‌کنیم که چگونگی اجرایی شدن کارها و توالی انجام آنها را مشخص می‌کند. توالی انجام کارها نشان دهنده‌ی یک رابطه‌ی دائمی است. مثلاً اگر یک ربات تکه چوبی را روی زمین می‌کشد و ربات دوم عمل کشیدن را ادامه می‌دهد، این موضوع یک رابطه‌ی دائمی را به نمایش می‌گذارد. [۳۳]

۴-۷ رابطه‌ی همزمانی:

وقتی زیر مجموعه‌های کاری بطور همزمان اجرا گردند بین آنها یک رابطه‌ی کاری همزمان برقرار است. مثلاً وقتی قرار است چند ربات در یک زمان در موقعیتهای مشخصی قرار بگیرند ما رابطه‌ی همزمانی را بین آنها خواهیم داشت.

۴-۸ مدل سطح بالا^۲:

به منظور مدل‌سازی ساختار ترتیبی یک مجموعه‌ی کاری، ما مجموعه‌ی مورد نظر را به زیر مجموعه‌هایی تجزیه می‌کنیم. روابطی که بین زیر مجموعه‌های کاری وجود دارد بیانگر پیچیدگی کار است. می‌توان تمام زیرمجموعه‌های کاری را به گونه‌ای تجزیه کرد که دیگر قابل تجزیه شدن نباشند. حال می‌توان ساختار ترتیبی شکل گرفته را به صورت یک گراف به نمایش گذاشت. این گراف، گراف روابط کاری نامیده می‌شود. در این گراف برای انجام یک کار باید یکی از مسیرهای گراف پیموده شود. بدین

^۱Nested complex task

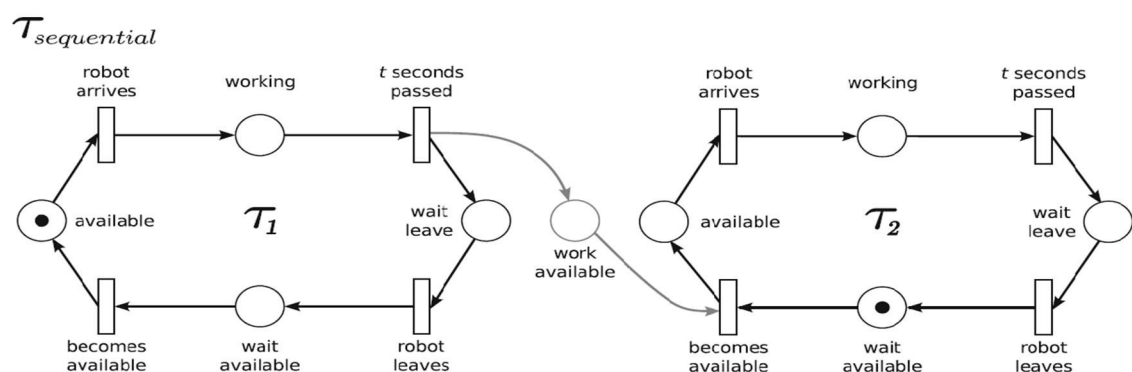
^۲ High- level model

ترتیب مدل سطح بالا ساخته می‌شود. این مدل جهت استفاده بسیار راحت و آسان است. اما برخی از جزئیات روابط بین مجموعه‌های کاری را حذف می‌کند. [۳۳]

۹-۴ مدل سطح پایین^۱:

مدل سطح پایین می‌تواند حاوی جزئیاتی باشد که بین روابط کاری برقرار است. گفتیم که در مدل سطح بالا جزئیات بین روابط کاری حذف می‌شود. اما در مدل سطح پایین این جزئیات در جای خود باقی هستند. برای مدل‌سازی صحیح این جزئیات، می‌توان از شبکه‌های پتری استفاده کرد. مزیت مدل سطح پایین این است که اجازه می‌دهد تا مدل مورد نظر قبل از اینکه در دنیای واقعی آزمایش شود، در محیط مدل‌سازی، مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرد. زیرا شبکه‌های پتری دارای ابزارهای قدرتمندی است که کار تحلیل را انجام می‌دهد و با توجه به روابط موجود بین کارها، اجرایی بودن آنها را مورد بررسی قرار می‌دهند. [۳۳]

در تبدیل مدل سطح پایین به شبکه‌های پتری از یک رویکرد "بالا - پایین" استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا یکی از کارهای هسته‌ای انتخاب می‌شود. سپس به صورت مکرر روابط داخلی بین کارها اضافه می‌گردند و مجموعه‌ی کاری شکل می‌گیرد. به همین ترتیب کل گراف روابط کاری ایجاد می‌شود. حال می‌توان مکانها و گذرهایی را شناسایی کرد که بتوانند این روابط کاری را شبیه‌سازی کنند. بدین ترتیب مدل شبکه پتری بدست می‌آید.



شکل ۳-۴ برگرفته از مرجع [۳۳] مربوط به ارتباط بین مجموعه‌های کاری

^۱Low-level model

یک مجموعه‌ی کاری بر اساس زیر مجموعه‌های کاری، مدل‌سازی می‌شود. روابطی که بین این زیر-مجموعه‌های هسته‌ای وجود دارد، با ایجاد شرایط بین گذرها و مکانها مدل‌سازی می‌شوند. افزودن شرایط به گذرها بیانگر این است که هر مکان می‌تواند بیش از یک نشانه داشته باشد و هر گذر با توجه به تعداد نشانه‌هایی که برای فعال شدن نیاز دارد می‌تواند اجرا شود.

کارهای هسته‌ای را می‌توان در یک شبکه‌ی پتری با تعدادی از مکانها که گویای حالت‌های سیستم هستند مدل‌سازی کرد. به طوری که یک دنباله‌ای از حالتها اتفاق بیافتد. انتقال بین این حالتها توسط وقایع بیرونی ایجاد می‌شوند.

۴-۱۰ معماری کنترل:

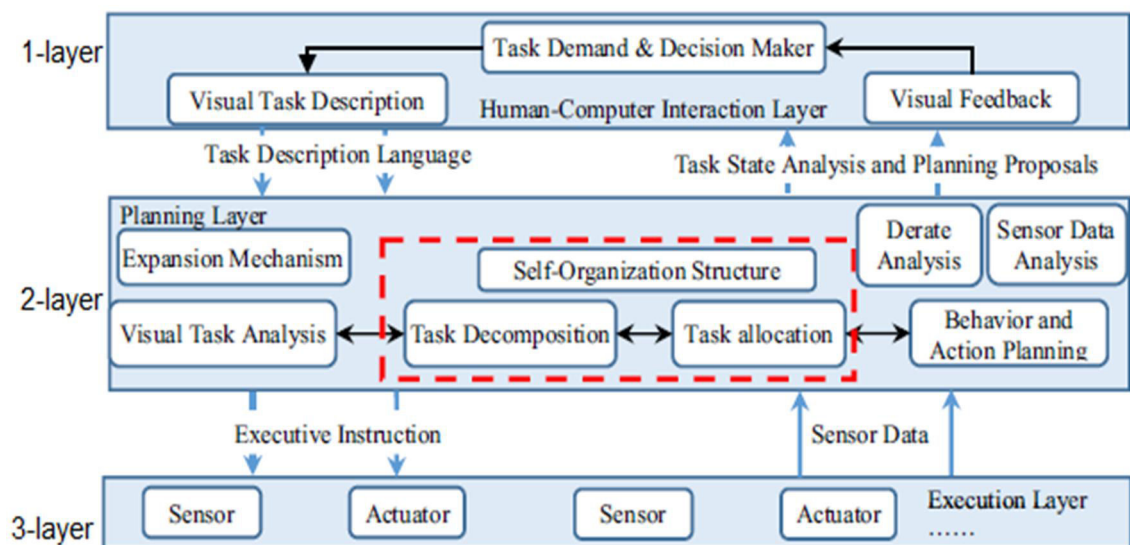
این معماری در رباتیک جمعی شامل معماری سیستم و معماری فردی است. معماری سیستمی با توجه به روابط بین افراد و ارتباطاتی که با هم دارند پی‌ریزی شده‌است. این معماری می‌تواند رفتارهای فیزیکی و منطقی کلیه اعضاء گروه را کنترل کند و شامل تجزیه‌ی کارها، تقسیم وظایف، استدلال‌های منطقی، اجرا و بازخورد حالت‌های سیستم می‌باشد. [۳۲] معماری فردی به سازماندهی افراد برای انجام وظایفشان می‌پردازد و تصمیمات اتخاذ شده توسط اعضاء گروه دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. ما در این مبحث از روش معماری سیستمی استفاده می‌کنیم.

تا کنون معماری‌های متفاوتی برای رباتیک جمعی پیشنهاد شده‌اند. "Gopher" سیستمی با چهار لایه را پیشنهاد کرده که شامل تجزیه‌ی کار، تخصیص کار، طراحی حرکت و کنترل اجرا می‌باشد. [۳۲] برخی دیگر از معماریها نیز وجود دارند که از لحاظ مکانیزم و نیازمندیهای کاری با یکدیگر متفاوتند. قابل توجه است که هر کدام از این معماریها دارای محدودیتها و کاستی‌هایی می‌باشند. یک مدل معماری ویژه و منحصر به فرد که بتواند تمامی قابلیت‌های مورد نیاز در سیستم‌های رباتیک جمعی را بصورت یکجا داشته باشد وجود ندارد.

یوکیوان و همکاران با توسعه عملکرد رباتهای فردی و افزایش هوش آنها سعی کرده‌اند تا از آنها برای کارهای سخت‌تر و با همکاری بیشتر بهره بگیرند.[۳۲] این نکته‌ی دیگری است که با سایر رویکردها در تحقیقات رباتیک‌جمعی متفاوت است. در سایر تحقیقات سعی بر آن بود تا اعضاء در حد امکان ساده و دارای هوش کمتری باشند. اما در اینجا چون شبیه‌سازی رفتارها به سمت رفتارهای انسانی است سعی شده تا رباتها را هوشمندتر طراحی کرده و قابلیت‌های آنها را افزایش دهند.

با این رویکرد می‌توان از رباتیک‌جمعی برای انجام کارهای پیچیده‌تر نیز استفاده کرد. در رباتیک‌جمعی سعی بر آن است تا تعداد رباتها زیاد باشند. از طرفی، ما می‌خواهیم شبیه‌سازی رفتارهای انسانی را در رباتیک‌جمعی داشته‌باشیم. بنابراین تلاش براین است تا از نوعی معماری استفاده کنیم که ما را در رسیدن به این هدف یاری کند. با لحاظ مطالب گفته‌شده کارایی سیستم‌های رباتیک‌جمعی برای ما بیشتر از پیش خواهد شد. اما نکته‌ی دیگری که حائز اهمیت می‌باشد این است که رباتها نباید مانند رباتهای منفرد دارای پیچیدگی‌های رفتاری زیاد و هوشمندیهای ویژه‌ای باشند. زیرا در این صورت از اهداف استفاده از رباتیک‌جمعی دور خواهیم افتاد. پس در بکارگیری از این رویکرد باید به گونه‌ای عمل کرد که از هر دو قسمت مطلوب موضوع استفاده‌ی مناسبی را ببریم.

برای دستیابی به اهداف ذکر شده، یوکیوان و همکاران یک معماری شامل سه لایه را پیشنهاد می‌کنند.[۳۲] این شکل در زیر نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۴ برگرفته از مرجع [۳۲] مربوط به لایه‌های سه گانه معماری

در این معماری لایه‌ی اول (HCI)^۱، لایه‌ی دوم لایه‌ی طراحی (برنامه‌ریزی) و لایه‌ی سوم لایه‌ی اجرایی است.

۴-۱۱ لایه‌ی (HCI) :

این لایه که لایه فعل و انفعالات بین انسان و کامپیوتر است از دو قسمت تشکیل شده است. رباتها قرار است در خدمت انسان قرار گرفته و کارهای مورد نظر انسان را تا حد ممکن انجام دهند. اما در اینجا نکاتی نهفته است که باید مورد توجه قرار بگیرند. اول اینکه انسان برای انجام کارها چه روشی را به کار می‌گیرد و بعد اینکه رباتها چگونه حالت‌های کاری تعریف شده را به انسان بازخورد می‌دهند. در این لایه توصیف کار دیداری^۲ و بازخورد دیداری^۳ مطرح می‌شود. بازخورد دیداری به عنوان یک ورودی از لایه طراحی می‌باشد که داده‌ها را به منظور ایجاد کار، دریافت می‌کند. با توجه به اینکه از سیستم انتظار انجام چه کاری را داریم، می‌توانیم وظیفه و کاری که باید به عهده سیستم قرار بگیرد را در قسمت توصیف وظیفه‌ی دیداری مشخص کنیم. در واقع در این قسمت پلی از دنیای واقعی به دنیای مجازی زده می‌شود. [۳۲]

^۱Human –computer intraction layer

^۲ Visual task description

^۳Visual feedback

۴-۱۲ لایه‌ی طراحی^۱ (برنامه‌ریزی):

در این لایه کارها و وظایف به عمل، تبدیل می‌شوند. که در آن هشت قسمت گنجانده شده‌است.

۱- تحلیل کار دیداری^۲: به عنوان یک توصیف ساده از کار این‌گونه بیان می‌کنیم که کار در

واقع تغییر حالت اشیاء در طول زمان می‌باشد. در این قسمت کار دیداری که در لایه‌ی (HCI) مورد توصیف قرار گرفت با استفاده از علائم و نمادهای یک زبان فرمال بیان می‌شود. این زبان توسط کامپیوتر قابل درک است. بدین وسیله کاری را که مد نظر انسان است توسط کامپیوتر یا ربات فهمیده می‌شود.

۲- تجزیه‌ی کار^۳: ما با تجزیه‌ی کارهای پیچیده آنها را به زیرمجموعه‌های کاری تبدیل می‌کنیم.

سپس هر زیر مجموعه‌ی کاری را به کارهای ساده‌تری تبدیل می‌کنیم تا با رباتهای دارای توانایی‌های محدود، سازگاری بیشتری داشته باشند. ما با تجزیه‌ی کارها به رباتها این امکان را می‌دهیم که کارها را به صورت مرحله به مرحله پیش ببرند و به نتیجه‌ی نهایی که مدنظر سیستم است برسند. البته در این امر باید به توالی و یا همزمانی کارها اهمیت ویژه‌ای داد.

۳- تخصیص^۴ (تقسیم) کار: کارها به زیرمجموعه‌های کاری تجزیه شده و هر قسمت از کار به

تعدادی از رباتها محول می‌شوند. هر ربات می‌تواند کار ساده‌ای را انجام دهد و کارهای پیچیده به صورت همکاری گروهی انجام می‌شوند.

۴- ساختارخودسازمانی^۵: به این معنا است که سیستم، کار را بدون دستور و کنترل خارجی

انجام می‌دهد و کلیه تعاملات و روابط بین اعضاء گروه بصورت داخلی تنظیم می‌گردد. دو نوع ساختار در این زمینه وجود دارد (۱) خودسازمانی ترتیبی و (۲) خودسازمانی توزیع‌شده

¹ Planning layer

² Visual task analysis

³ Task composition

⁴ Task allocation

⁵ Self-organization structur

۴-۱ خودسازمانی ترتیبی^۱: علاوه بر اینکه بر روی چگونگی شکل‌گیری سازمان متمرکز می‌باشد به روابط بین افراد نیز می‌پردازد. رابطه‌ی افراد در گروه، رابطه فرمانبرداری است و این روابط توسط انسان و در یک مسیر خاص قرار داده شده است. یعنی در نهایت انسان تصمیم می‌گیرد که چه کاری و چگونه باید انجام بگیرد. [۳۲]

۴-۲ خودسازمانی توزیع‌شده^۲: این نوع از خودسازمانی عمدتاً از سیستمهای بیولوژیکی مانند مورچه‌ها، زنبورهای عسل و پرندگان نشأت گرفته است. در این ساختار از معادلات مختلفی جهت مدل‌سازی شکل‌گیری گروه استفاده شده است. [۳۴] البته ما بیشتر از مدل ترتیبی خودسازمانی استفاده می‌کنیم. زیرا مدل توزیع‌شده برای برقراری رابطه‌ی موثر و منطقی با مجموعه‌های کاری پیچیده، دچار مشکلاتی است. این ساختار برای همگام‌سازی و کارهایی که باید به موازات هم پیش بروند به اندازه‌ی کافی کارآمد نمی‌باشد. خودسازمانی توزیع‌شده به سیستم این اجازه را می‌دهد تا با تکیه بر رباتها و تخصیص کار بین آنها شرایط مناسبی را برای تخصیص وظایف در رباتیک جمعی ایجاد کند. نکته‌ی مثبت دیگری که در ساختار فوق وجود دارد این است که با رشد سیستم و افزایش تعداد کارها، تعداد رباتها نیز قابل افزایش هستند. [۳۲]

۵- طراحی رفتار و عمل^۳: کارها می‌توانند با مجموعه‌ای از اقدامات و عملها انجام شوند. چگونگی ترتیب انجام و زمان انجام کارها در این بخش برنامه‌ریزی می‌شوند.

۶- مکانیزم توسعه^۴: افزودن و حذف افراد به دلیل نیاز به افراد جدید و حذف افرادی که آسیب دیده‌اند و یا مرتکب خطا شده‌اند جزء پویایی عملیات است. در سیستم خودسازمانی می‌توان با توجه به تعداد کارهای در دست انجام، تعداد رباتها را افزایش یا کاهش داد. مثلاً برای جستجوی اجساد در

^۱Hierarchical self-organization

^۲Distributed self-organization

^۳Behavior and action planning

^۴Expentsion mechanism

یک حادثه در ابتدا به رباتهای بیشتری در گروه احتیاج داریم ولی به تدریج با پیدا شدن بعضی اجساد می‌توانیم اعضای گروه را کاهش دهیم. [۳۲]

۷- تحلیل داده‌های سنسور^۱: با توجه به اطلاعاتی که سنسورهای تعبیه شده در رباتها در اختیار آنها می‌گذارند، می‌توان حالتها و وضعیتهای سیستم را تحلیل و منعکس کرد. رباتها محیط را با استفاده از اطلاعات سنسوری مورد شناسایی قرار می‌دهند و سپس به تعامل با یکدیگر برای انجام کارها می‌پردازند.

۸- تحلیل Derate : ممکن است که سیستم نتواند کاری که برایش تعریف شده را به زیر مجموعه‌های کاری تجزیه کرده و آنها را به درستی انجام دهد. در این صورت می‌توان از یک زیر مجموعه‌ی کمکی استفاده کرده و از اجرای کارها اطمینان حاصل کرد. [۳۲]

۴-۱۳ لایه‌ی اجرا^۲:

در این لایه سنسورها و محرک‌ها قرار گرفته‌اند. سنسورها با محیط اجرایی در تعامل هستند و محرک‌ها باعث ایجاد رویدادها در محیط می‌شوند. این لایه فرمانها را از لایه‌ی طراحی دریافت کرده و داده‌های سنسوری را جهت تجزیه و تحلیل به عنوان خروجی از این لایه، در اختیار لایه‌ی طراحی قرار می‌دهد.

۴-۱۱ عمل: استراتژی ساخت و ایجاد رفتارها در سیستم عمل نامیده می‌شود. به عبارت دیگر این عملها هستند که رفتارها را در سیستم ایجاد می‌کنند.

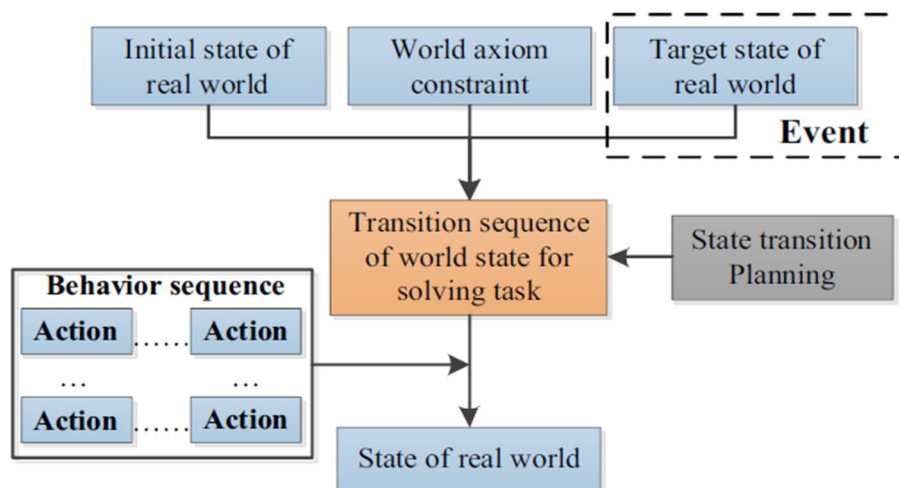
۴-۱۲ رویداد: حالات هدف در دنیای واقعی تحت عنوان رویداد در مدل مطرح می‌شوند. رویدادها باعث ایجاد عملها شده و عملها رفتارها را ایجاد می‌کنند. رویدادها توسط محرکهای بیرونی ایجاد می‌شوند. [۳۲]

¹Sensor data analysis

²Execution layer

با توجه به مطالب گفته شده کلیه کارها می‌توانند با مجموعه‌ای از عملها که بین آنها روابط روشن، منطقی و از پیش تعریف شده برقرار است، اجرا و تکمیل شوند. البته توالی انجام و زمان انجام کارها باید در نظر گرفته شوند.

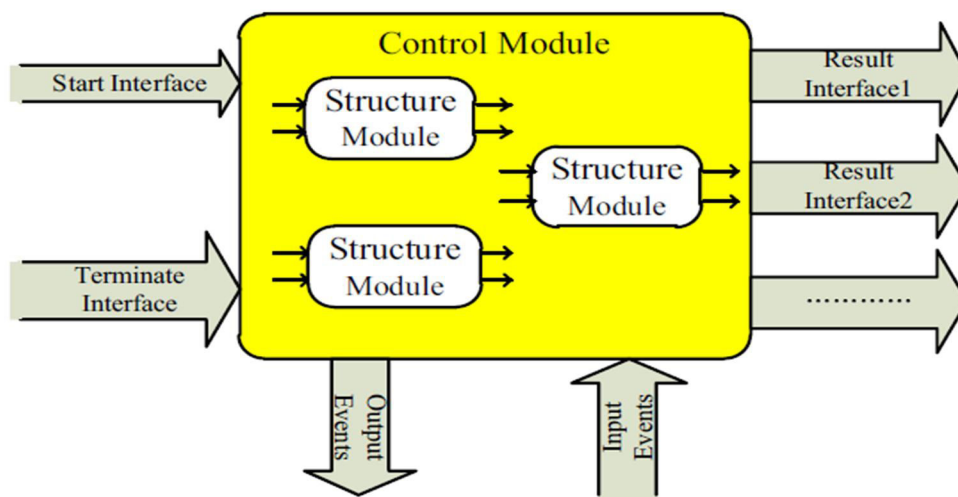
۴-۱۳ رفتار: یک استراتژی جهت کنترل عملها است. عملها باعث ایجاد رفتارها می‌شوند. به عبارت دیگر رفتار تغییر حالت سیستم در جهت نزدیک شدن به هدف است. اگر برای کار درخواست شده فقط یک عمل لازم باشد به آن رفتار هسته‌ای گفته می‌شود و اگر برای انجام کاری از ترکیب چندین عمل استفاده شود به آن رفتار ترکیبی می‌گوییم. در این شکل روابط بین رفتار، عمل و رویدادها به نمایش گذاشته شده‌اند. دنباله‌ای از عملها می‌توانند رفتارها را ایجاد کند. در اینجا حالت هدف به عنوان یک رویداد در نظر گرفته شده است. رویدادها می‌توانند کنترلی یا غیر قابل کنترل باشند. [۳۲]



شکل ۴-۵ برگرفته از مرجع [۳۲] مربوط به روابط بین عمل، رفتار و رویداد

۴-۱۳-۱ رفتار ترکیبی:

رفتار ترکیبی شامل دو قسمت ساختار رفتار و کنترل رفتار است. در اینجا واحدهای ساختاری رفتارها با توجه به روابط بین رفتارها و رویدادهای ورودی و خروجی تحت کنترل قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۶ برگرفته از مرجع [۳۲] مربوط به رابطه ساختاری و کنترلی رفتار

برای ایجاد رفتار اتوماتیک رباتها عواملی مانند ساختار کنترلی و نیازمندیهای کاری مدنظر گرفته می-شوند. برای ایجاد این رفتارها بیشتر از دو رویکرد واکنش شرطی و روش احتمالاتی استفاده می-شود. روش واکنش شرطی برای کارهای ساده و روش احتمالاتی برای کارهای پیچیده به کار گرفته می-شوند. البته ما سعی داریم تا برای ایجاد رفتارهای اتوماتیک از شبکه‌های پتری کمک بگیریم. مکانها گویای حالات یا حرکات سیستم هستند و گذرها تغییرحالات را به نمایش می‌گذارند.[۳۲]

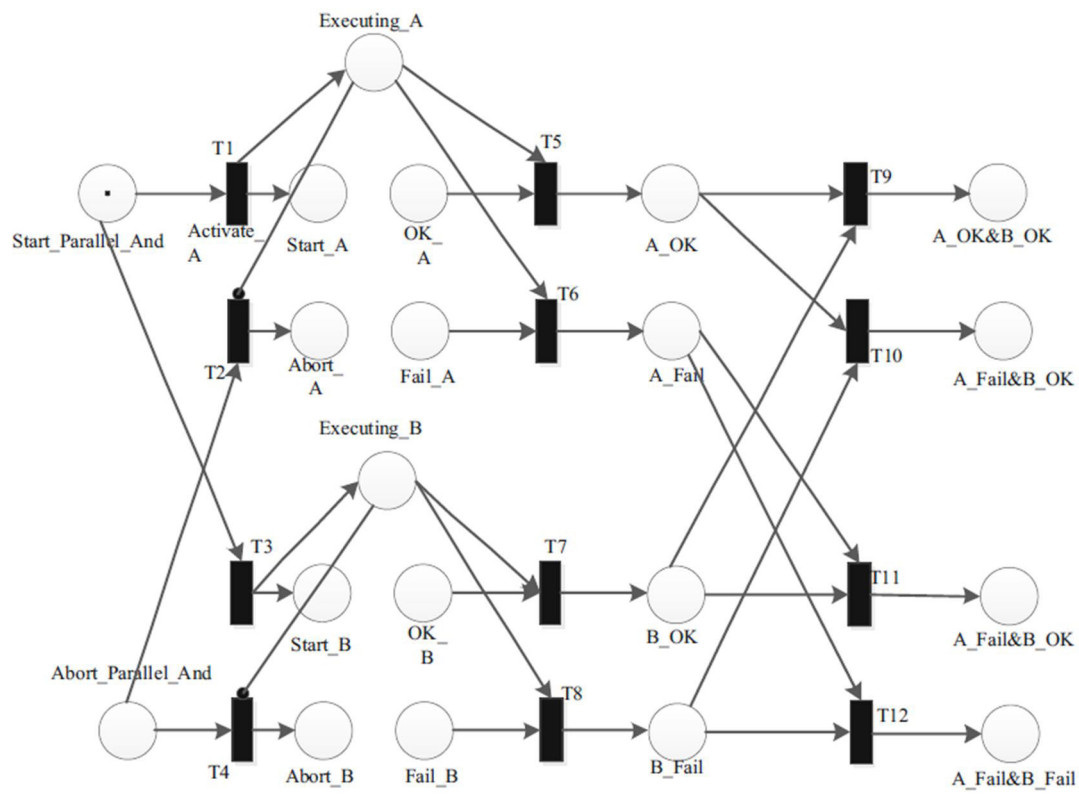
۴-۱۴ کنترل رفتار:

در یک ساختار رفتاری، واحد کنترل می‌تواند از طریق روابطی که بین واحدهای ساختاری وجود دارد، رفتارها را مدیریت کرده و کنترل نماید. می‌توان کنترل را از طریق واحدهای^۱ کنترلی و به صورت دنباله‌ای از واحدهای کنترل اعمال کرد. اگر دو واحد ساختاری A و B را در نظر بگیریم که هر کدام در برگیرنده یک عمل باشند اگر عمل A انجام نشود، عمل B شروع به کار می‌کند. واحدهای کنترلی که کنترل از طریق آنها اعمال می‌گردد عبارتند از:

واحد کنترل (A,B) parallel-and: عملهای A,B به صورت موازی اجرا می‌شوند و واحد

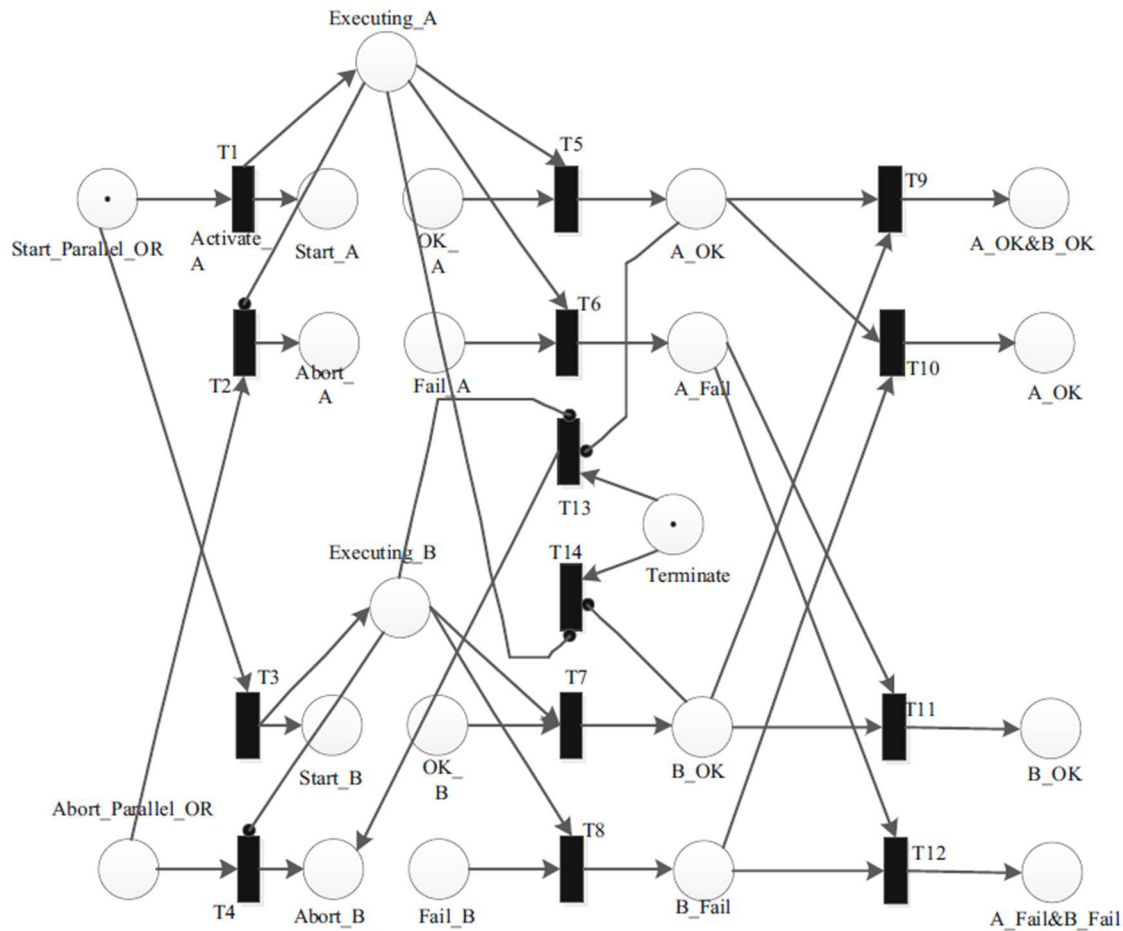
کنترل زمانی که هر دو کار به پایان برسد کار را پایان یافته تلقی خواهد کرد.[۳۲]

^۱module



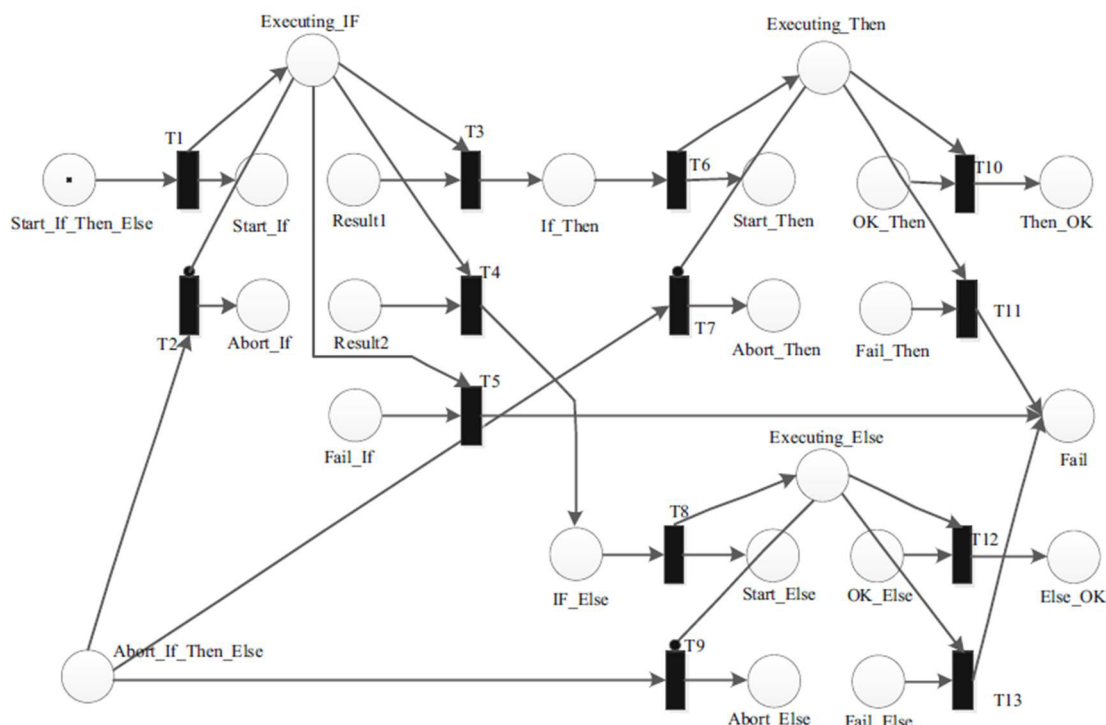
شکل ۴-۷ برگرفته از مرجع [۳۲] واحد کنترل parallel-and(A,B)

- واحد کنترل (A,B) - or - parallel: دو عمل A,B به صورت موازی اجرا می‌شوند و واحد کنترل زمانی که یکی از کارها به پایان رسید آن کار را پایان یافته تلقی خواهد کرد. [۳۲]



شکل ۴-۸ برگرفته از مرجع [۳۲] واحد کنترل (A,B) - or - parallel

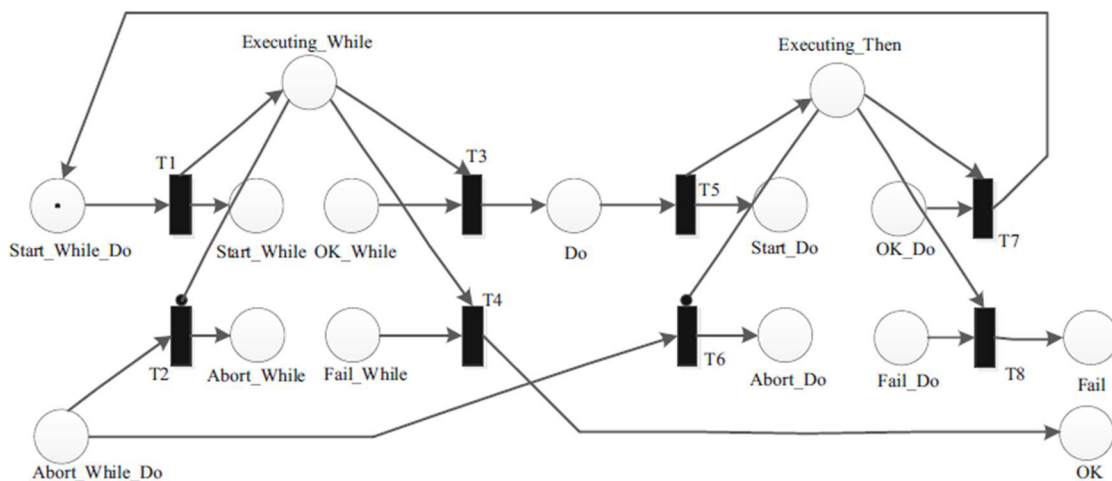
- واحد کنترل If-then-else: واحد کنترل با سه واحد ساختاری اولیه در ارتباط است. یعنی واحدهای if, then, else و کار آن با یک نقض به پایان می‌رسد. اگر واحد ساختاری if شرایط اجرا شدن را نداشته باشد. در اینصورت واحد then اجرا می‌گردد. در غیر اینصورت واحد else به مرحله اجرا وارد خواهد شد. [۳۲]



شکل ۴-۹ برگرفته از مرجع [۳۲] واحد کنترل If-then-else

- **واحد کنترل while-do:** این واحد کنترلی به دو واحد ساختاری while , do متصل

است. حلقه تازمانی که یکی از آنها نقض شود ادامه پیدا کرده و اجرا می‌شود. [۳۲]



شکل ۴-۱۰ برگرفته از مرجع [۳۲] واحد کنترل while-do

۴-۱۵ ربات کار - محور ۱:

ربات‌ای است که نیاز به اپراتور انسانی ندارد تا به او بفهماند وظیفه‌ی خود را چگونه باید انجام دهد. بلکه فقط برای او تعریف می‌شود چه کاری را باید انجام دهد. [۳۲]

مثلاً ما از ربات قهوه‌ساز درخواست درست کردن قهوه را داریم و فقط نوع قهوه‌ی درخواستی را مشخص می‌کنیم. در حالی که ما از چگونگی درست کردن قهوه توسط ربات اطلاعی نداریم. فرض ما در این تحقیق استفاده از رباتهای کارمحور است.

۴-۱۶ سیستم گروهی کار - محور:

شامل معماری سیستم، سازماندهی افراد، تجزیه‌ی کارهای پیچیده، تخصیص کار و برنامه‌ریزی فعالیتها به صورت خودکار می‌باشد. در این سیستم کاربر نمی‌تواند از نحوه‌ی عملکردها مطلع باشد و فقط نتیجه‌ی کار را مشاهده می‌کند. این سیستم می‌تواند عملکردها را ساده‌تر و کارآمدتر کند. [۳۲]

۶-۱۷ مدل سازمانی کار - محور:

مدلهای متفاوتی در رباتیک جمعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند. از جمله‌ی آنها می‌توان مدل (AGR) یا عامل، گروه، نقش و یا مدل HARMONIA را نام برد که این مدلها بیشتر در ساختارهای ساکن کاربرد دارند و از ابزار منطقی پیچیده‌ای برای بیان و استنباط اعمال استفاده می‌کند. در صورتی که مدل کار-محور از تکنولوژی عاملها بهره می‌برد. این مدل با تجزیه‌ی هدف و استفاده از روابط همکاری، سعی در رسیدن به هدف مورد نظر سیستم را دارد. در این مدل طراح، می‌تواند ویژگیهای کار، وابستگیها، تعاملات و روابط سازمانی را تعیین کند. [۳۲]

¹Task oriented robot

۴-۱۸ همکاری:

وقتی کارهای پیچیده به کارهای ساده‌تر تجزیه شدند حالا افراد باید برای انجام این کارها با یکدیگر همکاری کرده و همه برای رسیدن به هدف تلاش کنند. این همکاری‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد.

۴-۱۸-۱ همکاری بازار^۱:

اولویت اجرایی برای هر ربات در این همکاری تکمیل کار با کمترین هزینه و کمترین میزان استفاده از منابع است. در این نوع از همکاری صرفه‌ی اقتصادی حرف اول را می‌زند.

۴-۱۸-۲ همکاری شبکه^۲:

هدف اصلی این همکاری ساختن روابط پایدار و قابل اطمینان بین رباتها است.

۴-۱۸-۳ همکاری ترتیبی^۳:

به هدایت منابع و تبادل اطلاعات با توجه به وابستگی افراد و نقشهایی که آنها به عهده دارند می‌پردازد. در این نوع همکاری، ساختار از پیش تعیین شده و ترتیب اجرای نقشها اهمیت زیادی خواهند داشت. مدل همکاری که ما در اینجا از آن استفاده می‌کنیم همکاری ترتیبی است.

۴-۱۹ توصیف کار:

وقتی بخواهیم در مورد کاری توضیح دهیم، بیان برخی از جزئیات در این زمینه غیر قابل اجتناب است. رویدادها و دستورالعملهای بیرونی می‌توانند بر چگونگی انجام کار تاثیرگذار باشند. برای اینکه کار بتواند توسط ربات اجرایی گردد آن کار باید در قالب فرمال درآید. بدین وسیله توسط ربات قابل درک و انجام خواهد بود.

¹Market cooperation

² Net work cooperation

³Hier archical cooperation

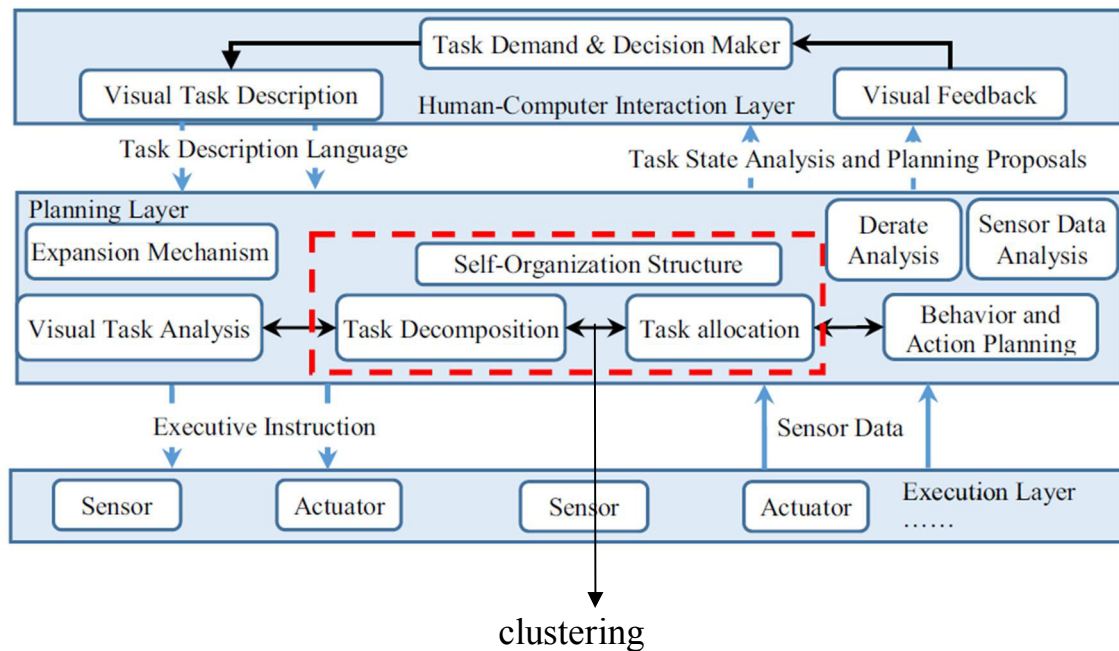
۴-۲۰ ساختار کنترلی:

در ساختار کنترلی رفتارها بیان می‌شوند و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در این ساختار است که بررسی می‌شود کدام رفتارها باید انجام شوند و کدام رفتارها می‌توانند سیستم را در وضعیت نامناسب قرار داده یا به بن بست بکشانند. در ساختار کنترلی می‌توان سوپر وایزر را نیز اعمال کرد. زیرا سوپر وایزر سیستم را از قرار گرفتن در شرایط نامناسب حفظ خواهد کرد. البته این کار با غیر فعال کردن بعضی از گذرها اعمال خواهد شد. محدود کردن رفتارها کمک شایانی به سیستم می‌کند تا انجام کارها بهتر کنترل شود. ساختار کنترلی که ما از آن استفاده می‌کنیم به صورت یک چهارتایی مرتب است. $M=(s,r,l,s_0)$ که در آن s یک مجموعه‌ی غیر تهی از حالت‌هایی است که سیستم می‌تواند داشته باشد. r مجموعه‌ی گذرها را به نمایش می‌گذارد. l رابطه‌ای است که هر یک از حالتها را به یک کار هسته‌ای مربوط می‌کند. در نهایت s_0 که زیرمجموعه‌ی S است به معنای مجموعه‌ای از حالت‌های اولیه سیستم می‌باشد و $\Omega=S_{mark,0}$ و $S_{mark,1}$ به صورت دنباله‌ای از حالت‌هاست که به ترتیب اجرا می‌گردند.

معماری توصیف شده، بر روی سیستم‌های رباتیک جمعی کار-محور موثر می‌باشد. همچنین از یک مدل سازماندهی شده‌ی ترتیبی برای مدیریت روابط بین لایه‌های مختلف استفاده شده‌است. در این سیستم برای ساخت رفتارهای ترکیبی سعی شده تا آنها به رفتارهای ساده‌تری تجزیه شوند. سپس هر کدام از این رفتارهای ساده‌تر با شبکه‌ی پتری مدل شوند. رباتیک جمعی برای اینکه بتواند کارهای ترکیبی و پیچیده را سازماندهی کند باید از همکاری گروهی برای انجام آن کار بهره بگیرد. البته تقسیم وظیفه بین رباتها یکی از پیچیده‌ترین کارهایی است که تا کنون به رباتهای خودسازمان محول شده است. [۳۵] با توجه به اینکه هر کدام از رباتها از هوش کمی برخوردارند اما سیستم به صورت خودسازمان و بدون کنترل و نظارت خارجی کنترل می‌شود. رفتارهای گروهی با توجه به تعاملاتی که رباتها با هم و با محیط اطرافشان دارند، شکل می‌گیرد.

در روش پیشنهادی سعی بر این است تا یک قسمت به این معماری اضافه گردد. در لایه‌ی طراحی بعد از قسمت تجزیه‌ی کار و قبل از تقسیم وظایف قسمتی به نام clustering قرار داده شده‌است. قبلاً در مورد کلاسترینگ یا همان خوشه‌بندی مطالبی ارائه شد. بعد از تجزیه‌ی کارهای پیچیده به کارهای ساده‌تر و قبل از تقسیم وظایف بین رباتها، قسمت خوشه‌بندی به این معماری اضافه می‌شود. مزیت اضافه کردن این قسمت به معماری سیستمی فوق این است که بعد از خوشه‌بندی رباتها، ما می‌توانیم کارها را بین رباتها به صورت بهینه‌تری تقسیم کنیم. به عبارت دیگر تقسیم وظایف بین رباتها بهتر انجام می‌گیرد. بدین ترتیب می‌توانیم به رباتهای موجود در هر خوشه، وظیفه‌ای را محول کنیم که با آن خوشه هماهنگی بیشتری دارد. مثلاً اگر معیار فاصله را برای خوشه‌بندی در نظر بگیریم، مشخص می‌کنیم خوشه‌ای که به هدف A نزدیک تر است کار a را انجام دهد و خوشه‌ای که به هدف B نزدیکتر است کار b را انجام دهد. بعد از انجام خوشه‌بندی، تقسیم وظایف بین خوشه‌ها و سپس بین رباتهای موجود در خوشه‌ها صورت می‌گیرد. بدین ترتیب تقسیم بندی کارها به صورت بهینه‌تری بین خوشه‌ها صورت می‌گیرد و چون رباتها به گروههای کوچک‌تری تقسیم شده‌اند انجام کارها و همکاری بین آنها می‌تواند تا حد زیادی بهبود پیدا کند. همچنین فضای حالت مساله به چند قسمت تقسیم می‌شود که بررسی آن را ساده‌تر خواهد کرد. علاوه بر آن کنترل بر روی قسمتهای مختلف تا حد ممکن ساده‌تر خواهد شد. سعی براین است تا مسائل کنترلی به جای اینکه به صورت کلی و به یکباره بر روی کل گروه اعمال شود، بصورت جزئی‌تر در بیاید. این کار با اعمال کنترل بر روی خوشه‌ها قابل دسترسی است. بدین ترتیب پیچیدگی اعمال کنترل در اینگونه مسایل تا حد زیادی کاهش می‌یابد. بعد از اینکه توسط خوشه‌بندی گروه را به زیرگروه‌هایی تقسیم کرده و وظایفی را به آنها محول کردیم حال با اعمال عملگرهای ترکیب در شبکه‌های پتری می‌توان کارهای تجزیه شده را ترکیب کرده و به نتیجه‌ی نهایی دست یافت.

۴-۲۱ ارائه‌ی معماری سیستمی با اضافه کردن clustering به این مجموعه:



شکل ۴-۱۱ اضافه شدن قسمت clustering به معماری مرجع [۳۱]

۴-۲۲ طرح یک مثال:

ما یک سری ربات همسان مثلاً از نوع e-puck داریم که دارای قابلیت‌های حرکتی و سنسوری خاصی هستند. ربات‌ها می‌توانند حرکتهای رو به جلو، حرکت در جهت عقربه‌های ساعت و حرکت در جهت خلاف عقربه‌های ساعت را داشته باشند. همچنین آنها مجهز به سنسورهایی هستند که قادرند در خط دید خود یک ربات یا یک شی یا دیواره‌های محیط را تشخیص دهند. ما ربات‌ها را در محیط پراکنده کرده و می‌خواهیم وظیفه‌ای را به آنها محول کنیم. همچنین اشیایی را در محیط قرار داده-ایم. ربات‌ها باید محل اشیاء را در محیط تشخیص دهند و آنها را به هدف تعریف شده برای مساله برسانند.

در اینجا ما با یک کار بسیار پیچیده در رباتیک جمعی سروکار داریم. البته طرح مسائلی این‌چنین و اجرایی کردن آنها از مهمترین چالشهای رباتیک جمعی است. ما قصد نداریم این مساله را به صورت کامل حل کنیم. فقط یک مدل و نوعی از معماری را ارائه می‌دهیم که می‌تواند در انجام این وظیفه به

کار گرفته شود. زیرا هر کدام از موضوعاتی که مطرح شد، می‌تواند به صورت جزئی‌تر مطرح شود و حالت‌های بسیار زیادی را برای مساله ایجاد کند. نکته‌ی قابل توجه دیگر در موضوع رباتیک‌جمعی این است که بسیاری از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه حالت تئوری مساله را بیان می‌کنند و پیدا کردن راهی برای عملی کردن آنها بسیار پیچیده و دشوار است. همچنین سیستم‌های پیچیده که دارای کارهای پیچیده هستند، همواره از فاصله‌ی واقعیت رنج می‌برند. زیرا انحراف بسیار کوچکی از اهداف تعیین شده، هنگام مدل‌سازی این سیستم‌ها، به نتایج فاجعه‌باری در دنیای واقعی منجر خواهد شد.

طبق مسائلی که قبلاً نیز به آنها اشاره شد نوع نگاه ما در این مساله یک نگاه انتزاعی به موضوع است و جزئیات موضوع مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. ما می‌خواهیم یک کار پیچیده را به وسیله‌ی ربات‌ها انجام دهیم. بنابراین ما مراحل فوق را به ترتیب اجرا می‌کنیم.

۴-۲۳ مراحل انجام کار:

- کار پیچیده به مجموعه‌ای از کارهای ساده و جزئی‌تر تجزیه می‌شود.
- انجام هر کدام از این کارهای ساده شده را به یک گروه از ربات‌ها محول می‌کنیم.
- با توجه به معیار فاصله، ربات‌ها را درخوشه‌هایی قرار می‌دهیم و با توجه به فاصله‌ای که هر خوشه از محل انجام کار دارد، تعیین می‌کنیم که کدام کار باید توسط کدام خوشه انجام شود.
- می‌توان برای هر خوشه یک رهبر تعیین کرد. عضو رهبر در شناسایی اهداف و هدایت گروه به سمت هدف‌های تعیین شده در سیستم تاثیر بسزایی خواهد داشت.
- در یک سیستم رباتیک جمعی به منظور تکمیل یک کار پیچیده، همه‌ی ربات‌ها باید تعاملاتی را با هم از طریق کانال‌های ارتباطی داشته باشند.

کارهای پیچیده می‌توانند از چندین مجموعه‌ی کاری تشکیل شوند و هر کدام از این مجموعه‌های کاری خود به چند کار هسته‌ای قابل تجزیه‌اند. حال این کارهای هسته‌ای می‌توانند توسط یک ربات به صورت متوالی و یا توسط چند ربات به صورت همزمان اجرا گردند. دو روش برای مدل‌سازی مجموعه‌های کاری پیش رو داریم. مدل‌سازی سطح بالا و مدل‌سازی سطح پایین.

همانطور که قبلاً گفتیم در مدل‌سازی سطح بالا یک ساختار ترتیبی از مجموعه‌ی کاری بدون در نظر گرفتن جزئیات روابط بین زیر مجموعه‌های کاری بیان می‌شود. برخلاف آن در مدل‌سازی سطح پایین جزئیات روابطی که بین زیر مجموعه‌های کاری در یک مجموعه‌ی کاری برقرار است، بیان می‌گردد. البته مدل‌سازی سیستمهایی که به صورت سطح پایین مدل می‌شوند با استفاده از شبکه‌های پتری راحت‌ترند. اما چون ما نمی‌خواهیم وارد جزئیات مساله شویم سعی کردیم از مدل سطح بالا استفاده کنیم.

۴-۲۴ مراحل اجرایی مثال:

فرض کنیم مورچه‌ها می‌خواهند تعدادی تکه‌های غذا را به لانه ببرند. برای شبیه‌سازی این مساله در رباتیک جمعی رباتها در حکم مورچه‌ها، تکه‌های غذا به عنوان اشیاء و لانه به عنوان هدف نهایی برای انتقال اشیاء تعریف می‌شوند. بنابراین برای شبیه‌سازی این مساله ما از یک محیط همگن استفاده کرده و ۱۰ ربات e-puck را به صورت تصادفی در محیط پراکنده کردیم. همچنین ۳ شیء را در محیط قرار دادیم. حالا رباتها با توجه به اطلاعاتی که از سنسورهایشان دریافت می‌کنند باید اشیاء موجود در محیط را تشخیص داده و آنها را به سمت لانه بکشند.

در ابتدا باید کار را به کارهای ساده‌تر تجزیه کنیم.

۱- رباتها باید با توجه به معیار فاصله خوشه‌بندی شوند.

۲- برای هر خوشه باید یک رهبر انتخاب شود.

۳- با توجه به فاصله‌ای که اشیاء از خوشه‌های تشکیل شده دارند هر کدام از آنها به یک خوشه منتسب می‌شوند.

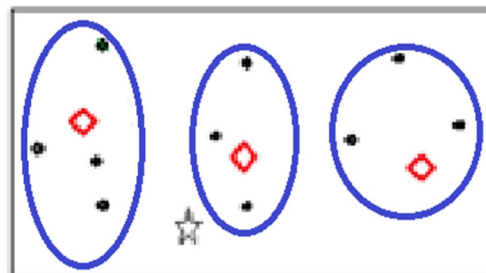
۴- رهبر هر کدام از خوشه‌ها، باید شیئی که قرار است جابه‌جا شود را شناسایی کند.

۵- رباتهای هر خوشه باید به همراه رهبر به سوی اشیاء حرکت کنند.

۶- رباتهای هر خوشه باید اشیاء را به سمت لانه بکشند.

۷- با رساندن اشیاء به لانه کار تمام می‌شود.

البته این ۷ مرحله خود، مدل پتری ما را دارای پیچیدگی زیادی خواهد کرد. به همین خاطر ما سعی می‌کنیم مساله را باز هم ساده‌تر کرده و مرحله‌ی انتخاب رهبر را نیز حذف کنیم. حالا با توجه به تعداد رباتها، تعداد اشیاء و چگونگی پراکندگی اولیه‌ی آنها در محیط، خوشه‌بندی را با استفاده از معیار فاصله، انجام می‌دهیم. رباتهایی که به هم نزدیکتر باشند در یک خوشه قرار خواهند گرفت. اشیاء نیز به گونه‌ای در محیط قرار گرفته‌اند که هر شیء بتواند در یکی از خوشه‌ها قرار بگیرد. بدین ترتیب تقسیم بندی وظایفی را که برای رباتها تعیین کردیم انجام می‌گیرد.



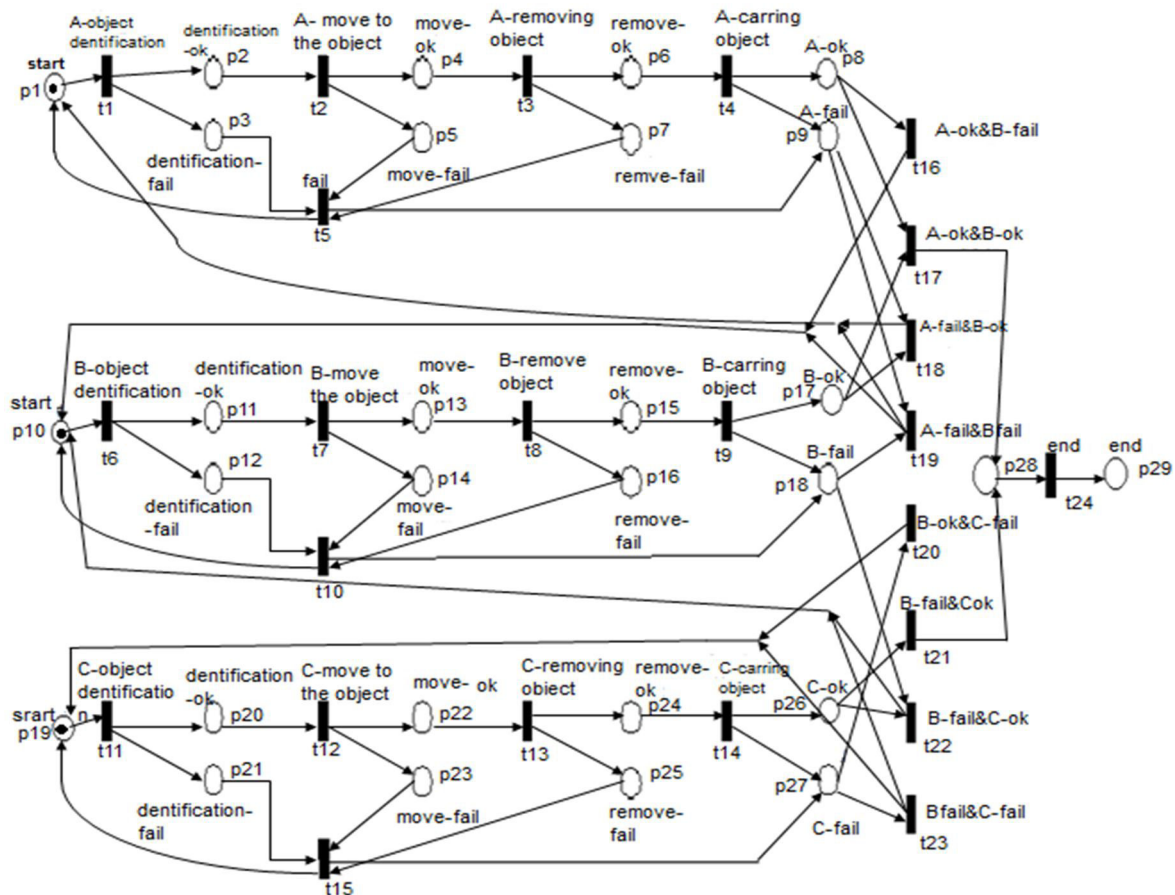
شکل ۴-۱۲ پیکر بندی و خوشه بندی اولیه رباتها

در اینجا رباتها با رنگ مشکی و اشیاء با رنگ قرمز و نقطه‌ی هدف با ستاره مشخص گردیده‌است.

ما قصد داریم کارها (وظایف) به صورت همزمان شروع شده و ادامه پیدا کنند. در صورتی کل کار تمام شده فرض می‌شود که تمام زیر مجموعه‌های کاری به انجام رسیده باشند. بنابراین از مدل کنترلی parallel-and استفاده می‌کنیم. در این سیستم ابتدا کارها با فعال شدن گذرهای ابتدایی از تک تک کارهای A,B,C شروع شده و به نتایج پایانی ختم می‌شوند. البته در این گونه مسائل می‌توان با

ترکیب این وظایف بعضی از گذرها و مکانهای تکراری را حذف کرد و بدین ترتیب سیستم ما ساده تر و کارآمدتر خواهد شد.

با توجه به تمامی نکاتی که مطرح شد ما شبکه فوق را با در نظر گرفتن ساده ترین حالات به صورت فوق طراحی کردیم.



شکل ۴-۱۳ مدل شبکه پتری مثال مطرح شده

برای هر مجموعه کاری A, B, C مراحل شناسایی شیء (object identification)، حرکت به سوی شیء (move to the object)، برداشتن شیء (removing object) و حمل شیء به سوی هدف (carring object) به عنوان کارهای هسته‌ای در نظر گرفته شده‌اند. هر کدام از زیر مجموعه‌های کاری در صورت بروز شکست به مرحله‌ی آغازین برده شده و کارش را مجدداً آغاز می‌کند. اگر مجموعه‌ی کاری A و مجموعه‌ی کاری B به درستی انجام پذیرد به مرحله‌ی A-ok&B-ok می‌رویم. همینطور برای کار B و C که با انجام درست آنها به مرحله‌ی B-ok&C-ok خواهیم رفت. در صورتی که هر سه کار A, B, C

بتوانند OK شوند، به گذر end خواهیم رسید. در این هنگام است که کار سیستم انجام شده تلقی می‌شود و هر سه گروه از رباتها توانسته‌اند کار حمل شیء به سوی هدف را به انجام برسانند. همانطور که گفته شد ما در اینجا از رباتهای کار-محور استفاده کرده‌ایم و قصد بیان جزئیات موضوع را نداریم. زیرا در این صورت هر کدام از رباتها با توجه به تعاملاتی که با یکدیگر دارند، تنها یک سری حرکتهای جزئی را انجام می‌دهند. بنابراین انجام کل کار توسط آنها بسیار زمانبر و پیچیده است و پرداختن به این موضوعات در ظرفیت این تحقیق نمی‌باشد.

۴-۲۵ بررسی خواص شبکه:

بعد از اینکه توانستیم مساله را با شبکه‌ی پتری مدل کنیم حال باید خواصی را در این شبکه مورد بررسی قرار دهیم. در واقع بررسی این خواص می‌تواند ما را از کارکرد درست شبکه تا حد زیادی مطمئن سازد.

اولین خاصیتی که ما آن را بررسی می‌کنیم کراندار بودن است. یکی از خواص مهم شبکه‌های پتری کراندار بودن مکانها نسبت به تعداد نشانه‌هایی است که می‌توانند در خود ذخیره کنند. به عبارت دیگر برای ما مهم است که هر مکانی بتواند منابع محدودی را در اختیار بگیرد. زیرا اگر منابعی که در اختیار یک مکان قرار گرفته، نامحدود باشد، ممکن است کل شبکه، از لحاظ تامین منابع درتنگنا قرار بگیرد. در این حالت ممکن است شبکه به بن بست برسد و بن بست می‌تواند کار شبکه را مختل کند. برای اطمینان از اینکه شبکه کراندار است باید کل گذرها و مکانها مورد مطالعه قرار گرفته و کراندار بودن شبکه به اثبات برسد. با لحاظ مطالب گفته شده شبکه فوق کراندار خواهد بود.

دومین خاصیت، بدست آوردن ماتریس وقوع یا همان ماتریس حالت است. ماتریس حالت کلیه‌ی حالتیهایی را که شبکه‌ی پتری ما خواهد داشت، مورد مطالعه قرار می‌دهد و برای ما مشخص می‌کند که با توجه به نشانه‌گذاری اولیه‌ی شبکه و با فعال شدن هر کدام از گذرها، نشانه‌گذاری شبکه به چه صورتی در خواهد آمد.

با استفاده از فرمول ۲-۲ برای بدست آوردن ماتریس حالت ابتدا باید ماتریس W خروجی را به دست آوریم. این ماتریس در بر گیرنده ی پلیسهای خروجی از گذرهاست. در اینجا چون تعداد مکانها ۲۹ و تعداد گذرها ۲۴ است ما یک ماتریس 29×24 خواهیم داشت. چون تعداد سطرها و ستونهای این ماتریس زیاد است فقط تا سطر ۱۲ بررسی شده اند. این ماتریس به صورت فوق می باشد.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24
p1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
p2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p4	0	1																						
p5	0	1	0	0	1																			
p6	0	0	1																					
p7	0	0	1																					
p8				1																				
p9				1																				
p10										1						1			1			1	1	
p11						1																		
p12						1																		
..																								
..																								
p28																	1			1				
p29																								1

ماتریس W ورودی نیز بر روی مکانهای ورودی ساخته می شود. علامت منفی آن به خاطر اثر منفی است که بر روی مکانهای ورودی دارد. یعنی نشانه ها را از مکانهای ورودی می گیرد و در مکانهای خروجی ذخیره می کند. این ماتریس به صورت فوق می باشد.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24
p1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p4	0	0	1																					
p5	0	0	0	0	1																			
p6	0	0	0	1																				
p7	0	0	0	0	1																			
p8																1	1							
p9																		1	1					
p10										1														
p11							1																	
p12							1			-1														
..																								
..																								
p28																								1
p29																								

حال اگر تفاضل این دو ماتریس را به صورت نظیر به نظیر بدست آوریم ماتریس وقوع به صورت فوق در خواهد آمد.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24
p1	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
p2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p3	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
p4	0	1	-1																					
p5	0	1	0	0	-1																			
p6	0	0	1	-1																				
p7	0	0	1	0	-1																			
p8				1												-1	-1							
p9				1														-1	-1					
p10					-1				1						1				1		1	1		
p11					1	-1																		
p12					1				-1															
..																								
..																								
p28																	1			1			-1	
p29																								1

خاصیت سوم، بررسی زنده بودن شبکه است.

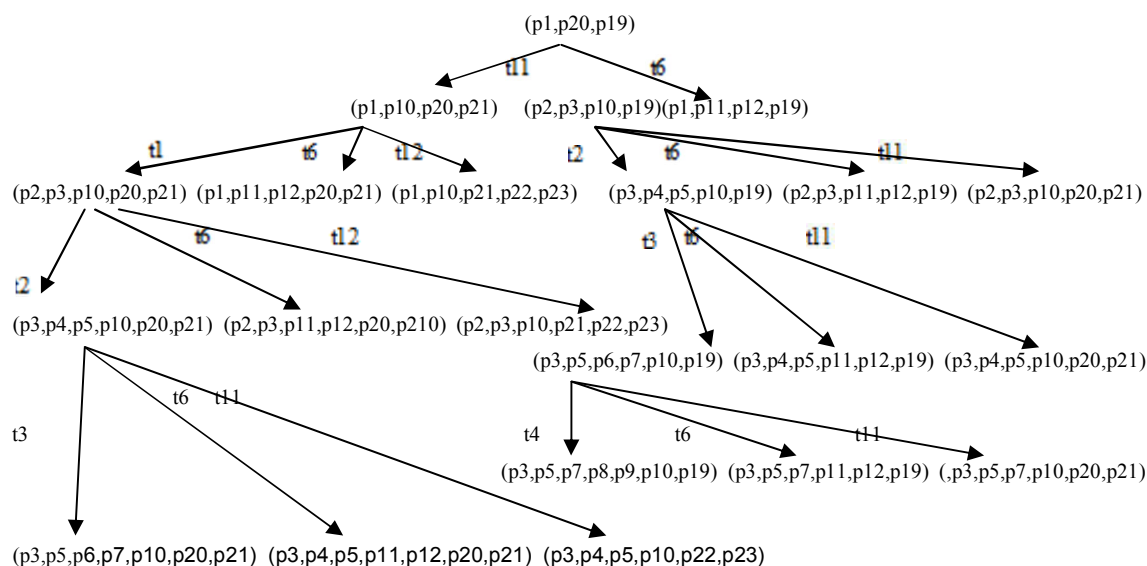
۴-۲۶ زنده بودن سطح 1: اگر گذر t حداقل یکبار توسط دنباله‌ای از اجراها فعال شود زنده بودن

سطح 1 را خواهد داشت.

با بررسی زنده بودن یک شبکه این اطمینان وجود خواهد داشت که هیچ دنباله‌ای از اجرای گذرها منجر به توقف و قرار گرفتن سیستم در حالت بن بست نخواهد شد. بنابراین بررسی این ویژگی برای یک شبکه بسیار مهم و اساسی خواهد بود. برای بررسی زنده بودن یک شبکه باید زنده بودن گذرهای آن را مورد بررسی و مطالعه قرار دهیم.

با مطالعه‌ی شبکه‌ی فوق در می‌یابیم که اگر سیستم رباتیک جمعی وظایف محوله را به درستی انجام دهد گذرهای $t_5, t_{10}, t_{15}, t_{16}, t_{18}, t_{19}, t_{20}, t_{22}, t_{23}$ هرگز فعال نخواهند شد و گذرهای مرده به حساب خواهند آمد. اما بقیه گذرها حتماً یکبار باید فعال شوند تا کارها به صورت پیاپی انجام پذیرد. بنابراین بقیه گذرها، حداقل زنده بودن سطح 1 را دارا خواهند بود. مورد بعدی که در این شبکه به بررسی آن می‌پردازیم گراف دسترسی خواهد بود. برای بدست آوردن گراف دسترسی ابتدا لازم است تا ما

درخت دسترسی^۱ آن را بدست بیاوریم. درخت فوق با نشانه گذاری اولیه‌ای که در شکل ۶-۱۳ نشان داده شده است آغاز می‌شود و به شکل فوق ادامه پیدا می‌کند.



البته بدست آوردن کل درخت دسترسی در اینجا امکان پذیر نیست. زیرا این درخت بسیار بزرگ است. گراف دسترسی نیز با استفاده از همین درخت ایجاد می‌شود و قسمتهای تکراری آن حذف می‌شوند. بنابراین درخت دسترسی و گراف دسترسی تا این مرحله مانند هم خواهند بود.

بررسی خواص فوق همان ابزار تحلیلی شبکه‌های پتری است که قادرند سیستم رباتیک جمعی ما را مدل کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. بدین ترتیب نواقص و ایرادات سیستم مشخص شده و رفع عیب بسیار ساده‌تر خواهد بود.

در این قسمت ما توانستیم یک شمایی از مدل کردن رباتیک جمعی با استفاده از شبکه‌های پتری را بدست آوریم و از مکانیزمهای کنترلی شبکه‌های پتری در کنترل رباتیک جمعی استفاده کنیم. شبکه‌های پتری علاوه بر این که با استفاده از قابلیت نمایش گرافیکی، فهم موضوع را بالا می‌برند، در مدل کردن سیستم با استفاده از ابزارهای تحلیلی نیز بسیار کارا خواهند بود.

^۱reachability tree

فصل پنجم:

نتیجه گیری

رباتیک‌جمعی حوزه‌ی کاری است که از زندگی حشرات و موجوداتی که به صورت اجتماعی زندگی می‌کنند، الهام گرفته و سعی دارد این همکاری را در رباتها به کار بگیرد. این سیستم با استفاده از همکاری تعدادی ربات، سعی دارد کارهای پیچیده‌ای را انجام دهد. انجام این‌گونه کارها توسط یک ربات منفرد ممکن نبوده یا بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. محدوده‌ی کاری رباتیک‌جمعی روز به روز گسترش پیدا کرده است. امروزه سعی بر آن است تا از رباتیک‌جمعی در کارهایی که برای بشر وقت‌گیر و خطرناکند استفاده شود. از کاربردهای رباتیک‌جمعی می‌توان به کارهای امداد و نجات مسدومین حوادثی مثل زلزله، آتش‌سوزی، اکتشاف معدن و زمین‌شناسی و کاربردهای نظامی و پزشکی اشاره کرد.

بنابراین با گسترش کاربردهای رباتیک‌جمعی کارایی این سیستم نیز روز به روز افزایش یافته است. در این سیستمها، با تعداد زیادی ربات سروکار داریم که از لحاظ کاری دارای انعطاف پذیری هستند. بنابراین کنترل، مدل‌سازی و پیاده‌سازی این سیستمها در دنیای واقعی پیچیدگی‌های خاص خود را خواهد داشت.

شبکه‌های پتری نیز ابزاری فرمال برای مدل‌سازی هستند. این شبکه‌ها قبل از تبدیل مدل به دنیای واقعی، می‌توانند به تجزیه و تحلیل مدل پرداخته، اشکالات آن را پیدا کرده و در رفع آنها کمک کنند. بنابراین در این پایان‌نامه سعی کرده‌ایم تا با استفاده از خواص شبکه‌های پتری و مسائل کنترلی آن، سیستمهای رباتیک‌جمعی را مدل کرده و پیاده‌سازی نماییم. برای ساده‌تر شدن کار سعی بر آن است که نوعی نگاه انتزاعی به رباتیک‌جمعی داشته باشیم. تا بدین وسیله بتوانیم کارهای پیچیده‌ی محوله به این‌گونه سیستمها را تجزیه نموده و سپس هر کدام از این کارهای ساده شده را با استفاده از شبکه‌های پتری مدل کنیم. البته در ادامه‌ی کار می‌توان با استفاده از خاصیت ترکیب در این شبکه‌ها به ترکیب کارهای تجزیه شده پرداخت و به مقصود نهایی رسید.

- [1] Gang Yi . Ming Jin . Zhi Zhou . (2010). Research on novel ant colony optimization algorithm. *Springer* , volume 60 , pp 339-346.
- [2] Dorigo M . Birattari M . Stutzle T . (2006). Ant colony optimization. *IEEE* , volume , pp 28-39.
- [3] Li J . Sayed AH. (2012). Modeling bee swarming behavior through diffusion adaptation whit asymmetric sharing. *Springer*, pp 1-17.
- [4] Hashimoto H . Aso S . Yokota S . Sasaki A . Ohyama Y. Kobayashi H. (2008). Stability of swarm robot based on local forces of local swarms. *IEEE* , pp1254-1257.
- [5] Kennedy.J (2011). particle swarm optimization. *Springer* , pp 1-3.
- [6] Ying Tan . Zhong yang Zheng. (2013). Research advance in swarm robotics. *Science Direct* , pp 18-39.
- [7] Marques L . Nunes U . Almeida AT. (2006). Particle swarm-based olfactory guided search. *Springer* , volume 20 , pp 277-287.
- [8] Pugh J . Martinoli A. (2006). Multi- robot learning with particle swarm optimization. *IEEE* , pp 441-448.
- [9] Auke JI . Alcherio M . Aude B . Gaumbardella LM . Collaboration. (2001). The exploitation of local interactions in autonomous collective robotics. *Springer* , volume 11 pp 149-171.
- [10] Kristian L . Allcherio M . Aram G. (2005). A reviwie of probabilistic macroscopic models for swarm robotic systems. *Springer*, 3342, pp 143-152.
- [11] Rothermich J . Ecemis M . Gaudio P. (2010). Distributed localization and mapping with a robotic swarm. *Springer* , pp 58-69.
- [12] Min HQ . Zhu JH . Zheng XJ. (2005). Obstacle avoidance with multi-objective optimization by pso in dynamic environment. *IEEE* , pp 2950-2956.
- [13] Turgut A . Huepe C . Elikkanat H . (2008). Modeling phase transition in self-organized mobile robot flocks. *Springer*, 5217, pp 108-119.
- [14] Nouyan S. dorigo M. (2006). Chain based path formation in swarm or robots. *Springer* , 4150, pp 20-31.
- [15] Hereford MJ . Siebold M . Nicolas S. (2007). Using the particle swarm optimization. *IEEE* , pp 53-59.
- [16] Couceiro MS . Rocha RP . Ferreira NMF. (2011). A novel multi- robot exploration approach base on particle swarm optimization algoritms. *IEEE* , pp 327-332.
- [17] Pugh J . Martinoli A. (2007). Inspiring and modeling multi- robots sarch with particle swarm optimization . *IEEE* , pp 332-339.
- [18] Derr K . Manic M. (2009). Multi- robot,multi-target particle swarm optimization search in noisy wireless envierments. *IEEE* , pp 81-86.
- [19] Michael R . Cheristian A . Radhica N . (2012). Kilobot: a low cost scalable robot system for collective behaviors. *IEEE* , pp 3293-3298.
- [20] Petri C.A. (2011). Kommunikation mit automaten. *Springer* , pp 27-36.

- [۲۱] جعفری نژاد ف ، ۱۳۹۵ ، رساله‌ی دکتری، یک مدل فرمال کنترل سوپروایزری برای تخصیص منابع در سیستمهای پیچیده‌ی صنعتی، دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [22] Melvin Gauci . Jianing Chen . Wei Li . Tony J . Dodd. (2014). Clustering objects with robots that do not compute. *IEEE* , pp 421-428.
- [23] Shafiq Alam . Gillian Dobbie . Yun Sing Koh . Patricia Riddle . saeed Ur Rehman. (2014). Research on particle swarm optimization based clustering: A systematic review of literature and techniques. *Science Direct* , pp 1-13.
- [24] Nicolas BullaCruz . Nadia Nedjah . Luiza de Macedo Mourella. (2016). Robust distributed spatial clustering for swarm robotic base systems. *Science Direct* , pp 1-11.
- [۲۵] وطن خواه ر، هنرور م، اعتمادی ش ، ۱۳۸۸، بهینه سازی بر خط سرعت حرکت دسته‌ای یک توده‌ی رباتیکی به وسیله‌ی الگوریتم بهینه‌سازی پرواز پرندگان PSO ، کنفرانس مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران.
- [26] Valery karpov . Irina Karpova. (2015). Formation of control structure in static swarms. *Science Direct* , pp 1459-1468.
- [۲۷] وطن خواه ر، عابدینی م ، سالاریه ، السستی آ ، ۱۳۹۱ ، طراحی کنترلر و فیلتر کالمن برای یک توده رباتیکی به منظور تعقیب هدف متحرک در محیط نویزی ، کنفرانس مهندسی مکانیک ، دانشگاه شریف.
- [۲۸] صیادی ح ، شکوهی ش، ۱۳۹۳ ، کنترل غیر خطی توده‌ی رباتهای زیر سطحی و تعیین مسیر مطلوب به روش توابع جاذبه و دافعه‌ی فازی، کنفرانس صنایع دریایی، بندر عباس.
- [۲۹] مرادی ح ، اعتمادی ش، السستی آ ، ۱۳۹۰ ، ایجاد یکپارچگی در توده‌ی رباتیک با کمک یک عضو راهبر و کنترلر فازی، همایش سالانه‌ی مهندسی مکانیک، بیرجند.
- [30] Abdulrahman AL. Ahmari. (2015). Optimal robotic cell scheduling whit controllers using mathematically based timed petri nets. *Science direct* , volume 329, pp 638-648
- [31] Lopes Yuri k . Terenkwalder . M stefan . Leal Andre B . GrobRoderich . (2016). Supervisory control theory applied to swarm robotics. *Speringer* , pp 65-97.
- [32] Zhou Y. l. (2016). Task-oriented hierarchichal control architecture for swarm robotic system. *Speringer* , pp 1-16.

Abstract:

Swarm robotic is a new field of research that uses the robots with specific abilities to achieve goals. The concept of swarm is inspired by the robotic structure of the collective life of animals and insects living socially. The aim is to bring the robot group behavior closer social behavior of insects. So swarm robotic control has a heuristic or exploratory nature and can't be formal. The formal ways have analytic skill. Unlike that, modeling with the Petri nets have formal state and it can convert to the executive code. So if we can handle a swarm's control of a formal structure and its modeling capability with Petri's network, we will achieve better results. We will begin by analysis and comparing. Then, using the swarm robotic mechanism and forming them with Petri networks, we try to change heuristic natures to formal ones and simplification them. In this way, with the clustering of robots and Division tasks, in addition to optimizing the division of tasks, control task are greatly optimized. Also the complexity of the problem is reduced considerably. Finally, we can modeling the swarm robotic with the Petri networks.

Key words: Swarm robotic, swarm algorithm, Petri networks



Department of Electronic Learning

Thesis in Artificial Intelligence Engineering

A swarm robotic control model using petri nets

By: Fatemeh Ezabadi

Supervisor:

Dr Ali A. Pouyan

Advisor:

Dr Fatemeh Jafarinejad

September 2017