

روشنی هدف گرا به منظور هولون بندی در سیستم‌های چندعاملی هولونی

احمد اسمعیلی، ناصر مزینی و محمد رضا جاهد مطلق

موجودیتی اطلاق می‌شود که بتواند محیط خود را با استفاده از حسگرها^۱ بشناسد و با استفاده از اثر کننده‌هایی عملی را روی آن محیط انجام دهد. در یک سیستم چند عاملی، عامل‌ها در راستای دستیابی به یک هدف مشخص، به صورت مستقیم یا غیر مستقیم با یکدیگر در تعامل هستند. از آنجایی که بسیاری از مسائل در حوزه‌ی هوش مصنوعی قابل تقسیم‌بندی به زیر مسائل کوچکتر و ساده‌تر هستند، لذا قابلیت توزیع شدگی سیستم‌های چندعاملی، آن‌ها را به جایگزین مناسبی برای روش‌های حل مسئله کلاسیک نموده است.

موفقیت سیستم‌های چندعاملی به توانایی آن‌ها در همکاری، هماهنگی و برقراری ارتباط ما بین اعضای تشکیل دهنده آن وابسته است که این خود نیازمند یک مدل سازمانی مناسب می‌باشد [۲]. یک مدل سازمانی از مجموعه‌ای از نقش‌ها، ساختارها و روابط قدرتی تشکیل شده است که به صورت کامل یا جزئی، بخشی از اکثر سیستم‌های چندعاملی هستند. به عبارت دیگر، یک سازمان در سیستم‌های چندعاملی مشخص می‌کند که عامل‌ها در طول یک فرآیند هدف محور با یکدیگر در تعامل باشند. از این رو نوع و ساختار سازمان تاثیر عمده‌ای روی روابط قدرت، جریان داده‌ها، تخصیص منابع، الگوهای هماهنگی و سایر ویژگی‌های سیستم دارد [۳]. از سویی، همین امر سبب می‌شود که مجموعه‌ای از عامل‌های ساده بتوانند رفتارهای پیچیده‌ای از خود نشان دهند و از سویی دیگر، می‌تواند در جهت کاهش پیچیدگی‌های سیستم موثر باشد. نشان داده شده است که شکل، اندازه و ویژگی‌های یک ساختار سازمانی تاثیر بسزایی در رفتار سیستم و کارایی کوتاه مدت و بلند مدت آن دارد [۴].

سازمان‌های هولونی از جمله ساختارهای موفق هستند که در سال‌های اخیر در زمینه‌ی سیستم‌های چندعاملی معرفی شده‌اند. این نوع از سازمان‌ها دارای ویژگی‌های کلیدی متعددی از جمله خودمشابهی، قابلیت اطمینان، پایداری و پویایی^۲ می‌باشند که آن‌ها را به یک راه حل بسیار مناسب برای مسائل توزیع شده‌ی با اندازه بزرگ تبدیل می‌کند. با این حال، همانند سایر ساختارهای سیستم‌های چندعاملی، این ساختارها نیز نیازمند یک روش استاندارد و تا حد ممکن عمومی برای مدیریت و سازماندهی می‌باشند. حال آن‌که، با توجه به نوپا بودن این حوزه و

چکیده - ساختارهای هولونی یک ساختار سلسله مراتبی از هولون‌ها است که به منظور حل مسائل پیچیده و رضای اهدافی مانند محدودسازی حوزه تعاملات، کاهش عدم قطعیت یا شکل‌دهی هدف‌های سطح بالا در سیستم‌های چند عاملی توسعه داده شده‌اند که به سبب آن سیستم از انعطاف‌پذیری و پویایی بالایی در برابر تغییرات محیطی برخوردار می‌شود.

علی‌رغم کاربرد وسیع سیستم‌های چندعاملی هولونی در زمینه مدل‌سازی و حل مسائل پیچیده، بسیاری از مفاهیم اساسی در آن مانند تشکیل هولون‌های عضو و کنترل پویای ساختار مربوطه، از مدل‌های بسیار ساده و ابتدایی که اکثراً وابسته به کاربرد خاص هستند، تبعیت می‌کنند. که البته این را می‌توان به علت نوپا بودن تحقیقات در این زمینه دانست. در این مقاله سعی گردیده است با بهره‌گیری از مفاهیم اجتماعی و نظریه سازمان‌ها، روشی مبتنی بر هدف برای تشکیل ساختارهای هولونی ارائه گردد. روش پیشنهادی که از مفاهیم نقش، مهارت، و ساختار اهداف استفاده می‌کند، این امکان را فراهم می‌سازد که بتوان از آن برای طیف وسیعی از کاربردها بهره برد.

به منظور نشان دادن قابلیت‌های روش پیشنهادی و نیز نمایش نحوه بکارگیری از آن در مسائل واقعی، در این مقاله بستر آزمایشی بر مبنای کاربرد ردیابی شی در شبکه‌های حسگر بیسیم طراحی و ارائه شده است. در این کاربرد، حسگرهای پخش شده در محیط به عنوان عامل‌های ساده، با بهره‌گیری از ساختار هولونی، وظیفه ردیابی شی بیگانه وارد شده به محیط را برعهده می‌گیرند. طبق نتایج آزمایشگاهی بدست آمده حاصل از شبیه‌سازی، روش هولونی ارائه شده بر مبنای الگوریتم پیشنهادی در این مقاله توانسته است کارایی موفقیت آمیزی را از نظر کیفیت ردیابی و میزان مصرف انرژی در این بستر آزمایش ارائه دهد.

کلید واژه- تئوری سازمانی، سازماندهی هدف گرا، سیستم‌های چند عاملی هولونی، شبکه‌های حسگر بیسیم.

۱- مقدمه

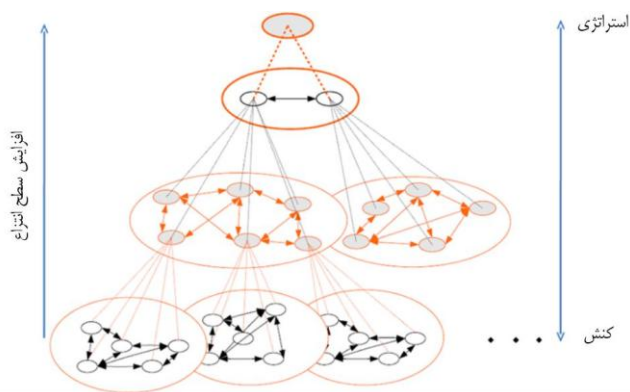
یک سیستم چندعاملی به صورت گروهی از عامل‌های هوشمند در یک حوزه‌ی توزیع شده تعریف می‌شود. با توجه به حوزه کاربرد، تعاریف مختلفی برای عامل هوشمند ارائه شده است. طبق تعریف [۱] عامل به

مقاله در تاریخ ۸ اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ دریافت شد.

احمد اسمعیلی، ناصر مزینی، محمدرضا جاهد مطلق دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، نارمک، تهران. کدپستی ۱۶۸۴۶-۱۳۱۱۴
email:aesmaeili@iust.ac.ir, mozayani@iust.ac.ir, jahedmr@iust.ac.ir

^۱ Sensors
^۲ Effectors
^۳ Dynamics

عملیات مربوط به عامل‌های اتمی قابل مشاهده هستند. به عبارت دیگر در هولارکی هرچقدر به سطح بالاتر می‌رویم تجرید بیشتر می‌شود.



شکل ۱. ساختار سلسله مراتبی هولونی (هولارکی)

در یک سیستم چند عاملی، عامل‌های عضو یک هولون به صورت یک موجودیت واحد عمل می‌کنند و هر عامل با عضویت در یک هولون، برخی محدودیت‌های رفتاری را متقبل می‌شود و علاوه بر دنبال کردن اهداف خود، موظف است اهداف مشترک در هولون را نیز دنبال کند. اهداف یک هولون، برآیند اهداف مشترک اعضای آن است و نباید تناقضی بین اهداف مشترک هولون و اهداف خصوصی اعضا داشته باشد. هولون‌ها اطلاعات و باورهایی درباره محیط خود نگه می‌دارند که ممکن است به صورت صریح در موجودیت هولون یا سرپرست و یا بطور ضمنی و توزیع شده در داخل اعضا فراهم شود.

به صورت کلی، سه روش برای مدیریت و کنترل ساختار داخلی یک هولون پیشنهاد شده است که عبارتند از: هولون به عنوان فدراسیونی از عامل‌های خود مختار؛ هولون به عنوان عاملی واحد، حاصل از ادغام کامل عامل‌های عضو؛ و هولون به عنوان یک گروه میانی. از میان این روش‌ها، روش آخر، به عنوان رویکردی فراگیر و استاندارد، در اکثر تحقیقات این حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یکی از ویژگی‌های بسیار کلیدی و کارآمد سیستم‌های چند عاملی هولونی، خودسازمان‌دهی آن‌ها است. بر اساس این ویژگی، هولون‌ها باید قادر باشند در مواقع لازم جهت همکاری با یکدیگر ادغام شوند. در سیستم‌های چندعاملی هولونی، خودسازمان‌دهی بر اساس مفهوم نقش‌ها تعریف می‌شود و این نقش‌های هولونی وظیفه‌ی مربوط به مدیریت عامل‌های هولونی و ارتباط بین آن‌ها را توصیف می‌کنند، بنابراین در یک سازمان هولونی، هر عامل حداقل دارای یک نقش هولونی است [۶]. تعریف دیگری از نقش بر اساس [۷] اینگونه تعریف می‌شود: "نقش‌ها، فعالیت و سرویس‌های لازم برای دستیابی به اهداف اجتماعی را تعریف می‌کنند و با تجرید مشخص می‌نمایند که چه عامل‌هایی باید در نهایت چه عملیاتی را انجام دهند [۸]."

یکی از بخش‌های اساسی در ارائه‌ی یک مدل چند عاملی هولونی برای یک مسئله پیچیده، سازمان‌دهی سیستم است که طبق آن باید مشخص شود که اجزای تشکیل دهنده‌ی سیستم چگونه تعیین می‌شوند و

پیچیدگی بالای آن، رویکردهای بسیار اندکی در این راستا پیشنهاد شده‌اند که از نظر زمینه‌ی کاربرد و فرضیاتی که اعمال می‌کنند دارای محدودیت‌هایی هستند.

در این مقاله سعی می‌گردد روشی مبتنی بر تئوری سازمانی برای تشکیل ساختار اولیه سیستم‌های چندعاملی هولونی ارائه شود. در روش پیشنهادی، عامل‌ها دارای قابلیت‌ها و مهارت‌هایی هستند که بر اساس آن مهارت‌ها، نقش‌هایی را در سیستم عهده‌دار می‌شوند. حال بر اساس این نقش‌ها و ساختار اهداف تعیین شده در سیستم، ساختار سلسله مراتبی هولونی برای جمعیت اولیه از هولون‌ها ساخته می‌شود.

در ادامه مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم، زیربنای علمی روش پیشنهادی ارائه می‌شود که در آن سیستم‌های چندعاملی هولونی، سازمان‌دهی در این سیستم‌ها به همراه مروری بر چند کار مرتبط شرح داده خواهد شد. در بخش سوم، روش پیشنهادی به منظور تشکیل هولون‌ها به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش چهارم، یک مثال کاربردی در زمینه شبکه‌های حسگر بیسیم^۴ حل و مورد تحلیل قرار می‌گیرد، و در پایان نتیجه‌گیری و کارهای آتی در راستای تحقیقات این حوزه، در بخش پنجم ارائه می‌شود.

۲- زیربنای علمی

۲-۱ سیستم‌های چندعاملی هولونی

واژه هولون، ترکیبی از هولوس یونانی به معنای کُل و پسوند on- به معنای جزء است، که برای اولین بار در سال ۱۹۶۷ توسط یک فیلسوف مجارستانی بنام Arthur Koestler به منظور نامگذاری ساختارهای بازگشتی و خود-متشابه در نهادهای زیستی و اجتماعی معرفی شد [۵]. براساس تعریف وی، یک هولون ساختاری زیستی یا اجتماعی است که پایدار و منسجم بوده و از هولون‌های دیگری با عملکرد یکسان تشکیل شده است. این تعریف از این واقعیت ناشی می‌شود که در طبیعت هیچ ساختاری به صورت مطلق کُل و یا بصورت مطلق جزء نیست. بلکه ترکیبی از بخش‌های زیر دست بوده و در عین حال بخشی از یک کُل بزرگتر نیز می‌باشد. یک ساختار سازمانی درخت‌گونه از اجتماع هولون‌ها، هولارکی نامیده می‌شود. یک هولارکی دارای مزایایی است که اغلب دستاوردهای فنی با طراحی یکپارچه، فاقد آن می‌باشند. به عنوان مثال، چنین سازمان‌هایی در برابر آسیب‌ها و اختلالات داخلی و خارجی مقاوم بوده و از نظر استفاده از منابع کارا هستند و در برابر تغییرات محیطی می‌توانند از خود سازگاری بالایی نشان دهند. در شکل ۱، یک ساختار سلسله مراتبی هولونی (هولارکی) نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، سطوح بالای هولارکی به استراتژی‌ها و تصمیم‌های کلان سیستم اختصاص دارد، حال آن‌که در سطوح پایین

^۴ Wireless Sensor Networks

یک سازمان سلسله مراتبی ایجاد می‌شود که می‌توان آن را به ساختارهای هولوئی تعمیم داد. ایراد این روش در ساخت سطوح غیر لازم در ساختار سازمانی و تحمیل منابع اضافی برای آن سطوح اضافی باشد. بر اساس روش پیشنهادی [۱۱] تلاش می‌شود بهترین ساختار سلسله مراتبی از نظر عمقی را برای تسریع هماهنگ سازی عامل‌ها یافت شود. در الگوریتم ارائه شده در این کار، با رویکردی مشابه با روش جستجوی عمقی (DFS) سعی می‌شود درختی متناسب با گراف شبکه به گونه‌ای تشکیل شود که برخی از مشکلات روش DFS مانند عمق‌های غیر ضروری در درخت تولید شده، برطرف گردند. از ایرادات این روش می‌توان به عدم وجود تعاملات افقی در ساختار حاصل شده و نیز فقدان کنترل خودمختاری عامل‌ها اشاره کرد. Zhang [۱۲] از مدلی از هولوئی‌های ایستا در کنار هولوئی‌های میانجی برای ساخت و شکل‌دهی به سازمان استفاده می‌کند. این مدل، از گروه‌های ایستایی از هولوئی‌های تولیدی، مدل تولیدی و منبع تشکیل شده است که هر یک از آن‌ها مربوط است به گروهی از اشیای اطلاعاتی و فیزیکی محیط (مانند ابزار ساخت، برنامه‌ریزی‌های طراحی، حامل‌ها و ...). هر وظیفه جدیدی که معرفی می‌شود توسط یک هولوئی میانجی پویا (DMH) بازنامی می‌شود که خود آن توسط هولوئی میانجی اصلی ساخته می‌شود. زمانی که وظیفه کاملاً انجام می‌شود، DMH از بین می‌رود. ایراد این روش عدم پویایی هولوئی‌ها است. در رویکردهای پیشنهاد شده در [۱۳]، [۱۴]، از کمینه‌سازی آنتروپی فازی برای هدایت تشکیل خوشه‌های هولوئی در ساخت هولوئی استفاده می‌شود. در این کار، فرض می‌شود که بصورت اولیه، مجموعه هولوئی‌ها با مجموعه‌ای از برنامه‌منبع‌ها توصیف می‌شود که هر یک از آن‌ها تخصیص بالقوه هولوئی‌ها به خوشه‌ها را نشان می‌دهند. همچنین مجموعه‌ای از احتمالات، درجه و نوع این خوشه‌ها را مشخص می‌کنند. در [۱۳]، رویکردی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای جستجوی فضای مربوط به تخصیص خوشه‌ها، ارائه شده است. در مقاله [۱۵] نویسندگان مدلی را بر اساس شبکه‌های پتری برای سیستم‌های هولوئیک معرفی کرده‌اند. این مدل پیشنهادی بر پایه سیستم‌های اجتماعی مصنوعی [۱۶] می‌باشد که در آن یکسری محدودیت‌ها روی رفتار عامل‌ها و هولوئی‌های داخل سیستم اعمال شده و از این طریق هماهنگ‌سازی اجزا صورت می‌گیرد. این سیستم تحت عنوان سیستم اجتماعی هولوئی (HoSS)، در واقع از شبکه‌های پتری برای مدل‌سازی سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر هولوئی استفاده می‌کند تا جریان منابع فیزیکی و داده‌های اطلاعاتی مربوط به آن را مدیریت و کنترل نماید. این مدل بر مبنای سیستم‌های تولیدی و صنعتی هولوئی طراحی و پیشنهاد شده است، لذا، از ضعف‌های مربوط به آن حوزه رنج می‌برد. به عنوان بزرگترین اشکال آن می‌توان به استفاده از یکسری هولوئی‌های ثابت و از قبل تعریف شده اشاره کرد که سبب محدود شدن حوزه کاربرد آن می‌گردد. در کار [۱۷] سعی شده است یک چارچوب کلی برای سیستم‌های چندعاملی هولوئی معرفی شود. در چارچوب پیشنهاد شده، هیچگونه روش یا مکانیزمی جهت تشکیل سازمان‌های اولیه از هولوئی‌ها پیشنهاد نشده و فرض می‌شود که یک جمعت اولیه از

نحوه‌ی کنار هم قرار گیری آن‌ها برای حل مسئله به چه صورتی است. به علاوه، از آنجایی که این گونه سیستم‌ها باید کاملاً خودکار و بدون نیاز به مداخله‌ی انسان عمل کنند، باید راهکارهایی نیز جهت تطبیق خود مختار آن‌ها در برابر تغییرات احتمالی در نظر گرفته شود. در سازمان‌دهی سیستم‌های چندعاملی هولوئی، می‌توان به صورت کلی گام‌های اصلی زیر را مطرح ساخت:

شکل‌گیری هولوئی‌ها: در این گام، هولوئی‌های اولیه و ساختار هولوئیکی مربوط به آن بر اساس جمعیت عامل‌های تشکیل دهنده‌ی سیستم، شکل می‌گیرد. این مرحله از سازمان‌دهی باید به گونه‌ای باشد که عامل‌ها و هولوئی‌های با قابلیت متفاوت را در موقعیت‌ها و مسئولیت‌های مناسبی از هولوئیکی مربوطه جای دهد. یافتن یک هولوئیکی بهینه برای سیستم چندعاملی، یک مسئله‌ی NP-سخت به شمار می‌آید.

پویایی هولوئیکی: در این مرحله، سعی می‌گردد هولوئیکی تشکیل شده در مرحله‌ی اول به صورت پویا و با کمترین هزینه خود را با شرایط محیطی و تغییرات رفتاری خود عامل‌ها و هولوئی‌های تشکیل دهنده‌ی آن، تطبیق دهد. این مرحله که نقطه‌ی قوت یک ساختار هولوئی را نسبت به اکثر ساختارهای دیگر نشان می‌دهد، یکی از مسائل بسیار پیچیده و پر هزینه در این حوزه است.

از آنجایی که یک سیستم چندعاملی هولوئی معمولاً برای مدل‌سازی و حل مسائلی با تعداد موجودیت‌های بالا بکار برده می‌شود، لذا انتظار می‌رود راه‌حلی‌هایی که برای سازمان‌دهی این گونه سیستم‌ها ارائه می‌شوند تا حد امکان ساده و به دور از پیچیدگی‌های محاسباتی باشد. از طرفی دیگر، با توجه به ماهیت توزیع‌شدگی این سیستم‌ها راه‌حلی‌هایی که ارائه می‌شوند باید توزیع شده بوده و تا حد ممکن توسط خود اجزای ساختارهای هولوئی مدیریت شوند.

۲-۲ پژوهش‌های انجام شده

استفاده از مفاهیم اجتماعی در ساختاردهی و مدیریت سیستم‌های چندعاملی، بحث جدیدی نیست و در بسیاری از تحقیقات انجام گرفته در حوزه سیستم‌های چندعاملی به آن پرداخته شده است. در ادامه مرور کوتاهی خواهیم داشت بر چند کار نزدیک به اهداف این مقاله.

در روشی که در [۹] پیشنهاد شده است، از روش پروتکل شبکه قرارداد به عنوان مکانیزم سرراستی برای تشکیل یکسری از اتصالات مابین ویژگی‌های یکسان استفاده شده است. ساختار سلسله مراتبی و هولوئی که توسط این روش تولید می‌شود، به صورت ضمنی فرض می‌کند که هدف سطح بالای اولیه قابل شکسته شدن و تقسیم‌بندی به اهداف کوچکتری است. اشکال این روش نزدیک‌بینی آن است. این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که عامل‌های شرکت کننده در قرارداد الزاماً نیازهای سایر پیمان‌کارها را در نظر نمی‌گیرند. در روشی که در [۱۰] پیشنهاد شده است، سعی می‌شود با استفاده از مفهوم همانندسازی عامل، در شرایط سربرابر یک کپی از خود عامل‌ها که شامل خصوصیات یکسان با آن است، ایجاد شود. اگر عامل ساخته شده، زیردست عامل اصلی تصور شود، طی این رویکرد،

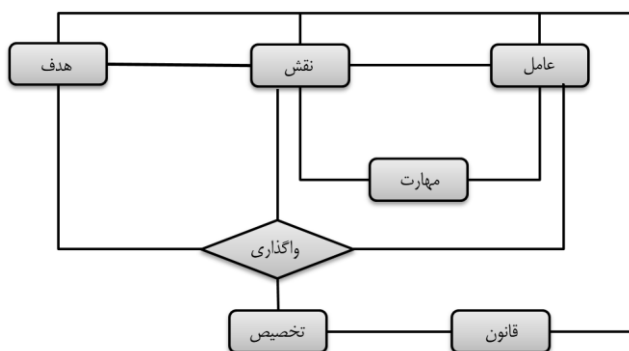
این ساختار لایه‌ای از اهداف سیستم، که به صورت عینی در تمامی سازمان‌های انسانی و اجتماعی وجود دارد، ساختار هولوئی را می‌توان به گونه‌ای طراحی کرد که هولوئی‌های سطوح پایینتر هولاکی مسئولیت تحقق اهداف اتمیک را بر عهده داشته باشند و اهداف بالاتر توسط ابر-هولوئی‌های سطوح بالاتر مدیریت شوند. چنین توازنی مابین ساختار اهداف و هولاکی ساخته شده بر پایه‌ی آن، سبب می‌گردد ساختار هولوئی بر اساس کاربردهای مختلف شکل مناسبی به خود گیرد و از تغییرات اساسی در ساختار ایجاد شده تا حد قابل توجهی جلوگیری شود.

نقش (Ro): در داخل هر سیستم هولوئی نقش‌هایی تعریف می‌شوند که عمل کردن به این نقش‌ها منجر به دستیابی به اهداف سیستم هولوئی می‌شود. هریک از این نقش‌ها، مسولیت‌ها و روابط مخصوص به خود را دارا هستند و عامل‌هایی که این نقش‌ها را بر عهده می‌گیرند، مسولیت‌های مربوطه را با توجه به روابط و رعایت قوانین آن نقش عهده‌دار می‌شوند.

قوانین (Ru): قوانین و هنجارها بخش کلیدی از هر جامعه انسانی به شمار می‌روند. در داخل سیستم‌های هولی نیز می‌توان مجموعه‌ای از قوانین برای نحوه دسترسی عامل‌ها به نقش‌ها و اهداف تعیین کرد. معمولاً قوانین وابسته به حوزه‌ی کاربردی خاصی تعریف می‌شوند و با استفاده از مفهوم هنجارها^۵، به عنوان محدودیتی روی فعالیت عامل‌ها، قابل پیاده‌سازی هستند.

مهارت (S): هر عامل دارای مجموعه‌ای از مهارت‌های شخصی است که سطح توانایی یا هوش آن عامل را نشان می‌دهد. در واقع، عامل‌ها با توجه به سطح مهارت‌های خود سعی می‌کنند نقش‌هایی از سیستم را بازی کرده و به اهداف مورد نظر دست یابند.

این مولفه‌های ساختاری به همراه روابطی که طبق روش پیشنهادی بین آن‌ها وجود دارد، به صورت خلاصه توسط شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۲. اجزای ساختاری و روابط بین آن‌ها

در شکل ۲، علاوه بر مولفه‌های ساختاری که پیش از این ذکر شد، مولفه "واگذاری" اشاره دارد بر فرآیندی که طی آن مشخص می‌گردد چه

هولوئی‌ها و عامل‌ها (به عنوان هولوئی‌های اتمیک) موجود هستند. در روش پیشنهاد شده، خودسازمان‌دهی از طریق عملیات ادغام و تجزیه‌ی هولوئی‌ها صورت می‌گیرد که بر اساس معیاری به نام پیوستگی و رضایت صورت می‌گیرد. این معیار که برگرفته شده از سیستم‌های ایمنی مصنوعی است، میزان تناسب دو هولوئی برای ادغام و یا برعکس، کنترل شرایط تجزیه یک هولوئی به زیر هولوئی‌های تشکیل دهنده آن را مدیریت می‌کند. به صورت کلی، دید این پایان‌نامه به موضوع سازمان‌دهی ساختارهای هولوئی نه از جنبه‌ی تعاملات بین عامل‌ها و هولوئی‌ها، بلکه از جنبه‌ی یکسری قوانین و قواعد تعریف شده بر اساس کاربرد خاص است که بر طبق آن هولوئی‌ها بر حسب نیاز و در پاسخ به نیازهای سیستم، یک ساختار پویا را ایجاد می‌کنند. در [۱۸] روشی سازمانی برای تشکیل ساختارهای هولوئی پیشنهاد شده است. روش پیشنهاد شده در این مقاله سعی می‌کند بدون استفاده از مفهوم نقش مدلی را ارائه نماید که بر اساس مکانیزم مذاکره مابین مولفه‌های سازنده سیستم، یک ساختار هولوئی تشکیل می‌شود. در [۱۹] یک روش حریصانه بر مبنای نظریه گراف‌ها برای ساخت ساختار هولوئی پیشنهاد شده است. مبنای کار این روش بر این فرض استوار است که یک گراف وزن‌دار مابین عامل‌های سیستم چندعاملی قابل تعریف باشد. در مقاله [۲۰] با یک روش مشابه سعی شده است با استفاده از مفاهیم شبکه‌های اجتماعی ساختار چند سطحی هولوئی برای یک شبکه‌ی چند عاملی ارائه شود. با وجود اینکه این دو روش آخر از عمومیت کافی برای استفاده از آن‌ها در طیف وسیعی از کاربردها برخوردار هستند، در آن‌ها تنها تمایز بین عامل‌ها بر اساس موقعیت آن‌ها در ارتباط با سایر عامل‌ها بوده و توجهی به مهارت‌های آن‌ها و نیز ساختار مربوط به اهداف سیستم نشده است.

۳- روش پیشنهادی

۱-۳ تشکیل ساختار هولوئی با استفاده از تئوری سازمانی

در تحقیقات سازمانی، سازمان‌ها با استفاده از عامل‌هایی که نقش‌هایی به منظور دستیابی به مجموعه‌ای از اهداف بازی می‌کنند، مدل می‌شوند. در روش ارائه شده با استفاده از مفاهیم مدل سازمانی، اجزای تشکیل دهنده ساختار هولوئی را به دو دسته اجزای ساختاری و اجزای حالت هولاکی تقسیم می‌کنیم. اجزای ساختاری که عبارتند از اهداف، نقش‌ها، قوانین موردنیاز، و مهارت‌ها. این اجزا بخشی از تعریف سیستم چندعاملی است که برای حل مسئله استفاده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

هدف (G): قصد و نیت یک ساختار هولوئی توسط مولفه ساختاری هدف مدل می‌شود. در روش پیشنهادی فرض می‌شود که هدف یک ساختار هولوئی به روشنی مشخص بوده و می‌تواند ساختار مربوط به خود را داشته باشد. این ساختار مربوط به اهداف سیستم را می‌توان به صورت یک درخت مدل کرد که هرچقدر در درخت اهداف به سمت سطوح بالا پیش می‌رویم اهداف کلی‌تر شده و سطح تجزیه آن‌ها بیشتر می‌شود. بر پایه‌ی

$$\forall t, \forall a_i \in A, \exists s_j \in S : Has(a_i, s_j, t) > 0 \quad (1)$$

که در آن A و S به ترتیب مجموعه‌ی تمامی عامل‌ها و مجموعه تمامی مهارت‌های سیستم است.

رابطه بین عامل و نقش: این رابطه که با استفاده از تابع $Suitable(a_i, r_j, t)$ نشان داده می‌شود، مشخص می‌کند که در زمان t عامل a_i تا چه اندازه برای عهده دار شدن نقش r_j مناسب است. مقدار کمی مربوط به این رابطه بر اساس رابطه Has که پیش از این معرفی گردید و نیز مجموعه مهارت‌های لازم برای عهده‌دار شدن نقش r_j در زمان t که آن را با $Need_j^t$ نشان می‌دهیم، محاسبه می‌شود (رابطه ۲). طبق این رابطه، عاملی که مهارت‌های مورد نیاز بیشتری از یک نقش مشخص را دارا باشد، برای آن نقش مناسب‌تر خواهد بود. از طرفی دیگر، همان‌گونه که مشاهده می‌شود اگر مهارتی برای نقش r_j وجود داشته باشد که عامل فاقد آن باشد، کمیت برگردانده شده توسط این تابع صفر خواهد بود.

$$Suitable(a_i, r_j, t) = \begin{cases} 0 & \text{if } \exists s \in Need_j^t : Has(a_i, s, t) = 0 \\ \frac{\sum_{s_k \in Need_j^t} Has(a_i, s_k, t)}{|Need_j^t|} & \text{other wise} \end{cases} \quad (2)$$

رابطه بین عامل، نقش و هدف: این رابطه که با $Satisfy(a_i, r_j, g_l)$ نشان داده می‌شود، مشخص می‌کند که در زمان t عامل a_i با توجه به مهارت‌هایی که دارد و نقش r_j که بازی می‌کند، تا چه حدی می‌تواند برای هدف g_l مفید باشد. مقدار کمی این رابطه با توجه به دو رابطه قبل و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Satisfy(a_i, r_j, g_l, t) = Suitable(a_i, r_j, t) \times Fulfill(r_j, g_l) \quad (3)$$

که در آن تابع $Fulfill(r_j, g_l)$ ، با توجه به داده‌های ساختاری هولون‌ها که پیش از این شرح داده شد، میزان تأثیر نقش r_j در دستیابی به هدف g_l را مشخص می‌کند (با توجه به رابطه (GI-RO)). مقدار مربوط به این تابع در زمان تعریف سیستم مشخص می‌شود.

۲-۳ الگوریتم تشکیل هولون‌ها

همان‌گونه که در بخش ۲ شرح داده شد، یک سازمان‌دهی پویا برای سیستم‌های چندعاملی هولونی، از دو گام: ساخت هولارکی اولیه و سپس مدیریت پویای آن تشکیل شده است. در این مقاله، تمرکز اصلی روی تشکیل هولارکی اولیه با توجه به مولفه‌های ساختاری و حالت شرح داده شده در بخش قبل است. به عبارت دقیق‌تر، طبق روش پیشنهادی، یک نقشه ساختاری از حالت اولیه سیستم (HS_0) تشکیل می‌شود که بر اساس آن مشخص می‌گردد که هر هولون از چه عامل‌هایی تشکیل شده است و آن عامل‌ها چه نقش‌هایی را در راستای دستیابی به اهداف سیستم عهده‌دار هستند. بدیهی است که این مرحله تأثیر بسزایی در کارایی کل

عاملی با عهده‌دار شدن چه نقشی، در راستای کدام هدف فعالیت می‌کند. اطلاعات مربوط به این واگذاری توسط موجودیت "تخصیص" بازنمایی می‌شود. روابط بین این اجزای ساختاری به صورت زیر است:

عامل-مهارت (Ag-Sk): مشخص کننده مهارت‌ها و قابلیت‌های یک عامل.

عامل-نقش (Ag-RO): مشخص کننده نقش‌هایی که یک عامل عهده‌دار است.

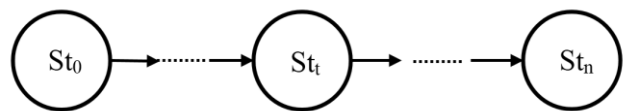
نقش-مهارت (Ro-Sk): مشخص کننده مهارت‌های لازم برای عهده‌دار شدن یک نقش توسط عامل‌ها.

هدف-نقش (GI-RO): مشخص کننده نقش‌های لازم برای دستیابی به یک هدف.

قانون-عامل، نقش، هدف (Ru-ARG): مشخص کننده قوانین مربوط به عامل‌ها، نقش‌ها و اهداف.

قانون-تخصیص (Ru-Asn): مشخص کننده قوانین مربوط به تخصیص نقشی به یک عامل در راستای یک هدف مشخص.

روابط و موجودیت‌های فوق، ساختار کلی سیستم را در یک حالت ثابت و بدون توجه به مولفه‌ی زمان توصیف می‌کنند. به منظور فراهم کردن قابلیت کنترل و مدیریت این ساختار در طول زمان و بر اساس رخدادهای روی داده در سیستم، ما مفهوم حالت ساختاری را معرفی می‌کنیم. یک حالت ساختاری، پیکربندی دقیقی از مولفه‌های ساختاری در یک زمان مشخصی از فعالیت سیستم ارائه می‌کند. با استفاده از این مفهوم می‌توان پویایی و سازمان‌یابی سیستم را به صورت تغییر بین حالت‌های مختلف ساختار هولونی مدل کرد که به صورت ساده توسط دیاگرام شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. پویایی ساختار هولونی با استفاده از تغییرات حالت ساختاری

که در آن St_0, St_t, St_n به ترتیب حالت‌های ساختار هولونی در ابتدا، زمان t و انتهای فرآیند فعالیت سیستم را نشان می‌دهند. در واقع پویایی فرآیند، تغییر وضعیت بین این حالت‌ها است.

هر یک از حالت‌های ساختار هولونی، علاوه بر مجموعه عامل‌های فعال، از روابطی دقیق برای بیان مهارت‌های آن عامل‌ها در آن زمان، نقش‌های عهده‌دار شده برای آن نقش‌ها و نیز اهدافی که عامل توانایی دستیابی به آن را دارد، تشکیل می‌شود. ما برای این روابط از مقادیر کمی استفاده می‌کنیم که به صورت دقیق‌تر طبق تعریف‌های زیر معرفی می‌شوند.

رابطه بین عامل و مهارت: ما این رابطه را با $Has(a_i, s_j, t)$ نشان می‌دهیم که مشخص می‌کند در زمان t عامل a_i چه نسبتی از مهارت r_j را دارا است. این نسبت، عددی در بازه $[0, 1]$ اختیار می‌کند و با توجه به این نکته که هر عامل حداقل دارای یک مهارت است می‌توان نوشت:

شوند که مجموع $\sum_{a_i, r_j, g_l \in H_k} Satisfy(a_i, r_j, g_l)$ برای تمامی تخصیص‌های ممکن داخل هولون، ماکزیمم شود. این عمل در خطوط ۹ تا ۱۶ الگوریتم شکل ۴ انجام می‌شود.

علاوه بر عبارات تعریف شده فوق، در الگوریتم شکل ۴، مجموعه GT_{leaf} دربرگیرنده ی اهداف برگ درخت اهداف GT است؛ و مجموعه $Holarchy$ شامل تمامی هولون‌های سیستم چندعامله هولونی می‌باشد؛ در الگوریتم شکل ۵، نشانه $|X|$ برای نشان دادن اندازه مجموعه X استفاده شده است؛ و تابع $GetHolon$ هولون مربوط به یک هدف مشخص را برمی‌گرداند. همچنین در این الگوریتم عبارت $candidHolon$ مشخص کننده عنصر نام از مجموعه $candidHolon$ است. توجه شود که ایجاد رابطه بین اجزای مختلف، بر اساس قوانین تعریف شده و با توجه به کاربرد صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، ممکن است در حالت کلی نقش خاصی برای حصول هدفی مشخص کاربرد داشته باشد، با این وجود در مسئله‌ای که می‌خواهیم از ساختارهای هولونی استفاده کنیم، قوانین مربوط به آن مسئله، اجازه‌ی برقراری ارتباط بین آن هدف و نقش مربوطه را ندهد.

```

Input: GT, Ro, Sk Ag
Output: Initial holonic state ( $HS_0$ )
1  $Holarchy = \emptyset$ ;
2 forall the  $gl \in GT_{leaf}$  do
3    $h_i = \{gl\}$ ;
4    $Holarchy = Holarchy \cup \{h_i\}$ ;
5 end
6  $AddComponent(Ro, Holarchy)$ ;
7  $AddComponent(Sk, Holarchy)$ ;
8  $AddComponent(Ag, Holarchy)$ ;
9 forall the  $h_i \in Holarchy$  do
10  forall the  $g \in h_i$  do
11    forall the  $r \in h_i$  do
12       $mostSuitable = \arg \max_{a \in h_i} Satisfy(a, r, g, 0)$ ;
13       $Assign(mostSuitable, r, g)$ ;
14    end
15  end
16 end

```

شکل ۴. الگوریتم هولون بندی

با این فرض که علامت $|X|$ نشان دهنده‌ی اندازه‌ی مجموعه X باشد، در بدترین حالت پیچیدگی زمانی تابع $AddComponent$ برابر خواهد بود با $O(|Holarchy| \times |Cm|)$ و برای خطوط ۲ تا ۵ و ۹ تا ۱۶ الگوریتم شکل ۴، این پیچیدگی به ترتیب برابر است با $O(|GT_{leaf}|)$ و $O(|GT_{leaf}| \times |Ro| \times |Ag|)$. در نتیجه پیچیدگی زمانی الگوریتم هولون‌بندی برابر $O(|GT_{leaf}| \times |Ro| \times |Ag|)$ است. به طریق مشابه، در بدترین حالت پیچیدگی حافظه تابع $AddComponent$ برابر با $O(|Holarchy|)$ است. از آنجایی که برای ذخیره سازی هولون‌ها و واگذاری‌ها به ترتیب به $O(|GT_{leaf}|)$ و $O(|Ag| \times |Ro| \times |GT_{leaf}|)$

سیستم و نیز موفقیت کنترل پویایی ساختار در طول فرایند خود سازمان‌دهی دارد.

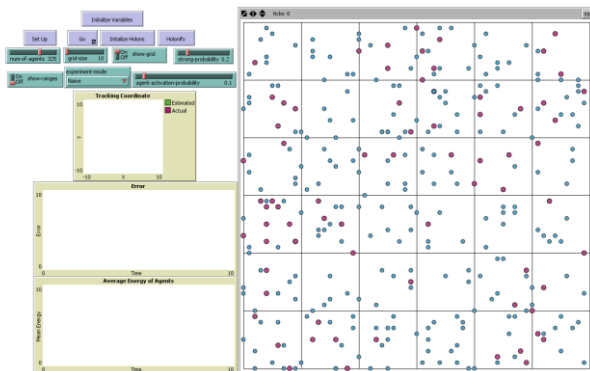
در روش هولون‌بندی پیشنهادی، سعی می‌شود از اشتراک بین هولون جلوگیری گردد. به عبارت دیگر، اجزای ساختاری به گونه‌ای به هولون‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند که روابط و اتصالات اشیای موجود، تنها به صورت داخل هولونی باشند. این کار با توجه به ساختار موجود هدف‌های سیستم و نیز نقش‌هایی که برای هر یک از آن اهداف تعریف می‌شود، صورت می‌گیرد. در این الگوریتم، ما سعی می‌کنیم تا جای ممکن با افزایش تعداد هولون‌ها، اندازه‌ی هر کدام از آن‌ها را از نظر اشیا و روابط موجود کاهش دهیم. به موجب این امر، هزینه مدیریت کردن داخل هر یک از هولون‌ها کاهش یافته و از آنجایی که هولون‌ها کاملاً مستقل از یکدیگر خواهند بود، با موازی‌سازی فرایند داخل هولون‌ها، کارایی کل سیستم را تا حد زیادی می‌توان افزایش داد. شبه کد الگوریتم تشکیل هولون‌ها در شکل ۴ نشان داده است.

همانگونه که دیده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی یک رویه پایین به بالا است. به این صورت که ابتدا به ازای هر یک از اهداف اتمیک مربوط به درخت اهداف سیستم (GT)، یک هولون جدید تخصیص داده می‌شود. در گام بعد سعی می‌شود مجموعه نقش‌های سیستم به این هولون‌ها اضافه گردد. این عمل با توجه به رابطه $Fulfill$ بین اهداف و نقش‌ها، که پیش از این معرفی شد، صورت می‌گیرد. برای این منظور، ابتدا تابع $FindCandid$ مجموعه تمامی هولون‌های داخل مجموعه $Holarchy$ که اهداف آن‌ها طی رابطه $Fulfill$ با نقش مشخص ارتباط دارند را استخراج می‌کند. حال اگر این مجموعه یافت شده فقط شامل یک هولون باشد، این نقش به آن هولون اضافه می‌شود، در غیر این صورت هولون‌هایی که این نقش با اهداف آن‌ها رابطه دارد، ادغام می‌شوند. این گام از هولون‌بندی با فراخوانی تابع $AddComponent$ با ورودی مجموعه نقش‌های سیستم (Ro) در خط ۶ انجام می‌گیرد. در خط‌های ۷ و ۸ الگوریتم، به طریقه مشابه به ترتیب مجموعه مهارت‌های لازم برای انجام نقش‌ها، طبق رابطه $Need$ ، و مجموعه عامل‌های دارای مهارت‌های مربوطه طبق رابطه Has ، به هولون‌های موجود اضافه می‌شوند. الگوریتم مربوط به تابع $AddComponent$ در شکل ۵ نشان داده شده است. توجه شود که در هر یک از این مراحل نیز، اشتراک مهارت یا عاملی ما بین دو یا چند هولون منجر به ادغام هولون‌های مربوطه می‌گردد. با علم بر اتمیک بودن اهداف استفاده شده، مراحل شرح داده شده، هولون‌های پایین‌ترین سطح هولارکی را تشکیل می‌دهند. حال آن‌که برای ساخت سایر سطوح هولارکی می‌توان از روشی مشابه و با استفاده از اهداف سطوح بالای درخت اهداف، استفاده کرد. مرحله آخر از روش پیشنهادی، مربوط است به تخصیص عامل‌ها به هولون‌ها بر اساس مهارت‌های آن‌ها و همچنین سایر ساختارهای سیستم با استفاده از تابع $Assign$. در این مرحله ما از رابطه کمی $Satisfy$ که در بخش گذشته معرفی شد، استفاده می‌کنیم. به این صورت که برای هر هولون سعی می‌شود تخصیص‌های عامل‌ها با توجه به مهارت‌ها و قوانین داخل آن هولون به گونه‌ای انتخاب

عمل مکان‌یابی و ردیابی با استفاده از تشخیص هدف توسط حسگرها و گزارش کردن مکان آن به سایر گره‌ها و از جمله ایستگاه مرکزی^۸ صورت می‌گیرد. از آنجایی که حسگرهای مورد استفاده در این کاربرد، همانند اکثر کاربردهای شبکه‌های حسگر بیسیم از منبع تغذیه محدود برخوردار هستند، لذا روشی که سبب گردد طول عمر حسگرها حداکثر شده و همزمان خطای ردیابی کمینه شود، بسیار مطلوب خواهد بود. از آنجایی که سیستم‌های مبتنی بر ساختارهای هولونی، یکی از رویکردهای موثر برای کاهش میزان ارتباطات و تعاملات به حساب می‌آید، در این کاربرد نیز می‌توان به شکل کارایی از آن بهره برد.

۴-۲- بستر آزمایش

در این مقاله به منظور نشان دادن قابلیت‌های روش پیشنهادی، محیط مربوط به مسئله ردیابی شیء به صورت یک محیط شبیه‌سازی پیاده‌سازی شده است. این محیط که با استفاده از زبان Java و نرم افزار Netlogo طراحی و پیاده‌سازی شده است، متشکل از یک فضای مربعی شکل با ابعاد مشخصی است که در آن تعداد قابل توجهی از گره‌های حسگری به صورت تصادفی و با توزیعی یکنواخت پخش شده‌اند. در این بستر از دو نوع حسگر استفاده گردیده است. تفاوت این دو نوع حسگر در میزان طول عمر منبع تغذیه آن‌ها و برد ارتباطی و حسگری آن‌ها است. به علاوه، این حسگرها قابلیت تشخیص و ردیابی نوع خاصی از یک شیء را دارا هستند. در شکل ۶، نمایی از محیط شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که در آن، انواع مختلف حسگرها با اندازه و رنگ متفاوت به تصویر کشیده شده‌اند.



شکل ۶. نمایی از محیط شبیه سازی

در این بستر آزمایش شبیه‌سازی شده، شیئی از نوعی مشخص، به صورت تصادفی از یکی از اضلاع محیط وارد می‌شود و در داخل محیط شروع به حرکت می‌کند. مسیر و جهت حرکت این هدف به صورت تصادفی است و تا زمانی که انرژی تمامی حسگرها خالی نشده است، در داخل محیط به حرکت خود ادامه می‌دهد. در این بستر آزمایش از دو نوع شیء استفاده گردیده است که تنها گره‌های از نوع مناسب قادر به تشخیص و ردیابی آن اشیا هستند.

حافظه نیاز خواهیم داشت، پیچیدگی حافظه کلی الگوریتم شکل ۴ برابر با $O(|Ag| \times |Ro| \times |GT_{leaf}|)$ خواهد بود.

```

1 func AddComponent (Cm, Holarchy)
  Input: Cm ∈ {Ro, Sk, Ag}, Holarchy
2 forall the c ∈ Cm do
3   candidHolons = FindCandid(cm, Holarchy);
4   if |candidHolons| = 1 then
5     h = GetHolon(gl ∈ candidHolons);
6     h = h ∪ {c};
7   else
8     newHolon = ∪i candidHolonsi;
9     Holarchy = Holarchy - candidHolons;
10    Holarchy = Holarchy ∪ newHolon;
11  end
12 end

```

شکل ۵. تابع اضافه کردن مولفه به هولون

۴-۳- مطالعه موردی

همان‌گونه که پیش از این ذکر شد، روش پیشنهادی در این مقاله یک روش عمومی بوده و منحصر به کاربرد خاصی نیست. به عبارت دیگر، با استفاده از مفاهیم و فرضیات تعریف شده می‌توان از این روش برای تشکیل ساختار هولونی در سیستم‌های چندعاملی بهره برد. در این مقاله، به منظور نشان دادن کارایی این روش و همچنین نحوه‌ی استفاده از آن در دنیای واقعی، از مسئله ردیابی شیء^۶ در شبکه‌های حسگر بیسیم استفاده شده است. در ادامه این بخش از مقاله، تعریف مسئله مورد استفاده و نحوه مدل‌سازی آن بر اساس روش پیشنهادی به تفصیل شرح داده می‌شود.

۴-۱- ردیابی شیء در شبکه‌های حسگر بیسیم

یک شبکه حسگر بیسیم از تعداد بسیار زیادی گره حسگری کوچک تشکیل شده است که برای نظارت بر یک محیط فیزیکی استفاده می‌شود. حسگرهایی که در همسایگی یک رویداد قرار دارند، اطلاعات نظارتی خود از رویداد مربوطه را به حسگر ویژه‌ای به نام چاهک^۷ گزارش می‌کنند که خود این گره توانایی برقراری ارتباط با دنیای خارج از شبکه را دارا است. از جمله کاربردهای وسیعی که شبکه‌های حسگر بیسیم در سال‌های اخیر داشته است، می‌توان به کنترل ترافیک، نظارت بر زیستگاه‌های جانوری، نظارت بر آلودگی‌های محیطی و نظارت‌های صنعتی اشاره نمود [۲۱].

کاربرد ردیابی شیء، که در این مقاله به آن توجه شده است، یکی از کاربردهای محوری در شبکه‌های حسگر بیسیم بشمار می‌رود. در این کاربرد، تعدادی حسگر بیسیم در یک منطقه به صورت تصادفی و یا دستی پخش شده و سعی می‌گردد مکان شیئی از نوع مشخص را که وارد منطقه می‌شود، با استفاده از این مجموعه حسگرها پیش‌بینی و ردیابی نمود.

^۶ Object Tracking

^۷ Sink

^۸ Base Station

و TB در داخل بخش i ام می‌باشند. مجموعه تمامی مهارت‌های سیستم با $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ نشان داده می‌شود.

عامل (a_i): برای گره حسگری i ام در شبکه، یک عامل در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر مجموعه عامل‌های سیستم چندعاملی در مسئله را گره‌های حسگری تشکیل می‌دهند و مجموعه تمامی عمل‌ها را با $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ نشان می‌دهیم که در آن N تعداد گره‌های حسگری در شبکه است.

رابطه بین نقش r_i و هدف g_i : از آنجایی که برای هر هدف یک و تنها یک نقش در نظر گرفته شده است، لذا مقدار کمی برای این رابطه، که عددی در بازه $[1, 0]$ اختیار می‌کند، در این مسئله برابر با ۱ خواهد بود. به عبارت دیگر داریم:

$$\forall g_i, r_i : Fulfill (r_i, g_i) \rightarrow 1 \quad (۴)$$

رابطه بین عامل a_i و مهارت S_i : این مقدار کمی که درجه‌ی برخورداری یک مهارت خاص برای عامل‌ها را بر اساس میزان مساحت تحت پوشش آن‌ها تعیین می‌کند، با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Has (a_i, s_j^X, 0) = \begin{cases} 0 & \text{if } a_i \in A^{SA} \text{ and } X = TB \\ \frac{Cov_area(a_i, s_j^X)}{Sense_area(a_i)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۵)$$

که در آن A^{SA} ، مجموعه عامل‌های اختصاص یافته به حسگری از نوع SA است، $Cov_area(a_i, s_j^X)$ مساحت بخش قرار گرفته از دامنه حسگری مربوط به عامل a_i داخل بخش j است و $Sense_area(a_i)$ مساحت کلی برد حسگری عامل a_i است.

رابطه بین مهارت S_i و نقش r_i : برای هر هدف تشخیص و ردیابی شیء در داخل هر یک از بخش‌های محیط شبیه‌سازی، دو مهارت در نظر گرفته می‌شود که هر کدام مربوط است به اشیایی از نوع TA و TB . به عبارت دیگر داریم:

$$Need_{r_j}^0 = \{S_j^{TA}, S_j^{TB}\} \quad (۶)$$

سایر روابط ساختاری با استفاده از مقادیر فوق و نیز استفاده از روابط تعریف گردیده در بخش ۳ قابل دستیابی است.

رویکرد ردیابی داخل هولونی:

در این الگوریتم، بعد از مرحله هولن‌بندی سیستم چند عامله ساخته شده، به هر یک از هولون‌ها عامل ویژه‌ای به عنوان رهبر یا سرپرست هولون تخصیص داده می‌شود. وظیفه رهبر، برقراری ارتباطات مابین هولون‌های همسایه و نیز جمع‌آوری اطلاعات مکانی مربوط به شیء متحرک داخل هر هولون است. این کار را رهبر هولون با استفاده از اطلاعاتی که از هریک از اعضای هولون مربوطه دارد انجام می‌دهد. در ابتدای کار، تمامی عامل‌ها (گره‌های شبکه) در حالت حسگری قرار دارند. به محض ورود یک شیء به محیط و حس کردن آن توسط اعضای یکی از هولون‌ها، رهبر هولون مربوطه پیغامی را مبنی بر قرار داشتن شیء در آن هولون، به سایر هولون‌ها ارسال می‌کند (ارسال این پیغام می‌تواند به

در حالت کلی، در یک شبکه حسگر بیسیم، هر یک از گره‌های شبکه دارای انرژی اولیه محدودی هستند که در طول زمان، بر اساس نوع فعالیتی که انجام می‌دهند، مقداری از این انرژی را از دست می‌دهند. در بستر آزمایش پیاده‌سازی شده در این مقاله نیز هر یک از حسگرها در هر زمان می‌توانند در یکی از ۳ حالت: بیکار، حس کردن، و ارتباط قرار داشته باشند. در حالت بیکار گره حسگری هیچ فعالیتی را به جز دریافت پیغام انجام نمی‌دهد و بنابراین کمینه مقدار انرژی را مصرف خواهد کرد. در حالت حسگری، با توجه به قابلیت‌های که دارد به صورت مداوم محیط اطراف خود را جهت تشخیص شیئی از نوع مشخص بررسی می‌کند. به محض تشخیص شیء، گره برای مدت محدودی به حالت ارتباط می‌رود و مشخصات شیء تشخیص داده شده را مخابره می‌کند. میزان انرژی که برای هر یک از این حالات توسط گره‌های حسگری متفاوت بوده که در بخش شبیه‌سازی تعیین می‌شود.

۳-۴ روش‌های بکار گرفته شده

در این بستر آزمایش، ما نتایج رویکرد پیشنهادی خود را با دو رویکرد دیگر که در مسئله ردیابی شیء به عنوان معیارهایی برای مقایسه میزان خطا و طول عمر شبکه مطرح هستند، مقایسه می‌کنیم. در ادامه روش پیشنهادی به همراه این دو روش به تفصیل شرح داده شده‌اند.

۳-۴-۱ روش هولونی مبتنی بر الگوریتم پیشنهادی

استفاده از روش پیشنهادی برای این مسئله شامل دو مرحله است. در مرحله نخست، ساختارهای هولونی مربوط به این مسئله تشکیل می‌شود و در مرحله بعدی روشی هولونی برای ردیابی شیء ارائه می‌گردد. در این مراحل در ادامه شرح داده می‌شوند.

استخراج ساختار اولیه هولونی

جهت استفاده از روش پیشنهادی این مقاله برای استخراج ساختار هولونی، لازم است ابتدا نگاشت مناسبی از اجزای بستر آزمایش به مولفه‌ها و فرضیات روش پیشنهادی ارائه گردد. برای این منظور، ما محیط آزمایش را به تعدادی بخش مساوی تقسیم می‌نماییم. مولفه‌های ساختاری به صورت زیر تعریف می‌شوند:

هدف (g_i): هدف i ام در این مسئله، ردیابی شیء در داخل بخش i از محیط تعریف می‌شود و مجموعه‌ی تمامی اهداف مسئله با $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ نشان داده می‌شود.

نقش (r_i): نقش i ام در این مسئله، مربوط است به وظیفه‌ی ردیابی یک شیء در داخل بخش i ام. به عبارت دیگر برای دستیابی به هر هدف پایه یک نقش تعریف می‌شود و مجموعه‌ی تمامی نقش‌های سیستم برابر است با $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$.

مجموعه مهارت (S_i): مهارت‌های لازم جهت تشخیص و ردیابی شیء داخل بخش i ام. خود این مجموعه از دو عضو s_i^{TA} و s_i^{TB} تشکیل شده است که به ترتیب مهارت مربوط به تشخیص و ردیابی اشیایی از نوع TA

مقدار "۱" را گزارش می‌کند و در غیر اینصورت، مقدار "۰" گزارش می‌شود. با توجه به این فرض که موقعیت و مکان دقیق هر یک از گرہ‌ها مشخص است، مکان شیء در زمان t با محاسبه مرکزیت مکان حسگرهایی که آن شیء را در آن زمان تشخیص داده‌اند محاسبه می‌شود. با این صورت که اگر در زمان t k گرہ حسگری با مختصات مکانی $X_i = (x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, k$ ، شیئی را در برد حسگری خود تشخیص دهند، مختصات تخمینی $X_o(t) = (x_o(t), y_o(t))$ برای شیء به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$x_o(t) = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{k}, \quad y_o(t) = \frac{\sum_{i=1}^k y_i}{k} \quad (۹)$$

لازم به ذکر است که روش پیشنهادی در بخش قبل نیز برای تخمین مکان فعلی شیء متحرک از همین رابطه استفاده می‌کند.

۴-۳-۳ الگوریتم تصادفی

در این الگوریتم، در هر زمان تنها تعداد تصادفی از گرہ‌های حسگری فعال هستند و عمل ردیابی را انجام می‌دهند. به عبارت دیگر در هر واحد زمانی، هر کدام از حسگرها به صورت مستقل و با احتمال p در حالت روشن و فعال قرار دارند. در این الگوریتم، نحوه‌ی محاسبه و تخمین مکان شیء متحرک در محیط و نیز نحوه‌ی فعالیت هر یک از گرہ‌های حسگری دقیقاً مشابه الگوریتم پایه است. این الگوریتم از نظر بررسی تاثیر فعالیت قسمی گرہ‌های حسگری، روی پارامترهای اندازه‌گیری کیفیت مکان‌یابی و نیز طول عمر کل شبکه، مورد بررسی قرار گرفته است. روشن است که این الگوریتم با صرف هزینه‌ای از جهت افزایش خطای ردیابی، افزایش نسبی در طول عمر شبکه نسبت به حالت پایه ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر اگر در این الگوریتم میزان احتمال فعالیت گرہ‌ها با نزدیک شدن به مقدار $p=1$ ، کارایی الگوریتم با کارایی روش پایه یکسان می‌گردد.

۴-۴ معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد و کارایی روش‌های مختلف ردیابی شیء، به طور معمول از دو معیار بررسی کیفیت تخمین مکان شیء و نیز میزان انرژی مصرفی حسگرها در طول زمان، استفاده می‌شود. در ادامه هر یک از این معیارها شرح داده می‌شوند.

۴-۴-۱ کیفیت ردیابی

این معیار که به معیار خطای ردیابی نیز معروف است، میزان عدم قطعیت در تخمین موقعیت شیء متحرک را منعکس می‌کند. در این مقاله از روش فاصله اقلیدسی ما بین مکان واقعی هدف و مکان تخمین زده شده برای اندازه‌گیری خطای ردیابی استفاده می‌شود. به عبارت دیگر اگر مکان‌های واقعی هدف در زمان t باشد، $X_a(t) = (x_a(t), y_a(t))$ خطای ردیابی لحظه‌ای به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$q(t) = d(X_o(t), X_a(t)) = \sqrt{(x_o(t) - x_a(t))^2 + (y_o(t) - y_a(t))^2} \quad (۱۰)$$

حال اگرکل مدت زمان حضور هدف در محیط را T در نظر بگیریم،

صورت پخش‌ی یا توسط ابر-هولون سطح بالا صورت گیرد. دریافت این پیغام توسط سایر هولون‌ها سبب می‌شود که عامل‌های آن‌ها در حالت بیکار قرار گیرند تا از اتلاف انرژی آن‌ها جلوگیری گردد.

یکی دیگر از وظایف رهبر هولون، پیش‌بینی مسیر حرکت شیء در داخل هولون است. این کار با استفاده از برازش خطی روی مختصات سه حرکت قبلی شیء با توجه به تاریخچه مکانی آن در داخل هولون صورت می‌گیرد. حاصل این پیش‌بینی خطی به معادله $y = \alpha x + \beta$ خواهد بود. در این معادله، پارامترهای α و β به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\alpha = r_{xy} \frac{S_x}{S_y}, \quad \beta = \bar{y} - \alpha \bar{x} \quad (۷)$$

که در آن، \bar{x} و \bar{y} به ترتیب میانگین مختصات x و y در سه تاریخچه مکانی شیء هستند و S_x و S_y نیز انحراف معیار این مختصات می‌باشند. ضریب r_{xy} نیز به صورت زیر قابل تعریف است:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(x^2 - \bar{x}^2) \cdot (y^2 - \bar{y}^2)}} \quad (۸)$$

حال رهبر هولون مشخصات مسیر حرکت و مکان فعلی شیء را به سایر هولون‌ها ارسال می‌کند. رهبرهای هولون‌های دریافت کننده این پیغام، بررسی می‌کنند که آیا در مسیر حرکت شیء هستند یا نه. در صورت در مسیر بودن، رهبر مربوطه با اطلاع از مکان عامل‌های هولون خود و دامنه حسگری آن‌ها تعیین می‌کند که آیا شیء متحرک وارد هولون شده است یا خیر. در صورتی که در مسیر نباشد و یا شیء در داخل هولون خود نباشد، هیچ عکس‌العملی نشان نمی‌دهد. در غیر اینصورت، با ارسال پیغامی عامل‌های داخل هولون خود را در حالت حسگری قرار داده و همزمان پیغامی به سایر هولون‌ها (از جمله هولون فعال قبلی) ارسال می‌نماید که در صورت فعال بودن آن‌ها، منجر به غیر فعال شدن و صرفه جویی در انرژی عامل‌های آن هولون‌ها می‌گردد.

۴-۳-۲ الگوریتم پایه

این الگوریتم یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌های موجود برای ردیابی شیء مطرح است [۲۲]. در این الگوریتم، تمامی گرہ‌ها در حالت حسگری قرار دارند و تحلیل‌های خویش از وجود شیء را به ایستگاه اصلی ارسال می‌کنند تا تخمینی از محل واقعی هدف محاسبه شود. از آنجایی که این روش بهترین نتیجه را از نظر محل ردیابی شیء ارائه می‌کند، به عنوان روش پایه‌ای برای اندازه‌گیری و مقایسه سایر روش‌های ردیابی فعال محور در مقالات مختلف مطرح است. از سویی دیگر، با وجود فراهم کردن کمترین خطا در ردیابی، این روش انرژی زیادی را به علت فعال بودن تمامی حسگرها در طول زمان مصرف می‌کند که این خود سبب کوتاه شدن عمر شبکه می‌گردد.

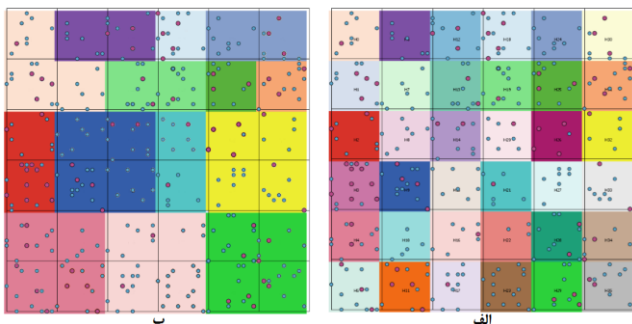
در این الگوریتم، فرض می‌شود که تعداد N گرہ حسگری در محیطی به صورت تصادفی پخش شده‌اند که برای مدت زمان T فعالیت می‌کنند. این گرہ‌های حسگری از نوع باینری با برد حسگری ثابت S هستند. به عبارت دیگر در هر زمان، در صورتی که شیئی در فاصله S از حسگر باشد،

از نوع TA انتخاب شده است. جهت حرکت این شیء در داخل محیط در هر لحظه، به صورت تصادفی نسبت به جهت حرکت در لحظه قبل شیء تعیین می‌شود. این شیء بدون خروج از محیط، تا زمان تمام شدن عمر شبکه به حرکت خود ادامه می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات حسگرها

حسگر	نماد	برد ارتباطی	برد حسگری	انرژی اولیه	نوع شیء تشخیصی
SA	●	۱۰	۴	۴۰۰۰	TA
SB	●	۲۰	۸	۷۰۰۰	TA, TB

محیط شبکه به ۳۶ قسمت مساوی تقسیم شده است. با اجرای الگوریتم هولون‌بندی پیشنهادی روی این محیط، ساختار هولونی مطابق با شکل ۷ حاصل گردیده است. در قسمت الف از این شکل، ساختار اولیه هولون‌ها قبل از اعمال الگوریتم هولون‌بندی و در قسمت ب، ساختار هولون‌ها بعد از اعمال الگوریتم هولون‌بندی نشان داده شده است. برای متمایز ساختن هولون‌ها به صورت بصری، از رنگ‌های مختلفی استفاده شده است، به این صورت که بخش‌های مربوط به یک هولون واحد دارای رنگ یکسانی بعد از عملیات هولون‌بندی خواهند بود. در قسمت الف، برای پوشش و ردیابی شیء در داخل هریک از نواحی کوچک یک هدف تخصیص داده می‌شود و به سبب همین امر و با توجه به الگوریتم پیشنهادی برای هر یک از نواحی کوچک یک هولون اولیه ساخته خواهد شد. بعد از اجرای کامل الگوریتم هولون‌بندی پیشنهادی، تنوع مهارت‌های حسگرهای (عامل‌های) داخل هولون‌ها و مهارت‌های لازم برای ردیابی داخل هر کدام از نواحی سبب می‌گردد که در این مثال اکثر هولون‌ها در راستای افزایش کیفیت ردیابی با تعدادی از هولون‌های همسایگی خود ادغام گردند.



شکل ۷. ساختار هولونی شبکه حسگر در (الف) قبل از اجرا و (ب) بعد از اجرای الگوریتم هولون‌بندی

پس از اجرای الگوریتم‌های مختلف تشخیص و ردیابی شیء که در بخش پیشین آمد، نمودار مربوط به کیفیت ردیابی در هریک از این الگوریتم‌ها در شکل ۸ به تصویر کشیده شده است. در این شکل، کیفیت روش هولون‌بندی شده در مقایسه با روش پایه و سه روش تصادفی با احتمال‌های ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده

میانگین خطای ردیابی در طول زمان T به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T q(t) dt \quad (11)$$

۴-۲-۴ میانگین انرژی گره‌ها:

میانگین انرژی گره‌های حسگری در طول زمان شبیه‌سازی یکی از معیارهای برآورد میزان اتلاف انرژی توسط الگوریتم ردیابی است. هرچقدر میزان انرژی مصرفی توسط گره‌ها پایین باشد، عمر کلی شبکه بالاتر خواهد بود. همانگونه که پیش از این ذکر شد، در بستر آزمایش مورد استفاده، گره‌های حسگری فعال در هر لحظه می‌توانند در یکی از سه حالت بیکار، حسگری، و ارتباط قرار داشته باشند که میزان انرژی مصرفی در هریک از این سه حالت متفاوت می‌باشد. اگر میزان انرژی مصرفی در هریک از سه حالت فوق را با e_i ، e_s و e_c نشان دهیم، میانگین انرژی مصرفی حسگرها در زمان t برابر است با:

$$ME(t) = \frac{e_i \cdot n_i(t) + e_s \cdot n_s(t) + e_c \cdot n_c(t)}{n_i(t) + n_s(t) + n_c(t)} \quad (12)$$

که در آن $n_i(t)$ ، $n_s(t)$ و $n_c(t)$ تعداد گره‌های حسگری در حالت‌های به ترتیب بیکاری، حسگری و ارتباط است. بدیهی است روشی با میانگین انرژی مصرفی پایین به همراه میانگین خطای ردیابی کم مطلوب خواهد بود.

۴-۵ نتایج شبیه‌سازی

در این شبیه‌سازی، دو نوع حسگر SA و SB به مجموع تعداد ۳۲۵ عدد به صورت تصادفی در محیط آزمایش پخش گردیده است. از این تعداد، احتمال تخصیص به هر یک از حسگرها برابر است با $P(SA) = 0/8$ و $P(SB) = 0/2$. مشخصات جزئی این حسگرها همراه با قابلیت‌های آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، حسگرهای از نوع SA تنها قابلیت تشخیص اشیائی از نوع TA را دارا هستند، حال آن‌که حسگرهای از نوع SB می‌توانند اشیائی از دو نوع TA و TB را تشخیص دهند. همانگونه که در ابتدای این بخش ذکر شد، حسگرهای بکار رفته، در هر لحظه می‌توانند در یکی از سه حالت بیکار، حسگری، و ارتباط باشند. مقدار انرژی که در هر یک از این سه حالت برای هر دو نوع گره حسگری SA و SB مصرف می‌شود برابر است با: ۰/۱ واحد برای حالت بیکار، ۷ واحد برای حالت حس کردن، و در نهایت ۱۵ واحد برای حالت ارتباط.

در این بستر آزمایش شبیه‌سازی شده، شیئی از نوعی مشخص، به صورت تصادفی از یکی از اضلاع محیط وارد می‌شود و در داخل محیط شروع به حرکت می‌کند. مسیر و جهت حرکت این هدف به صورت تصادفی است و تا زمانی که انرژی تمامی حسگرها خالی نشده است، در داخل محیط به حرکت خود ادامه می‌دهد. در این بستر آزمایش از دو نوع شیء استفاده گردیده است که تنها گره‌های از نوع مناسب قدر به تشخیص و ردیابی آن اشیا هستند. در این آزمایش، به منظور بهره‌بری از تمامی حسگرها در جهت تشخیص و ردیابی، نوع شیئی که وارد محیط می‌شود،

۵- جمع‌بندی

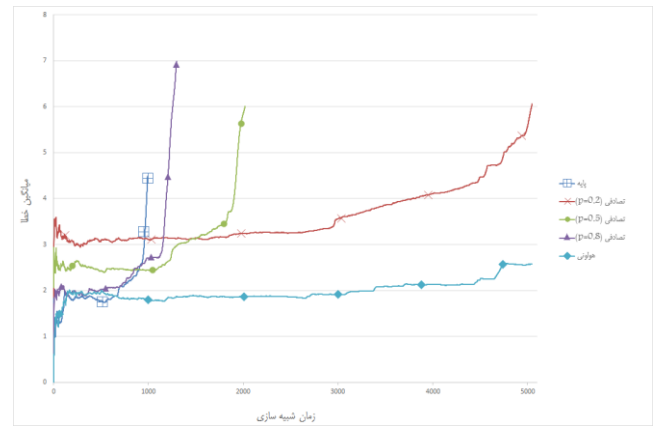
در مقاله، یک روش تشکیل ساختار اولیه برای سیستم‌های چندعاملی هولونی ارائه گردید. روش پیشنهاد شده که بر پایه مفهوم اجتماعی ساختارهای سازمانی استوار است، برخلاف اغلب روش‌های مطرح شده، یک روش کلی و قابل استفاده در طیف وسیعی از کاربردهای سیستم‌های چندعاملی می‌باشد. این مقصود با مدل کردن یک ساختار سازمانی با استفاده از ارائه‌ی یک تعریف مناسب از اجزای ساختاری و رابطه‌ای در داخل سیستم‌های چند عاملی در مرحله نخست، و سپس شکل‌گیری ساختار هولونی طی یک فرآیند پایین به بالا و با توجه به ساختار اهداف سیستم، حاصل گردید. فرضیات و تعاریفی که در الگوریتم پیشنهادی به کار گرفته شده‌اند بسیار روشن بوده و در بسیاری از سیستم‌ها و مسائل چند عاملی وجود داشته و یا براحتی قابل تعریف می‌باشند. این ویژگی سبب گردیده است که طراح اینگونه سیستم‌ها قادر باشد از روش پیشنهادی در ارائه‌ی یک رویکرد هولونی در مسائل چندعاملی بهره‌برد. برای نشان دادن نحوه کاربرد روش پیشنهادی در مسائل توزیع شده واقعی و نیز کارایی بالای آن در حل مسائل مربوطه، در این مقاله بستر آزمایشی برای ردیابی اشیای متحرک در حوزه‌ی شبکه‌های حسگر بیسیم تعریف و مورد استفاده قرار گرفت. همانگونه که از نتایج شبیه‌سازی روشن است، روش هولونی مبتنی بر الگوریتم پیشنهادی این مقاله در مقایسه با دو الگوریتم پایه‌ای دیگر هم از نظر میزان کیفیت ردیابی و هم از دید جلوگیری از اتلاف انرژی حسگرها بدر طول ردیابی، سیار کارآمد عمل نموده است. بدیهی است که هدف از این آزمایش صرفاً نمایش نحوه استفاده از الگوریتم پیشنهادی روی یک مسئله کاربردی بوده و تمرکزی روی بهینه‌سازی نتایج در حوزه شبکه‌های حسگر بیسیم صورت نگرفته است. کما آنکه، با تمرکز در این حوزه می‌توان به نتایج بسیار بهتری نیز دست یافت.

روشی که در این مقاله ارائه گردید، یک روش ایستا برای تشکیل ساختار اولیه یک سیستم چندعاملی هولونی، به عنوان گام نخست از سازماندهی پویای آنها است. به عنوان نمونه‌ای از تحقیقاتی که به عنوان کارهای آتی در این راستا در حال انجام است، می‌توان به ارائه‌ی یک چارچوب کلی برای تغییرات پویای احتمالی در این سیستم‌ها و نحوه مدیریت و کنترل ساختار تشکیل شده اولیه در برابر این تغییرات اشاره نمود.

۶- مراجع

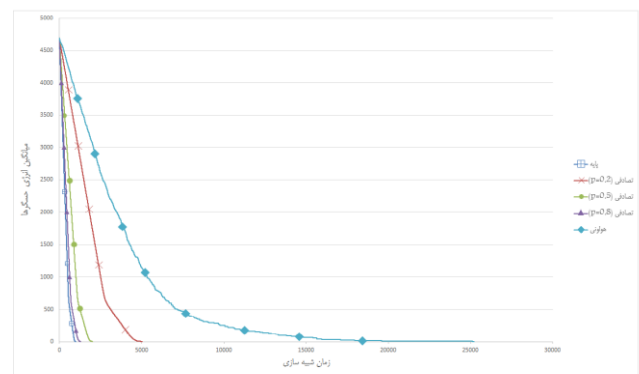
- [1] S. J. Russell, P. Norvig, J. F. Canny, J. M. Malik, and D. D. Edwards, *Artificial intelligence: a modern approach*, vol. 74. Prentice hall Englewood Cliffs, 1995.
- [2] M. Wooldridge, *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2009.
- [3] K. M. Carley and L. Gasser, "Computational organization theory," in *Multiagent systems: A modern approach to distributed artificial intelligence*, Cambridge, MA: MIT Press, 1999, pp. 299-330.
- [4] B. Horling and V. Lesser, "A survey of multi-agent organizational paradigms," *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 19, no. 4, pp. 281-316, 2004.
- [5] A. Koestler, *The ghost in the machine*. Macmillan, 1968.

می‌شود، از نظر کیفیت ردیابی روش هولونی مشابه با روش پایه عمل کرده است. و در روش‌های تصادفی هرچقدر مقدار احتمال فعال بودن گره‌ها کمتر است، کیفیت ردیابی همانطور که انتظار می‌رود بدتر گردیده است. لازم به ذکر است که کیفیت ردیابی در بازه زمانی مربوط به طول عمر شبکه در الگوریتم پایه نشان داده شده است. این عمل به منظور ارائه‌ی یک مقایسه بصری واضح از الگوریتم‌های مختلف انجام شده است.



شکل ۸. مقایسه کیفیت ردیابی الگوریتم‌های مختلف

از نظر میزان مصرف انرژی روش هولونی پیشنهادی در مقایسه با چهار روش دیگر بهترین عملکرد را داشته است. نمودار مقایسه میانگین انرژی حسگرهای شبکه در طول زمان در پنج الگوریتم هولون، پایه و سه روش تصادفی با احتمال‌های $0/2$ ، $0/5$ ، و $0/8$ در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشهود است، الگوریتم پایه به علت قرار داشتن همه‌ی گره‌ها در حالت حسگری، با وجود فراهم کردن کیفیت ردیابی بسیار بالا، بدترین عملکرد را در حفظ انرژی گره‌ها داشته است. از سویی دیگر، در روش‌های تصادفی، هرچقدر احتمال فعال بودن گره‌ها پایین تر است، انرژی بیشتری از گره‌های حسگری حفظ می‌شود، حال آن‌که با توجه به شکل ۸، این افزایش طول عمر شبکه با صرف هزینه‌ی پایین بودن کیفیت ردیابی همراه است. در مقایسه با این روش‌ها، روش هولونی توانسته است با حفظ انرژی گره‌هایی از شبکه که استفاده‌ای از آن‌ها نمی‌شود، توازن بسیار خوبی مابین کیفیت ردیابی و افزایش طول عمر شبکه برقرار کند.



شکل ۹. مقایسه میانگین انرژی حسگرها در الگوریتم‌های مختلف

- [6] E. Adam and R. Mandiau, "Roles and hierarchy in multi-agent organizations," *Multi-Agent Syst. Appl. IV*, pp. 539–542, 2005.
- [7] V. Dignum and F. Dignum, "Coordinating tasks in agent organizations," in *Coordination, Organizations, Institutions, and Norms in Agent Systems II*, Springer, 2007, pp. 32–47.
- [8] M. Cossentino, N. Gaud, and V. Hilaire, "A holonic metamodel for agent-oriented analysis and design," *Holonic Multi-Agent Syst. Manuf.*, pp. 237–246, 2007.
- [9] R. Davis and R. G. Smith, "Negotiation as a metaphor for distributed problem solving," in *Communication in Multiagent Systems*, Springer, 2003, pp. 51–97.
- [10] F. Maturana, W. Shen, and D. H. Norrie, "MetaMorph: an adaptive agent-based architecture for intelligent manufacturing," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 37, no. 10, pp. 2159–2173, 1999.
- [11] E. A. Sultanik, "Automatic Construction, Maintenance, and Optimization of Dynamic Agent Organizations," Drexel University, 2010.
- [12] X. Zhang and D. H. Norrie, "Holonic control at the production and controller levels," in *Proceedings of the 2nd international workshop on intelligent manufacturing systems*, 1999, pp. 215–224.
- [13] M. Ulieru, "Emergence of Holonic Enterprises from Multi-Agent Systems: A Fuzzy Evolutionary Approach," *Soft Comput. Agents A new Perspect. Dyn. Inf. Syst.*, pp. 187–215, 2002.
- [14] D. Stefanoiu, M. Ulieru, and D. Norrie, "Fuzzy modeling of multi-agent systems behavior. vagueness minimization," in *Proceedings of World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI'2000)*, 2000, vol. 3, pp. 118–123.
- [15] C. Ciufudean and C. Filote, "Artificial social models for Holonic systems," in *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing*, Springer, 2011, pp. 133–142.
- [16] G. Gaspar, "Communication and belief changes in a society of agents: Towards a formal model of an autonomous agent," *Decentralized AI*, vol. 2, pp. 245–255, 1991.
- [17] S. A. Rodríguez, "From Analysis To Design Of Holonic Multi-Agent Systems: A Framework, Methodological Guidelines And Applications," University of Belford, France, 2005.
- [18] L. Jie, Z. Wei-Ming, X. Bao-Xin, and L. Zhong, "An Organization Model in MAS Based on Holon," *2011 IEEE Ninth Int. Conf. Dependable Auton. Secur. Comput.*, pp. 951–957, Dec. 2011.
- [19] M. Abdoos, A. Esmaili, and N. Mozayani, "Holonification of a network of agents based on graph theory," in *Agent and Multi-Agent Systems. Technologies and Applications SE - 42*, G. Jezic, M. Kusek, N.-T. Nguyen, R. Howlett, and L. Jain, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 379–388.
- [20] A. Esmaili, N. Mozayani, and M. R. Jahed Motlagh, "Multi-level Holonification of Multi-agent Networks," in *12th Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS 2014)*, 2014, pp. 1269–1273.
- [21] F. Oppermann, C. Boano, and K. Römer, "A Decade of Wireless Sensing Applications: Survey and Taxonomy," in *The Art of Wireless Sensor Networks SE - 2*, H. M. Ammari, Ed. Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 11–50.
- [22] S. Pattem, S. Poduri, and B. Krishnamachari, "Energy-Quality Tradeoffs for Target Tracking in Wireless Sensor Networks," in *Information Processing in Sensor Networks SE - 3*, vol. 2634, F. Zhao and L. Guibas, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2003, pp. 32–46.