تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۰۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۴/۱۸

ارائه مدل خودسازمان‌ده به منظور برقراری تعامل‌پذیری بین اشیاء هوشمند ناهمگون در اینترنت اشیاء

اسلام ناظمی*
دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
پست الکترونیکی: nazemi@sbu.ac.ir

سروین معماریان
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
پست الکترونیکی: s.memarian@mail.sbu.ac.ir

امین رحمان‌زاده
دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
پست الکترونیکی: A_rahmanzadeh@sbu.ac.ir

چکیده:

ظهور اینترنت اشـیاء در دهه‌های گذشـته بزرگترین انقلاب فنّاورانه تلقی می‌شـود که در حال توسعه است. از دیدگاه فنّاورانه، انسـان و ماشین‌ها به سطح بی‌سابقه‌ای از تعامل در سیستم‌های رایانه‌ای- فیزیکی[1] دست یافته‌اند. در دنیـای فیزیکی و فضـای مجازی میلیاردها دسـتگاه شبکه شـده به‌صورت یکپارچه در تعامل هستند. اینترنت اشیاء به‌طور ذاتی تغییرپذیر، توزیع‌شده، مقیاس وسیع و دارای اشـیاء ناهمگون اسـت که توزیع‌شدگی و ناهمگون بودن باعث می‌شـود که کنترل دسـتی آن مشکل شده و تعامل‌پذیری در آن با چالش همراه باشد. بنابراین نیازمند استفاده از راهکارهای خودسـازمان‌دهی و تعامل‌پذیری اسـت که بدون دخالت انسـان و کنترل مرکزی، مدیریت شـود. اگر چه در زمینه کنتـرل و مدیریت خودکار بدون دخالت انسان و تعامل‌پذیری بین اشیاء هوشمند ناهمگون در سیسـتم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء کارهای متعددی انجام شده اسـت، لیکن هیچ یک بحث خودسازمان‌دهی و تعامل‌پذیری را در کنار هم درنظر نگرفته‌اند و در این زمینه نیز راهکاری ارائه نشده است که ویژگی مدیریت و کنترل به‌صورت توزیع‌شده را دربر داشته باشد. بنابراین در این مقاله هدف ارائه مدلی توزیع‌شـده اسـت که با استفاده از ویژگی‌های خودسـازمان‌دهی و نگاشت سیستم اینترنت اشیاء به یک سیسـتم چند عامله، مسئله تعامل‌پذیری بین اشیاء هوشمند ناهمگون را برقرار نماید. لازم به ذکر است که این تحقیق در حال انجام اسـت و بنابراین در اینجا فقط مدل و ایده مدنظر برای خودسـازماندهی و تعامل‌پذیری بین اشیاء توزیع شـده و ناهمگون در اینتزنت اشیاء ارایه

* نویسندهٔ مسئول

1- Cyber-physical

شده است و روش ارزیابی آن بیان گردیده است.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیاء، اشیاء هوشمند، خودسازمان‌دهی، محاسبات خودمختار، سامانه‌های چندعامله، تعامل‌پذیری

۱- مقدمه

امروزه اینترنت اشیاء در سطوحی چون صنعت، آکادمی، تجارت و رسانه‌ها در حال تبدیل شدن به یک روند فنّاورانه اصلی به شمار می‌رود. مفهوم اینترنت اشیاء را می‌توان این‌گونه بیان کرد که اشاره دارد به یک زیرساخت جهانی از اشیاء فیزیکی که از طریق اینترنت به هم متصل هستند [۱].

در حالی که سیستم‌های اینترنت‌اشیاء به‌صورت قابل ملاحظه‌ای گسترش پیدا کرده است، لیکن اکثر برنامه‌های اینترنت اشیاء هنوز توسعه نیافته است. سیستم‌های اینترنت اشیاء نیازمند مقیاس‌پذیری و توزیع‌شدگی هستند تا بتوانند در میلیون‌ها دستگاه مورد استفاده قرار گیرند. ولی از طرفی به دلیل این‌که برنامه‌های اینترنت اشیاء از راه‌حل‌های متمرکز استفاده می‌کنند، این راه‌حل‌ها مقیاس‌پذیر و توزیع‌شده نیستند و برای سیستمی با پیکربندی ثابت در محیطی که پیوسته در حال تکامل است، کافی نیست [۲]. در حقیقت اینترنت اشیاء یک سیستم با ویژگی‌های منحصر به فرد از جمله پویایی و غیرمتمرکز بودن است که در آن میلیاردها شیء برای افزایش قابلیت‌های خود، یکپارچگی ارتباط و برقراری همکاری با وجود عملکردهای فیزیکی ناهمگن ارائه شده است. این ویژگی‌ها باعث به‌وجود آمدن یک‌سری چالش‌ها مانند: قابلیت همکاری، محاسبات خودمختار، تعامل‌پذیری و ارتباط بین اشیاء ناهمگون می‌شود [۳].

با توجه به چالش‌ها و گستردگی ویژگی‌های سیستم‌های اینترنت اشیاء می‌توان نتیجه گرفت که خودسازمان‌دهی سیستم به این منظور که سیستم‌ها بدون جهت‌گیری، دستکاری و کنترل خارجی خودشان را سازماندهی کنند، از الزامات است. همچنین باید تعامل‌پذیری بین اشیاء هوشمند ناهمگون را برقرار کرد. از آنجایی که اشیاء نیاز به تعامل‌پذیری و همکاری دارند، توزیع‌شده بودن کافی نبوده و بدون تعامل‌پذیری در سطح کلان رفتارهای درستی هرگز پدید نخواهد آمد [۵].

برای این‌که بتوان از خودسازمان‌دهی در سیستم‌های اینترنت اشیاء استفاده کرد می‌توان آن را به یک سیستم چندعامله مقیاس‌وسیع و اشیاء هوشمند را به عامل‌ها نگاشت کرد. بنابراین در سیستم ویژگی‌های توزیع‌شدگی، تعامل‌پذیری و خودسازمان‌دهی به‌وجود می‌آید و به کمک این ویژگی‌ها می‌توان باعث رشد، کنترل و ارزیابی سیستم‌های اینترنت اشیاء شد [۲].

پرسش‌های اصلی این پژوهش به شرح زیر است:

- چگونه می‌توان بین اشیاء هوشمند ناهمگون در سامانه اینترنت اشیاء تعامل‌پذیری برقرار کرد؟
- چگونه می‌توان با استفاده از خودسازمان‌دهی، تعامل‌پذیری را در سامانه اینترنت اشیا حفظ نمود؟
- چگونه می‌توان استفاده از سامانه‌های چند عامله را، جهت برقراری این تعامل‌پذیری در دستور کار قرار دارد؟

بقیه مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش دوم به ادبیات موضوع و سپس مروری بر کارهای گذشته خواهد شد. در بخش چهارم مقاله مدل پیشنهادی ارایه شده است و در بخش پنج نتیجه‌گیری مطرح بیان می‌گردد.

۲- ادبیات موضوع

در این بخش، به مفاهیم بنیادین همچون مفاهیم مرتبط با اینترنت اشیاء، محاسبات خودمختار، خودسازمان‌دهی، سامانه‌های چند عامله و تعامل‌پذیری پرداخته شده است.

۲-۱ اینترنت اشیاء

تعاریف زیادی از اینترنت اشیاء توسط انجمن‌های مختلف تحقیقاتی بر اساس نوع نگرش آن‌ها به نقاط قوت

این ایده بیان شـــده است. دلیل چندوجهی بودن این مفهوم به نام‌گذاری این ایده یعنی «اینترنت اشیاء» برمی‌گردد. این نام از دو کلمه تشکیل شده است که مرتبط است با، دیدگاه شـــبکه گرایی و حرکت به سمت اشـــیاء عمومی که در یک بسته مشترک قرارگرفته‌اند [۱۲].

می‌توان مفهوم اینترنت اشـــیاء را با توجـــه به [٤] این گونه تعریف کرد: یک زیرســـاخت جهانی از اشیاء فیزیکی اســـت که از طریق اینترنت به هم متصل شده‌اند. همچنین دربرگیرنده تجهیزات هوشمند هر روزه به اینترنت است که دســـتگاه‌ها و تجهیزات موجود شامل: حسگرها، محرک‌ها و کنترل‌کننده‌ها هســـتند که به یکدیگر از طریق استفاده از فنّاوری‌های ارتباطی وصل می‌شوند و در نتیجه اطلاعات بسیار زیادی تولید می‌شـــود که اطلاعات می‌تواند در ابر، تحلیل و پردازش شود.

۲-۱-۱ اشیاء هوشمند

اشیاء هوشمند برای اشیائی به کار می‌رود که از طریق اینترنت با هم در تعامل هستند و به عنوان اشیاء خودمختار و فیزیکی دیجیتالی دارای قابلیت‌های عمل کردن/ حس کردن، پردازش، ذخیره‌سازی داده و اتصالات شبکه، مطرح هستند. در حقیقت مجاورت فیزیکی یا مقاصد مشابه در میان چندین شیء هوشمند، سیستم‌های اینترنت اشیاء را تشکیل می‌دهد و ناهمگونی‌هـــای کاربردی، فنّاورانه و عملکردی نباید مانع همکاری اشیاء هوشمند با یکدیگر شود [۳].

۲-۲ محاسبات خودمختار

بـــا توجـــه بـــه [۷]، در حوزه‌های مختلف بـــه مفهوم خودمختاری اشاره شده است. در علوم کامپیوتر، ویژگی خودمختاری به سیســـتم‌های محاســـباتی که می‌توانند بر اســـاس اهداف ســـطح بالاتری تعریف شده و خودشان را مدیریت کنند عطف می‌شـــود که دارای چهار منظر اصلی شـــامل: خودپیکربندی[۲]، خودبهینه‌سازی[۳]، خودحفاظتی[٤] و خود التیامی[٥] است.

2- Self-configuration
3- Self-optimization
4- Self-protection
5- Self-healing

۲-۲-۱ خودسازمان‌دهی و سیستم‌های خودسازمان‌ده

Dempster در ســـال ۱۹۹۸ یـــک تعریـــف حســـی و زبانی برای خودســـازمان‌دهی ارائه کرده است که در آن خودســـازمان‌دهی دقیقاً به چیزی که پیشـــنهاد شده است اشـــاره می‌کند، به‌طوری که سیســـتم‌ها بدون جهت‌گیری، دســـتکاری و کنترل خارجی خودشـــان را ســـازماندهی می‌کنند. به عبارت دیگر خودسازمان‌دهی یک فرآیند پویا و تطبیق‌پذیر است که در آن سیستم‌ها، بدون دخالت خارجی، ســـاختاری را به‌دست می‌آورند و از آن نگهداری می‌کنند. این امر در واقع یک فرآیند پایین به بالاست؛ بدین معنی که تغییرات و تصمیمات درسطح محلی اتفاق می‌افتد و نتیجه آن روی کل سیستم نمایان می‌شود [٥].

طبق [٤]، یکی از ویژگی‌های سیستم‌های خودسازمان‌ده، عدم کنتـــرل مرکزی بـــرای هماهنگی فعالیت‌هـــای اجزاء سیستم است. این سیستم اغلب به‌صورت توزیع‌شده است و مناســـب سیستم‌هایی است که ذاتاً مقیاس‌پذیر، پویا و از پیچیدگی بالا و گســـترده‌ای برخوردار هســـتند. همانطور که اشـــاره شده است سیستم‌های خودســـازمان‌ده دارای ویژگی‌های زیـــادی از جمله مقیاس‌پذیـــری، تطبیق‌پذیری (سازگاری)[٦]، پدیداری[۷] و انعطاف‌پذیری[۸] هستند. [٤].

۲-۳ سامانه‌های چندعامله

یک سامانه چند عامله در واقع از چندین عامل هوشمند متعامل تشکیل شده است که در آن عامل‌ها از طریق تبادل پیام در یک ســـاختار شبکه‌ای با هم ارتباط برقرار می‌کنند [۱۳].

براســـاس آنچـــه در [۱۳] بیان شـــده اســـت، از جمله ویژگی‌هـــای ایـــن ســـامانه‌ها تصمیم‌گیـــری، مدیریت و هماهنگـــی آن‌هـــا به‌صورت توزیع‌شـــده اســـت. چنانچه بخشی از سیســـتم غیرفعال شود، بقیه سیستم بخش‌های مربوط بـــه کار خود را ادامه می‌دهنـــد. در اینصورت این ســـامانه‌ها در اکثر شرایط فعال بوده و متوقف نمی‌شوند.

6- Adaptability
7- Emergence
8- Resilience

مورد بعدی این است که این سیستم برای محیط‌هایی با مقیاس وسیع (مثل اینترنت اشیاء) و محیط‌های ناشناخته به دلیل این‌که محیط سریع‌تر و بهتر پویش می‌شود گزینه مناسبی به‌شمار می‌آید. سیستم‌های چندعامله یک الگوی مفید برای مدیریت سیستم‌های اطلاعاتی توزیع‌شده و بزرگ را ارائه می‌دهد. مسئله قابل توجه این است که سیستم‌های چندعامله قابلیت استفاده در ساختارهایی را دارند که نیاز به خودسازمان‌دهی در آن‌ها وجود دارد. سیستم‌های چند عامله در ضمن ساده بودن اگر بر طبق اصول خودسازمان‌دهی توسعه یابند، در طول زمان از استحکام و پایداری بیشتری برخوردار هستند [۱٤،۲].

۲-۳-۱ عامل

عامل‌ها می‌توانند به‌صورت کوچک‌ترین اجزاء سامانه‌های چندعامله تعریف شوند. یک عامل در واقع یک واحد نرم‌افزاری و سخت‌افزاری است که در یک محیط قرار گرفته و قادر به انجام یک‌سری فعالیت‌های خودمختار برای رسیدن به اهداف مورد نظر است. برخی از ویژگی‌های عامل‌ها شامل مواردی از جمله: خودمختاری، یادگیری، همکاری و توانایی اجتماعی، پیش‌فعال بودن[۹] و انعطاف‌پذیری است [۱۳،۲].

۲-۳-۲- تعامل‌پذیری

برای تعامل‌پذیری تعاریف متعددی ارائه شده است. با توجه به [۱۷،۱۵]، تعامل‌پذیری به معنی توانایی دو یا چند سسیستم برای تبادل اطلاعات و استفاده از اطلاعات مبادله شده و برقراری ارتباط و به اشتراک‌گذاری خدمات با یکدیگر است. طبق [۱۷]، تعامل‌پذیری در اینترنت اشیاء می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

۱) تعامل‌پذیری دستگاه[۱۰]: مرتبط با توانایی یکپارچه‌سازی و تعامل‌پذیری دستگاه‌های ناهمگون است که هریک از پروتکل‌های ارتباطی و استانداردهای مختلف استفاده می‌کنند.

۲) تعامل‌پذیری شبکه[۱۱]: مرتبط با سازوکارهایی برای توانایی تبادل پیام بین سیستم‌های اینترنت اشیاء از طریق شبکه‌های مختلف برای ارتباطات انتها به انتها[۱۲] است. برای تعامل‌پذیر بودن سیستم‌ها، باید سیستم‌ها بتوانند با یکدیگر از طریق انواع مختلف شبکه تبادل پیام کنند.

۳) تعامل‌پذیری معنایی[۱۳]: با معنی محتوا و دغدغه‌های انسانی به جای تفسیر محتوای ماشین مرتبط است.

٤) تعامل‌پذیری نحوی[۱٤]: اشاره به قالب تعامل و ساختار داده‌های استفاده شده در هرگونه تبادل اطلاعات یا خدمات بین موجودیت‌های سیستم‌های اینترنت اشیاء ناهمگن دارد.

۵) تعامل‌پذیری بُن‌سازه[۱۵]: مرتبط با تنوع سیستم عامل‌ها، زبان‌های برنامه‌نویسی، ساختار داده‌ها، سازوکارهای دسترسی و معماری‌ها برای اشیاء و داده‌ها است. این غیریکنواختی باعث می‌شود تا تولیدکنندگان برنامه‌ها، برنامه‌های اینترنت اشیاء را به‌صورت بین دامنه‌ای[۱۶] و بین بُن‌سازه‌ای[۱۷] تولید کنند.

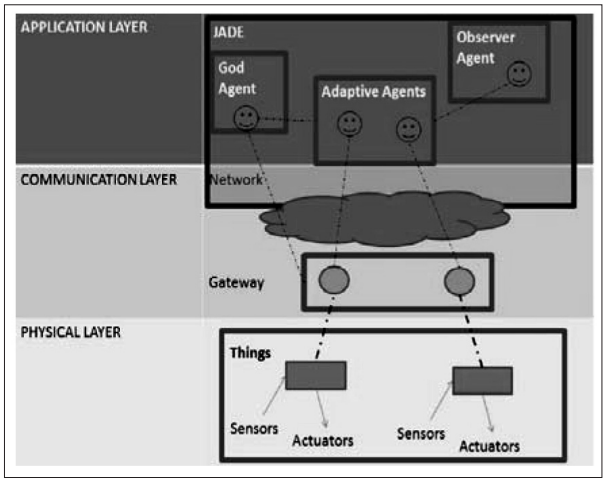
در این تحقیق منظور از تعامل‌پذیری، تعامل‌پذیری بین اشیاء هوشمند ناهمگون است که به تبادل پیام‌های مختلفی می‌پردازند و از سیستم عامل‌های مختلف استفاده می‌کنند.

۳- مروری بر کارهای پیشین

در حوزه اینترنت اشیاء که از ویژگی‌های خودسازمان‌دهی، تعامل‌پذیری و سیستم‌های چندعامله استفاده شده است، کارهای مختلفی با رویکردهای متفاوت صورت گرفته که در این بخش به بررسی این کارها و ارائه جدولی مقایسه‌ای از آن‌ها پرداخته شده است.

براساس [۲]، یک چارچوب برای سیستم‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر سیستم‌های چندعامله با ویژگی‌های خودمختاری و خودسازمان‌دهی ارائه شده است. نویسندگان مقاله معتقدند سیستم‌های اینترنت اشیاء به‌صورت توزیع شده هستند و برای آن‌ها نمی‌توان از

9- Pro-activeness
10- Device
11- Network
12- End to End
13- Semantic
14- Syntactical
15- Platform
16- Cross- domain
17- Cross-platform

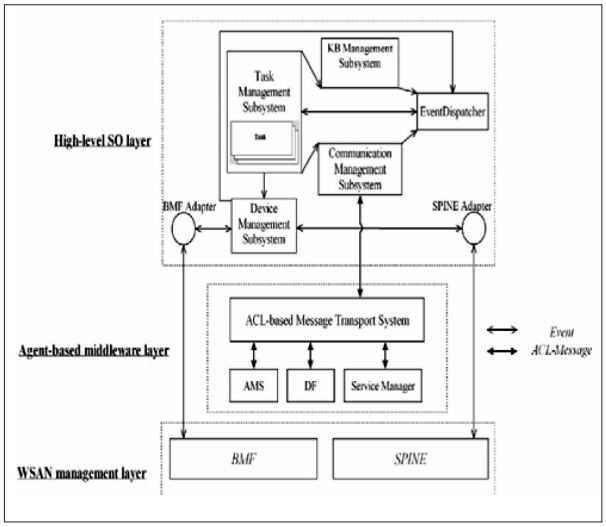


شکل ۱: یک مدل عامل گرا برای ایجاد کاربرد در اینترنت‌اشیاء [۲]

راه‌حل‌های کنترل متمرکز استفاده کرد. بنابراین ضروری است که از ویژگی‌های خودمختاری و خودسازمان‌دهی استفاده شود تا مشکل توزیع‌شدگی و کنترل پیوسته تغییرات توسط آن‌ها حل شود. از طرفی نویسندگان در مقاله از اشیاء هوشمند استفاده نموده‌اند چون این اشیاء بسیار به مفهوم عامل نزدیک بوده و با آن شباهت دارد.. آن‌ها ضمن ارائه چارچوب نیازمندی‌های اینترنت اشیاء، یک مدل عامل محور با نام FIoT برای تحقق سیستم اینترنت اشیاء که شامل سه لایه فیزیکی، ارتباطات و کاربرد است، برای تسهیل فرآیند توسعه لایه‌های ارتباطات و کاربرد، ارائه نموده‌اند (شکل۱).

طبق [۳،۶]، برای مقابله با ناهمگونی‌های کاربردی و فنّاورانه اینترنت اشیاء از مفاهیمی مانند محاسبات مبتنی بر عامل[18] استفاده شده است. ABC راه‌حل‌های لازم برای برآورده کردن مواردی از جمله مقیاس‌پذیری، تعامل‌پذیری، استحکام و غیره که برای فرایند توسعه اینترنت اشیاء ضروری است را به وسیله عامل‌های در حال اجرا با رفتار اکوسیستم اینترنت اشیاء به عنوان سیستم‌های چند عامله ارائه می‌نماید. میان‌افزار همکاری اشیاء هوشمند مبتنی برعامل[19]، ارائه دهنده یک معماری مبتنی بر رویداد و چندعامله است که برنامه‌ریزی و مدل طراحی شیء هوشمند عامل‌گرا مؤثر را ارائه می‌کند.

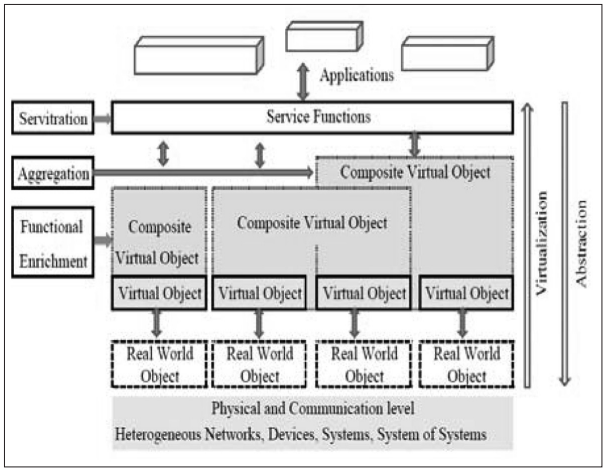
18- Agent based computing (ABC)
19- Agent-based CO operative Smart Object (ACOSO)



شکل ۲: معماری سه لایه ACOSO [۳]

همچنین عامل‌های راهبری‌کننده باعث به حداکثر رساندن قابلیت‌های همکاری در میان زیرسیستم‌های ناهمگن و منابع توزیع‌شده و افزایش مقیاس‌پذیری و استحکام می‌شوند. از طرفی استفاده از ABC در لایه میان‌افزار باعث یکپارچه نمودن عامل‌ها با فنّاوری‌های معنایی مناسب (مانند هستان‌شناسی) می‌شود (شکل۲).

مقاله [۱۵] چارچوب I-Core را ارائه داده است. I-Core یک چارچوب مدیریت شناختی برای اینترنت اشیاء است که اشیاء ناهمگون را نشانی‌دهی می‌کند و به سناریوهای بزرگ که نیاز به انعطاف‌پذیری دارند، دلالت می‌کند. بخش‌های مختلف I-Core شامل: مجازی‌سازی، ترکیب، شناختی و مجاورت است. I-Core یک معماری مبتنی بر عامل و تطبیق‌پذیر است و ویژگی‌های خودمختاری آن شامل: خودپیکربندی، خودبهینه‌سازی، خودالتیامی، خودحفاظتی و خودسازماندهی است. این چارچوب از دیدگاه اینترنت اشیاء، یک چارچوب مناسب برای همکاری مبتنی‌بر شیء هوشمند تلقی می‌شود. این الگوی معماری می‌تواند در به حداقل رساندن مداخلات انسانی و غلبه بر فنّاوری‌ها و پروتکل‌های ناهمگن کمک کند. علاوه بر آن ممکن است قادر باشد اینترنت اشیاء را از وضعیت فعلی به سوی یک اینترنت اشیاء کاملاً یکپارچه‌شده سوق دهد (شکل۳).

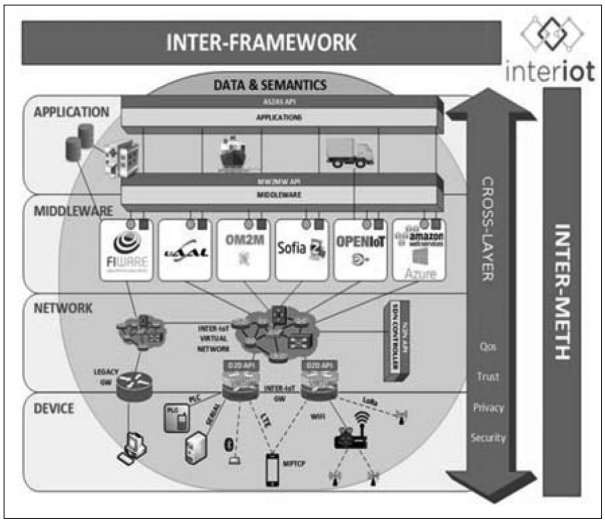


شکل ۳: معماری I-Core [۸]

مسئله دیگری که در این مقاله به آن پرداخته شده است، ارائه یک بُن‌سازهٔ قوی مبتنی بر اینترنت اشیاء به نام Inox است. این بُن‌سازه ترکیبی از اشیاء هوشمند، شبکه‌های حسگر و خدمات تبدیل شبکه‌های کامپیوتر سنتی به دستگاه‌های غیرمتعارف است. مفاهیمی مثل مدیریت‌های خودمختار، مجازی‌سازی، مقیاس‌پذیری، خودسازمان‌دهی و تطبیق‌پذیری در این بُن‌سازه حیاتی است. ساختار بُن‌سازهٔ Inox شامل سه لایه: سخت‌افزار، بُن‌سازه و خدمت است [۱۵].

براساس [۱۰]، چارچوب تعامل‌پذیر اینترنت اشیاء، INTER-IoT ارائه شده است. INTER-IoT، از تعامل‌پذیری چندلایه، میان لایه‌های سیستم اینترنت اشیاء، چارچوب‌های برنامه اینترنت اشیاء، برنامه‌ریزی و استقرار سیستم و ابزار مهندسی نرم‌افزار به کمک رایانه[20] برای یکپارچگی سیستم‌های اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌کند. علاوه بر آن، با توجه به مسائل و مشکلاتی که در اثر فقدان تعامل‌پذیری به‌وجود می‌آید، INTER-IoT، یک رویکرد چند لایه‌ای برای یکپارچه کردن دستگاه‌های ناهمگن اینترنت اشیاء، شبکه‌ها، بُن‌سازه‌ها، و داده‌های اجزاء ناهمگن را برای همکاری یکپارچه و به اشتراک گذاشتن اطلاعات را در سناریوی ناهمگن میسر می‌سازد. هدف اصلی INTER-IoT پیشنهاد یک رویکرد تکامل یافته با «قابلیت تعامل‌پذیری داوطلبانه» در تمام سطوح بُن‌سازه‌های اینترنت اشیاء و در سراسر

20- Computer-aided software engineering (CASE)



شکل ۴: چارچوب تعامل‌پذیر اینترنت اشیاء [۱۰]

دامنه برنامه کاربردی اینترنت اشیاء و تأمین تعامل‌پذیری باز است. این رویکرد یکپارچگی فنّاوری اینترنت اشیاء ناهمگن را نیز ضمانت می‌کند (شکل ٤).

در مقاله [۱۱]، بیان شده است که به دلیل نیاز روزافزون به بُن‌سازه‌های باز متنوع، آن‌ها باید قادر به یکپارچگی فنّاوری حسگرهای گوناگون روی فنّاوری‌های بی‌سیم بوده و بتوانند مجموع داده‌ها از منابع ناهمگن را یکپارچه سازند. نویسندگان در این مقاله، یک معماری مبتنی بر عامل برای برقراری هوش‌گروهی[21] در اینترنت اشیاء ارائه کرده‌اند. این معماری بر اساس سیستم‌های چندعامله بوده، چالش ارتباط بین سامانه‌های ناهمگون در اینترنت اشیاء و ترکیب داده‌های ناهمگون تولید شده توسط آن‌ها را مورد بحث قرار داده است. اگرچه تعداد زیادی معماری و یا چارچوب وجود دارد که امکان اتصال حسگرها را در محیط‌های مختلف فراهم می‌کنند، ولی تمامی معماری‌های موجود برای یک هدف خاص طراحی شده‌اند ولی این معماری خاص منظوره نبوده و عمومیت دارد. علاوه بر این، مزیت اصلی هوش گروهی شامل: استحکام، تطبیق‌پذیری، خودسازمان‌دهی، انعطاف‌پذیری، مقیاس‌پذیری و غیرمتمرکز بودن است که استفاده از آن راه‌حل مناسبی برای مسائل توزیع‌شده است (شکل۵).

21- Swarm Intelligence

جدول ۱: بررسی کارهای انجام‌شده

کارهای پیشین	سال	خودسازمان‌دهی	مدل سیستم	راه‌حل ارائه شده	تعامل‌پذیری
[۱۱]	۲۰۱۵	خیر	سیستم چندعامله	متمرکز	تعامل‌پذیری دستگاه
[۱۵]	۲۰۱۵	اصول محاسبات خودمختار	مبتنی بر عامل	متمرکز	خیر
[۱۵]	۲۰۱۵	اصول محاسبات خودمختار	مبتنی بر اجزاء	متمرکز	خیر
[۶،۳]	۲۰۱۶	خیر	سیستم چند عامله	متمرکز	تعامل‌پذیری معنایی و دستگاه
[۲]	۲۰۱۷	استفاده از سیستم چندعامله، عامل‌هاهوشمند و اشیاء هوشمند	سیستم چندعامله	متمرکز	خیر
[۱۰]	۲۰۱۸	خیر	مبتنی بر اشیاء ناهمگون	متمرکز	تعامل‌پذیری دستگاه،بُن‌سازه،شبکه، معنایی
مدل پیشنهادی	در حال انجام	استفاده از سیستم چندعامله، عامل‌های‌هوشمند و اشیاء هوشمند	سیستم چندعامله	توزیع‌شده	تعامل‌پذیری بُن‌سازه

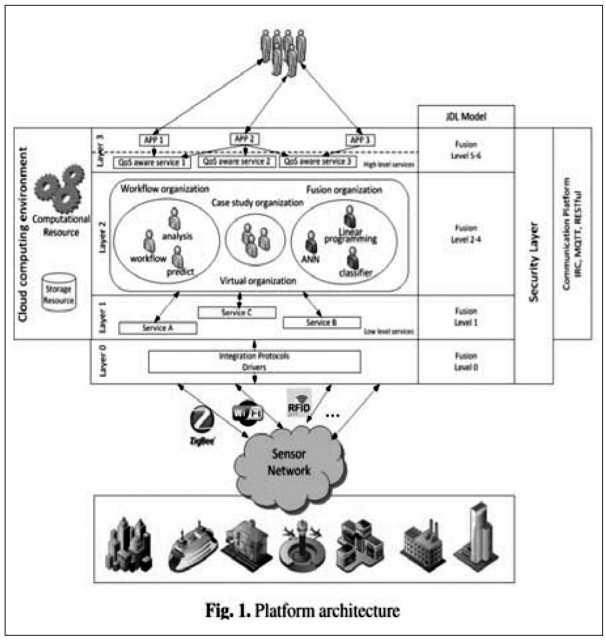


Fig. 1. Platform architecture

شکل ۵: معماری بُن‌سازه مبتنی بر عامل هوش گروهی اینترنت‌اشیاء [۱۱]

در جدول ۱ کارهای انجام شده مورد بررسی کلی قرار گرفته که معیارهای آن در این مقاله حائز اهمیت است.

همانطـور که اشـاره شـد، در زمینه اضافـه کردن خودسازمان‌دهی و تعامل‌پذیری در اینترنت اشیاء کارهای متعددی انجام شده است. لیکن راه‌حل‌های ارائه شده برخی از چالش‌هـا و ویژگی‌های اینترنت اشـیاء همچون قابلیت همکاری، تعامل‌پذیری، ناهمگونی اشیاء و توزیع‌شدگی را درنظر نگرفته است. اغلب راه‌حل‌های ارائه شده به‌صورت متمرکز هستند در حالی که در این مقاله به دنبال راه‌حل‌های توزیع‌شـده، بـا در نظـر گرفتـن تعامل‌پذیـری در کنار خودسازمان‌دهی مدنظر است که هیچ‌یک از راه‌حل‌های قبلی، این دو مورد را باهم درنظر نگرفته‌اند و تنها روی یک مورد با پیش‌فرض برقراری مورد دیگر کار کرده‌اند. در صورتی که برای حفظ تعامل‌پذیری برقرارشـده در سیستم، لازم است سیستم از ویژگی‌های خودسازمان‌دهی نیز پشتیبانی کند تا در صورت بروز تغییرات در سیستم خودش آن را مدیریت کرده و سازمان‌دهی جدیدی در مقابل آن به‌دست آورده و مانع از بین رفتن تعامل برقرارشـده شود. در این مقاله، مدلی ارائه شـده اسـت که چالش تعامل‌پذیری بین اشیاء هوشـمند ناهمگون اینترنت اشیاء با استفاده از یک سیستم چندعامله خودسـازمان‌ده به‌صورت توزیع شده برطرف شود. مقصودی که از تعامل‌پذیری در این تحقیق دنبال می‌شود، تعامل‌پذیری بُن‌سازه و بین اشیاء هوشمند ناهمگون است.

۴- مدل پیشنهادی خودسازمان‌ده و خودتعاملی

مسئله اصلی در این مقاله چگونگی برقراری تعامل‌پذیری بین اشـیاء هوشمند ناهمگون در سیسـتم اینترنت اشیاء است. برای این‌که بتوان به این هدف دست پیدا کرد، مدلی ارائه شده است که توسط آن سیستم اینترنت اشیاء به یک سیسـتم چندعامله نگاشت شده اسـت که در آن هر شیء

هوشمند حداقل به یک عامل هوشمند وصل می‌شود. حال بـــه دلیل این‌که برای عامل‌ها می‌توان اســـتانداردی درنظر گرفت که همگـــی به یک روش کار کـــرده و زبان همدیگر را درک کننـــد، می‌توان از این طریق تعامل‌پذیری را برقرار کرد. در ادامه این سیســـتم چندعامله، باید خودسازمان‌ده نیز باشـــد. دلیل نیاز به خودسازمان‌دهی این است که اولاً، یکی از ویژگی‌های سیستم اینترنت اشیاء تغییرپذیری است. چون عامل‌ها هوشـــمند هســـتند و در اثر تغییرات، شکل، ساختار، رفتار و پیام‌هایی که تبادل می‌کنند تغییر می‌یابند، بدیهی اســـت که این تغییـــرات روی تعامل‌پذیری نیز تأثیر می‌گذارند. در نتیجه نیاز است از خودسازمان‌دهی استفاده کرد تا سیســـتم در هنگام مواجه شدن با تغییرات، ساختار و رفتار خود را تغییر داده و آرایشـــی بهینه بین مولفه‌های خـــود برقرار کننـــد و مانع از برهم خـــوردن تعامل‌پذیری شـــود. ثانیاً، به دلیل این‌که توزیع‌شـــدگی و مقیاس وسیع بـــودن از ویژگی‌های اصلی سیســـتم‌های اینترنت اشـــیاء محسوب می‌شود، نیاز به کنترل و مدیریت خودکار توسط خود سیســـتم و به حداقل رســـاندن دخالت انسانی است. از آن‌جایی که در ســـامانه‌های توزیع‌شده راهکار سپردن کنترل به خود ســـامانه خودســـازمان‌دهی است، بنابراین ضروری است سیستم خودســـازمان‌ده باشد تا نیازهای مطرح شده برطرف شود [۱۰،٦].

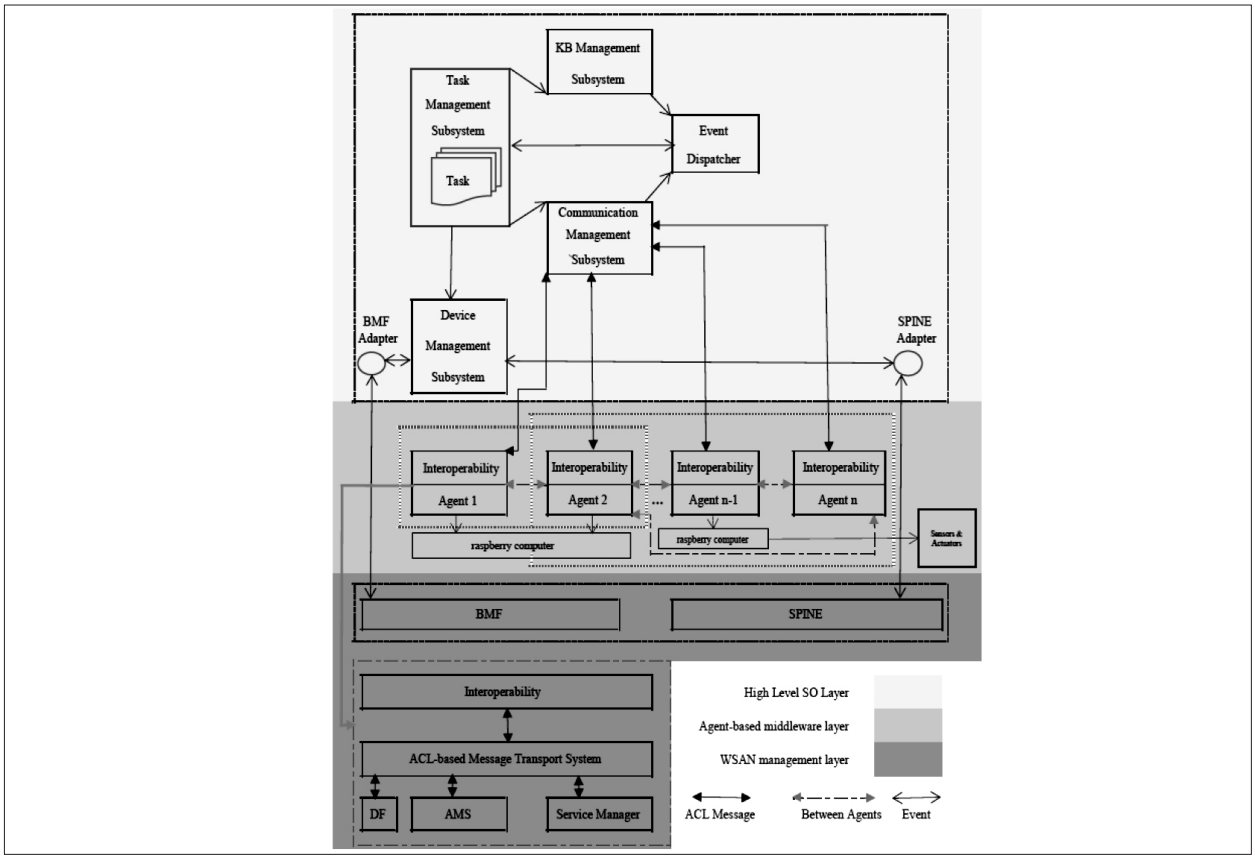
سیستم‌های اینترنت اشیاء نیازمند مقیاس‌پذیری و ذاتاً توزیع‌شـــده هســـتند. به علت این‌که راه‌حل‌های متمرکز به لحـــاظ عدم مقیاس‌پذیری و برخورداری از کنترل مرکزی، پاســـخگوی نیازمندی‌های این گونه از سیستم‌ها نیستند و هزینه و ســـربار زیادی را ایجاد می‌کنند، نیاز به راهکاری توزیع‌شـــده اســـت. از طرف دیگر هنگامی کـــه از مدیریت متمرکز اســـتفاده می‌شـــود، خود آن می‌تواند تبدیل به یک گلوگاه شـــود و از آنجایی که سیستم مقیاس وسیع است، دیگر ایـــن نوع مدیریت پاســـخگوی حجم زیـــاد اطلاعات نیست و به ناچار نیاز است برای مقابله با این مشکلات از راه‌حل‌های توزیع‌شده استفاده کرد.

موضـــوع بعـــدی برقـــراری تعامل‌پذیری بین اشـــیاء هوشمند ناهمگون در سیستم اینترنت اشیاء و برخورداری از ویژگی‌های خودسازمان‌دهی در اینترنت اشیاء است.

مقصودی که ایـــن مقاله از تعامل‌پذیـــری مدنظر دارد این اســـت که در زمان ارتباط بین اشـــیاء هوشمند، مشکل برای برقراری تعامل‌پذیری بروز می‌کند، زیرا ممکن است از سیســـتم عامل‌های متفاوتی روی عامل‌های هوشـــمند استفاده شده باشد که قابل فهم برای یکدیگر نباشند. برای برقراری تعامل‌پذیری بین اشـــیاء ناهمگون که از سیستم عامل متفاوتی استفاده می‌کنند، می‌توان یک سیستم اینترنت اشیاء را به یک سیستم چندعامله نگاشت کرد و سپس هر شـــیء هوشـــمند را با حداقل یک عامل توصیـــف نمود، تا تعامل‌پذیری بین عامل‌ها برقرار شـــود [٦،۳]. در این روش اولاً استفاده از ســـامانه‌های چندعامله می‌تواند در سطوح بالای معماری، ســـطح انتزاع مناسبی از تجهیزات مختلف ایجـــاد کند که این ناهمگونی از دیـــد کاربر مخفی می‌ماند. ثانیاً زمانی که اشـــیاء هوشمند به عامل نگاشت می‌شوند، می‌توان بین آن‌هـــا تعامل‌پذیری برقرار کرد. چرا که برای توسعه عامل‌ها اســـتانداردهای مشخصی وجود دارد. این موضوع باعث می‌شـــود که عامل‌ها با این شـــرایط قابلیت فهم یکدیگر را داشـــته و بتوانند با یکدیگـــر تعامل برقرار کننـــد. در این صورت به عنوان مثـــال عامل‌ها می‌توانند از یک استاندارد، همانند استاندارد توسعه عامل فیپا[۲۲] پیروی کنند. در نتیجه، عامل‌های نرم‌افزاری می‌توانند با پیروی از این استاندارد، از سازوکار پیام‌رسانی آن استفاده کرده و باهم تعامل برقرار نمایند..

همانطـــور که قبلاً اشـــاره شـــد، علاوه بـــر برقراری تعامل‌پذیری بین اشـــیاء هوشـــمند ناهمگون، نیاز اســـت خودســـازمان‌دهی را نیز در این سیستم چند عامله برقرار کرد. دلیل اهمیت این موضوع این اســـت که اینترنت اشیاء ذاتاً توزیع‌شـــده، مقیاس وسیع و تغییرپذیر است. همچنین از آنجایی که عامل‌ها هوشـــمند هســـتند و در اثر تغییرات ســـاختار، رفتار و محتوا پیام‌هایشـــان تغییر می‌یابد، این

22- FIPA



شکل ۶: شکل تصویری مدل پیشنهادی

تغییر روی تعامل‌پذیری تأثیر می‌گذارد. بنابراین، نیاز است خودســـازمان‌دهی مد نظر باشد تا این‌که سیستم در برابر تغییرات، رفتارش بهینه شده، سریعاً به تغییرات پاسخ داده، ســـاختار خود را حفظ کرده و به صـــورت خودکار، خود را کنترل و مدیریت کند. برای برقراری خودســـازمان‌دهی می‌توان از سیستم‌های چندعامله با سازوکارهای گوناگون اســـتفاده نمـــود. در این مقاله از روش نگاشـــت سیســـتم اینترنت اشیاء به یک سیستم چند عامله استفاده شده است و ســـپس یکی از سازوکارهای برقراری خودسازمان‌دهی در سیستم‌های چندعامله مورد استفاده قرار گرفته است.

به منظور دســـتیابی به اهداف گفته شده، مدلی طراحی شده که به صورت تصویری در (شکل٦) نشان داده شده اســـت. برای برقراری خودســـازمان‌دهی کافی اســـت که ســـازمان بین عامل‌ها برقرار باشـــد و آن‌ها با یکدیگر در ارتباط باشند. در شکل ٦ مستطیل‌های نقطه‌چین مشکی رنگ برای نشان دادن برقراری سازمان در ارتباط بین عامل‌ها است. برای برقراری تعامل‌پذیری یک لایه تعامل‌پذیر به هر یک از عامل‌ها اضافه شـــده و راه‌حل مورد نظر به‌صورت توزیع‌شـــده اســـت. بنابراین این لایه در هر یک از عامل‌ها به‌صورت جداگانه تعبیه شده است.

وقتی یـــک لایه برای تعامل‌پذیری اضافه می‌شـــود در واقع دیگر با زیرسیســـتم مدیریـــت ارتباطات[۲۳] به‌صورت مستقیم در ارتباط نیستند و خطوط نقطه‌چینی که عامل‌ها را به هم وصل کرده است، نشان می‌دهد که ارتباط در عمل از طریق زیرسیســـتم مدیریت ارتباطات برقرار می‌شـــود، لیکـــن مؤلفه تعامل‌پذیری بین عامل‌ها این ارتباط را برقرار می‌کنـــد. با اضافه کردن لایه تعامل‌پذیری، عامل‌ها دیگر از دستگاه مستقل شده‌اند و می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. بنابراین دســـتگاه دیگر معنی ندارد و عامل است که معنی پیدا می‌کند و نحـــوه برقراری ارتباط بین عامل‌ها را همین لایه مدیریت می‌کنـــد و خطوط نقطه‌چین قرمز رنگ

23- Communication Management Subsystem

بین عامل‌ها به همین منظور ترسیم شده است.

همان‌طور که در شکل مشخص است، حداقل یک عامل روی کامپیوترهای رز بری که همان اشیاء هوشمند هستند، قرار دارد و هریک از این رایانه‌ها با حسگرها و محرک‌های موجـود در محیط در ارتباط بوده و از اطلاعات به‌دسـت آمده توسط آن‌ها استفاده می‌کنند و تغییراتی اگر لازم بود اعمال می‌کنند.

سه لایه اصلی این مدل به شرح زیر است [۳]:

۱- لایه مدیریت شبکه حسـگرها و محرک‌ها[۲۴]: شبکه حسگرها و محرک‌های جاسازی‌شده در اشیاء هوشمند را برنامه‌ریزی و مدیریت می‌کنـد. در واقع این لایه مدیریت WSAN از طریـق چارچـوب مدیریـت سـاخت[۲۵] و بدنه شـبکه‌های حسـگر را از طریق محیط پردازش تک گره[۲۶] امکان‌پذیر می‌کند.

۲- لایه میان‌افزار مبتنی بر عامل[۲۷]: متکی بر بُن‌سـازهٔ JADE اسـت که زیرسـاخت ارتباطی و مدیریتی عامل‌گرا را فراهم می‌کند. اشـیاء هوشـمند مبتنی بر JADE توسط سیسـتم مدیریت عامل[۲۸] مدیریت می‌شوند و ارتباطات از طریق سیستم انتقال پیام مبنی بر ACL است و از یک نسخه توسعه‌یافته تسهیل‌گر فهرست[۲۹] برای جستجوی عامل‌ها و اشیاء هوشمند استفاده می‌شود. همچنین یک مدل اجرایی هماهنگی برای پیام عبوری و خدمات نشـر و اشـتراک از طریق مدیر خدمات[۳۰] ارائه می‌شود.

لایه اشـیاء هوشمند سـطح بالا[۳۱]: در این لایه تعدادی از زیرسیسـتم‌هایی که معماری داخلی اشیاء هوشمند را توصیف می‌کند، نشان داده شده است.

مزیت این مدل نسبت به سـایر کارهایی که تا به حال انجام شده، ارائه یک مدل توزیع‌شده که فاقد کنترل مرکزی اسـت و از طریق آن می‌توان تعامل‌پذیری اشیاء هوشمند را توسـط عامل‌ها برقرار نمود. در ضمن تصمیم‌گیری در عامل‌ها به‌صـورت محلی صورت گرفته اسـت به‌طوری کـه کنتـرل سراسـری در آن وجـود نـدارد، بنابرایـن خودسـازمان‌دهی نیز در آن لحاظ شـده است. در نتیجه اهداف اصلی به‌صورت زیر حاصل شده است:

- ارائه مدلی توزیع‌شده
- ارائه مدلی برای تعامل‌پذیری
  - نگاشت اشیاء هوشمند به عامل‌های هوشمند
  - ارایه راهکاری برای خودسازمان‌دهی

– برای حفظ ساختار و آرایشی بهینه در برابر تغییرات

– به منظور کنترل و مدیریت خودکار و کاهش دخالت انسانی

۴-۱-۱ سناریوی ارزیابی

در سـناریو ارزیابی که درباره مراقبـت از فرد دارای مشـکلات سلامتی است، کاربری در نظر گرفته شده است که دارای مشـکلات سلامتی است و هر روز از یک سامانه اینترنت اشیاء بین بُن‌سـازه‌ای استفاده می‌کند تا به او در انجام کارهـای روزمره خود کمک کند. سـامانه اینترنت اشیاء به حسگرهای پوشـیدنی بُن‌سازهٔ سلامت هوشمند (مبتنی بر JSON) کاربر متصل می‌شود تا به‌طور مداوم بر وضعیت سـلامتی وی (ضربان قلب، سطح گلوکز و غیره) نظارت داشته باشد. در مواقع اضطراری او را جایی مستقر کرده و به بیمارستان هوشمند (تحت وب و مبتنی بر زبان XML) وصل شده و آمبولانس را به محل او می‌فرستد. این سامانه همچنین می‌تواند به یک بُن‌سازهٔ شهر هوشمند (با پروتکل ارتباطی LoRaWAN) برای ردیابی مقصد مورد نظر کاربر و نشان دادن سریع‌ترین مسیر برای آمبولانس‌ها و غیره دسترسـی داشته باشد. انتقال داده بین بُن‌سازه‌های مختلف به‌صورت 5G است.

تعامل‌پذیری بین بُن‌سازه‌ای بین اشیا و داده‌ها در این سناریو، بر فعالیت‌هایی که محدود به یک دامنه خاص هستند تمرکـز دارد و امکان تعامل‌پذیری را برای بُن‌سـازه‌های اینترنت اشـیاء جداگانه، برای یک حـوزه عمودی از قبیل خانه هوشمند، سلامت هوشـمند و غیره را فراهم می‌کند.

24- Wireless Sensor and actuator network layer(WSAN)
25- Bulding Management Framework (BMF)
26- Single In-Node Processing Environment (SPIN)
27- Agent-based middleware layer
28- Agent Management System (AMS)
29- Directory Facilitator (DF)
30- Service manager
31- High-level SO layer

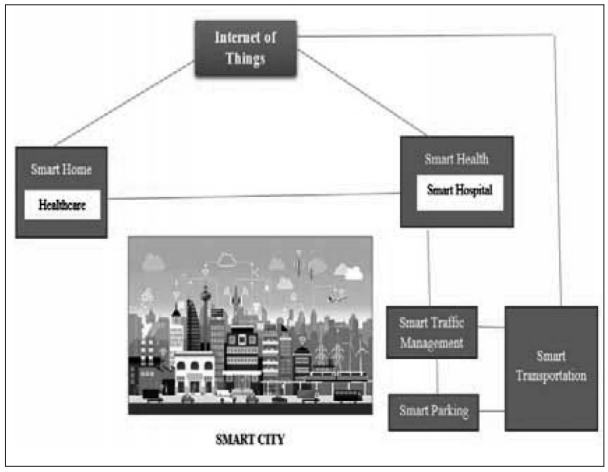
پس از فعال شدن تعامل‌پذیری بین بُن‌سازه‌ای، تعامل‌پذیری دامنه را می‌توان به‌دست آورد. این تعامل‌پذیری، یکپارچگی بُن‌سازه‌های مختلف در دامنه‌های ناهمگون را فراهم می‌کند تا برنامه‌های اینترنت اشیاء افقی را بسازند به عنوان مثال، یک بُن‌سازهٔ خانه هوشمند می‌تواند امکاناتی خاص از دامنه مانند دمای هوا و شرایط روشنایی را فراهم کند. سپس این بُن‌سازه‌ها می‌توانند توسط سایر بُن‌سازه‌های IoT مانند سلامت هوشمند مورد استفاده قرار گیرند تا برنامه‌ها و سناریوهای خلاقانه‌تری ارائه دهند. علاوه‌براین به دلیل این‌که بُن‌سازه‌های مختلف برای ارسال داده‌ها از قالب‌های مختلف و پروتکل‌های ارتباطی متعددی استفاده می‌کنند، نیاز است که بین آن‌ها تعامل‌پذیری برقرار شود.

در ادامه به شرح تفصیلی این سناریو پرداخته شده است:

در این سناریو از یک سامانه سلامت هوشمند استفاده می‌شود که در آن برای هر فرد یک پرونده هوشمند که تمامی اطلاعات فردی، سوابق بیماری‌های پیشین، داروهای مصرفی و داده شده توسط پزشکان در آن ثبت، ذخیره و به‌روزآوری می‌شود. این پرونده هوشمند، با توجه به استانداردها و چارچوب‌های تعیین شده توسط نظام سلامت قابل دسترسی در سطوح مختلف خواهد بود، بدین صورت بیمارستان هوشمند و پزشک با بررسی این پرونده به خوبی از اطلاعات پزشکی و سوابق پیشین بیمار آگاه می‌شوند. کارکرد این سامانه بدین صورت است که در دوره‌های خاص و مرتب به وسیله حسگرها و فنّاوری‌های پوشیدنی مانند fitbit و یا هوشمندی خود سامانه تمامی علایم حیاتی افراد از جمله فشارخون، قند، چربی و ... اندازه‌گیری می‌شود و در صورت مشاهده عدم تطبیق علائم با استانداردها، سامانه به‌صورت هوشمند هشدارهای لازم و راهکارهایی برای بهبود و یا مراجعه به پزشک را به بیمار پیشنهاد می‌دهد و در صورت حیاتی بودن علائم، به نزدیک‌ترین بیمارستان هوشمند و یا بیمارستانی که از قبل توسط بیمار مشخص شده است، اطلاع می‌دهد. بیمارستان هوشمند با دریافت اعلام خطر به سامانه سلامت هوشمند وصل شده و در آن‌جا پرستار یا پزشک، مطابق با سطح دسترسی خود، به درگاه‌ها و پرونده بیمار از طریق وب دسترسی داشته، مشکل را بررسی کرده و در صورت نیاز با واحد درمانی و پزشکان دردسترس ارتباط برقرار کرده و سپس در سریع‌ترین زمان ممکن راهکار درمانی مناسب را با به‌کارگیری ماژول‌های تصمیم‌یاری، هوش تجاری و داده‌کاوی انتخاب می‌کند. به عنوان مثال فرض کنید که سطح گلوکز بیمار به اندازه‌ای بالا بوده که هر لحظه ممکن است به کمای قندی برود، بنابراین نیاز است بیمار به بیمارستان اعزام شود. در نتیجه لازم است آمبولانسی برای حمل بیمار فرستاده شود.

آمبولانس باید به سامانه حمل‌ونقل هوشمند که شامل مدیریت ترافیک هوشمند و پارکینگ هوشمند است، وصل شود. درواقع آمبولانس نشانی ثبت شده در پرونده بیمار را به عنوان ورودی به سامانه حمل‌ونقل هوشمند داده و با استفاده از آن نزدیک‌ترین مسیر با کمترین ترافیک را دریافت می‌کند. از طرف دیگر آمبولانس باید به سامانه پارکینگ هوشمند تحت وب وصل شود و با استفاده از صفحه نمایش آمبولانس یا تلفن همراه خود، قبل از این که به سمت پارکینگ موردنظر حرکت کند، با استفاده از حسگرهایی که در پارکینگ‌ها نصب شده است و سامانه مدیریت هوشمند پارکینگ‌ها، فضاهای خالی موجود در پارکینگ و مکان آن‌ها را مشاهده کند و آن را برای زمانی که به آن‌جا می‌رسد ذخیره کند. بنابراین آمبولانس در سریع‌ترین زمان ممکن به محل بیمار می‌رسد و او را به بیمارستان اعزام می‌کند.

برقراری خودسازمان‌دهی نیز در این سناریو به این صورت است که هنگامی که در مواقع اضطراری کاربر در انتظار رسیدن آمبولانس است، اگر به هر دلیلی حسگرهای پایگاه بیمارستان هوشمند که بُن‌سازهٔ سلامت هوشمند برای اعزام آمبولانس به آن وصل شده است، کار نکرد، با استفاده از ویژگی خودسازمان‌دهی سریعا روی حسگر



شکل ۷: نمایی از سناریو ارزیابی

نزدیکترین پایگاه بعدی تعویض[۳۲] شود و آمبولانس را اعزام کند. بدین صورت تعامل‌پذیری که بین بُن‌سازهٔ سلامت هوشمند و بیمارستان هوشمند است، حفظ می‌ماند.

برای ارزیابی سناریو گفته شده از تعدادی معیار به شرح زیر استفاده می‌شود:

- نرخ تحویل پیام[۳۳]: تعیین نرخ تحویل پیام از یک جزء به جزء دیگر است و با فرمول ریاضی زیر محاسبه می‌شود:

  MDR = (مجموع تعداد پیام‌های دریافت‌شده) / (مجموع تعدد پیام‌های فرستاده‌شده) *۱۰۰ (۱)

- زمان رفت و برگشت پیام[۳۴]: فاصله زمانی بین ارسال پیام از سوی درخواست‌کننده تا دریافت آن از سوی طرف دیگر و بازگشت جواب پیام به ارسال کننده است. RTT را می‌توان تخمین زد که این مقدار تخمینی بر اساس ترکیبی از RTT فعلی و RTT قبلی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

  RTT تخمین‌زده‌شده = (۱- α)* (۲)

  α*RTT نمونه + RTT تخمین‌زده‌شده قبلی

  $0 \leq \alpha < 1$

- نرخ تحویل درخواست[۳۵]: نرخی که یک مولفه از مولفه دیگر درخواستی را تحویل می‌گیرد. برای محاسبه آن باید تعداد درخواست‌های تحویل داده‌شده را در هر ثانیه اندازه گرفت.

32- Switch
33- Message Delivery Ratio (MDR)
34- Round Trip Time (RTT)
35- Request Delivery Ratio (RDR)

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به علت علاقه در تحقیق و توسعه فنّاوری اینترنت اشیاء، بسیاری از راه‌حل‌های اینترنت اشیاء در سطوح و کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین، با توجه به فراگیری، مقیاس‌وسیع بودن و توزیع‌شدگی اینترنت اشیاء، نمی‌توان آن را با رویکردهای متمرکز که دارای کنترل مرکزی است و با دخالت انسان کنترل و مدیریت کرد. در نتیجه استفاده از خودسازمان‌دهی و راه‌حلی توزیع‌شده یک ضرورت به شمار می‌آید. همچنین یکی دیگر از چالش‌های اینترنت اشیاء، ناهمگونی اشیاء و برقراری تعامل‌پذیری بین آن‌ها است.

به‌منظور رفع چالش‌های مطرح شده، در زمینه اضافه کردن خودسازمان‌دهی و تعامل‌پذیری در اینترنت اشیاء کارهای متعددی انجام شده است. ولی برخی از چالش‌ها و ویژگی‌های اینترنت اشیاء درنظر گرفته نشده است. به‌طور کلی، می‌توان از مطالعه کارهای پیشین چنین نتیجه گرفت که رویکردهایی که تاکنون ارائه شده است همگی به‌صورت متمرکز و دارای کنترل مرکزی هستند. از طرفی کارها به دو دسته کلی تقسیم شده است. دسته اول با ارائه رویکرد خودسازمان‌دهی را بررسی کرده است[۷،۲] و دسته دوم رویکردی برای برقراری تعامل‌پذیری سیستم اینترنت اشیاء ارائه نموده است [۱۱،۱۰،۶،۳]. لیکن، هیچ یک از رویکردها دو بحث خودسازمان‌دهی و تعامل‌پذیری را در کنار هم در نظر نگرفته و برای آن رویکردی ارائه نشده است.

با توجه به موارد مطرح شده، در این مقاله هدف ارائه یک مدل توزیع‌شده است که ویژگی خودسازمان‌دهی و تعامل‌پذیری را در کنار هم دارا باشد. دلیل ارائه مدل این است که سیستم اینترنت اشیاء ذاتاً توزیع‌شده است و برای حل چالش‌های پیش رو نمی‌توان از راه‌حل‌های متمرکز که دارای کنترل مرکزی هستند استفاده شود. چون ممکن است برخی از چالش‌های موجود و نیازمندی‌ها در

اینترنت اشـــیاء برطرف نشوند. بحث دومی که مورد توجه است، استفاده از خودسازمان‌دهی است. به این منظور که سیستم اینترنت اشیاء توســـط خود و به‌صورت خودکار مدیریت و کنترل شـــود و هنگام مواجه با تغییرات بتوانند ســـاختار خود را حفظ کرده و آرایش بهینه بین مولفه‌های آن برقرار شـــود. به همین منظور، اشیاء در اینترنت اشیاء را می‌توان در ســـطح نرم‌افزاری یک عامـــل فرض کرد و براساس تئوری‌های سازمان‌دهی در سامانه‌های چندعامله با آن مواجه شـــد. هدف اصلی این مقاله تعامل‌پذیری بین اشیاء هوشـــمند ناهمگون در کنار خودسازماندهی است. همانطور که گفته شد برای برقراری تعامل‌پذیری بین اشیاء ناهمگون، سیســـتم اینترنت اشیاء به یک سیستم چندعامله نگاشت می‌شود و هر شـــیء هوشمند حداقل به یک عامل نگاشت شـــده و می‌توان از استانداردی مانند فیپا استفاده کرد. در این صورت آن‌ها با یک مدل مشـــخص پیاده شده که زبان همدیگر را برای برقراری ارتباط و تبادل پیام درک کرده که سبب بر قراری تعامل‌پذیری بین آن‌ها می‌شود. با توجه به ویژگی‌ها و چالش‌های مطرح شـــده، به‌کارگیری خودســـازمان‌دهی و تعامل‌پذیری در کنـــار هم ضرورت دارد. به منظور دســـتیابی به بهینگی، سیســـتم باید در یک محیط خودسازمان‌ده برقرار شود.

کار آینـــده مـــد نظـــر ایـــن مقالـــه، برقـــراری دیگـــر تعامل‌پذیری‌های مطرح در سیستم اینترنت اشیاء از جمله تعامل‌پذیری دســـتگاه، تعامل‌پذیری معنایی و تعامل‌پذیری نحوی است.

مراجع

[1] Ahmed, Furqan. “Self-Organization: A Perspective on Applications in the Internet of Things.” In Natural Computing for Unsupervised Learning, pp. 51-64. Springer, Cham, 2019.

[2] do Nascimento, Nathalia Moraes, and Carlos José Pereira de Lucena. “FIoT: An agent-based framework for self-adaptive and self-organizing applications based on the Internet of Things.” Information Sciences 378 (2017): 161-176.

[3] Fortino, Giancarlo, Wilma Russo, and Claudio Savaglio. “Simulation of Agent-oriented Internet of Things Systems.” In WOA, pp. 8-13. 2016.

[4] Ahmed, Furqan. “Self-Organization: A Perspective on Applications in the Internet of Things.” In Natural Computing for Unsupervised Learning, pp. 51-64. Springer, Cham, 2019.

[5] De Wolf, Tom, and Tom Holvoet.“Emergence Versus Self-Organisation: Different Concepts but Promising When Combined”, In International workshop on engineering self-organising applications, pp. 1-15. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015.

[6] Savaglio, Claudio, Giancarlo Fortino, and Mengchu Zhou. “Towards interoperable, cognitive and autonomic IoT systems: An agent-based approach.” In 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 58-63. IEEE, 2016.

[7] Savaglio, Claudio, and Giancarlo Fortino. “Autonomic and cognitive architectures for the Internet of Things.” In International Conference on Internet and Distributed Computing Systems, pp. 39-47. Springer, Cham, 2015.

[8] Minerva, Roberto. “From Internet of Things to the Virtual Continuum: an architectural view.” In 2014 Euro Med Telco Conference (EMTC), pp. 1-6. IEEE, 2014.

[9] Clayman, Stuart, and Alex Galis. “INOX: a managed service platform for inter-connected smart objects.” In Proceedings of the workshop on Internet of Things and Service Platforms, p. 2. ACM, 2011.

[10] Fortino, Giancarlo, Claudio Savaglio, Carlos E. Palau, Jara Suarez de Puga, Maria Ganzha, Marcin Paprzycki, Miguel Montesinos, Antonio Liotta, and Miguel Llop. “Towards multi-layer interoperability of heterogeneous IoT platforms: The INTER-IoT approach.” In Integration, interconnection, and interoperability of IoT systems, pp. 199-232. Springer, Cham, 2018.

[11] Chamoso, Pablo, Fernando De la Prieta, Francisco De Paz, and Juan M. Corchado. “Swarm agent-based architecture suitable for internet of things and smartcities.” In Distributed Computing and Artificial Intelligence, 12th International Conference, pp. 21-29. Springer, Cham, 2015.

[12] Kizza, Joseph Migga. “Internet of Things (IoT): Growth, Challenges, and Security.” In Guide to Computer Network Security, pp. 517-531. Springer, Cham, 2017.

[13] Kaminski, Nicholas J., Maria Murphy, and Nicola Marchetti. “Agent-based modeling of an IoT network.” In 2016 IEEE international symposium on systems engineering (ISSE), pp. 1-7. IEEE, 2016.

[14] Weyns, Danny, Gowri Sankar Ramachandran, and Ritesh Kumar Singh. “Self-managing internet of things.” In International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics, pp. 67-84. Edizioni della Normale, Cham, 2018.

[15] Breitfelder, Kim, and Don Messina. „IEEE 100: the authoritative dictionary of IEEE standards terms.“ Standards Information Network IEEE Press. v879 (2000).

[16] Behzadan, Vahid, and Banafsheh Rekabdar. “A game-theoretic model for analysis and design of self-organization mechanisms in iot.” In International Conference on Game Theory for Networks, pp. 74-85. Springer, Cham, 2017.

[17] Noura, Mahda, Mohammed Atiquzzaman, and Martin Gaedke. “Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges.” Mobile Networks and Applications 24, no. 3 (2019): 796-809.