

هماهنگ سازی سیستم‌های چند عامله با استفاده از اتوماتاهای یادگیر و کاربرد آن در خوشبندی داده‌ها

محمد رضا میبدی

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی
کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی
امیرکبیر، تهران، ایران
mneybodi@aut.ac.ir

مهندی اثنی عشری

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی
کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی
امیرکبیر، تهران، ایران
esnaashari@aut.ac.ir

زهرا جباری

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی
کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی
امیرکبیر، تهران، ایران
jabari@aut.ac.ir

مناسب در محیط را برعهده دارند. در راهکار دوم، هر سلول از محیط به بردارهای احتمال پویا مجهز شده است و از شرایط جاری همسایگی هر عامل برای محاسبه مکان بعدی استفاده می‌شود. مقادیر بردار احتمال هر سلول بر اساس بازخوردی که پس از جابجایی توسط عوامل محاسبه می‌شود، تغییر می‌کند. همچنین در انتهای این مقاله، با استفاده از روش مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر، راهکار جدیدی برای خوشبندی عوامل پراکنده در محیط ارائه شده است.

۲- مروء فعالیت‌های گذشته

در مرجع [۲] روشی برای ارتقاء داده‌کاوی با استفاده از ترکیب واسطه‌ها در یک سیستم متشکل از عوامل خودمختار ارائه شده است. هر عامل که دارای یک واسطه مجزا است، طی دو مرحله یادگیری داده‌ها را بررسی می‌کند. در مرحله‌ی نخست، هر عامل به طور جداگانه اقدام به بررسی و تحلیل اطلاعات می‌کند. در مرحله‌ی بعد، نتایج به دست آمده از تمام عوامل با یکدیگر ترکیب می‌شود. بنابراین در فاز هماهنگی عوامل، اطلاعات بدست آمده از تک تک عوامل با هم تلفیق شده و نتیجه‌ی نهایی که طبقه‌بندی اطلاعات پراکنده است حاصل می‌شود.

از دیگر روش‌های ایجاد هماهنگی در یک سیستم چندعامله، استفاده از روش‌های مبتنی بر رفتار حشرات اجتماعی مانند روش کلونی مورچه‌هاست [۳][۴]. با استفاده از عواملی مجهز به چندین مورچه، مسئله‌ی استخراج و کشف منابع اطلاعاتی از یک محیط گسترده در [۴] ارائه شده است. هر عامل وظیفه‌ی کنترل یک منبع اطلاعاتی را بر عهده دارد و با ارسال مورچه‌های خود به مسیرهای موجود در محیط، علاوه بر این که سایر منابع و عوامل را از وجود خود آگاه می‌کند، می‌تواند در جستجوی منابع دیگر مورد نیاز خود نیز باشد. در یک بررسی دیگر که در [۵] ارائه شده است، روشی تحت عنوان مورچه‌های سلولی برای نمایش پایگاه داده‌های پیچیده و چند بعدی ارائه شده است. مورچه‌های سلولی به نوعی یک روش دسته‌بندی پرداخته شده است. مورچه‌های سلولی به عنوان ابزارهایی مناسب

چکیده: سیستم‌های چند عامله امروزه به عنوان ابزارهایی مناسب برای پردازش توزیعی و محاسبات غیر متتمرکز به شمار می‌آیند. در این سیستم‌ها، ایجاد هماهنگی میان عوامل مستقل به منظور رسیدن به هدف سراسری بسیار ضروری است. در این مقاله، مسئله‌ی گردآوری عوامل همسان و پراکنده در یک محیط گسترده مورد بررسی قرار گرفته و دو راهکار جدید به این منظور پیشنهاد شده است. در راهکار نخست، با تجهیز سلولهای محیط به اتوماتای یادگیر، هدایت عوامل به مکان مناسب بر عهده‌ی اتوماتاهای یادگیر قرار گرفته است. در راهکار دوم، هر سلول به تعداد بردار پویا مجهز شده است که عامل برای یافتن مکان بعدی خود از مقادیر این بردارها استفاده خواهد کرد. در نهایت با استفاده از راهکار پیشنهادی در این مقاله روش جدیدی برای خوشبندی عوامل پراکنده در محیط ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های چند عامله، هماهنگی، اتوماتای یادگیر، خوشبندی

۱- مقدمه

در یک سیستم چندعامله، مجموعه‌ای از عوامل برای رسیدن به اهداف خود و نیز هدف سراسری سیستم با یکدیگر همکاری می‌کنند. عامل یک موجودیت مستقل است که قادر به حس کردن محیط اطراف خود و انجام عملی مبتنی بر ادراک خود بوده و دارای ویژگی‌هایی چون خود مختاری، استقلال، هدفمندی، همکاری، انعطاف پذیری، قابلیت تحرک و هوشمندی است [۱].

در این مقاله، هدف هماهنگ‌سازی یک سیستم چند عامله است. هماهنگی در این سیستم، آن است که عوامل مختلف پس از جستجو در محیط، در کنار عوامل همسان با خود قرار گیرند. به این منظور دو راهکار مختلف پیشنهاد شده است که راهکار اول آن مبتنی بر اتوماتای یادگیر و راهکار دوم بر اساس محاسبه‌ی یک بردار احتمال پویا می‌باشد.

در روش اول فرض شده است که عوامل در یک محیط سلولی پراکنده شده‌اند. هر سلول در این فضای اتوماتای یادگیر مجهز می‌باشد. اتوماتاهای یادگیر وظیفه‌ی هدایت عوامل برای یافتن جهت حرکت

۴- دسته‌بندی عوامل پراکنده در محیط

۱-۱- تعریف مسأله

در این مسأله هدف از ایجاد هماهنگی میان عوامل پراکنده در محیط در حقیقت هدایت آنها به سمت مکانی است که در کنار عوامل همسان با خود قرار گیرند. محیط مسأله یک محیط سلولی دو بعدی است. هر سلول از محیط دارای ۸ همسایه است. عوامل در این سیستم موجودیتهای مستقلی هستند که دارای قدرت حرکت، ارزیابی محیط و بررسی وضعیت همسایگان خود هستند. همچنین، هر عامل دارای یک پارامتر هدف است که به صورت یک بردار تعریف می‌شود. هر عامل قادر است در هر گام به اندازه‌ی یک سلول از مکان خود جابجا شود. برای تعیین میزان همانندی عوامل از پارامتر هدف هر عامل به عنوان

معیاری جهت مقایسه‌ی میزان همانندی عوامل استفاده می‌شود. عوامل با توجه به پارامتر هدف خود به جستجو در محیط پرداخته و سعی در یافتن عواملی با پارامتر هدف همسان با خود را دارند. در بهترین حالت انتظار می‌رود که هر عامل در دسته‌ای قرار گیرد که تمامی عوامل همسان با عامل در آن قرار گرفته باشند.

۲-۱- راهکار نخست: هماهنگی عوامل پراکنده مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر

فرض شده‌است که عوامل در یک محیط سلولی پراکنده شده‌اند و در مجموع D نوع عامل مختلف وجود دارد. در این روش هر سلول از فضای مجهز به $D+1$ اتوماتای یادگیر است که یکی از اتوماتاهای یادگیر به عنوان **فعال کننده** اتوماتای یادگیر و سایر اتوماتاهای موجود در هر سلول، هریک متناظر با یکی از D دسته از عوامل می‌باشند. اتوماتای یادگیر متناظر هر نوع عامل در هر سلول، وظیفه‌ی کنترل حرکت تمامی عوامل از همان نوع را که ممکن است وارد آن سلول شوند بر عهده دارد.

اتوماتای یادگیر **فعال** کننده دارای دو عمل است: **فعال** و **غیرفعال**، که در ابتدا احتمال انتخاب هر دو عمل برای این اتوماتا یکسان است. در صورتی که عمل انتخابی این اتوماتا **غیرفعال** باشد سایر اتوماتاهای یادگیر موجود در سلول غیرفعال می‌گردند. سایر اتوماتاهای یادگیر در هر سلول هر یک دارای ۸ عمل هستند. هر یک از این عمل‌ها متناظر با انتقال عامل به یکی از ۸ همسایگی سلول جاری می‌باشد.

عامل پس از ورود به یک سلول، ابتدا به بررسی عوامل موجود در همسایگی خود و محاسبه‌ی میزان همانندی خود با سلولهای اطراف می‌پردازد. مجموع عوامل همسان با عامل در مکان جاری وضعیت **فعالی** عامل را نشان می‌دهد. در صورتی که اتوماتای **فعال کننده** عمل **غیرفعال** را انتخاب کند عامل در این گام در مکان فعلی خود باقی مانده و جابجا نخواهد شد. در غیر این صورت، با توجه به نوع عاملی که در سلول قرار دارد اتوماتای یادگیر متناظر با آن **فعال شده** و با انتخاب

داده‌های است که داری قابلیت نمایش نتایج بدست آمده به صورت بصری نیز می‌باشد.

در [۶] یک سیستم چند عامله برای خوشبندی عوامل ارائه شده است. در این بررسی، اتوماتای سلولی تصادفی به عنوان یک سیستم چند عامله در نظر گرفته شده است. در هر گام در هر سلول از سیستم، قوانین انتخاب حالت بعدی برای اتوماتاهای آن سلول با استفاده از یکتابع توزیع احتمال از روی شرایط فعلی سلول و همسایگانش ایجاد می‌شود. سپس با استفاده از پارامتری تنظیم‌پذیر، انتخاب حالت بعدی برای هر اتوماتا به سمت ایجاد بالاترین میزان هماهنگی در سطح سراسری هدایت می‌شود.

۳- اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر به عنوان یک عنصر فعال تعریف می‌شود که قادر است تعداد متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می‌شود و نتیجه ارزیابی در قالب پاسخی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می‌شود و اتوماتا با استفاده از این پاسخ برای انتخاب عمل بعدی تصمیم می‌گیرد [۷]. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



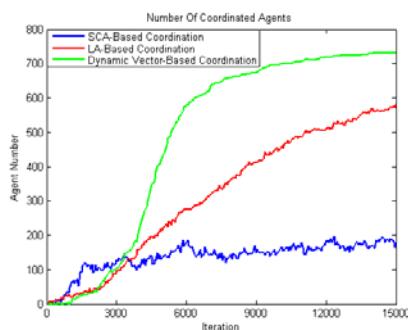
شکل ۱ ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می‌توان توسط سه تابی $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه‌ی ورودیها، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه‌ی خروجیها و $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه‌ی احتمالهای جریمه می‌باشد. هرگاه β مجموعه‌ی دو عضوی باشد، محیط از نوع P می‌باشد. در چنین محیطی $\beta_1 = 1$ به عنوان جریمه $\alpha_0 = 0$ به عنوان پاداش در نظر گرفته می‌شود. در محیط از نوع Q , $\beta_{(n)}$ می‌تواند به طور گسته‌ی یک مقدار از مقادیر محدود در فاصله‌ی $[0, 1]$ و در محیط از نوع S $\beta_{(n)}$ متغیر تصادفی در فاصله‌ی $[0, 1]$ است. c_i احتمال اینکه عمل α_i نتیجه نامطلوب داشته باشد می‌باشد. اگر عمل انتخاب شده α_i باشد، پس از دریافت پاسخ محیط، اتوماتا بردار احتمال عمل‌های خود را در صورت دریافت پاسخ مطلوب بر اساس رابطه (۱) و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب طبق رابطه (۲) بروز می‌کند.

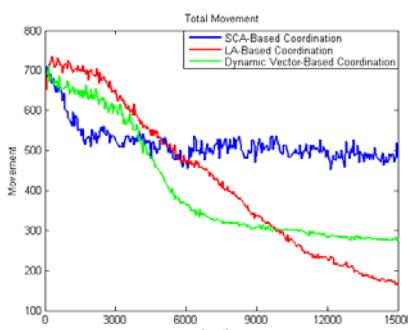
$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1 - a)p_j(n) \quad \forall j \neq i \end{aligned} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1 - b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= (b/r - 1) + (1 - b)p_j(n) \quad \forall j \neq i \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در محیطی با ابعاد 50×50 سلول، مسأله شبیه‌سازی شد و 800 عامل در محیط پراکنده شدند. سپس با در نظر گرفتن شرایط اولیه‌ی یکسان، به حل مجدد مسأله با دو روش ارائه شده پرداخته شد. نتایج بدست آمده در جدول ۱ ذکر شده است. منظور از عوامل هماهنگ شده در این جدول عواملی هستند که در انتهای شبیه‌سازی بیش از 6 همسایه‌ی همسان داشته و در مکان خود ثابت شده‌باشند. نمودار شکل ۲ تعداد عوامل هماهنگ شده با سه روش مختلف و نمودار شکل ۳ تعداد عوامل متحرک در هر گام از شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ نمودار مقایسه‌ی تعداد عوامل هماهنگ شده با بیش از 6 همسایه‌ی همسان در هر سه روش هماهنگ‌سازی



شکل ۳ نمودار مقایسه‌ی تعداد جابجایی عوامل در هر گام با استفاده از سه روش هماهنگ‌سازی

تعداد عوامل	روش مبتنی بر اتوماتیک سلولی تصادفی	روش مبتنی بر اتوماتیک یادگیری	بر بردار احتمال پویا
$D=147$	۳۵	۱۰۶	۱۷۹
$D=106$	۵۹	۸۴	۹۶
$D=117$	۲۸	۹۸	۱۱۰
$D=228$	۴۹	۱۹۶	۲۱۹
$D=155$	۶۱	۱۲۳	۱۴۳
Total=...	۷۲۴	۷۷۴	۷۹۷۵

جدول ۱ مقایسه‌ی تعداد عوامل گردآوری شده در یک محیط با استفاده از روش‌های مختلف

یکی از 8 عمل خود عامل را به یکی از سلولهای همسایه هدایت می‌کند. پس از استقرار تمامی عوامل در مکان جدید، عامل مجدداً به محاسبه‌ی وضعیت خود پرداخته و آن را با وضعیت قبلی خود مقایسه می‌نماید. نتیجه‌ی این مقایسه به عنوان بازخورد برای اتوماتاهای یادگیر سلول قبلی ارسال می‌شود. اتوماتای یادگیری که از عامل بازخوردی دریافت کند عمل خود را متناسب با آن بازخورد پاداش یا جریمه می‌نماید. این روند در هر گام بصورت همزمان در تمامی سلولهای فعال اجرا می‌شود.

۴-۳-۴ راهکار دوم: هماهنگی عوامل پراکنده مبتنی بر بردار احتمال پویا

در این روش هماهنگ‌سازی میان عوامل با بکارگیری یک بردار احتمال پویا صورت می‌پذیرد. فرض شده است که هر سلول به جای داشتن اتوماتاهای یادگیر، دارای D بردار احتمال مجزا \bar{P}_i برای هر نوع عامل i است. هر یک از بردارها دارای 9 مقدار (مریبوط به احتمال 8 ماندن عامل در یک سلول و یا احتمال جایجا شدن عامل به یکی از 8 سلول همسایه‌اش) می‌باشد. هر عامل در هر گام با استفاده از این بردار و محاسبه‌ی بردار دیگری که بر اساس شرایط همسایگی عامل تولید شده و بردار چگالی همسایگی $\bar{V}_{Neighbour}$ نامیده می‌شود، بردار احتمال نهایی $\bar{P}_{iTTotal}$ را محاسبه می‌نماید. عامل میانگین فراوانی عوامل همسان به خود را در چهار جهت بالا، پایین، چپ و راست محاسبه می‌کند و نتایج را به عنوان بردار وضعیت جاری در محاسبه‌ی بردار احتمال نهایی لحاظ می‌کند. در نتیجه بردار چگالی همسایگی با چهار مولفه در هر گام توسط عامل محاسبه می‌شود.

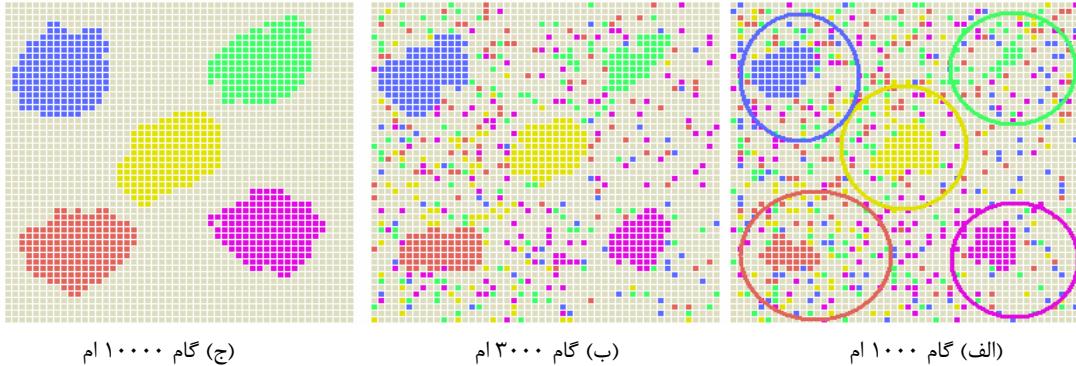
با ترکیب این بردار و بردار احتمال \bar{P}_i ، بردار احتمال نهایی $\bar{P}_{iTTotal}$ به صورت پویا محاسبه می‌شود. عامل با در نظر گرفتن مقادیر احتمالها، مکان بعدی خود را به صورت غیر قطعی بر اساس این مقادیر انتخاب می‌کند. به منظور بهبود نتایج در طول اجرا، هر سلول در طی هر گام از شبیه‌سازی بردار احتمال سلول (\bar{P}_i) را به نحوی تغییر می‌دهد که در نهایت مقادیر موجود در این بردار عوامل را به سمت مکان بهتر هدایت کند. با توجه به این که مجموع احتمالهای بردار \bar{P}_i همواره برابر با 1 است، اعمال تغییرات روی این بردار با قوانین پاداش (رابطه‌ی 1) و جریمه (رابطه‌ی 2) در اتوماتای یادگیر صورت می‌گیرد. در نتیجه مجموع مقادیر این بردار همواره برابر با 1 باقی خواهد ماند.

۵- ارزیابی

به منظور ارزیابی و مقایسه‌ی روش‌های ارائه شده در این مقاله، ابتدا مسئله مجدداً با روش مبتنی بر اتوماتای سلولی تصادفی که در مرجع [۷] ارائه شده است حل شد. با در نظر گرفتن $D=5$ نوع عامل مختلف

۱- خوشبندی عوامل با استفاده از اتوماتاهای یادگیر

نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی روش‌های مختلف ارائه شده نشان می‌دهد که با استفاده از ابزارهای ساده‌ای با قابلیت یادگیری و اصلاح، نتایج قابل توجهی از هماهنگ‌سازی عوامل پراکنده در محیط قابل



شکل ۴ خوشه بندی عوامل با استفاده از روش هماهنگ سازی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر و مراکز تجمع از پیش تعیین شده در گامهای مختلف اجرا موجود در محیط، مسأله مجدد حل شد و پاسخ بهینه برای خوشه بندی عوامل پردازنه در سیستم بدست آمد.

۶- سپاسگزاری

این کار تحقیقاتی توسط مرکز تحقیقات مخابرات ایران حمایت مالی شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

۷- مراجع

- [۱] Sycara K. P., “Multiagent Systems,” *AI Magazine, Intelligent Agents*, vol. 19, no.2, pp.79-97, 1998.
- [۲] Schroeder L.F, and A.L.C. Bazzan, “A Multi-agent System to Facilitate Knowledge Discovery: an application to Bioinformatics,” In *Proc. of the Workshop on Bioinformatics and Multi-Agent Systems*, pages 44-50, Bologna, Italy, 2002.
- [۳] Leuven K. U, Celestijnenlaan, “The design of Multi-Agent coordination and control systems using Stigmergy”, *Dept. of Mech. Engineering, Division P.M.A., B-3001 Heverlee (Leuven), Artificial Life 5* (1999), pp. 97-116.
- [۴] Valckenaers P., Kollingbaum M, Van Brussel H., Bochmann O., and Zamfirescu C., “The design of multi-agent coordination and control systems using stigmergy,” In *Proc. Of the 3rd International Workshop on Emergent Synthesis (IWES'01 Conference)*, Bled, Slovenia, pp. 97-116, 2001.
- [۵] Moere A.V. ,Clayden J. J., and Dong A., “Data Clustering and Visualization using Cellular Automata Ants”
- [۶] Barfoot T. D. and D'Eleuterio G. M. T., “Multiagent Coordination by Stochastic Cellular Automata”, *Presented at the International Joint Conference on Artificial Intelligence (Proceeding of IJCAI)*, Seattle, USA, 4-10 August 2001.
- [۷] محمدرضا میبدی، حمید بیگی و مسعود طاهرخانی، «اتوماتای یادگیر سلولی»، در مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انجمن کامپیوتر ایران، ص ۱۳۷۹-۱۵۳، ۱۳۷۹.

شکل ۴ خوشه بندی عوامل با استفاده از روش هماهنگ سازی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر و مراکز تجمع از پیش تعیین شده در گامهای مختلف اجرا محصول است. بنابراین می‌توان با تجهیز عوامل به امکاناتی برای مشاهده و دریافت اطلاعات وسیع‌تری از محیط اطراف خود، عمل دسته‌بندی عوامل را بهینه کرده و نتایج را به سمت پاسخ ایده‌آل بهبود بخشدید. یکی از این روشها در نظر گرفتن نقطی از محیط به عنوان مراکز تجمع عوامل است. به این ترتیب لازم است هر عامل به نحوی از مکان این مراکز مطلع شود. بدین منظور، از محل مراکز تجمع عوامل سیگنالی با شعاع انتشار محدود منتشر می‌شود. عوامل موجود در محیط نیز مجهز به ابزاری جهت دریافت این سیگنالها بوده و می‌توانند نوع عاملی که باید در آن مرکز قرار گیرد را تشخیص دهند. در صورتی که عاملی در شعاع انتشار سیگنالی باشد که مربوط به مرکز تجمع عوامل همسان با خود است، از این سیگنال به عنوان بازخورد محیط استفاده می‌کند. در شکل ۴ وضعیت سیستم در گامهای مختلف اجرا نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ شعاع انتشار مراکز تجمع برای هر نوع عامل مشخص شده است. مشاهده می‌شود که در نهایت در حدود ۱۰۰۰۰ ام، دسته‌ها به طور کامل شکل گرفته‌اند.

۲-۵- نتیجه‌گیری

در این بررسی مشاهده شد که در حل مسأله‌ی هماهنگ‌سازی سیستم‌های چندعامله، اتوماتاهای یادگیر به عنوان ابزارهای یادگیری ساده، قادر به بهبود رفتار سیستم در طول زمان بوده و در نتیجه نتایج قابل توجهی در زمینه‌ی ایجاد هماهنگی میان عوامل یک سیستم چندعامله ارائه می‌کنند. در روش دیگری که در این مقاله ارائه شد، به جای استفاده از اتوماتاهای یادگیر از چند بردار احتمال در هر سلوی بهره گرفته شد. نتایج حاکی از آن است که استفاده از اطلاعات جاری هر گام و تشکیل بردار احتمال نهایی به صورت پویا نتایج سراسری را بهبود بخشدید و تعداد دسته‌های ایجاد شده برای یک نوع عامل را نسبت به دو روش قبل کاهش می‌دهد. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده مشاهده شد که تاثیر یادگیری در نتایج هماهنگ‌سازی سیستم‌های چند عامله بسیار قابل توجه است. همچنین به منظور بهبود روش ارائه شده در حل مسائل خوشه‌بندی با استفاده از مکانهایی از پیش تعیین شده به عنوان مراکز تجمع عوامل و انتشار سیگنالی از این مراکز برای عوامل