سیستم های اطلاعاتی هوشمند
نشریه علمی دانشگاه آزاد اسلامی
مجلد 4شماره7
صفحات56-48
مقاله عادی

سیستم های چند عاملی در شبکه های ارتباطی

حسین شریفی[1]*،علی عزتی[2]،حمید یاسینیان[3]، مصطفی چهاردولی[4]
[1]دانشجوی کارشناسی ، گروه مهندسی کامپیوتر ، واحد همدان ، دانشگاه آزاد اسلامی ، همدان ، ایران
Hosein.sh.2002.1381@gamil.com
[2]دانشجوی کارشناسی ارشد ،گروه مهندسی کامپیوتر ، واحد همدان ، دانشگاه آزاد اسلامی ، همدان، ایران
ali.ezzati8482@iau.ir
[3و4]استادیار ،گروه مهندسی کامپیوتر ، واحد همدان ، دانشگاه آزاد اسلامی ، همدان ، ایران
hyasinian@iauh.ac.ir, chahardoli@iau.ac.ir

چکیده

سیستم‌های چندعاملی (MAS)به‌عنوان چارچوبی پیشرفته در مدیریت شبکه‌های ارتباطی، با ترکیب هوش جمعی و انعطاف‌پذیری، توانایی حل مسائل پیچیده در محیط‌های پویا را دارند. این سیستم‌ها از سه جزء اصلی تشکیل شده‌اند: عامل‌های خودمختار، محیط و مکانیزم‌های ارتباطی. معماری‌های مختلفی مانند متمرکز، غیرمتمرکز، سلسله‌مراتبی و هترارکیکال، هر یک با مزایا و چالش‌های خاص خود، برای کاربردهای گوناگون طراحی شده‌اند. الگوریتم‌های کلیدی مانند اجماع، بهینه‌سازی توزیع‌شده و هوش ازدحامی، نقش حیاتی در هماهنگی و بهبود عملکرد ایفا می‌کنند. کاربردهای MASشامل مدیریت ترافیک هوشمند، پاسخ به حوادث و تخصیص منابع در شبکه‌هاست. با این حال، چالش‌هایی مانند مقیاس‌پذیری، امنیت و ارزیابی عملکرد نیازمند توجه هستند. جهت‌های آینده پژوهش، ادغام با یادگیری ماشین، توسعه پروتکل‌های ارتباطی انعطاف‌پذیر و تمرکز بر اخلاق و شفافیت را شامل می‌شود. این سیستم‌ها پتانسیل تحول در شبکه‌های نسل آینده را دارند.

کلمات کلیدی

سیستم‌های چندعاملی، هوش جمعی، مدیریت ترافیک، الگوریتم‌های اجماع، یادگیری ماشین

۱-مقدمه

در عصر حاضر، شبکه‌های ارتباطی به عنوان ستون فقرات جوامع مدرن، نقش حیاتی در انتقال داده‌ها، مدیریت منابع و ارائه خدمات هوشمند ایفا می‌کنند. با افزایش پیچیدگی این شبکه‌ها و نیاز به پاسخگویی به محیط‌های پویا و غیرقابل پیش‌بینی، سیستم‌های سنتی با محدودیت‌های جدی در زمینه انعطاف‌پذیری، مقیاس‌پذیری و هوشمندی مواجه شده‌اند. در این راستا، سیستم‌های چندعاملی (Multi-Agent Systems یا MAS) به عنوان یک پارادایم پیشرفته در هوش مصنوعی توزیع‌شده، با ترکیب هوش جمعی، خودسازمان‌دهی و توانایی تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، راه‌حلی امیدوارکننده برای غلبه بر این چالش‌ها ارائه می‌دهند .اهمیت موضوع سیستم‌های چندعاملی با بهره‌گیری از عامل‌های خودمختار که قادر به درک محیط، تعامل با یکدیگر و اتخاذ تصمیم‌های محلی هستند، می‌توانند در حوزه‌های متنوعی همچون مدیریت ترافیک هوشمند، پاسخ به بلایای طبیعی، تخصیص منابع در شبکه‌های کامپیوتری و حتی شبکه‌های نسل آینده مانند ۵ Gو ۶ Gتحول‌آفرین باشند. این سیستم‌ها نه تنها کارایی و انعطاف‌پذیری شبکه‌ها را افزایش می‌دهند، بلکه با کاهش وابستگی به کنترل متمرکز، قابلیت تحمل خطا و مقیاس‌پذیری را نیز بهبود می‌بخشند .اهداف مقاله این مقاله با هدف بررسی جامع نقش سیستم‌های چندعاملی در شبکه‌های ارتباطی، به دنبال تحقق موارد زیر است :معرفی اجزای کلیدی، معماری‌ها و الگوریتم‌های مورد استفاده در MASو تحلیل مزایا و چالش‌های هر یک .بررسی کاربردهای عملی این سیستم‌ها در حوزه‌های مختلف شبکه‌های ارتباطیشناسایی چالش‌های پیش‌روی MAS از جمله مقیاس‌پذیری، امنیت و شفافیت، و ارائه راهکارهای نوین برای غلبه بر آن‌ها .ترسیم مسیرهای تحقیقاتی آینده، از جمله ادغام با فناوری‌های نوظهور مانند یادگیری ماشین و محاسبات کوانتومی .در این مقاله به سوالات کلیدی زیر پاسخ داده می‌شود سیستم‌های چندعاملی چگونه می‌توانند چالش‌های مدیریت شبکه‌های ارتباطی پویا را حل کنند

۲-مبانی نظری و پیشینه تحقیق

تحلیل روشها و تکنیکهای سیستمهای چندعاملی در شبکه های ارتباطی سیستم‌های چندعاملی Multi-Agent Systemsیا MAS به‌عنوان چارچوبی پیشرفته در مدیریت شبکه‌های ارتباطی، نقش کلیدی در حل مسائل پیچیده از طریق هماهنگی بین عامل‌های خودمختار ایفا می‌کنند. این سیستم‌ها با ترکیب هوش جمعی، انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری، امکان پاسخ‌گویی به چالش‌های پویا در محیط‌های واقعی را فراهم می‌سازند. در این تحلیل، به بررسی اجزای کلیدی، معماری‌ها، الگوریتم‌ها، کاربردها و چالش‌های مرتبط با پرداخته می‌شودهر سیستم چندعاملی از سه جزء اصلی تشکیل شده است: عاملها :(Agents) موجودیتهای خودمختاری که توانایی درک محیط، تصمیمگیری و اجرای اقدامات را دارند. این عاملها میتوانند نرمافزاری (مانند رباتهای مجازی) یا سختافزاری (مانند پهپادها) باشند. ویژگیهای کلیدی آنها شامل واکنشپذیری (پاسخ به تغییرات محیط)، پیشگامی (اقدامات هدفمند) و توانایی . اجتماعی (تعامل با سایر عاملها) است [16], [17]محیط :(Environment)بستری فیزیکی یا مجازی که عاملها در آن فعالیت میکنند. محیط با ارائه بازخورد بلادرنگ، امکان تنظیم رفتار عاملها را فراهم می سازد. به عنوان مثال، در مدیریت ترافیک، . محیط شامل داده های لحظه ای از ترافیک جاده ای است [18,20,26,27] مکانیزم های ارتباطی: شیوه های تبادل اطلاعات بین عاملها، از جمله ارتباط مستقیمو واسطه محور، پخشی و استیگمرژی (ارتباط غیرمستقیم از طریق تغییر محیط). انتخاب مکانیزم مناسب به نیازهای سیستم بستگی دارد؛ برای مثال، ارتباط مستقیم در سیستمهای کوچک و استیگمرژی در سیستمهای بزرگ مقیاس کاربرد دارد[2] معماریهای سیستمهای چندعاملی انتخاب معماری مناسب تأثیر مستقیمی بر کارایی و مقیاسپذیری سیستم دارد. چهار معماری اصلی عبارتند از: یک عامل مرکزی نقش هماهنگکننده را ایفا میکند.مزیت: یکپارچگی تصمیمگیری و دید کلی از سیستم .چالش: خطر ایجاد گلوگاه ارتباطی و عدم مقیاسپذیری در سیستمهای بزرگ [2] , [19]عاملها بهصورت همتا به همتا (Peer-to-Peer)تعامل میکنند .مزیت: مقاومت در برابر خرابی عاملها و مقیاسپذیری بالا .. چالش: دشواری در هماهنگی به دلیل دید محدود عاملها [6], [21]-سلسله مراتبی: - عاملها در لایه های مختلف سازماندهی میشوند. تصمیمات کلان در لایه های بالا و اجرا در لایههای پایین انجام میشود مزیت: ساختار منظم و شفافیت در مسئولیتها .چالش: کاهش انعطاف پذیری در مواجهه با تغییرات ناگهانی [19], [20]-هترارکیکال: عدم وجود سلسلهمراتب ثابت؛ تصمیمگیری بهصورت توزیع شده انجام میشود مزیت: انعطافپذیری بالا وسازگاری با محیط های پویا . چالش: پیچیدگی در دستیابی به اهداف به دلیل خودمختاری عاملها [20]

۳-بررسی روش ها و تکنیک های موجود

در طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های چندعاملی، الگوریتم‌های کنترل، هماهنگی و تصمیم‌گیری نقش بنیادینی ایفا می‌کنند. این الگوریتم‌ها، که عمدتاً بر مبنای همکاری، یادگیری و بهینه‌سازی طراحی شده‌اند، امکان

مدیریت مسائل پیچیده در محیط‌های پویا و ناهمگن را فراهم می‌سازند [1]، [3]، [11]. در این بخش به گسترش مهم‌ترین الگوریتم‌های MAS همراه با تحلیل مزایا و معایب آن‌ها پرداخته می‌شود:

۳-۱الگوریتم‌های اجماع(Consensus Algorithms)

الگوریتم‌های اجماع، به‌ویژه الگوریتم‌هایی نظیر قرارداد شبکه‌ای (Contract Net Protocol)، به عامل‌ها اجازه می‌دهند تا از طریق ارسال پیشنهاد، پذیرش یا رد آن‌ها، به توافقی مشترک درباره تخصیص منابع یا وظایف دست یابند [2]، [14]. این الگوریتم‌ها برای محیط‌های غیرمتمرکز که در آن تصمیم‌گیری هم‌زمان بین چند عامل لازم است، بسیار کارآمد هستند. از مزایای آن می‌توان به هم‌راستایی اهداف، کاهش تعارض بین عامل‌ها، و تقویت پایداری سیستم اشاره کرد، اما در عین حال این الگوریتم‌ها در شرایط با تعداد زیاد عامل یا تأخیرهای ارتباطی دچار افت عملکرد می‌شوند و ممکن است به همگرایی کند یا سربار شبکه‌ای منجر شوند.[16]

۳-۲الگوریتم‌های بهینه‌سازی توزیع‌شده (Distributed Optimization)

این الگوریتم‌ها از طریق تقسیم مسئله اصلی به زیرمسائل محلی که هر عامل مسئول حل آن است، تلاش می‌کنند تا بهینه‌سازی کلی را در سطح شبکه عامل‌ها فراهم آورند [5]، [14]. روش‌هایی مانند Dual Decompositionیا ADMM از جمله رویکردهای پرکاربرد در این دسته هستند. مزیت مهم این الگوریتم‌ها در مقیاس‌پذیری بالا، توزیع بار محاسباتی و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات محیطی است؛ اما از معایب آن می‌توان به نیاز به زیرساخت ارتباطی پایدار، دشواری در تضمین همگرایی و افزایش پیچیدگی در طراحی اشاره کرد.[11]

۳-۳الگوریتم‌های هوش ازدحامی(Swarm Intelligence)

الهام گرفته از رفتارهای طبیعی مانند کلونی مورچه‌ها یا پرواز دسته‌ای پرندگان، الگوریتم‌های هوش ازدحامی از تعامل‌های ساده میان عامل‌ها برای رسیدن به رفتار جمعی پیچیده بهره می‌برند [8]. الگوریتم‌هایی مانند ACO (Ant Colony Optimization) و PSO (Particle Swarm Optimization)به‌طور گسترده در مسیریابی، بهینه‌سازی و تخصیص منابع استفاده می‌شوند. مزیت این روش‌ها در سادگی، توزیع‌شدگی ذاتی، و مقاومت بالا در برابر خرابی برخی عامل‌ها است. با این حال، عملکرد آن‌ها در محیط‌های با تغییرات سریع یا در مقیاس کوچک ممکن است کاهش یابد و به همگرایی کند و تصمیم‌گیری غیرقطعی منجر شود .[15]

۳-۴یادگیری تقویتی چندعاملی (Multi-Agent Reinforcement Learning - MARL)

در این رویکرد، عامل‌ها از طریق تعامل با محیط و سایر عامل‌ها، سیاست‌های بهینه تصمیم‌گیری را به‌صورت پویا یاد می‌گیرند [17]. این الگوریتم‌ها توانایی فوق‌العاده‌ای در انطباق با محیط‌های ناشناخته، پویایی بالا و شرایط غیرقطعی دارند. مزیت کلیدی آن‌ها در یادگیری بدون نظارت انسانی و قابلیت تعمیم بالا است. ولی هم‌زمان، با چالش‌هایی مانند ناپایداری یادگیری جمعی، هزینه محاسباتی بالا و نیاز به حجم زیادی از داده و تعامل مواجه هستند.[22] ,

۳-۵الگوریتم‌های تصمیم‌گیری توزیع‌شده(Distributed Decision-Making)

این الگوریتم‌ها امکان تصمیم‌گیری مستقل برای هر عامل را فراهم می‌کنند، در حالی که با تبادل اطلاعات، تعارض‌ها و هم‌پوشانی‌های احتمالی را مدیریت می‌کنند [19]، [20]. مزایای این رویکرد در کاهش تأخیر تصمیم‌گیری، افزایش انعطاف‌پذیری و حذف نقاط گلوگاه است. از سوی دیگر، نبود پروتکل‌های استاندارد، احتمال وقوع تصمیم‌گیری‌های متناقض و کاهش کیفیت تصمیم‌ها در شرایط غیرهمگن از جمله چالش‌های آن به‌شمار می‌رود.[23,28]

۳-۶ الگوریتم‌های مدیریت منابع در شبکه‌های ارتباطی

درMAS های ارتباطی، الگوریتم‌هایی طراحی شده‌اند که بر مبنای وضعیت لحظه‌ای شبکه (ترافیک، ظرفیت، اولویت‌ها)، منابع مانند پهنای باند یا انرژی را بهینه تخصیص دهند [5]، [3]. از مزایای این الگوریتم‌ها می‌توان به پاسخ‌گویی سریع به نوسانات شبکه، افزایش کارایی و کاهش مصرف منابع اشاره کرد. اما پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها نیازمند سیستم‌های حسگر دقیق، تحلیل بلادرنگ داده‌ها و طراحی پیچیده می‌باشد که می‌تواند هزینه و پیچیدگی فنی بالایی داشته باشد الگوریتم‌های کنترل در این نوع از الگوریتم‌ها، عامل‌ها بدون نظارت انسان قادرند تصمیم بگیرند، خطاها را تشخیص دهند و راهکارهای اصلاحی ارائه کنند چنین سیستم‌هایی به‌ویژه در محیط‌هایی مانند مدیریت بحران، رباتیک یا شهرهای هوشمند بسیار ارزشمند هستند.

۴–چالش ها و آینده پژوهی

مقیاس‌پذیری سیستم با افزایش تعداد عامل‌ها، سربار ارتباطی میان آن‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد. این موضوع منجر به کاهش کارایی، تأخیر در تصمیم‌گیری و حتی گاهی بن‌بست در تعامل می‌شود. الگوریتم‌های غیرمتمرکز و هوش ازدحامی تا حدی این مشکل را رفع می‌کنند، اما [5] .[7]راهکارهای مقیاس‌پذیرتر همچنان مورد نیازند ارتباط آزاد میان عامل‌ها، خطر حملات سایبری نظیر جعل هویت، شنود و خرابکاری را افزایش می‌دهد. حفظ حریم خصوصی کاربران در سیستم‌های چندعاملی که با داده‌های حساس کار می‌کنند (مثلاً در شبکه‌های هوشمند یا مراقبت‌های پزشکی)، یک چالش حیاتی است. راهکارهایی نظیر رمزنگاری، بلاک‌چین و مدل‌های .[23] [10]اعتمادسنجی مورد توجه هستندعامل‌های طراحی‌شده توسط توسعه‌دهندگان مختلف، ممکن است از استانداردها و پروتکل‌های ناسازگار استفاده کنند که منجر به ناکارآمدی همکاری و تبادل اطلاعات می‌شود. تعریف استانداردهای ارتباطی بین‌المللی می‌تواند این چالش را کاهش دهد .[23] [19]نبود چارچوب‌های ارزیابی واحد برای سنجش کیفیتMAS ها، مقایسه و بهینه‌سازی آن‌ها را دشوار کرده است. ایجاد معیارهای مبتنی بر سناریوهای واقعی و شاخص‌های پویا، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است [4]، [12]به‌ویژه در روش‌های یادگیری تقویتی، ناپایداری یادگیری عامل‌ها در محیط‌های چندعاملی به دلیل تغییر مستمر سیاست‌های سایر عامل‌ها، یکی از مشکلات رایج است. به‌کارگیری روش‌های هم‌گرایی پایدار و سازوکارهای تعادل میان اکتشاف و بهره‌برداری از راهکارهای پیشنهادی است.[17] آینده سیستم‌های چندعاملی در گرو توسعه ساختارهای ترکیبی و هوشمندتر است. انتظار می‌رودMAS ها با فناوری‌هایی چون یادگیری عمیق، بلاک‌چین، اینترنت اشیا (IoT) و محاسبات لبه‌ای (Edge Computing)تلفیق شوند تا هوش توزیع‌شده‌تری فراهم گردد. یکی از زمینه‌های مهم آینده، توسعهMAS های قابل توضیح (Explainable MAS)است که تصمیم‌گیری عامل‌ها را برای کاربران و توسعه‌دهندگان شفاف می‌سازد.همچنین کاربرد MAS در حوزه‌هایی چون خودروهای خودران، شبکه‌های G۶، ربات‌های پزشکی و مدیریت بلایای طبیعی به‌طور فزاینده‌ای گسترش خواهد یافت. از دیدگاه تئوریک، تلفیق MAS با مفاهیم نظریه بازی، منطق موجهات و محاسبات کوانتومی نیز زمینه‌های تحقیقاتی پویایی را فراهم می‌کند.الگوریتمکاربرد اصلی مزایا معایب چالش مرتبط اجماع(CNP) تخصیص وظیفه، تصمیم جمعی سادگی در پیاده‌سازی، پویایی بالاحساس به تأخیر، همگرایی کندمقیاس‌پذیری، ناهمگونی بهینه‌سازی توزیع‌شدهتخصیص منابع، زمان‌بندی مقیاس‌پذیر، توزیع بار محاسباتی پیچیدگی ارتباط،نیازبههمگرایی‌بالاارزیابی‌عملکردهوش‌ازدحامی(ACO/PSO)مسیر یابی، کنترل ترافیک توزیع‌شده، مقاوم به خرابی احتمال بهینه محلی، وابسته به پارامترهای تصادفی یادگیری ناپایداریادگیری تقویتی چندعاملی(MARL) محیط‌های پویا و ناشناخت ها مطباق‌پذیری، یادگیری مستقل پیچیدگی زیاد، ناپایداری آموزش یادگیری پایدار تصمیم‌گیری توزیع‌شده سیستم‌های خودمختار استقلال عملکرد، حذف نقاط گلوگاه تضاد تصمیم، نیاز به هم راستا سازی همکاری بین عامل‌ها مدیریت منابع شبکه‌ای شبکه‌های ارتباطی، IoTتخصیص هوشمند، پاسخ‌گویی بلادرنگ نیاز به تحلیل لحظه‌ای و زیرساخت دقیق امنیت و اعتماد کنترل خودمختارزیرساخت‌های هوشمند، رباتیک تصمیم‌گیری بدون انسان، سرعت واکنش بالاهزینه بالا، نیاز به سازوکارهای اعتماد و تست‌پذیری بالاامنیت، ارزیابی عملکرد در جدول ۱و ۲ نشان داده شده.

جدول ۱: مقایسه بر اهداف، مزایا، معایب، و زمینه‌های کاربرد

کاربردها	معایب	مزایا	هدف اصلی	الگوریتم
مدیریت پروژه، زمان‌بندی وظیفه، مناقصه هوشمند	کندی همگرایی، حساس به تأخیر و بار شبکه	ارتباطات ساده، پویایی بالا، مستقل از ساختار مرکزی	توافق جمعی و تخصیص وظایف	الگوریتم اجماع(CNP)
تخصیص منابع در شبکه، بهینه‌سازی صنعتی	نیاز به همگرایی پیچیده، افزایش حجم داده‌های تبادلی	مقیاس‌پذیری خوب، هماهنگی عامل‌ها در شرایط مستقل	حل مسئله با ترکیب اهداف محلی	بهینه‌سازی توزیع‌شده
مسیریابی، کنترل ترافیک، کشف منابع در شبکه	احتمال گیر افتادن در بهینه محلی، وابسته به تکرار زیاد	مقاوم به خرابی، انطباق‌پذیر، سادگی الهام‌گرفته از طبیعت	کنترل غیرمتمرکز و خودسازمان‌ده ای	هوش ازدحامی (Swarm Intelligence)

کاربردها	معایب	مزایا	هدف اصلی	الگوریتم
بازی‌های چندعاملی، کنترل پهپاد، ربات‌های هماهنگ	ناپایداری یادگیری، نیاز به منابع محاسباتی بالا	قابلیت سازگاری با محیط‌های ناشناخته، بهبود عملکرد با تجربه	یادگیری از محیط توسط عامل‌های مستقل	یادگیری تقویتی چندعاملی (MARL)

جدول۲: مقایسه از جنبه چالش‌ها، قابلیت تطبیق با محیط، هزینه پیاده‌سازی و اعتمادپذیری

اعتمادپذیری در سیستم‌های بحرانی	هزینه پیاده‌سازی	قابلیت تطبیق با تغییرات محیط	چالش اصلی	الگوریتم
متوسط	پایین	متوسط	تأخیر در توافق	الگوریتم اجماع(CNP)
بالا	متوسط تا بالا	بالا	سربار محاسباتی و ارتباطی	بهینه‌سازی توزیع‌شده
بالا (در سیستم‌های پویا)	پایین تا متوسط	بسیار بالا	افتادن در بهینه محلی	هوش ازدحامی (مانندACO ، PSO)
متوسط (نیاز به مانیتورینگ دائم)	بالا	بالا	ناپایداری یادگیری	یادگیری تقویتی چندعاملی (MARL)
بالا (در سیستم‌های توزیع‌شده بزرگ)	متوسط	بالا	ناسازگاری اهداف عامل‌ها	تصمیم‌گیری توزیع‌شده

حرکت به سمت سیستم‌های خودمختار هوشمندترعامل‌های شناختی (Cognitive Agents):توسعه عامل‌هایی با توانایی استدلال و یادگیری عمیق.سیستم‌های خود-شفابخش (Self-Healing):تشخیص و خرابی‌ها بدون دخالت انسان.ادغام با فناوری‌های نوظهورمحاسبات کوانتومی: حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده در زمان چندجمله‌ای.شبکه‌های عصبی مصنوعی: بهبود تصمیم‌گیری جمعی با الهام از مغز انسان.تمرکز بر پایداری و بهره‌وری انرژی الگوریتم‌های کم‌مصرف: کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های توزیع‌شده.مدیریت منابع سبز: بهینه‌سازی تخصیص منابع برای حداقل‌سازی ردپای کربن.استانداردسازی و چارچوب‌های نظارتی: تعیین خط‌مشی‌های اخلاقی برای استفاده از MASدر حوزه‌های حساس.پروتکل‌های بین‌المللی: ایجاد استانداردهای جهانی برای تعامل سیستم‌های چندعاملی

۵-نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی جامع روش‌ها و تکنیک‌های سیستم‌های چندعاملی (MAS)در شبکه‌های ارتباطی پرداخت. یافته‌های کلیدی نشان می‌دهند که این سیستم‌ها با ترکیب هوش جمعی، انعطاف‌پذیری و خودسازمان‌دهی، توانایی حل مسائل پیچیده در محیط‌های پویا را دارند. در ادامه، مهم‌ترین نتایج، چالش‌ها و پیشنهادات آینده مرور می‌شود معماری‌های هترارکیکال و غیرمتمرکز به دلیل انعطاف‌پذیری بالا، برای شبکه‌های مقیاس‌پذیر (مانند شهرهای هوشمند) مناسب‌تر هستند . معماری‌های متمرکز در سیستم‌های با الزامات امنیتی بالا (مانند شبکه‌های بانکی) کارایی بهتری دارند .الگوریتم‌های کارآمد - الگوریتم‌های اجماع مانند CNPبرای هماهنگی عامل‌ها حیاتی هستند، اما در مقیاس بزرگ با چالش تأخیر مواجهند .هوش ازدحامی (Swarm) Intelligence)در مدیریت ترافیک و رباتیک گروهی نتایج امیدوارکننده‌ای نشان داده است .کاربردهای موفق -کاهش ۲۰-۳۰٪ ترافیک در شهرهای هوشمند با استفاده از MAS.بهبود تخصیص منابع پویا در شبکه‌های ارتباطی .چالش‌های اساسی -مقیاس‌پذیری: افزایش سربار ارتباطی در سیستم‌های بزرگ .امنیت: آسیب‌پذیری در برابر حملات سایبری مانند Sybilو .DoSشفافیت: مشکل تفسیرپذیری تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر یادگیری عمیق .پیامدهای نظری و عملی نظری: ارائه چارچوبی برای مقایسه معماری‌ها و الگوریتم‌های MAS. عملی: امکان پیاده‌سازی در شبکه‌های نسل آینده (5G/6G)و اینترنت اشیا (IoT)برای بهینه‌سازی منابع بهبود مقیاس‌پذیری -توسعه الگوریتم‌های اجماع سبک‌وزن با مصرف محاسباتی کمتر .استفاده از معماری‌های ترکیبی (نیمه‌متمرکز) برای کاهش سربار ارتباطی .تقویت

امنیت -ادغام رمزنگاری همومورفیک و محاسبات امن چندجانبه (MPC) برای حفاظت از داده‌ها .طراحی چارچوب‌های اعتمادسنجی پویا مبتنی بر رفتار عامل‌ها .ادغام با فناوری‌های نوین بررسی تأثیر محاسبات کوانتومی بر بهبود سرعت تصمیم‌گیری در MAS.استفاده از یادگیری انتقالی (Transfer Learning)برای تسریع آموزش عامل‌ها تمرکز بر پایداری و اخلاق -توسعه الگوریتم‌های کم‌مصرف برای کاهش مصرف انرژی ایجاد استانداردهای اخلاقی برای کاربرد MASدر حوزه‌های حساس (پزشکی، نظامی) .سیستم‌های چندعاملی با وجود چالش‌های فنی، پتانسیل تحول‌آفرینی در شبکه‌های ارتباطی دارند. جهت دستیابی به این پتانسیل، نیازمند تحقیقات بین‌رشته‌ای در حوزه‌های یادگیری ماشین، امنیت و مهندسی شبکه هستیم. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده بر پیاده‌سازی عملی این سیستم‌ها در محیط‌های واقعی متمرکز شوند . انجام آزمایش‌های میدانی برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی در سناریوهای واقعی .توسعه کتابخانه‌های استاندارد برای تسهیل پیاده‌سازی MASدر شبکه‌های ارتباطی .

منابع :

[1] J. S. Rosenschein, "Multi-Agent Systems: Foundations and Applications," *Hebrew University of Jerusalem*, 2020.

[2] R. G. Smith, "The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver," *IEEE Transactions on Computers*, vol. C-29, no. 12, pp. 1104-1113, Dec. 1980, doi: 10.1109/TC.1980.1675512.

[3] M. Wooldridge, *An Introduction to MultiAgent Systems*, 2nd ed. Chichester, UK: Wiley, 2009.

[4] G. Groh, "Lecture Notes on Multi-Agent Systems," *Technical University of Munich*, 2018.

[5] T. Payne, "Multi-Agent Systems in Communication Networks," *University of Liverpool*, 2021.

[6] A. H. Bond and L. Gasser, *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1988.

[7] N. R. Jennings, "On Agent-Based Software Engineering," *Artificial Intelligence*, vol. 117, no. 2, pp. 277-296, Feb. 2000, doi: 10.1016/S0004-3702(99)00107-1.

[8] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th ed. Hoboken, NJ: Pearson, 2020.

[9] L. Lessig, *Code and Other Laws of Cyberspace*, New York: Basic Books, 1999.

[10] European Union, "General Data Protection Regulation (GDPR)," Official Journal of the European Union, vol. L 119, pp. 1–88, May 4, 2016..

[11] Y. Shoham and K. Leyton-Brown, Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008.

[12] J. Ferber, *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Harlow, UK: Addison-Wesley, 1999.

[13] M. Bratman, *Intention, Plans, and Practical Reason*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1987.

[14] R. Olfati-Saber, J. A. Fax, and R. M. Murray, "Consensus and Cooperation in Networked Multi-Agent Systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, no. 1, pp. 215-233, Jan. 2007, doi: 10.1109/JPROC.2006.887293.

[15] A. Jadbabaie, J. Lin, and A. S. Morse, "Coordination of Groups of Mobile Autonomous Agents Using Nearest Neighbor Rules," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 48, no. 6,

[23] F. Dignum and M. Greaves, *Issues in Agent Communication*, Berlin: Springer, 2000.

[24] J. S. Rosenschein, "Lecture Slides on Multi-Agent Systems," *Hebrew University of Jerusalem*, 2020.

[25] T. Payne, "iTunes University Course on Multi-Agent Systems," *University of Liverpool*, 2021.

[26] M. M. Shirmohammadi et al., *"Analysis of traffic congestion in main streets of electronic city using traffic congestion index and artificial neural network (case study: Hamedan city),"* Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS, vol. 32, no. 3, pp. 131-146, 2020.

[27] M. Esmailpour, F. Bakhtiari, and M. M. Shirmohammadi, "Traffic prediction and control using adaptive fuzzy neural network: A case study of Hamadan City," in Proceedings of the 1st National Conference on Optimization and Data Mining in Electrical Engineering and Computer Science, Islamic Azad University of Safa Shahr, Safa Shahr, 2016, vol. 1.

[28] H. Zargari, M. Chahardoli, and M. M. Shirmohammadi, "Balanced clustering with full coverage in heterogeneous wireless sensor networks," *Advanced Materials Research*, vol. 433, pp. 3458–3462, Feb. 2012

pp. 988-1001, Jun. 2003, doi: 10.1109/TAC.2003.812781.

[16] D. C. Parkes, "CS 285: Multi-Agent Systems," Harvard University, Fall 2013.

[17] P. Stone and M. Veloso, "Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective," *Autonomous Robots*, vol. 8, no. 3, pp. 345-383, Jun. 2000, doi: 10.1023/A:1008942012299.

[18] M. M. Shirmohammadi and M. Esmaeilpour, "Wavelet neural network and complete ensemble empirical decomposition method to traffic control prediction," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 43, no. 4, pp. 1–13, 2022.

[19] V. Lesser, "Cooperative Multiagent Systems: A Personal View of the State of the Art," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 133-142, Jan. 1999, doi: 10.1109/69.755624.

[20] M. M. Shirmohammadi, *"The Traffic Congestion Analysis Using Traffic Congestion Index and Artificial Neural Network in Main Streets of Electronic City (Case Study: Hamedan City),"* Programming and Computer Software, vol. 46, no. 6, pp. 433–442, 2020.

[21] H. V. D. Parunak, "Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry," in *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings, Eds. New York: Wiley, 1996, pp. 139-164.

[22] T. Sandholm, "Distributed Rational Decision Making," in *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, G. Weiss, Ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1999, pp. 201-258.

Multi-Agent Systems in Communication Networks

Hossein Sharifi[1]*, Ali Ezzati[2], Hamid Yasinian[3], Mostafa Chahardoli[4]
[1]Undergraduate Student, Department of Computer Engineering, Ha. C., Islamic Azad University, Hamadan, Iran
Hosein.sh.2002.1381@gmail.com
[2]MSc Student, Department of Computer Engineering, Ha. C., Islamic Azad University, Hamadan, Iran
ali.ezzati8482@iau.ir
[34]Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Ha. C. , Islamic Azad University, Hamadan, Iran
hyasinian@iauh.ac.ir, chahardoli@iau.ac.ir

Abstract
Multi-Agent Systems (MAS) serve as an advanced framework for managing communication networks by combining collective intelligence and flexibility, enabling them to solve complex problems in dynamic environments. These systems consist of three main components: autonomous agents, environment, and communication mechanisms. Various architectures such as centralized, decentralized, hierarchical, and heterarchical have been designed for different applications, each with specific advantages and challenges. Key algorithms including consensus, distributed optimization, and swarm intelligence play vital roles in coordination and performance enhancement. MAS applications include intelligent traffic management, emergency response, and resource allocation in networks. However, challenges such as scalability, security, and performance evaluation require attention. Future research directions involve integration with machine learning, development of flexible communication protocols, and focus on ethics and transparency. These systems have transformative potential for next-generation networks.

Keywords
Multi-Agent Systems, Collective Intelligence, Traffic Management, Consensus Algorithms, Machine Learning