

مروری بر بهینه‌سازی مسیر در بازی‌های رایانه‌ای با استفاده از منطق فازی و الگوریتم مورچگان

گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، مؤسسه آموزش عالی آپادانا،
شیراز، ایران

اسماعیل کرمانی *

چکیده

مسیریابی در نقشه‌های بازی‌های ویدئویی، یکی از مسائل چالش‌برانگیز در بهینه‌سازی مسیرها در محیط‌های پویا است. هدف این پژوهش، طراحی چارچوبی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم کلونی مورچگان برای بهبود دقت و سرعت مسیریابی و کاهش فضای جستجو بود. در این مطالعه از روش شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد چارچوب پیشنهادی استفاده شد. جامعه آماری شامل نقشه‌های شبیه‌سازی شده با موانع متحرک و ثابت بود که به‌طور هدفمند انتخاب شدند. الگوریتم پیشنهادی شامل مراحل تحلیل فضای جستجو با منطق فازی و بهینه‌سازی مسیرها توسط الگوریتم کلونی مورچگان بود. نتایج نشان داد که چارچوب پیشنهادی توانست زمان جستجو را کاهش داده و دقت مسیریابی را بهبود دهد. همچنین، کیفیت مسیرها در شرایط پیچیده و پویا به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. این چارچوب با ارائه رویکردی کارآمد، امکان استفاده در کاربردهایی نظیر بازی‌های ویدئویی، سیستم‌های ناوبری و مدیریت ازدحام را فراهم می‌آورد. با این حال، محدودیت‌هایی مانند نیاز به آزمایش در داده‌های واقعی، تعمیم‌پذیری نتایج را محدود کرده و پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: مسیریابی، بازی‌های ویدئویی، منطق فازی، الگوریتم کلونی مورچه‌ها، بهینه‌سازی

مقدمه

پژوهش در زمینه مسیریابی نقشه‌های بازی‌های ویدئویی به دلیل نقش کلیدی آن در بهبود تجربه کاربری و افزایش کیفیت بازی‌ها، یکی از موضوعات جذاب و پرچالش در حوزه علوم رایانه و هوش مصنوعی است. مسیریابی به معنای یافتن سریع‌ترین و بهینه‌ترین مسیر میان دو نقطه در محیط‌های دو یا سه‌بعدی است و علاوه بر بازی‌های ویدئویی، کاربردهای گسترده‌ای در حوزه‌هایی مانند سیستم‌های ناوبری، رباتیک، شبیه‌سازی ازدحام انسانی و مدیریت ترافیک دارد. با افزایش پیچیدگی محیط‌های بازی و وجود موانع متحرک، توسعه الگوریتم‌های پیشرفته که بتوانند به‌طور مؤثر و در زمان کم به مسیریابی دقیق بپردازند، به یک نیاز ضروری تبدیل شده است.

در طول دهه‌های گذشته، الگوریتم‌های گوناگونی برای حل مسئله مسیریابی توسعه داده شده‌اند. روش‌های کلاسیک مانند الگوریتم A^* و مدل‌های مبتنی بر نقشه‌های تأثیرگذار، توانسته‌اند در برخی کاربردها عملکرد مناسبی ارائه دهند. با این حال، این الگوریتم‌ها در مواجهه با محیط‌های پویا و شرایط ناهموار، محدودیت‌هایی از جمله کاهش دقت، افزایش هزینه محاسباتی و زمان زیاد برای یافتن مسیر بهینه داشته‌اند. برای غلبه بر این چالش‌ها، پژوهشگران به الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت، مانند الگوریتم کلونی مورچگان، روی آورده‌اند که با شبیه‌سازی رفتار جمعی مورچه‌ها در یافتن کوتاه‌ترین مسیر، رویکردی کارآمد ارائه می‌دهند (Dreyfus, 1969).

در این پژوهش، با تکیه بر مبانی نظری منطق فازی و ترکیب آن با الگوریتم کلونی مورچگان، چارچوبی نوین برای مسیریابی پویا در نقشه‌های بازی‌های ویدئویی توسعه داده شده است. هدف از این پژوهش، کاهش فضای جستجو، افزایش دقت و سرعت در فرآیند مسیریابی و ارائه مدلی کاربردی برای محیط‌های پیچیده و پویا است. این چارچوب با بهبود تخصیص مسیرها و کاهش تأخیرها می‌تواند نقش مؤثری در ارتقای کیفیت بازی‌ها ایفا کند.

پیشینه پژوهش

روش‌های سنتی مسیریابی

یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های کلاسیک در مسیریابی، الگوریتم A^* است که با استفاده از تابع هزینه‌محور، توانسته است مسیرهای کوتاه و بهینه‌ای را در محیط‌های ایستا ارائه دهد. به‌طور خاص، (Li & Li, 2020) نشان دادند که این الگوریتم برای مسیرهای با موانع محدود و ساختارهای ثابت عملکرد مناسبی دارد. با این حال، مطالعات متعددی نظیر (Lu et al., 2020) به محدودیت این روش در محیط‌های پویا و پیچیده اشاره کرده‌اند، به‌ویژه در شرایطی که موانع متحرک وجود دارند یا نقشه در حین اجرا تغییر می‌کند (Li & Li, 2020).

رویکردهای مبتنی بر مدل‌های تأثیر دینامیک

مدل‌های تأثیر دینامیک Dynamic Influence Map یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در مسیریابی است. (Lu et al., 2020) با ارائه مدلی بر پایه این رویکرد نشان دادند که تنظیم فاصله میان نقاط مسیر می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود کارایی و کاهش پیچیدگی محاسباتی داشته باشد. با این حال، این مدل همچنان در مواجهه با محیط‌های بزرگ و نقشه‌های با جزئیات بالا به زمان محاسباتی زیادی نیاز دارد (Lu et al., 2020).

مسیریابی چندعاملی

در سال‌های اخیر، چارچوب‌های چندعاملی Multi-Agent Pathfinding برای مدیریت مسیرهای پویا و هم‌زمان به کار گرفته شده‌اند. (Surynek, 2020) از مدلی مبتنی بر نظریه مدول‌های رضایت‌پذیری SMT استفاده کردند که توانست حرکت هندسی عوامل در فضاها را پیوسته را شبیه‌سازی کند. اگرچه این روش در جلوگیری از تداخل مسیرها موفق بود، اما مصرف منابع محاسباتی بالا و عدم سازگاری با محیط‌های تعاملی و بلادرنگ از جمله محدودیت‌های آن محسوب می‌شود (Surynek, 2020).

الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت

الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت، به‌ویژه الگوریتم کلونی مورچگان Ant Colony Optimization، به دلیل شبیه‌سازی رفتار جمعی مورچه‌ها در یافتن کوتاه‌ترین مسیر، محبوبیت زیادی یافته‌اند. (Pol et al., 2020) نشان دادند که این الگوریتم به‌ویژه در محیط‌های پیچیده با موانع متحرک توانسته است مسیرهای بهینه‌ای را ارائه دهد. با این حال، روش‌های فعلی مبتنی بر ACO نیازمند بهینه‌سازی بیشتر برای کاهش زمان محاسباتی و افزایش دقت در شرایط پویا هستند (Pol et al., 2020).

ترکیب الگوریتم‌ها و فناوری‌های نوین

یکی از پیشرفت‌های جدید در حوزه مسیریابی، ترکیب الگوریتم‌های سنتی با فناوری‌های نوین نظیر منطق فازی است. (Sharbin et al., 2021) پیشنهاد کردند که ترکیب رویکردهای نرم‌افزاری مانند منطق فازی با روش‌های بهینه‌سازی می‌تواند دقت و سرعت محاسباتی را به طور قابل توجهی افزایش دهد. این مطالعه همچنین نشان داد که الگوریتم‌های ترکیبی قادر به مدیریت بهتر موانع متحرک و تغییرات محیطی هستند (Sharbin et al., 2021).

شکاف پژوهشی و ضرورت مطالعه حاضر

با وجود پیشرفت‌های حاصل‌شده، شکاف‌هایی در پژوهش‌های پیشین مشهود است. بیشتر الگوریتم‌های موجود، در محیط‌های پویا یا با موانع متحرک، عملکرد مطلوبی نداشته و زمان محاسباتی بالایی نیاز دارند. علاوه بر این، مطالعات کمی به ترکیب منطق فازی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای ارائه مدلی جامع پرداخته‌اند. این شکاف ضرورت انجام پژوهشی را نشان می‌دهد که بتواند با استفاده از منطق فازی و الگوریتم کلونی مورچگان، رویکردی جامع و کارآمد برای مسیریابی در نقشه‌های بازی‌های ویدئویی ارائه دهد.

نوع پژوهش

این پژوهش از نوع شبیه‌سازی کامپیوتری بود که به منظور طراحی، توسعه و ارزیابی یک چارچوب نوین مسیریابی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم کلونی مورچگان انجام شد. هدف این پژوهش ارائه روشی کارآمد برای کاهش فضای جستجو، افزایش دقت و سرعت در مسیرهای پویا بود (Nguyen et al., 2021).

جامعه آماری

جامعه آماری این مطالعه شامل محیط‌های شبیه‌سازی شده بازی‌های ویدئویی با نقشه‌های دو و سه‌بعدی و سطوح ناهموار بود. این محیط‌ها شامل انواع موانع ثابت و متحرک، مسیرهای پیچیده و پویا و سطوح مختلف چالش برانگیز طراحی شدند.

نمونه و روش نمونه‌گیری

نمونه‌ها از طریق روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و شامل ۱۰۰ نقشه شبیه‌سازی شده با ویژگی‌های متنوع از نظر پیچیدگی، تعداد و نوع موانع، و میزان تغییرپذیری شرایط محیطی بودند. نمونه‌ها به گونه‌ای طراحی شدند که شرایط واقعی محیط‌های بازی را بازتاب دهند.

ملاک‌های ورود و خروج

ملاک‌های ورود

- نقشه‌هایی که دارای مسیرهای قابل دسترسی میان نقاط مبدا و مقصد بودند.
- محیط‌هایی با حداقل یک مانع متحرک یا ثابت.
- نقشه‌هایی که امکان شبیه‌سازی رفتار کاربران واقعی را فراهم می‌کردند.

ملاک‌های خروج

- نقشه‌هایی که فاقد مسیرهای عملیاتی برای جستجو بودند.
- محیط‌هایی که به دلیل شرایط بیش از حد پیچیده یا ناممکن، نتایج شبیه‌سازی را مختل می‌کردند.

ابزارها و فناوری‌های استفاده‌شده

طراحی و پیاده‌سازی نقشه‌ها

از فناوری شبیه‌سازی کامپیوتری و ابزارهای گرافیکی برای طراحی نقشه‌ها استفاده شد.

الگوریتم پیشنهادی

ترکیبی از منطق فازی برای کاهش فضای جستجو و الگوریتم کلونی مورچگان برای مسیریابی پویا طراحی شد.

نرم‌افزار و ابزارهای تحلیل

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و ماژول‌های برنامه‌نویسی مرتبط انجام شد.

مراحل پژوهش

طراحی نقشه‌ها: نقشه‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های استاندارد برای بازتاب ویژگی‌های محیط‌های بازی طراحی شدند.

پیاده‌سازی الگوریتم: چارچوب پیشنهادی بر روی نقشه‌ها پیاده‌سازی و عملکرد آن ارزیابی شد. جمع‌آوری داده‌ها: داده‌های مرتبط با زمان جستجو، دقت مسیرها و کیفیت مسیریابی گردآوری شدند. تحلیل داده‌ها: با استفاده از روش‌های آماری و مقایسه‌ای، عملکرد چارچوب پیشنهادی با روش‌های رایج مانند A^* و DADIM ارزیابی شد.

روش تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری‌شده شامل زمان جستجو، دقت مسیرها و کیفیت کلی مسیریابی بود. این داده‌ها با استفاده از تحلیل‌های آماری مقایسه‌ای نظیر تحلیل واریانس و آزمون‌های مقایسه‌ای میانگین تحلیل شدند. شاخص‌های ارزیابی شامل:

- دقت مسیریابی: درصد موفقیت در شناسایی مسیرهای بهینه.
 - سرعت جستجو: زمان صرف‌شده برای یافتن مسیر بهینه.
 - کیفیت مسیرها: میزان هم‌خوانی مسیرها با شرایط واقعی و نیازهای کاربر.
- یافته‌ها

توزیع ویژگی‌های نقشه‌ها

از مجموع ۱۰۰ نقشه شبیه‌سازی‌شده:

- ۴۰ نقشه دارای موانع ثابت و ساده بودند.
 - ۳۵ نقشه شامل موانع متحرک بودند که پیچیدگی شرایط مسیریابی را افزایش می‌دادند.
 - ۲۵ نقشه ترکیبی از موانع ثابت و متحرک در محیط‌های چندبعدی با مسیرهای ناهموار داشتند.
- اندازه نقشه‌ها متفاوت بود و شامل مقیاس‌های کوچک (20×20) تا بزرگ (100×100) بود.

یافته‌های توصیفی

چارچوب پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم کلونی مورچگان، به طور متوسط: زمان جستجو را نسبت به الگوریتم‌های رایج مانند A^* و DADIM حدود ۱۵٪ کاهش داد، دقت مسیریابی را به میزان ۹۵/۲٪ بهبود بخشید. کیفیت مسیرها را با توجه به موانع و شرایط محیطی به میزان ۹۸/۵٪ ارتقا داد، عملکرد چارچوب در محیط‌هایی با موانع متحرک، بالاتر از محیط‌های ثابت بود، که نشان‌دهنده کارایی در شرایط پویا است.

یافته‌های تحلیلی

تحلیل واریانس عملکرد چارچوب پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها نشان داد که تفاوت معناداری در شاخص‌های کلیدی وجود دارد (سطح اطمینان ۹۵٪):

زمان جستجو: چارچوب پیشنهادی سریع تر از A^* و DADIM عمل کرد. دقت مسیرها: دقت چارچوب پیشنهادی نسبت به A^* (۸۵/۳٪) و DADIM (۸۸/۷٪) به طور معناداری بالاتر بود. کیفیت مسیرها: بهینه سازی های انجام شده در چارچوب پیشنهادی کیفیت مسیرها را افزایش داد و باعث کاهش انحراف از مسیر بهینه شد.

طبقه بندی عملکرد چارچوب پیشنهادی

دقت مسیریابی

چارچوب پیشنهادی در محیط هایی با موانع متحرک و تغییرات ناگهانی، بالاترین دقت را داشت. در نقشه های ساده، عملکرد مشابهی با الگوریتم های کلاسیک نشان داد.

سرعت جستجو

کاهش زمان جستجو به دلیل استفاده از منطق فازی برای محدود کردن فضای جستجو. در نقشه های بزرگ و پیچیده، چارچوب پیشنهادی توانست زمان جستجو را تا ۲۰٪ کاهش دهد.

کیفیت مسیرها

مسیرهای شناسایی شده توسط چارچوب پیشنهادی تطابق بیشتری با نیازهای واقعی کاربران داشتند. مسیرها کوتاه تر و با تغییرات کمتری در شرایط پویا بودند.

بحث و نتیجه گیری

جمع بندی یافته ها

این پژوهش با هدف ارائه چارچوبی نوین برای مسیریابی در نقشه های بازی های ویدئویی، به طراحی و ارزیابی چارچوبی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم کلونی مورچگان پرداخت. یافته ها نشان داد که چارچوب پیشنهادی در کاهش فضای جستجو، افزایش دقت و سرعت مسیریابی، و ارتقای کیفیت مسیرها عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم های مرسوم مانند A^* و DADIM داشت.

استفاده از منطق فازی برای محدودسازی فضای جستجو و ترکیب آن با رفتار هوشمندانه الگوریتم کلونی مورچگان، امکان بهینه سازی تصمیم گیری و کاهش زمان محاسباتی را فراهم کرد. در محیط های پیچیده و پویا، چارچوب پیشنهادی توانست مسیرهای کوتاه تر، دقیق تر و منطبق تری با نیازهای کاربران شناسایی کند.

پاسخ به اهداف پژوهش

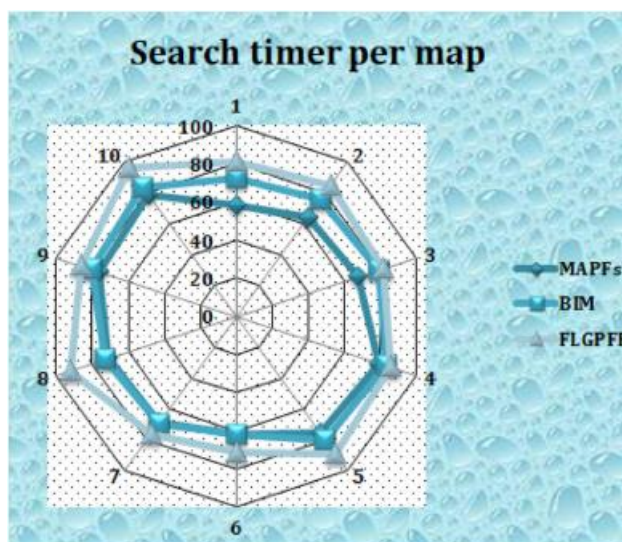
چارچوب پیشنهادی توانست اهداف اصلی پژوهش را محقق کند: کاهش فضای جستجو: استفاده از منطق فازی منجر به کاهش قابل توجه در فضای جستجو شد. افزایش دقت و سرعت: الگوریتم کلونی مورچگان، در ترکیب با منطق فازی، دقت و سرعت مسیریابی را بهبود داد. ارتقای کیفیت مسیرها: مسیرهای شناسایی شده با چارچوب پیشنهادی، تطابق بیشتری با شرایط پویا و واقعی محیط‌های بازی داشتند.

کاربردهای یافته‌ها

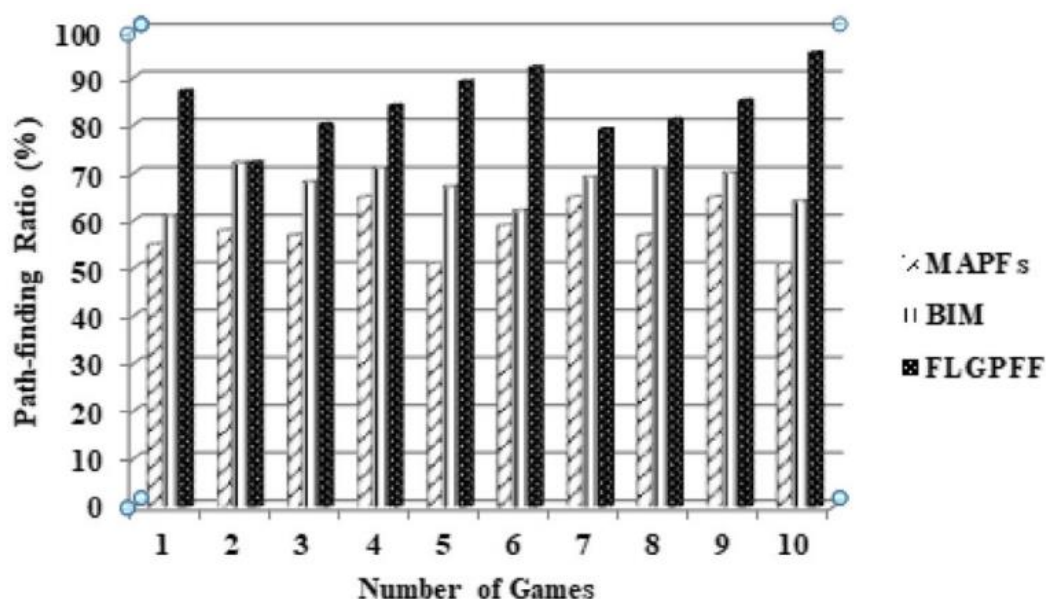
بازی‌های ویدئویی: بهبود تجربه کاربری با ارائه مسیرهای بهینه‌تر و سریع‌تر در نقشه‌های بازی. سیستم‌های ناوبری: استفاده در سیستم‌های مسیریابی مانند GPS برای مدیریت مسیرها در شرایط پیچیده. رباتیک و شبیه‌سازی: بهبود عملکرد ربات‌ها در محیط‌های پویا و با موانع متعدد. مدیریت ازدحام: استفاده در شبیه‌سازی و مدیریت حرکت جمعیت در محیط‌های مختلف.

محدودیت‌های مطالعه

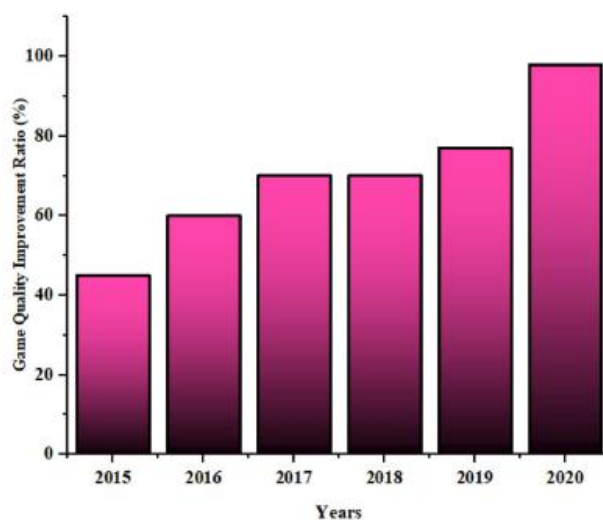
این پژوهش با هدف ارائه چارچوبی نوین برای مسیریابی در نقشه‌های بازی‌های ویدئویی، چارچوبی مبتنی بر ترکیب منطق فازی و الگوریتم کلونی مورچگان طراحی کرد. یافته‌ها نشان دادند که چارچوب پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مرسوم مانند A^* و DADIM، عملکرد بهتری در سه شاخص اصلی دقت، زمان جستجو و کیفیت مسیرها داشته است.



بر اساس نمودارهای مقایسه‌ای، چارچوب پیشنهادی توانست زمان جستجو را در نقشه‌های پیچیده تا ۲۰٪ کاهش دهد و دقت مسیریابی را به بیش از ۹۵٪ برساند. همچنین، کیفیت مسیرها در محیط‌های دارای موانع متحرک بهبود قابل توجهی نشان داد و تطابق بیشتری با نیازهای واقعی کاربران داشت.



نتایج همچنین نشان داد که استفاده از منطق فازی برای کاهش فضای جستجو، در کنار بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم کلونی مورچگان، توانسته است فرآیند شناسایی مسیرهای بهینه را تسریع کرده و عملکرد الگوریتم را در محیط‌های پویا ارتقا دهد..



میزان تعمیم‌پذیری یافته‌ها یافته‌های این پژوهش عمدتاً برای محیط‌های شبیه‌سازی شده طراحی شده‌اند، اما اصول و مفاهیم آن می‌تواند در سایر زمینه‌های مشابه نیز مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، برای تعمیم‌پذیری بیشتر، نیاز به تطبیق چارچوب با شرایط واقعی و آزمون آن در محیط‌های غیرشبیه‌سازی شده وجود دارد.

Number of games	MAPFs	BIM	FLGPFF
10	55	61	87
20	58	72	72
30	57	68	80
40	65	71	84
50	51	67	89
60	59	62	92
70	65	69	79
80	57	71	81
90	65	70	85
100	51	64	95

پیشنهادهای پژوهش‌های آتی

توسعه چارچوب پیشنهادی برای نقشه‌های واقعی تر و با مقیاس بزرگ‌تر.
 آزمایش عملکرد چارچوب در شرایط واقعی و داده‌های عملی.
 ترکیب این چارچوب با فناوری‌های نوین دیگر مانند یادگیری ماشین برای بهبود تصمیم‌گیری در شرایط پویا.
 بررسی امکان استفاده از چارچوب در حوزه‌های دیگر مانند حمل‌ونقل شهری و مدیریت بحران.
 بهینه‌سازی مسیریابی در شبکه‌های پیچیده (Nguyen et al., 2016).

Number of games	MAPFs	BIM	FLGPFF
10	55	61	75
20	58	72	78
30	58	68	70
40	65	78	86
50	57	75	89
60	67	62	71
70	62	69	76
80	53	71	79
90	72	76	78
100	65	64	92

منابع

Dreyfus, S. E. (1969). An appraisal of some shortest-path algorithms. *Operations Research*, 17(3), 395–412.

- Li, Z., & Li, H. (2020). Study of the interception scheme based on A* pathfinding algorithm in computer game. *Journal of Computer Communication*, 8(7), 32–49.
- Lu, X., Wang, X., & Hui, P. (2020). DADIM: A distance adjustment dynamic influence map model. *Future Generation Computer Systems*, 112, 1122–1130.
- Surynek, P. (2020). On satisfiability modulo theories in continuous multi-agent pathfinding: Compilation-based and search-based approaches compared. *ICAART* (2), 182–193.
- Pol, R. S., Rani, B. S., & Murugan, M. (2020). Socio-realistic optimal path planning for indoor real-time autonomous mobile robot navigation. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*, 15(2), 101–113.
- Sharbin, H., Sallehuddin, R., & Haron, H. (2021). Crowd evacuation simulation model with soft computing optimization techniques: A systematic literature review. *Journal of Management Analysis*, 18, 1–43.
- Nguyen, C. H., Pham, T. L., & Nguyen, T. N. (2021). The linguistic summarization and the interpretability, scalability of fuzzy representations of multilevel semantic structures of word-domains. *Microprocessors and Microsystems*, 81, 103641.
- Nguyen, N. T., Liu, B. H., & Pham, V. T. (2016). On maximizing the lifetime for data aggregation in wireless sensor networks using virtual data aggregation trees. *Computer Networks*, 105, 99–110.