سال ۳۰، شماره ۱۳۶، صفحات ۴۹–۶۳، نوع مقاله: ترویجی

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

DOI: 10.30506/mmep.2021.138050.1861

مروری بر روش‌های مسیریابی مبتنی بر هوش محاسباتی

سید حمیدرضا موسوی‌تبار[۱]، محمدحسن شجاعی‌فرد[۲]، مرتضی ملاجعفری[۳ و *]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

[۲] استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

[۳] استادیار، دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

*مسئول مکاتبات: mollajafari@iust.ac.ir

◄ چکیده

افزایش تعداد وسایل نقلیه در کلان شهرها، پیامدهای منفی بر سلامت افراد، محیط زیست و اقتصاد داشته و نگرانی‌ها را به صورت فزاینده‌ای در این مورد افزایش داده است، حرکت وسایل نقلیه عمومی و شخصی در سطح شهر به منظور ارسال کالا، تردد شهری و یا حمل‌ونقل عمومی، تشدید و احتقان ترافیک را در پی داشته و نتیجه آن، انتشار آلاینده‌ها، افزایش تأثیرات روحی–روانی و ناهنجاری‌های اجتماعی، افزایش نامناسب هزینه‌های زندگی شهری، هدررفت سوخت فسیلی و در نهایت کاهش کیفیت زندگی شهری است. از این رو محققان زیادی را برآن داشته، تا ضمن یافتن راه‌حل‌های مناسب و بهینه، هزینه‌های حمل‌ونقل را کاهش داده و گامی مؤثر در بهبود شرایط زیست محیطی و صرفه‌های اقتصادی تردد شهری بردارند، لذا وجود این مهم یعنی رویکرد نقد و بررسی الگوریتم‌های حل مسأله مسیریابی ضروری به نظر می‌رسد و در این مقاله سعی بر این شده تا با مروری بر کتب، نشریات و مقالات مجلات معتبر سال‌های گذشته در زمینه مسیریابی وسایل نقلیه، ضمن ارزیابی موردی یا کلی مطالعات و تحقیقات موجود، به نقاط قوت و ضعف آنها پرداخته و مدخلی برای تحقیقات و توسعه آتی ارائه گردد.

◄ واژگان کلیدی

ترافیک
مسیریابی
ازدحام ترافیک
هوش محاسباتی
الگوریتم‌های تکاملی

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶

A review on routing methods based on computational intelligence

Seyyed Hamid R. Mousavitabar[1], Mohammad H. Shojaeifard[2], Morteza Mollajafari[3]

[1] *MSc student, School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

[2] *Professor, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

[3] *Assistant professor, School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran*

► Abstract

Congestion of vehicles in metropolitan areas has increasingly raised concerns about the negative consequences for human health, the environment and the economy. The movement of public and private vehicles in the city to send goods, urban traffic or public transport, intensifies traffic and result in social anomalies, release of pollutants, increasing the psychological impact and cost of urban living, waste of fossil fuels, and ultimately degrading quality of urban life. In this regard, many researches have addressed this problem amongst, the Computational Intelligence (CI)-based algorithms are in the center of attention. In this paper, we have reviewed the most recent and influential CI-based methods presented for solving the Vehicle Transportation Routing System (VTRS) problem.

► Keywords

Traffic
Routing
Traffic congestion
Computational intelligence
Evolutionary algorithms

► Article history

Received: *24 Oct 2020*
Accepted: *06 Mar 2021*

۱ مقدمه

گسترش زندگی شهرنشینی، استفاده روزافزون از اتومبیل شخصی و وسایل حمل‌ونقل عمومی را به صورت فزآینده‌ای افزایش داده است، افزایش حجم تردد، تأثیرات نامطلوبی بر حمل‌ونقل شهری و یا به عبارت دیگر کیفیت زندگی روزمره افراد دارد. بروز ازدحام ترافیک موجب افزایش مصرف سوخت فسیلی و به تبع آن، خسارت‌های زیست محیطی از جمله، انتشار گازهای آلاینده هوا است، آمار منتشرشده در ترازنامه انرژی کشور نشان می‌دهد در سال حدود ۹۷ درصد منواکسیدکربن و ۷۹ درصد هیدروکربن‌های منتشرشده در کشور مربوط به بخش حمل‌ونقل است. به طور خاص شهر تهران به دلیل رشد سریع جمعیت، ناوگان فرسوده، واحدهای صنعتی و عوامل جغرافیایی در فصول سرد سال عموماً با کاهش شدید کیفیت هوا روبرو شده‌است که در برخی موارد، سطح بالای آلاینده‌ها، مسئولین را مجبور به تعطیلی مدارس و تحمیل محدودیت‌های ترافیکی نموده‌است.

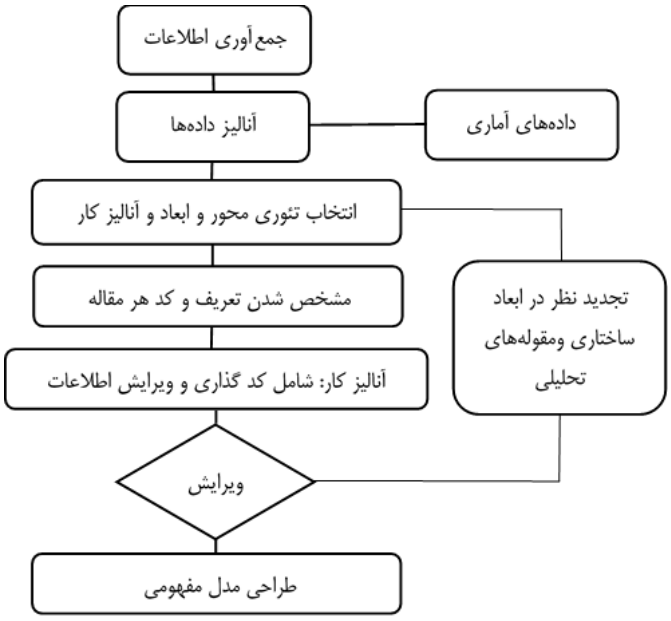
پیشرفت فناوری‌های روز، شرایط مناسبی برای یافتن مسیر تردد بهینه، و در پی‌آن کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، آلاینده‌های زیست محیطی و زمان تردد شهری را به همراه داشته‌است و نیاز به این موضوع در زمان حاضر بیشتر از گذشته احساس می‌شود.

در بسیاری از مقالات منتشرشده، برای حل مسأله مسیریابی، از رویکردهای بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها، زنبورها و ازدحام ذرات[1] (PSO) و نیز الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوعه[2] سیستم فازی[3] و شبکه عصبی[4] استفاده شده‌است و یک مرور جامع برای مشخص شدن نقاط قوت و ضعف این رویکردها ضروری به نظر میرسد. بنابراین، در این مقاله، ما یک تجزیه و تحلیل جامع ازسیستم مسیریابی حمل‌ونقل وسایل نقلیه[5] VTRS مبتنی برهوش محاسباتی ارائه می‌دهیم که نتیجه آن امکان شناخت محدودیت‌ها و توانایی‌های CI در تحقق VTRS و آینده این رویکردها خواهد بود.

۲ روش تحقیق

در این بررسی، تجزیه و تحلیل محتوا و متن از دو منظر کیفی و کمی انجام می‌شود. جمع‌آوری مطالب، تجزیه و تحلیل توصیفی، انتخاب و دسته‌بندی، ارزیابی مطالب، چهار مرحله اصلی روش تحقیق است. نمودار روش این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است.

- مرحله اول: جمع‌آوری مطالب، شامل تصمیم‌گیری در مورد تعریف کار برای دامنه جستجوی مقالات خواهد بود.
- مرحله دوم: ویژگی‌های اصلی اسناد شناسایی می‌شود که ازجمله آن نوع مقالات، روش‌های تحقیق و تعداد نشریات در سال است، این مرحله تحت عنوان تحلیل توصیفی بررسی می‌گردد.
- مرحله سوم: انتخاب دسته‌بندی، شامل تصمیم‌گیری در مورد نوع دسته‌ها و ابعاد مورد استفاده برای سازماندهی اسناد بازیابی شده است.
- مرحله چهارم: به عنوان مرحله نهایی براساس مطالب گردآوری شده در مراحل قبل و آثار هر یک از نشریات به بررسی و نقاط قوت و ضعف آن‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۱: روندنما مدل چهار قسمتی جنر و همکاران

مرحله جمع‌آوری مطالب، بر اساس جستجوی کلمات کلیدی مانند حمل‌ونقل، ترافیک، مسیریابی با رویکردهای هوش محاسباتی در نشریات Elsevier، IEEE، Springer است. پس از بررسی‌های اولیه، مقاله‌هایی که معیارهای زیر را برآورده کنند انتخاب می‌شوند.

- نشریات فنی که بر حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه تمرکز دارند.
- نشریات فنی که از روش‌های CI استفاده شده است.
- مقالات و کنفرانس‌هایی که در زمینه مسیریابی و تأثیر آن بر پدیده ترافیک هستند.

۳ هوش مصنوعی

هوش مصنوعی از نظر علمی، بخشی از علوم کامپیوتر است و امروزه به عنوان مبحثی اساسی و کاربردی در رشته‌های مختلف علوم پایه و مهندسی مورد مطالعه و پژوهش قرار می‌گیرد.

هوش محاسباتی[6]: یکی از زیربخش‌های بسیار مهم و کاربردی هوش مصنوعی است، که در آن از ابزارهای مختلفی برای تحقق ایده هوش مصنوعی استفاده می‌شود. ابزارهای مورد استفاده در هوش محاسباتی، غالباً ابزارهایی ریاضی هستند که به نوعی از طبیعت و دنیای اطراف الهام گرفته شده‌اند. مهم‌ترین ابزارها و الگوهایی که در هوش محاسباتی مطرح می‌شوند، شامل موارد زیر هستند:

- **سیستم‌های فازی**: نظریه مجموعه‌های فازی و محاسبات فازی از ابداعات پرفسور لطفی عسگرزاده، استاد ایرانی–آذربایجانی– دانشگاه برکلی آمریکا است. در محاسبات فازی، به جای استفاده از اعداد دقیق برای توصیف یک مفهوم، از کلماتی مانند کم یا زیاد استفاده

[1] particle swarm optimization [2] tabu search [3] fuzzy system [4] neural network [5] vehicle routing transportation system [6] computational intelligence

می‌شود. سیستم‌هایی که در آن‌ها به جای نظریه کلاسیک مجموعه‌ها و محاسبات کلاسیک ریاضی، از نظریه مجموعه‌های فازی و محاسبات فازی بهره گرفته می‌شود، به نام سیستم‌های فازی شناخته می‌شوند.

- **محاسبات تکاملی**: محاسبات تکاملی شامل مجموعه‌ای از روش‌ها است که به نام الگوریتم‌های تکاملی معروف هستند. مشهورترین این الگوریتم‌ها الگوریتم ژنتیک است که از نظریه تکامل و علم ژنتیک الهام گرفته شده است. در این الگوریتم، فرآیند تکامل، که طی میلیون‌ها سال در طبیعت اتفاق افتاده است، شبیه‌سازی می‌شود. اصلی‌ترین مورد کاربرد الگوریتم‌های تکاملی، حل مسائل بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی ریاضی است.
- **شبکه‌های عصبی مصنوعی**[۷]: اکثر محققان و دانشمندان یقین دارند که مغز انسان پیچیده‌ترین ساختار موجود و شناخته‌شده در کل هستی است. ریاضی‌دان‌ها و مهندسین هوش مصنوعی، با الهام از یافته‌های عصب‌شناسان (نورولوژیست‌ها)، شبکه‌های عصبی مصنوعی را معرفی کردند که استفاده‌های فراوانی در مدل‌سازی و طبقه‌بندی اطلاعات دارد. شاید بتوان شبکه‌های عصبی را مهم‌ترین ابزار در زمینه یادگیری ماشینی به حساب آورد.
- **هوش ازدحامی**[۸]: روش‌هایی که در این دسته قرار می‌گیرند، الگوی دیگری را برای حل مسائل بهینه‌سازی پیشنهاد می‌کنند. در این روش‌ها، تعداد قابل توجهی از عامل‌های بسیار ساده و کم هوش، برای تشکیل نوعی هوش ازدحامی یا هوش جمعی با یکدیگر همکاری یا رقابت می‌کنند. به عنوان مثال، الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان، که از رفتار جمعی مورچه‌ها الهام گرفته شده است، یکی از الگوریتم‌های هوش ازدحامی است. هوش ازدحامی از رفتار جمعی غیر متمرکز و خود سازمان یافته حیوانات و حشرات مانند مورچه‌ها، موریانه‌ها، زنبورها، پرندگان، ماهی‌ها و خفاش‌ها تقلید می‌کند. الگوریتم‌های اجتماع مورچه‌ها، زنبورها، ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) بیشترین رویکرد CI در بین محققان برای حل مسأله مسیریابی ترافیک وسایل‌نقلیه را دارد. در ادامه، مروری کوتاه بر این چهار الگوریتم ارائه می‌شود.

۱.۳ الگوریتم اجتماع مورچه‌ها

این الگوریتم ابتدا توسط دوریگو در سال ۱۹۹۲ میلادی معرفی شد، که از رفتار طبیعی مورچه‌ها در یافتن منابع غذایی الهام گرفته است. مورچه‌ها ابتدا به‌طور تصادفی به این سو و آن سو می‌روند تا غذا بیابند، سپس به لانه بر می‌گردند و ردی از فرومون[۹] به جا می‌گذارند. چنین ردهایی پس از باران به رنگ سفید در می‌آیند و قابل رویت اند. مورچه‌های دیگر وقتی این مسیر را می‌یابند، پرسه زدن را رها کرده و آن را دنبال می‌کنند.درصورت یافتن غذا، به خانه برمی‌گردند و رد دیگری از خود در کنار رد قبل به جا می‌گذارند؛ و به عبارتی مسیر قبل را با فرومون جدید تقویت می‌کنند. بنابراین وقتی یک مورچه مسیر کوتاهی (بهینه) را از خانه تا غذا بیابد بقیه مورچه‌ها به احتمال زیادی همان مسیر را دنبال می‌کنند و با تقویت مداوم آن مسیر و تبخیر ردهای دیگر، به مرور همه مورچه‌ها هم‌مسیر می‌شوند. هدف الگوریتم مورچه‌ها تقلید این رفتار توسط مورچه‌هایی مصنوعی است که روی نمودار در حال حرکت‌اند. از کاربردهای این الگوریتم، رسیدن به راه‌حل تقریباً بهینه در مسأله فروشنده دوره‌گرد است. به طوری که بیشترالگوریتم اجتماع مورچه‌ها بر روی این مسأله تمرکز دارند.

الگوریتم اجتماع مورچه‌ها به دلیل نتایج امیدوارکننده در بسیاری از مقالات مانند، دوریگو و گامباردلا [۱] و سیستم اجتماع مورچه‌ها (دوریگو و گامباردلا [۲]) و مانیزو و کاربونارو [۳]) و ابرمکعب[۱۰] سیستم مورچه‌ها (بلوم و دوریگو [۴]) و (دوریگو و اشتوتزل [۵]) پیشنهاد شده است.

۲.۳ اجتماع زنبورها

سیلی [۶] در سال ۲۰۰۹ میلادی یک مدل رفتاری خود سازمان یافته زنبورهای عسل را به عنوان یک الگوریتم الهام‌گرفته زیست‌شناختی و متااکتشافی معرفی نمود. این رویکرد از رفتار پیدایش غذای زنبورهای عسل الهام گرفته است. رقص واگله[۱۱] یا حرکت کردن پر پیچ و تاب، حداکثر شیرینی شهد گل‌ها، از جالب‌ترین ویژگی‌های زنبورهای واقعی است که برای شبیه‌سازی در الگوریتم اجتماع زنبورهای مصنوعی[۱۲] (Abs) استفاده می‌گردد. در این الگوریتم، زنبورهای مصنوعی برای مشارکت درحل مشکلات بهینه‌سازی پیچیده معرفی می‌شوند. یک اجتماع زنبور عسل می‌تواند در مسیرهای طولانی و در جهت‌های گوناگون به دنبال منابع غذایی بگردد. مراکز شهد با مقادیر متفاوت که با تلاشی مناسب قابل یافتن است، و به وسیله تعداد زیادی زنبور جستجو می‌شوند، به‌طوری‌که قطعاتی از زمین که گرده یا شهد کمتری دارد، تعداد کمتری زنبور را به سمت خود می‌کشاند. پروسه جستجوی غذای یک اجتماع به وسیله زنبورهای دیده‌بان آغاز می‌شود که برای جستجوی گلزارهای امیدبخش (دارای امید بالا برای وجود نکتار یا گرده) فرستاده می‌شوند. زنبورهای دیده‌بان به صورت غیر مشخص از گلزاری به گلزار دیگر حرکت می‌کنند. در طول فصل برداشت محصول (گل‌دهی)، اجتماع با آماده نگه داشتن تعدادی از جمعیت کلونی به عنوان زنبور دیده‌بان به جستجوی خود ادامه می‌دهند. هنگامی که جستجوی تمام گلزارها پایان یافت، هر زنبور دیده‌بان، بالای گلزاری که اندوخته کیفی مطمئنی از نکتار و گرده دارد، رقص خاصی را اجرا می‌کند. این رقص که به نام رقص چرخشی شناخته می‌شود، اطلاعات مربوط به گلزار (نسبت به کندو)، فاصله تا گلزار و کیفیت گلزار را به زنبورهای دیگر انتقال می‌دهد. این اطلاعات زنبورهای اضافی و پیرو را به سوی گلزار می‌فرستد. بیشتر زنبورهای پیرو به سوی گلزارهایی میروند که امیدبخش‌تر هستند و امید بیش‌تری برای یافتن شهد و گرده در آن‌ها وجود دارد. وقتی همه زنبورها به سمت ناحیه‌ای مشابه بروند، دوباره به صورت تصادفی و به علت محدوده رقص‌شان در پیرامون گلزار پراکنده می‌شوند تا به موجب این کار سرانجام نه یک گلزار، بلکه بهترین گل‌های موجود درون آن تعیین موقعیت شوند. الگوریتم زنبور عسل هر نقطه را در فضای پارامتری — متشکل از پاسخ‌های ممکن — به عنوان منبع غذا

[7]artificial neural networks [8]swarm intelligence [9]pheromone [10]hypercube [11]waggle dance [12]artificial bee's

تحت بررسی قرار می‌دهد. زنبورهای دیده‌بان کارگزاران شبیه‌سازی شده به صورت تصادفی فضای پاسخ‌ها را ساده می‌کنند و به‌وسیله تابع شایستگی کیفیت موقعیت‌های بازدیدشده را گزارش می‌دهند. جواب‌های ساده‌شده رتبه‌بندی می‌شوند و دیگر زنبورها نیروهای تازه‌ای هستند که فضای پاسخ‌ها را در پیرامون خود برای یافتن بالاترین رتبه محل‌ها جستجو می‌کنند که گلزار نامیده می‌شود. الگوریتم به صورت گزینشی دیگر گلزارها را برای یافتن نقطه بیشینه تابع شایستگی جستجو می‌کند.

زنبورها منبع غذایی (مقصد) را بر اساس احتمال و ارزش آن انتخاب می‌کنند و هنگام کاهش شهد یک منبع غذایی، آن را با یک منبع غذایی جدید جایگزین می‌کنند. در اکثر الگوریتم‌های موجود زنبور عسل، زنبورهای کارگر برای یافتن شهد و کیفیت بهتر آن، درمکان‌های مختلف منابع شهد حضور دارند. واو و همکاران [۷] الگوریتم زنبور عسل مجازی را پیشنهاد کرد که در آن شدت شهد به طور مستقیم با تابع برازش در ارتباط است. در الگوریتم‌های مبتنی بر زنبور عسل از دو نوع زنبور استفاده می‌شود، یک الگوریتم اجتماع زنبور مصنوعی، زنبورها را به کار فرمایان، کارگرها، ناظران تقسیم می‌کند. الگوریتم زنبور عسل در ابتدا برای حل مشکلات عددی طراحی شده بود درحالیکه در سال‌های اخیر در کاربردهای وسیع‌تری مورد استفاده قرار گرفته است.

۳.۳ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، روش جستجویی در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از روش‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند و توسط جان هالند در سال ۱۹۶۷ میلادی ابداع شده‌است. بعدها این روش با تلاش‌های گلدبرگ ۱۹۸۹، جایگاه خویش را یافت و امروزه به‌واسطه توانایی‌های خود، جایگاه مناسبی در میان دیگر الگوریتم‌ها دارد.

الگوریتم‌های ژنتیک معمولاً به عنوان یک شبیه‌ساز رایانه که در آن جمعیت یک نمونه انتزاعی (کروموزوم‌ها) از نامزدهای راه‌حل یک مسأله بهینه‌سازی به راه‌حل بهتری منجر شود، پیاده‌سازی می‌شوند. در روش سنتی راه‌حل‌ها به شکل رشته‌هایی از ۰ و ۱ بودند، اما امروزه به گونه‌های دیگری هم پیاده‌سازی شده‌اند. فرضیه، با جمعیتی کاملاً تصادفی و منحصربه‌فرد آغاز شده و در نسل‌ها ادامه می‌یابد. در هر نسل گنجایش تمام جمعیت ارزیابی می‌شود، چندین فرد براساس شایستگی‌ها در فرآیندی تصادفی از نسل جاری انتخاب می‌شوند و برای شکل دادن نسل جدید، اصلاح می‌شوند (کسر یا دوباره ترکیب می‌شوند) و در تکرار بعدی الگوریتم به نسل جاری تبدیل می‌شود.بنابراین هر کروموزوم از مجموعه‌ای از عناصر (ژن‌ها) تشکیل شده است که مجموعه‌ای از مقادیر را برای متغیرهای بهینه‌سازی در اختیار دارند. تابع برازش برای ارزیابی راه‌حل مسأله مورد نظر استفاده می‌شود. انتخاب، تقاطع و جهش سه عملیات اصلی استفاده از GA است. **انتخاب**: دو کروموزوم از جمعیت اولیه را بدون هم‌پوشانی و بصورت تصادفی انتخاب می‌کند و سپس کروموزوم با ارزش بالاتر از هر مجموعه توسط تابع مرجع[۱۳] (برای زنده‌ماندن در تکرار بعدی به عنوان مثال، نسل) انتخاب می‌کند. **تقاطع**: شامل دو مرحله است، مرحله اول تعیین یک ژن به صورت تصادفی به عنوان نقطه تقاطع از دو کروموزوم والد، مرحله دوم تبادل متقابل کروموزوم‌ها با در نظر گرفتن نقطه عبور[۱۴] و ایجاد فرزندان جدید است. عمل تقاطع برای بهبود راه‌حل‌ها براساس تابع مرجع یا هدف استفاده می‌شود، مجموعه‌ای از ژن‌ها بعد از تعیین نقطه و عمل جهش تغییر می‌کنند تا تنوع جمعیت را افزایش‌داده و از افتادن به یک راه‌حل بهینه محلی اجتناب کنند. با این حال، امکان نتیجه‌گیری زودرس در زمان استفاده ازعمل جهش وجود داشته و می‌بایست از طریق سازوکار کنترل جلوگیری شود.

اگرچه بر اساس تحقیقات موجود، الگوریتم ژنتیک، مشکلات سخت و واقعی و پیچیده را به وسیله یک معادله حداکثر درجه دوم حل می‌کند، و نتایج نشان‌داده که در مقیاس بزرگ و یا توابع ارزیابی پیچیده در دنیای واقعی رسیدن به پاسخ ممکن است ساعت‌ها یا روزها به طول بینجامد، که از جمله ایرادات این الگوریتم است.

از این رو چندین روش برای بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک ارائه شده است که در چهار کلاس اصلی طبقه‌بندی می‌گردد:

- موازی‌سازی: از چندین پردازنده برای اجرای GA استفاده می‌شود داده‌ها یا منابع در بین این پردازنده‌ها توزیع می‌شود.
- هیبریداسیون: ادغام GA با روش‌های جستجو محلی.
- ادامه زمان: استفاده بهینه از نوترکیبی و جهش به منظور دستیابی به راه‌حل با کیفیت بالا با توجه به محدودیت‌های محاسباتی موجود.
- تسهیل در ارزیابی: ارزیابی دقیق، اما محاسباتی و گران قیمت، با یک ارزیابی با دقت کمتری جایگزین می‌شود.

۴.۳ الگوریتم ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است که برای اولین بار توسط کندی و ابرهارت ارائه شد. این روش با تجزیه و تحلیل رفتار طبیعی پرندگان و یا ماهی‌ها برای پیدا کردن غذا بدست آمده است. آنها در تلاش بودند تا با بهره گیری از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی نوعی هوش محاسباتی پدید آورند که به توانایی‌های فردی ویژه‌ای نیازمند نباشد. این دو محقق بیشتر بروی مدل‌هایی که توسط زیست‌شناس فرانک هپنر ایجاد شده بود تأکید کردند. با توجه به مدل هپنر ممکن است پرندگان در زمان مشخصی انگیزه برای فرود را بالاتر از انگیزه برای در میان گروه ماندن ببینند و در این هنگام، فرود می آیند. در اصل، از آنجایی که این روش نوعی از روش‌های هوش ازدحامی است، هریک از راه‌حل‌های موجه به عنوان یک ذره تلقی می‌شود. هر ذره دارای ویژگی‌های موقعیتی، سرعت و جهت حرکت خاصی است و ازطریق فضای جستجو با توجه به بهترین موقعیت گذشته که تجربه کرده است (pbest) و بهترین موقعیت که دیگر اعضای جمع تجربه کرده‌اند (gbest) جواب جدید بدست می‌آید. این رفتار شبیه عملکرد مردم درتصمیم‌گیری است جایی که آنها بهترین تجربه پیشین خود و بهترین تجربه سایرین را مدنظر قرار می‌دهند در حالی که می‌خواهد همزمان به طور تصادفی

[13] fitness functional [14] cross over

نیز حرکت کند. روش عمل‌کردی این الگوریتم بدین گونه است که در ابتدا تعدادی ذره به صورت تصادفی در منطقه جستجو قرار می‌گیرند. اطلاعات موقعیت و سرعت هر ذره خود در قالب یک بردار مشخص می‌شود. پس از هر حرکتی اطلاعات موقعیتی براساس سرعت جدید، بهترین موقعیت محلی و عمومی به روز می‌شوند. تکرار بعدی نیز به همین صورت اتفاق می‌افتد تا زمان رسیدن به معیار توقف.

الگوریتم اصلی PSO به منظور بهبود عملکرد کلی و موارد کاربردهای خاص بهبود یافته است به عنوان مثال ازدحام ذرات باینری که برای مشکلات پویا و توابع نویزی پیشنهاد می‌شود.

۴ مسیریابی براساس الگوریتم‌های هوش محاسباتی

رویکرد اصلی این مقاله مروری بر مسیریابی وسایل نقلیه وکاهش ترافیک با استفاده از رویکردهای هوش محاسباتی است، در شکل ۲ یک چهارچوب کلی برای مسیریابی حمل‌ونقل وسایط نقلیه ارائه گردیده، با انجام مطالعات اولیه برروی مقالات و کتابهای سالهای اخیر این نتیجه حاصل می‌شود که چهار الگوریتم هوش محاسباتی شامل اجتماع زنبورها و مورچه‌ها و همچنین ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک دارای بیشترین کاربرد در زمینه مسیریابی وسایل نقلیه هستند، لذا برای بررسی روش‌های موجود بیشتر به نقد و بررسی رویکردهای مذکور پرداخته می‌شود و در ادامه، مقایسه این چهار الگوریتم را با برخی الگوریتم‌های دیگر هوش محاسباتی، مانند ترکیب با شبکه‌های عصبی و فازی، ارائه می‌گردد.

با توجه به شکل ۲، اکثر روش‌های مسیریابی به منظور محاسبه مسیر بهینه، از مرحله آماده‌سازی نقشه برای تهیه مسیر استفاده می‌کنند (یعنی تبدیل نقشه‌ها به نمودار). این مرحله شامل قسمت‌های لایه‌بندی یا تقسیم‌بندی است. سپس سیستم‌های مسیریابی از مرحله جمع‌آوری داده‌ها برای به دست آوردن وضعیت ترافیک جاده استفاده می‌کنند. این امر می‌تواند به صورت تصادفی یا به صورت قطعی حاصل شود. حالت قطعی بر اساس داده‌های آماری یک نوع یادگیری اولیه است برای تأثیرپذیری شرایطی که اکثراً با آن مواجه خواهیم بود ولذا مقادیر از پیش تعیین‌شده و تعیین‌کننده را به مسیرها اختصاص می‌دهند و از ماهیت پویا و تصادفی ازدحام وسایل نقلیه چشم‌پوشی می‌کنند. در مقابل، سیستم‌های تصادفی وضعیت ترافیک جاده‌ها را در نظر می‌گیرند و مقادیر مختلفی را با توجه به اطلاعات گذشته ترافیکی یا در زمان واقعی به مسیرها اختصاص می‌دهند. سیستم‌های تصادفی، برای پردازش داده‌های ترافیکی نیاز به ظرفیت محاسباتی بیشتری دارند و نسبت به ماهیت تصادفی ازدحام وسیله نقلیه آسیب پذیر نیستند و در حل مشکلات تراکم وسایل نقلیه بهتر عمل می‌کنند. براساس دو مرحله ذکرشده، VTRSها، اطلاعات مربوط به ترافیک مانند، سرعت و تراکم وسایل نقلیه، زمان سفر را جمع‌آوری کرده و همچنین تنظیمات برگزیده کاربر و مسیرهای جایگزین (تعادل بار) را نیز در این مرحله برای بررسی و اعمال در نتیجه نهایی وارد می‌نماید. مرحله بعد سیاست‌های مختلفی را برای محاسبه عملکرد توابع هدف استفاده می‌نماید، به عنوان مثال، از توابع احتمال متفاوتی برای ساعات مختلف روز استفاده می‌گردد. از این رو، اولویت بالاتری را می‌توان به داده‌های زمان واقعی در روز اختصاص‌داد و نیز با وزن دادن بیشتر به احتمال سوابق ترافیکی در طول روز دقت و کارایی سیستم VTRS را بهبود بخشید. VTRSها براساس توابع هدف محاسبه شده و با استفاده از جداول مسیرهای تهیه‌شده مرحله قبل، از آن‌ها برای هدایت وسایل نقلیه در مسیرهایی با ترافیک و ازدحام کمتر استفاده می‌کند.

۱.۴ سیستم مسیریابی براساس اجتماع مورچه‌ها

یک مرور کلی درباره سیستم‌های مسیریابی و کنترل ترافیک وسیله نقلیه مبتنی بر اجتماع مورچه‌ها، توسط جبارپور و همکاران [۸] و استفاده از ماده فرمون و مورچه‌های رنگی توسط کنگ و همکاران [۹] ارائه گردیده که در روش کنگ و همکاران، مبدأ و مقصدهای مختلف را می‌توان با رنگ‌های مختلف نشان داد و مورچه‌های رنگی فقط به رنگ خاص خود حساس هستند. برای کاهش پیچیدگی شبکه راه و همچنین زمان محاسبه الگوریتم از حذف مسیرها و گره‌های غیرمفید و ضروری به روش هرس شبکه استفاده می‌شود. کمار و همکاران یک سیستم مسیریابی بهینه مبتنی بر اجتماع مورچه‌ها ارائه نمودند، که در آن برای جلوگیری از رکود بهینه محلی، از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم بازپخت استفاده شده‌است. سیستم بهینه‌سازی مسیر سفر پویا[۱۵] (DTPOS) [۱۰، ۱۱] یکی دیگر از رویکردهای مسیریابی مبتنی بر پیش‌بینی است که در آن میانگین سرعت سفر، تعداد توقف خودرو و میانگین زمان انتظار خودرو را درنظر گرفته و بهترین مسیر را به وسایل نقلیه ارائه می‌کند. ازدحام ترافیک‌های موقتی (به عنوان مثال کارهای جاده‌ای و تصادفات) در این روش لحاظ نمی‌گردد و این مهم‌ترین اشکال آن است.

شکل ۲: بلاک دیاگرام مسیریابی وسایط نقلیه.

[15] dynamic travel path optimization system

مسیریابی دیگری توسط اوچلسگا ارائه گردید، در این روش مسیریابی، به تقسیم‌بندی تحویل کالا و بهینه‌سازی آن از نظر حمل‌ونقل و هزینه‌های مربوطه توسط تجزیه و تحلیل با الگوریتم اجتماع مورچه ارائه شده است. سیستم اجتناب از ازدحام وسایل نقلیه مبتنی بر اجتماع مورچه‌ها[16] (AVCAS)، یکی دیگر از رویکردهای مسیریابی است که با استفاده از تقسیم نقشه و پیش‌بینی میانگین سرعت سفر برای کاهش و اجتناب احتقان ترافیک به کشف مسیرهای کم ترافیک یا ازدحام می‌پردازد. براساس نتایج شبیه‌سازی، AVCAS از نظر میانگین زمان و سرعت سفر از روش‌های موجود بهتر عمل می‌کند و ترافیک‌های موقتی یا تصادفات اتفاقی را کارآمدتر کنترل می‌نماید.

وانگ و همکاران [۱۲] بهینه‌سازی چندمعیاره اجتماع مورچه‌ها[17] (MACO) را پیشنهاد نمودند که کمترین مسافت (مانند الگوریتم Dijkstra)، کوتاهترین زمان (مانند الگوریتم A^*)، بهترین وضعیت جاده یا اولویت تلفیقی را درنظر می‌گیرد و ترجیحات راننده (به عنوان مقادیر فرمون) را با درنظر گرفتن اطلاعات ترافیکی (در زمان واقعی) در فرآیند مسیریابی لحاظ می‌نماید. MACO برای انتخاب مسیر بهینه از روش اولویت سفارش (روش مشابه راه‌حل ایده‌آل[18] (TOPSIS) [۱۳]) استفاده می‌کند.

نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش MACO از بروز مشکل بهینه محلی جلوگیری می‌نماید و با توجه به نیازهای مختلف، مسیر بهینه را ارائه نموده و باعث کاهش مصرف سوخت می‌گردد. توضیح اینکه A^* یک الگوریتم جستجوی نمودار و جستجوی مسیر است که اغلب به دلیل کارایی مطلوب در علم کامپیوتر استفاده می‌شود.

۲.۴ مسیریابی مبتنی بر الگوریتم زنبور

الگوریتم زنبور عسل در ابتدا برای حل مشکلات عددی ارائه گردیده. مطالعات اولیه کارابوگا و باسترک [۱۴، ۱۵] و کریشناناند و همکاران [۱۶] با هدف ارزیابی عملکرد در توابع با معیار عددی و مقایسه آن با سایر الگوریتم‌های شناخته شده صورت‌پذیرفته است.

تئودوروویچ و دلوراکو [۱۷]، یک روش مبتنی بر اجتماع زنبور عسل برای حل مسأله تطابق سوار[19] و به تبع آن، مشکل تراکم وسایل نقلیه ارائه نموده‌اند. تطبیق سوار یکی از محبوب‌ترین نمونه‌ها در راهبردهای مدیریت تقاضای مسافرت است. این کمک می‌کند تا دو یا چند مسافر بتوانند وسیله نقلیه را هنگام مسافرت از مبدأ خود به مقصد مربوطه به اشتراک بگذارند، تا تعداد وسایل نقلیه تک‌سرنشین که یکی از معضلات کلان‌شهرها بخصوص تهران می‌باشد کاهش یابد. صرفه جویی، کاهش زمان سفر از دیگر مزایای این روش است. با این‌حال، این رویکرد براساس گروه‌هایی هم‌مسیر و در زمان مشخص انجام می‌شود.

زائوکوان گو و همکاران الگوریتم ABC را بر مبنای اجتماع زنبورها ارائه نمودند، ویژگی اصلی این الگوریتم این است که نیازی به استخراج و درک ویژگی‌های خاص مسأله ندارد. فقط کافی است مزایا و معایب راه‌حل‌های مسأله را مقایسه کنید. رفتار بهینه‌سازی محلی اجتماع زنبور عسل کارگر باعث می شود که مقدار بهینه عمومی در گروه ظهور کند و سرعت همگرایی بیشتری داشته باشد. ایده اولیه ود و همکاران [۱۸] VTRS غیرمتمرکز و خودسازمان‌یافته زنبور عسل[20] BeeJamA و الهام گرفته از زنبور عسل شناخته شده است. سنگ بنای BeeJamA الگوریتم مسیریابی BeeHive است که برای شبکه‌های رایانه‌ای بزرگ پیشنهاد شده است. BeeJamA یک VTRS چند عامل است که به منظور به حداقل رساندن زمان سفر و با پیش‌گیری از ازدحام ترافیک طراحی شده است. BeeJamA اطلاعات ترافیکی به روز و در زمان واقعی را با استفاده از ارتباطات V2I (داده‌های اتومبیل) به دست می‌آورد. کلید این ارتباطات شبکه‌ای، ناوبری غیر متمرکز است. ناوبرها[21] مسئول منطقه مشخص (معروف به منطقه ناوبری) هستند، جایی‌که با وسایل نقلیه مناطق خود ارتباط برقرار می‌کند (ناوبر) یا اطلاعات لازم را برای آن‌ها ارسال می‌کند.

با مقایسه الگوریتم زنبور عسل بهینه شده BeeJamA با الگوریتم A^* نتیجه‌گیری می‌شود که الگوریتم BeeJamA در میزان نفوذ، انعطاف، واکنش و مقیاس‌پذیری آسان بهتر عمل می‌کند. علاوه بر این، BeeJamA میانگین زمان سفر وسایل نقلیه را کاهش می‌دهد. الگوریتم BeeJamA (توسط ود و سنگه) به عنوان نمونه‌ای از سیستم فیزیکی سایبری معرفی شده است. همزمانی، توانایی ارائه در زمان واقعی، کنترل غیرمتمرکز، خود سازگاری، خودسازماندهی، قابلیت اطمینان و بازه خطا، رایج‌ترین الزامات در سیستم‌های فیزیکی سایبری است. اگرچه BeeJamA می‌تواند ازدحام ترافیک را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، اما شرایط تراکم ترافیک ناشی از علت‌های تصادفی را نمی‌توان به روش‌های معمول اداره کرد. یکی دیگر از رویکردهای بهینه‌سازی و مدیریت ترافیک وسیله نقلیه مبتنی بر زنبور عسل، توسط قزال و همکاران [۱۹] پیشنهاد شده است. حداکثر سرعت وسایل نقلیه، مسیرهابی با استفاده از معابر، کوچه‌ها و غیره (در زمان بروز ترافیک غیرمترقبه) از ویژگی‌های این رویکرد است که سرعت هر مسیر و اختلاف آن‌ها در الگوریتم مبتنی بر زنبور عسل در نظر گرفته است تا بتواند ترافیک وسایل نقلیه را کاهش داده و همچنین مسیریابی خودرو را انجام دهد. از منظر دیگر، یک ایراد بالقوه که دراین روش وجود دارد تعداد مسیرها و معابر فرعی و جایگزین برای رسیدن به سرعت مطلوب و یا حداکثر می‌باشد، که خود می‌تواند منجر به بروز گره‌های جدید و یا تراکم ترافیک شود.

در سال ۲۰۱۴ میلادی، یک VTRS منطقه‌ای مبتنی برکلنی زنبور توسط واو و همکاران توسعه داده شد،که نقشه راه بر اساس بازی ارزش (Shapley) به مناطق مختلفی تقسیم می‌شود. سپس از ارتباطات V2V و I2V برای جمع‌آوری داده‌های ترافیک در زمان واقعی در هر منطقه استفاده می‌شود. سرانجام، از الگوریتم مبتنی بر زنبور عسل برای مسیریابی بهینه وسایل نقلیه از مبدأ تا مقصد در داخل هر منطقه استفاده می‌گردد. نقطه ضعف اصلی این رویکرد این است که باید چندین پارامتر مانند فاصله اقلیدسی، حداقل شباهت، آستانه و تعداد بخش جاده را تعیین کرد.

۳.۴ مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

VTRS مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله مسیریابی سال‌هاست که

[16] ant-based vehicle congestion avoidance system [17] multimetric ant colony optimization [18] technique for order preference by similarity to ideal solution [19] raid-matching problem [20] bee-inspired jam avoidance [21] navigators

مورد استفاده قرارداشته است. GA برای اولین بار توسط چن و همکاران [۲۰] برای حل مسأله کوتاه‌ترین مسیر استفاده شد. آن‌ها برای یافتن کلیه مسیرهای ممکن در یک نمودار، یک راهبرد رمزگذاری مبتنی بر اولویت را پیشنهاد کردند. اگرچه همان طول کروموزوم انتخاب شده و روند رمزگذاری در این روش بسیار پیچیده است، اما نقطه شروع خوبی بود. راماکریشنا کاربرد الگوریتم‌های ژنتیکی را برای حل مسأله کوتاه‌ترین مسیر پیشنهاد کردند. شبیه‌سازی رایانه‌های توسط آن‌ها نشان داد الگوریتم‌های پیشنهادی از نقطه نظر همگرایی بهتر از دیگر الگوریتم‌های مرسوم عمل می‌کند، لوپز و همکاران یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی برای حل مسأله مکان‌یابی–مسیریابی پیشنهاد داده‌اند. الگوریتم پیشنهادی شامل ساختار استاندارد الگوریتم ژنتیک با استفاده از شیوه جستجوی محلی در فاز جهش می‌باشد، پس از آن، برخی محققان مانند کانو و ناکامورا از GA برای یافتن چندین مسیر در VTRS استفاده کردند. با این حال، آن‌ها برای یافتن مسیرهای متعدد به مسیرهای هم‌پوشانی توجه نکردند. برای رفع این مشکل، یک الگوریتم مبتنی بر ژنتیک برای به حداقل رساندن تعداد مسیرهای هم‌پوشانی در روش یافتن مسیرها، طراحی کردند. یکی از الگوریتم‌های شناخته شده مبتنی بر ژنتیک برای حل مشکل کوتاه‌ترین مسیر توسط راماکریشنا پیشنهاد شده که در آن از کروموزوم با طول متفاوت و قابل ترمیم و تغییر برای نمایش مسیر و جلوگیری از ایجاد حلقه در روش پیدا کردن مسیر استفاده شده است. براساس نتایج شبیه‌سازی، رویکرد پیشنهادی برای شبکه‌هایی در مقیاس کوچک و متوسط از لحاظ درصد خطای مسیر و میزان همگرایی از سایر رویکردهای ژنتیکی بهتر است.

ربانی و همکاران، یک مسأله جدید مسیریابی مکان‌یابی زباله‌های خطرناک صنعتی با تأکید بر برخی جنبه‌های جدید در فرمول‌بندی آن، از جمله محدودیت در مورد ناسازگاری بین برخی از انواع زباله‌ها و ترکیب تصمیمات مسیریابی در مدل، ارائه داده‌اند. هدف مدل، به حداقل رساندن سه معیار مهم به طور همزمان، از جمله هزینه کل، ریسک حمل‌ونقل کل پسماندهای خطرناک مربوط به قرار گرفتن در معرض جمعیت و ریسک سایت است. برای حل مدل چندهدفه، دو الگوریتم تکاملی چندهدفهی ازدحام ذرات و ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب به کار گرفته شده است،یک الگوریتم مبتنی بر ژنتیک با بخشی از یک جاده شریانی یا اصلی که ویروس محسوب می‌شود توسط دلاوآرا و همکاران[۲۱] ارائه شده است. برای یافتن مسیری بهینه بین مبدأ و مقصد در محیط استاتیک، سرعت جستجو از طریق تقاطع[۲۲] و نظریه تکامل ویروس افزایش یافته است، در این روش جهش[۲۳] استفاده نشده است. یکی دیگر از VTRS‌های مبتنی بر ژنتیک برای محیط‌های استاتیک توسط الحلبی و همکاران [۲۲] ارائه شده است. آن‌ها یک روش انتخاب جدید را بر اساس انتخاب بهترین گره در همسایگی بعدی ارائه دادند و آن را با روش انتخاب به وسیله مسابقات مقایسه کردند. تأثیر نقاط مختلف جهش و تعداد نقاط تقاطع بر VTRS نیز در این مطالعه بررسی شده است.

از آنجا که فضای حرکتی وسایل نقلیه بسیار پویا هستند، الگوریتمی مبتنی بر ژنتیک برای فضاهای پویا پیشنهاد شد که آن‌ها کوتاه‌ترین مسأله مسیر را به کوتاه‌ترین مسأله پیاده‌روی تغییر دادند. در این روش، عملگر تقاطع هنگامی استفاده می‌شود که شرایط پیاده‌روی به مشکل حلقه تغییر یابد (یعنی به سمت گره که قبلاً دیده شده حرکت شود). تمام رویکردهای مورد بحث فقط روی مشکلات عینی متمرکز بوده و فقط با شبکه‌های کوچک ارزیابی می‌شوند که سناریوهای دنیای واقعی را منعکس نمی‌کنند.

شایان ذکر است که نانایاکارا و همکاران [۲۳] یک الگوریتم برنامه‌ریزی مسیر مبتنی بر ژنتیک ارائه کرده‌اند که می‌تواند روش مسیریابی را در شبکه‌های مقیاس بزرگ (برای مثال، نقشه‌هایی با هزاران گره) انجام دهد.

یکی دیگر از VTRS‌های چندمنظوره مبتنی بر ژنتیک که از فاصله رانندگی، زمان و هزینه به عنوان اهداف در فرآیند یافتن مسیر استفاده می‌کند، توسط ون و همکاران ارائه شده و به نام فاصله پارتو در GA شناخته شده است، که برای کاهش زمان محاسباتی، از دو سطح نقشه مسیر راه استفاده می‌شود . هدف جدید مبتنی بر دو متغیر مسافت، (یعنی فاصله پارتو) و فاصله ازدحام، است که معرفی و مورد استفاده قرار می‌گیرد. یو و لو [۲۴] یکی از قابل وجه‌ترین VTRS‌های مبتنی بر ژنتیک را پیشنهاد کردند که در آن تقاطع و جهش در یک حالت واحد و دو عملگر جدید تعریف شده‌اند یعنی ابرتقاطع[۲۴] و ابرجهش[۲۵] که به عنوان عملکرد مد داخلی طراحی شده‌اند.

نسخه بهبود یافته دیگری از GA برای یافتن مسیر بهینه توسط این و همکاران ارائه شده که مجموعه جمعیت با حذف گره‌ها و مسیرهای غیر ضروری قبل از شروع الگوریتم بهینه می‌شود. در هر نسل، بهترین عضو جمعیت از طریق ادغام به روش رولت و محافظت از نخبگان محافظت می‌شود. این روش از نظر میزان همگرایی و کیفیت راه‌حل از روش‌های دیگر بهتر است. VTRS مبتنی بر ژنتیک جدید که از تجزیه و تحلیل شبکه پتری استفاده می‌کند به عنوان تابع هدف توسط دزاینی و همکاران [۲۵] توسعه یافته است. تجزیه و تحلیل شبکه پتری، سیستم را قادر می‌سازد که کل شبکه راه را در زمان واقعی کنترل کند و از زیرساخت‌های VANET برای جمع‌آوری داده‌های ترافیک در زمان واقعی استفاده نماید.

۴.۴ مسیریابی مبتنی بر ازدحام ذرات

بهینه‌سازی ذرات PSO یکی دیگر از الگوریتم‌های الهام‌بخش زیستی است که برای پیش‌بینی جریان ترافیک و مسیریابی وسیله نقلیه استفاده می‌شود. یکی از رویکردهای مبتنی بر PSO برای حل مشکل کوتاه‌ترین مسیر توسط محمد و همکاران [۲۶] ارائه شده است. یک راهبرد رمزگذاری مسیر غیرمستقیم مبتنی بر اولویت و یک عملگر ابتکاری به ترتیب برای گسترش منطقه جستجو و جلوگیری از ایجاد حلقه در روش پیدا کردن مسیر استفاده می‌شوند. سپس یک روش مبتنی بر PSO برای هدایت مسیر پویا ارائه گردیده که علاوه بر تجزیه و تحلیل ویژگی‌های هر دو VTRS و الگوریتم PSO، کاربرد PSO در یافتن مسیر توضیح داده و مورد بررسی قرار گرفته است.

عملکرد PSO در یافتن و جستجوی مسیر از طریق یک مثال شبیه‌سازی شده ارزیابی می‌گردد. برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر از یک شبیه‌سازی ساده جاده‌ای استفاده شده است. آن‌ها به جای کشف بهترین مسیر، روی زمان واقعی مسیر متمرکز شدند.

[22]cross over [23]mutation [24]hyper-crossover [25]hyper-mutation

با این حال، PSO به راحتی می‌تواند به بهینه محلی برسد، که در این روش از آن چشم پوشی شده است.

۵.۴ مسیریابی مبتنی بر هوش محاسباتی ترکیبی

اجتماع مورچه‌ها دولآن [۲۷] یک VTRS مبتنی بر پیش‌بینی است که از یادگیری ماشین برای شناسایی و جلوگیری از احتقان یا مشکلات استفاده می‌شود. معماری Time-ANTS از چهار مؤلفه برای یافتن مسیر استفاده می‌کند، از جمله مدل‌های وسیله نقلیه، مدل‌های جاده، مدل ترافیک وابسته به زمان (یعنی سوابق داده‌های ترافیکی) و یک مدل ترافیک فعلی (یعنی داده‌های ترافیک در زمان واقعی). بسیاری از رویکردهای موجود، شرایط ازدحام ترافیک و غیر قابل اغماض را نادیده گرفته و الگوریتم را در یک شبکه غیرواقعی و کوچک که مهم‌ترین اشکال این روش است، آزمایش می‌کند. یک روش مبتنی بر مورچه‌ها که سازگار با الگوریتم مورچه با مدل فازی سلسله مراتبی است، توسط کاموآن و همکاران [۲۸] ارائه شده است. رویکرد پیشنهادی آن‌ها شامل دو مرحله است:

۱. الگوریتم مورچه برای یافتن بهترین مسیر با در نظر گرفتن کیفیت ترافیک و طول مسیر استفاده می‌شود،
۲. مدل فازی سلسله مراتبی برای افزایش انتخاب مسیر با توجه به مجموعه‌ای از مهم‌ترین فاکتورها در مورد راننده، محیط و مسیر استفاده می‌شود.

یک رویکرد کوتاه‌ترین مسیر ترکیبی مبتنی بر چند هدف در GA ارائه‌شده توسط کانو و هارا است که در آن اهداف مختلفی (به عنوان مثال، مسافت، زمان مسافرت و تعداد چراغ راهنمایی) در فرآیند یافتن مسیر اولیه در نظر گرفته شده و جمعیت اولیه از طریق الگوریتم Dijkstra به دست می‌آید. یکی دیگر از VTRSهای چندمنظوره ترکیبی که از GA و λ تبادل ترکیبی از روش جستجوی محلی و الگوریتم بهبودیافته A^* استفاده می‌شود. روش ترکیبی دیگری توسط چاکرابورتی و چن طراحی شده است که در آن GA و سیستم فازی برای یافتن مسیرهای جایگزین بهینه براساس نیاز رانندگان ترکیب شده‌اند. این روش، مسیرهای یافت‌شده از طریق سازوکار بازخورد اصلاح می‌شوند. DGA یک الگوریتم مسیریابی ترکیبی دیگری است که مشابه رویکرد پیشنهادی کانو و هارا، Dijkstra و GA را ادغام می‌کند. تفاوت اصلی بین این دو رویکرد، در نوع استفاده از الگوریتم GA است. به این صورت که GA در روش اول برای در نظر گرفتن معیارهای مختلف در فرآیند یافتن مسیر مورد استفاده قرار می‌گرفت، در حالی که در DGA از الگوریتم GA برای تغییر مسیر استفاده می‌کند. دنگ و همکاران یک روش ترکیبی (مثلاً ترکیبی از PSO و شبکه عصبی مایع) را برای غلبه بر مشکل PSO و جلوگیری از افتادن در بهینه محلی مادامی که در حال پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر برای وسایل نقلیه می‌باشد ارائه کرده‌اند. علاوه بر این، محدودیت‌های ضریب تقارن وزن شبکه عصبی مایع سنتی، توسط این VTRS ترکیبی مبتنی بر PSO حل می‌شود. رویکرد پیشنهادی برای بررسی در مقیاس کوچک، مثلاً ۲۰ گره، استفاده می‌شود و این یکی از معایب این روش است.

رویکرد دیگری برای پیش‌بینی جریان ترافیکی ترکیبی توسط هو و همکاران در سال ۲۰۱۴ میلادی معرفی شده است. که در آن PSO و رگرسیون بردار پشتیبان ترکیب شده‌اند. مدل پیش‌بینی از طریق بردار رگرسیون پشتیبانی ایجاد می‌شود و پارامترهای مدل با استفاده از الگوریتم PSO بهینه می‌شوند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که این رویکرد مبتنی بر PSO، به لحاظ پیش‌بینی جریان ترافیک از رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی انتشار معکوس[۲۶] نتایج بهتری دارد.

بهینه‌سازی ذرات ایمنی هرج‌ومرج[۲۷] (CIPSO) [۲۹] رویکردی است که از ترکیب سیستم ایمنی مصنوعی[۲۸] (AIS)، عملگر آشوب و PSO حاصل شده است. برای در نظر گرفتن ماهیت تصادفی دنیای واقعی، متغیرهای قطعی، مقدار مورد انتظار و واریانس متغیرهای تصادفی در CIPSO در نظر گرفته شده است. از جهش در CIPSO برای حل مشکل بهینه محلی PSO استفاده می‌شود. نتایج تجربی حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که CIPSO از نظر زمان همگرایی و بهینه مسیر از GA و PSO سبقت می‌گیرد.

۶.۴ مسیریابی براساس دیگر الگوریتم‌های ترکیبی

سیستم شناسایی خودکار[۲۹] (AIS) برای بهبود عملکرد مسیرهای کوتاه در سیستم‌های مسیریابی ترافیک وسیله نقلیه توسط یانگ و همکاران [۳۰] ارائه شده است. برای دستیابی به این هدف، سازوکار انتخاب منفی به AIS اضافه می‌شود. حافظه ایمنی به همراه قابلیت جستجوی موازی سراسری AIS منجر به پیدا کردن کوتاهترین مسیرهای بدون تکرار می‌شود که برتری AIS را نسبت به سایر رویکردها اثبات می‌کند. بعلاوه برای انجام موازی‌سازی بهتر، حوادث غیرمترقبه که گاهی در GAها اتفاق می‌افتد از طریق AIS جلوگیری می‌شود. این روش در مقایسه با رویکردهای مبتنی بر GA و Dijkstra از زمان و همگرایی بهتری برخوردار است.

الگوریتم بهینه‌سازی کرکس مصری[۳۰] (EVOA) و الگوریتم اجتماع گسسته کریل[۳۱] (DKHA) توسط سآور و شآکلا در سال ۲۰۱۴ میلادی دو الگوریتم اخیر CI هستند که الهام گرفته از رفتار کرکس مصری و کریل در دنیای واقعی برای یافتن منابع غذایی و سبک زندگی آن‌ها است. کاربرد EVOA و DKHA در مسیریابی وسایل نقلیه برای شبکه‌های جاده‌ای مبتنی بر نمودار مورد بررسی قرارگرفته است. EVOA و DKHA با در نظر گرفتن زمان انتظار، زمان سفر و زمان کل با الگوریتم قطره آب هوشمند از نظر میزان همگرایی مقایسه می‌شوند. الگوریتم ماهی جزر و مد[۳۲] (ETFA) یکی دیگر از الگوریتم‌های CI است که به جای پارامترهای سرعت در الگوریتم PSO (که باعث کاهش سرعت همگرایی می‌شود) با استفاده از سازوکار به‌روزرسانی راه‌حل‌های مختلفی را برای دستیابی به بهینه عمومی ارائه می‌دهد. اکتشاف[۳۳] و بهره‌برداری[۳۴] (یا تنوع بخشی و تشدید) دو مؤلفه اصلی هر رویکرد مبتنی بر CI هستند که به روشی جدید به دست می‌آیند. در آغاز،

[26]back-propagation [27]chaotic immune particle swarm optimization [28]artificial immune system [29]automatic identification system [30]Egyptian vulture optimization algorithm [31]discrete Krill Herd algorithm [32]ebb tide fish algorithm [33]exploration [34]explotation

شرایط جستجو برای هر ذره کاندید شده توسط یک پرچم نشان داده می‌شود. سپس، به بهره‌برداری و اکتشاف به ترتیب از طریق جستجوی انفرادی و جمعیتی انجام می‌شود. ETFA از لحاظ دقت و سرعت همگرایی از سایر رویکردهای موجود بهتر است. علاوه بر این، ETFA با حرکت در مسیرهای بهتر در مقایسه با الگوریتم‌های Dijkstra و A^*، میزان مصرف بنزین وسایل نقلیه را کاهش می‌دهد. با این حال، همگرایی ETFA هنوز اثبات نشده است، و ممکن است در شرایط محدود بودن جمعیت، در بهینه محلی باقی بماند.

۵ نتیجه‌گیری

با بررسی مقالات ارائه‌شده چنین دریافت می‌شود که برای طراحی سیستم‌های مؤثر مسیریابی وسیله نقلیه، مبتنی بر CI، به منظور یافتن مسیرهای بهینه و کاهش مسأله احتقان ترافیک رویکردهای قابل توجهی وجود دارد. در این بخش، به نقد و تحلیل رویکردهای CI برای تراکم ترافیک وسایل نقلیه می‌پردازیم. در مرحله اول، به بحث درمورد مقالات و نشریات منتشرشده بر اساس کنفرانس و یا مجلات پرداخته می‌شود، و پس از آن، مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های مسیریابی ترافیک وسیله نقلیه مبتنی بر CI تعریف و توضیح داده شده است. علاوه براین، یک تجزیه و تحلیل آماری و معیارهای ارزیابی ارائه خواهد شد که برای ارزیابی عملکرد VTRSهای مبتنی بر CI استفاده می‌شوند. سرانجام، نکات مثبت و منفی VTRS مبتنی بر CI مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

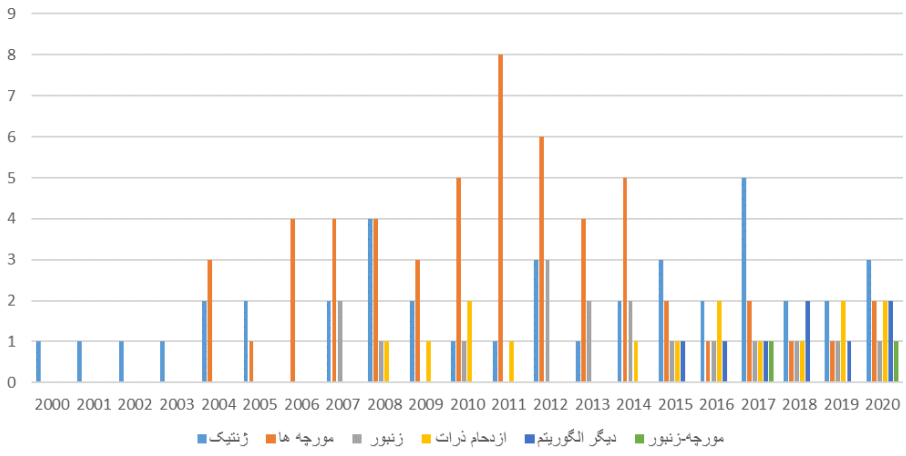
۱.۵ مقالات و نشریات مسیریابی مبتنی بر هوش محاسباتی

در این بخش، بررسی مقالات و نوشتارها بر اساس نوع، نام و سال انتشار آن‌ها ارائه شده است. حدود ۷۰ نشریه از کنفرانس‌ها، مجلات و کتاب‌ها وجود دارد که با معیارهای انتخابی ما سازگاری دارد به عنوان سه دسته اصلی از انتشارات، در جدول ۱، ۲ و ۳ بر اساس تعداد کل نشریات طبقه‌بندی می‌شوند. هر ستاره (×) در جداول نشان‌دهنده یک انتشار است.

درصد مقالات منتشرشده کنفرانسی حدود (۵۷/۵۸٪) نزدیک به درصد مقالات چاپ‌شده در مجلات حدود (۲۵/۷۱٪) است، اما اکثر کتب منتشرشده و فصل‌های کتاب‌ها در این زمینه شامل مجموعه کتاب‌هایی است که توسط اسپرینگر منتشر شده و حاوی مقالات پژوهشی ارائه شده است.

علاوه بر این، کنفرانس برتر، کتاب‌ها و ژورنال منتشرشده در زمینه VTRS مبتنی بر CI در جداول ۱، ۲ و ۳ یافت می‌شود که بطور مشخص مبین طیف گسترده‌ای از انتشارات در این زمینه است. کنفرانس‌ها و ژورنال‌های مختلفی VTRS را در هدف و حوزه تحقیقاتی خود قرارداده‌اند. کنفرانس IEEE در مورد سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و IEEE Transaction در محاسبات تکاملی در حال حاضر در خط مقدم تحقیقات برتر VTRS مبتنی بر CI قرار دارد. درحال حاضر تعداد مقالات با رویکردهای مبتنی بر اجتماع مورچه‌ها در مقایسه با دیگر روش‌ها، به دلیل کمترین زمان پردازش و سازگاری بهتر، از اقبال بیشتری برخوردار است. علاوه بر انتشارات بر اساس نوع و نام، نتایج انتشار تحقیقات VTRS مبتنی بر CI از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی در شکل ۳ نشان داده شده است. کل مقالات شناسایی شده مربوط به VTRS مبتنی بر CI در دهه‌های گذشته از تعداد یک عدد در سال ۲۰۰۰ میلادی به تعداد ۱۲ عدد در سال ۲۰۱۲ میلادی می‌رسد و سپس به تعداد ۲ عدد در سال ۲۰۱۵ میلادی افت نموده و درنهایت در سال ۲۰۲۰ میلادی به تعداد ۹ عدد رسیده است. همچنین در نمودار مشخص گردیده که بیش از نیمی از VTRSهای مبتنی بر CI از الگوریتم مورچه‌ها (۵۴/۳٪) در سازوکار مسیریابی و هدایت خودرو استفاده نموده‌اند و این درصد برای الگوریتم‌های ژنتیک، زنبور عسل و PSO به ترتیب در ۲۴/۹، ۱۱/۳ و ۷/۱ درصد می‌باشد و الباقی به الگوریتم‌های ترکیبی اختصاص دارد.

این روند حاکی از توسعه نسبتاً ثابت در زمینه تحقیق VTRSها مبتنی بر CI بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی است که بیشترین تعداد انتشار در این زمینه را از ۱ تا ۱۲ مقاله در سال تجربه کرده‌اند. این انتشارات مداوم نشان می‌دهد که این زمینه تحقیقاتی در این سال‌ها توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. با این وجود تا سال ۲۰۱۵ میلادی با کاهش ناگهانی در تعداد مقالات منتشرشده، تغییر چشم‌گیری در الگوی انتشارات ایجاد شده است (یعنی فقط سه مقاله منتشر شده). روند اخیر نشان می‌دهد که علاقه به کار در زمینه VTRS مبتنی بر CI در بین محققان تاحدودی افزایش یافته است. با این حال، محققان تمایل دارند از الگوریتم‌های جدید CI مانند کرکس مصری، گله خرچنگ و الگوریتم‌های الهام‌گرفته از ماهی‌ها Ebb-tide-fish در VTRS استفاده کنند.



شکل ۳: نمودار میله‌ای انتشارات مبتنی بر مسیریابی وسایل نقلیه

جدول ۱: مقالات کنفرانسی منتشرشده در مورد مسیریابی وسایط نقلیه

عنوان کنفرانس	مجموع	ازدحام ذرات	ژنتیک	زنبور	مورچه
کنفرانس IEEE سیستم حمل‌ونقل هوشمند	۶	××			××××
همایش IEEE سیستم‌ها، انسان و سایبرنتیک	۴		×		×××
مجموعه مقالات IEEE سمپوزیوم وسایل نقلیه هوشمند	۲			×	×
کنفرانس سالانه محاسبات ژنتیکی و تکاملی	۲		××		
کنفرانس مشترک بین‌المللی در مورد عوامل خودمختار و سیستم چندساله	۱				×
کنفرانس بین‌المللی اتوماسیون و لجستیک	۱				×
اولین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و هوشمند	۱				×
سمپوزیوم بین‌المللی ارتباطات از راه دور	۱				×
مجموعه مقالات کنفرانس شبیه‌سازی زمستان	۱				×
مجموعه مقالات کنفرانس شبیه‌سازی زمستان	۱				×
کنفرانس بین‌المللی اطلاعات محاسباتی، سیستم‌های ارتباطی و شبکه‌ها	۱				×
کنفرانس بین‌المللی حل مسأله محاسباتی	۱				×
کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی و شبیه‌سازی رایانه	۱				×
کنفرانس بین‌المللی خدمات تلفن همراه، منابع و کاربران	۱				×
کنفرانس IEEE در مورد فناوری‌های نوظهور و اتوماسیون کارخانه	۱			×	
کنفرانس بین‌المللی سیستم‌ها و برنامه‌های سازگار با خود و سازگار	۱			×	
همایش EUROMICRO در زمینه مهندسی نرم‌افزار و برنامه‌های کاربردی پیشرفته	۱			×	
بهبود فرآیند نرم‌افزاری محصول محور	۱			×	
سمپوزیوم بین‌المللی IEEE در مدارها و سیستم‌ها	۱		×		
سمپوزیوم بین‌المللی IEEE در مدارها و سیستم‌ها	۱		×		
کنفرانس بین‌المللی هوشمند مبتنی بر دانش	۱		×		
سیستم‌های مهندسی و فناوری‌های یکپارچه بایگانی بین‌المللی سنجش از دور و علوم اطلاعات مکانی فتوگرامتری	۱		×		
کنفرانس بین‌المللی فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات: از تئوری گرفته تا کاربردها	۱		×		
IEEE کارگاه اواسط تابستان درباره محاسبات نرم در کاربردهای صنعتی	۱		×		
مجموعه مقالات مؤسسه مهندسان مکانیک، قسمت D: مجله مهندسی خودرو	۱		×		
کنفرانس بین‌المللی IEEE در مورد سیستم‌های فازی	۱		×		
کنفرانس بین‌المللی فناوری محاسبات هوشمند و اتوماسیون	۱	×			
کنفرانس بین‌المللی محاسبات طبیعی	۱	×			
کنفرانس بین‌المللی شبکه‌ها و ارتباطات	۱	×			
IEEE در محاسبات تکاملی	۶		××××		××
رایانه نرم‌افزاری کاربردی	۱				×
بخش تحقیقات حمل‌ونقل قسمت C: فناوری‌های نوظهور	۲				××
IEEE در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند	۱			×	
مجله بین‌المللی سیستم‌های اطلاعات برای تدارکات و مدیریت	۲		××		
پیشرفت‌های اخیر در زندگی مصنوعی	۱				×
مجله برنامه‌های شبکه و رایانه	۱				×
کاربردهای مهندسی هوش مصنوعی	۱				×
مجله علم و فناوری ایران	۱				×
مجله انفورماتیک و فناوری پزشکی پزشکی	۱				×
هوش محاسباتی کاربردی و محاسبات نرم	۱				×
IEEE Transaction در الکترونیک صنعتی	۱	×			
مجله انستیتوی مهندسان چین	۱				×

جدول ۲: کتاب‌های منتشرشده مبتنی بر مسیریابی وسایط نقلیه

عنوان کتاب / الگوریتم	مورچه‌ها	زنبور عسل	ژنتیک	ازدحام ذرات	دیگر
هوش جمعی محاسباتی، فناوری‌ها و برنامه‌های کاربردی	××				
بهینه‌سازی اجتماع مورچه‌ها و هوش ازدحامی	×				
مهندسی سیستم‌های خود سازماندهی	×				
شبکه‌های با کارایی بالا، سیستم‌های محاسباتی و ارتباطی	×				
پیشرفت در کاربردهای عملی نمایندگان و سیستم‌های چند عامل	×				
بهینه‌سازی مبتنی بر عامل	×				
روش‌ها و برنامه‌های بهینه‌سازی کلونی مورچه	×				
فناوری‌ها و برنامه‌های یادگیری پیشرفته ماشین	×				
پیشرفت در علوم اطلاعات جغرافیایی و فضایی			×		
برق، مهندسی اطلاعات و مکاترونیک			×		
محاسبات توزیع‌شده و فناوری اینترنت					×

جدول ۳: مقالات منتشرشده مبتنی بر مسیریابی وسایط نقلیه

عنوان مقاله / الگوریتم	مورچه‌ها	زنبور عسل	ژنتیک	ازدحام ذرات	دیگر
IEEE Transaction در هوش محاسباتی	× × ×	×	× × × ×		×
بخش تحقیقات حمل‌ونقل قسمت C: فناوری‌های نوظهور	×				
مجله بین‌المللی سیستم‌های اطلاعات برای تدارکات و مدیریت	×		× ×		
پیشرفت‌ها در زندگی مصنوعی	×				
مجله برنامه‌های شبکه و رایانه	×				
مجله مهندسی برق TELKOMNIKA اندونزی		×			
مجله علم و فناوری ایران	×				
مجله انفورماتیک و فناوری پزشکی پزشکی	×		×		
مجله بین‌المللی تحقیقات مجدد علمی و مهندسی	×				×
مجله انستیتوی مهندسان چین	×				
مجله انفورماتیک مصر	×				
IEEE Transaction در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند		×			
IEEE Transaction در تشخیص الگو و هوش دستگاه			×		
مجله بین‌المللی سیستم‌های مهندسی مبتنی بر دانش و هوشمند			×		
IEEJ Transaction در مورد الکترونیک، اطلاعات و سیستم‌ها			×		
مجله بین‌المللی ارتباطات و کنترل رایانه‌ها			×		
عصبی رایانه‌ای			×		
IEEE Transaction در الکترونیک صنعتی				×	

۲.۵ مشخصات و ویژگی‌های مسیریابی مبتنی بر هوش محاسباتی

در این بخش به مهم‌ترین مشخصات و ویژگی‌های VTRS مبتنی بر CI بر اساس الزامات و چالش‌ها پرداخته شده است. این خصوصیات شامل روش‌های کاربردی، راهبردها، زیرساخت‌ها، توپولوژی‌ها و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها است. هر یک از این خصوصیات در جدول ۴ خلاصه شده است و به شرح زیر توضیح داده می‌شود:

- روش: این ویژگی با مقدار یا وزن اختصاص داده‌شده به هر جاده در نقشه راه ارتباط دارد. این مقدار می‌تواند به صورت قطعی یا تصادفی محاسبه شود. در گذشته، یک وزن از پیش تعریف‌شده، بدون در نظر گرفتن ماهیت پویا وضعیت تردد وسایل نقلیه، برای جاده‌ها (پیوندها) در نظر گرفته می‌شد. در حالی که در حالت دوم، وزن‌های مختلف با توجه به شرایط مختلف بر اساس داده‌های سوابق ترافیکی و زمان واقعی برای جاده‌ها تعیین می‌شوند. از این رو، روش‌های تصادفی برای پردازش داده به ظرفیت محاسباتی بیشتری نیاز دارند و در برابر تغییرات پویا و سریع ترافیک وسیله نقلیه آسیب‌پذیر نیستند. در نتیجه، روش‌های تصادفی نسبت به روش‌های قطعی پاسخ مناسب‌تری دارند.
- راهبرد: واکنش و عملکرد دو راهبرد هستند که در VTRS برای حل مسأله استفاده می‌شوند. رویکردهای واکنشی از اطلاعات فعلی ترافیک استفاده می‌کنند و از شرایط آینده تردد وسایل نقلیه در سازوکار مسیریابی خود صرف نظر نمی‌کنند، در حالی که از مدل‌های پیش‌بینی شده، از روش‌های پیشگیرانه برای برآورد مسیر و تغییرات پویا آنی وسایل نقلیه استفاده می‌شود. رویکردهای واکنشی، پیچیدگی و زمان محاسباتی کمی دارند.
- زیرساخت: زیرساخت‌های مورد استفاده برای جمع‌آوری داده‌های ترافیک می‌توانند متمرکز، غیرمتمرکز و ترکیبی باشند. در روش‌های متمرکز، مسیریابی وسایل نقلیه و کاهش احتقان از طریق یک سرور یا ایستگاه پایه اطلاعات رسانی انجام می‌شود. با این‌حال، در رویکردهای غیر متمرکز، هر گره جدول مسیریابی خود را برای یافتن مسیر تهیه می‌کند. قابلیت اطمینان، دیدگاه مقایسه‌ای سادگی فرآیند مسیریابی را از مزایای رویکردهای متمرکز می‌داند، در حالی‌که تنها نقطه ضعف آن، تأخیر و مقیاس‌پذیری است. گرچه رویکردهای غیرمتمرکز این اشکالات را برطرف کرده و سازگاری را برای سیستم‌های مسیریابی به ارمغان آورده است، اما اشکالاتی خاص مانند زمان محاسباتی بالا و جزئیات داده‌های ترافیک دارند. ترکیبی از این دو رویکرد برای دستیابی به مزایای بسیار کاربردی و منطقی به نظر می‌رسد.
- توپولوژی: این مشخصه نحوه استفاده از نقشه راه در VTRS را مشخص می‌کند و به توپولوژی‌های مسطح و سلسله‌مراتبی تقسیم می‌شود. در توپولوژی مسطح، کل نقشه‌راه به عنوان یک سطح در نظر گرفته می‌شود و وسایل نقلیه می‌توانند بین دو گره دلخواه به عنوان مبدأ و مقصد حرکت کنند. در مقابل، در توپولوژی سلسله‌مراتبی، نقشه مسیریابی وسایل نقلیه شامل مناطق مختلف (مناطق یا خوشه‌ها) یا سطوح مختلفی برای تصمیم‌گیری برای مسیر است.برخی گره‌های خاص به نام گره‌مرزی یا سرخوشه در هر منطقه یا سطح در توپولوژی سلسله‌مراتبی، برای مسیریابی وسایل نقلیه بین مناطق مختلف استفاده می‌شوند. VTRSهای سلسله مراتبی به دلیل مدیریت بهتر پویا و تغییر در وسایل نقلیه، دارای پاسخ بهتری هستند.
- جمع‌آوری داده‌ها: این ویژگی به نحوه جمع‌آوری و استفاده از داده‌های ترافیک وسایل نقلیه در VTRS مربوط می‌شود. داده‌های جمع‌آوری‌شده می‌توانند داده‌های زمان گذشته(ترافیک وابسته به

زمان)، زمان واقعی (ترافیک فعلی) و ترکیبی (ترکیبی از داده‌های زمان گذشته و واقعی) باشند. ازدحام غیرقابل تکرار با استفاده از سوابق ترافیکی نادیده گرفته می‌شود، در حالی که تکرار (منظم) احتقان با استفاده از داده‌های واقعی و با توجه به زمان اتفاق آن نادیده گرفته شود. رویکرد ترکیبی با توجه به در نظر گرفتن هم‌زمان داده‌های ترافیکی گذشته و زمان واقعی دارای شرایط بهتری است. تصادفات، در مناطق و شرایط آب و هوایی را می‌توان جزئی از داده‌های زمان واقعی در نظر گرفت، اما بهتر است که VTRS تأخیرهای منظم (تکرارشونده در زمان و یا مکان خاص) داده‌های گذشته را حتی اگر داده‌های زمان واقعی هیچگونه ترافیکی را نشان نمی‌دهند پیش‌بینی کند. از این رو، مهم است که VTRS نسبت به هر دو این تراکم ترافیکی ناشی از سوابق تاریخی و زمان واقعی عکس‌العمل از خود نشان دهد و سازگار شود.

۳.۵ مزایا و معایب مسیریابی مبتنی بر هوش محاسباتی

در این بخش جوانب مثبت و منفی VTRSهای اصلی مبتنی بر CI که در جدول ۵ خلاصه شده است، ارائه می‌شود. این اطلاعات از طریق بررسی نتایج شبیه‌سازی مقالات مختلف موجود به‌دست آمده است. این اطلاعات می‌تواند بینش عمیقی از مطالعات انجام شده بر روی VTRS مبتنی بر CI برای طراحی و پیشنهاد رویکردهای جدید ارائه نماید و الگوریتم مناسب CI را می‌توان بر اساس نیاز سیستم مورد نظر انتخاب کرد. به عنوان مثال، الگوریتم مورچه یا PSO می‌تواند برای سیستمی انتخاب شود که نیاز به زمان محاسباتی کمتری دارد، در حالی که الگوریتم ژنتیک انتخاب مناسبی نیست. زمان محاسباتی و میزان همگرایی دو ویژگی اصلی هستند که باید در انتخاب الگوریتم مناسب CI برای VTRS در نظر گرفته شوند.

جدول ۴: مشخصات مشابه مسیریابی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش محاسباتی

مراجع	مشخصات				
	روش	راهبرد	زیرساخت	پیکربندی	جمع‌آوری اطلاعات
مسیریابی مبتنی بر اجتماع مورچه‌ها					
Cong et al. (2013)	تصادفی	فعال	متمرکز	سطحی	زمان واقعی
Kponyo et al. (2014,2015)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
Jabbarpour et al. (2014a)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سلسله مراتبی	ترکیبی
Wang et al. (2015)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
R.J. et al. (2016)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
Can B et al. (2016)	تصادفی	–	ترکیبی	سلسله مراتبی	ترکیبی
E. Jabiret al. (2017)	تصادفی	فعال	ترکیبی	–	زمان واقعی
Rajeev Goel et al. (2018)	تصادفی	–	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
Li Y et al.(2019)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سلسله مراتبی	ترکیبی
Thi-Hau Nguyen E. et al.(2020)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
مسیریابی مبتنی بر الگوریتم زنبور					
Wedde and Senge (2013)	تصادفی	فعال	غیرمتمرکز	سلسله مراتبی	زمان واقعی
Senge and Wedde (2012a, b, c)	تصادفی	فعال	غیرمتمرکز	سلسله مراتبی	زمان واقعی
Ghosal et al. (2013)	تصادفی	غیرفعال	متمرکز	سلسله مراتبی	زمان واقعی
Wu et al. (2014)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سلسله مراتبی	زمان واقعی
Peng-Yeng Yin,Ya-Lan Chuang (2016)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سلسله مراتبی	زمان واقعی
K.K.H. Ng et al.(2017)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سلسله مراتبی	زمان واقعی
مسیریابی مبتنی برالگوریتم ازدحام ذرات					
M. Okulewicz et al. (2017)	تصادفی	غیرفعال	متمرکز	سطحی	ترکیبی
M.A. Hannan et al. (2018)	تصادفی	غیرفعال	متمرکز	سطحی	ترکیبی
مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک					
Y.B. Park et al. (2015)		–	–	سطحی	زمان واقعی
Shuihua Wang et al. (2016)	تصادفی	غیرفعال	متمرکز	سطحی	ترکیبی
Yiyong Xiao et al. (2017)	تصادفی	غیرفعال	متمرکز	سطحی	ترکیبی
M. A. Mohammed et al. (2017)	تصادفی	غیرفعال	متمرکز	سطحی	براساس سوابق
Yong Shi et al.(2017)	تصادفی	غیرفعال	ترکیبی	سطحی	ترکیبی
Dj. M. Pierre et al.(2017)	تصادفی	غیرفعال	ترکیبی	سطحی	براساس سوابق
A. Hiassat et al. (2017)	تصادفی	غیرفعال	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
K. Wang et al.(2017)	تصادفی	غیرفعال	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
Erfan Babaee. et al.(2018)	تصادفی	غیرفعال	–	سطحی	زمان واقعی
A. Baniamerian et al. (2018)	تصادفی	غیرفعال	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
P. Roberto et al.(2018)	تصادفی	–	ترکیبی	سطحی	زمان واقعی
Jianyu Long et al.(2019)	تصادفی	–	ترکیبی	سطحی	براساس سوابق
Mahdi Abbasi et al. (2020)	تصادفی	فعال	ترکیبی	سطحی	براساس سوابق

جدول ۵: مقایسه مسیریابی وسایط نقلیه مبتنی بر هوش محاسباتی

مسیریابی مبتنی بر الگوریتم‌های هوش محاسباتی	مزایا	معایب
مسیریابی براساس الگوریتم اجتماع مورچه‌ها	هزینه محاسباتی کم و حفظ کردن ذاتی بازخورد به صورت موازی و مثبت برای کشف سریع راه‌حل‌های خوب	تحلیل نظری دشوار، تکرار تصمیمات تصادفی، تغییرات توزیع احتمال با تکرار
مسیریابی مبتنی بر الگوریتم زنبور عسل	قدرت خوب جستجوی محلی وعمومی، سادگی، انعطاف‌پذیری و سهولت ترکیب با الگوریتم‌های بهینه‌ـسازی دیگر، هم‌گرایی سریع	توزیع اطلاعات خوب بین راه‌حل‌ها به دلیل عدم استفاده اتفاق نمی‌افتد، میزان قابل قبولی ندارد، عملگری مانند تقاطع در الگوریتم ژنتیک. همگرایی برای حداقل محلی کند است. برای شروع پارامترهای تصادفی بیشتری مورد نیاز است
مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک	توانایی انجام انواع اهداف و محدودیت‌ها مورد نظر را دارد، پارامترها به راحتی تیون می‌شوند	هزینه محاسباتی بالا و دارای عملگرهای پیچیده تقاطع و جهش
مسیریابی مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات	هزینه محاسباتی کم، پیدا کردن مناسب‌ترین راه‌حل، نرخ موفقیت بهتر و کیفیت راه‌حل بالاتر، پارامترهای کمتری برای تنظیم نیازدارد، مناسب برای مشکلات با مقیاس بزرگ	اجرای آن در حد بالایی بستگی به پارامترهای اولیه دارد، به راحتی در بهینه محلی گیرمی‌افتد و جستجوی محلی ضعیفی دارد، همگرایی بسیار کندی دارد

۴.۵ موضوعات باز و دستورالعمل‌های آینده مسیریابی مبتنی بر هوش محاسباتی

استقرار VTRS بدون چالش نیست. ما این چالش‌ها را به قابلیت اطمینان ارتباطات، امنیت و حفظ حریم خصوصی و روش‌های ارزیابی به شرح زیر طبقه‌بندی کردیم.

- قابلیت اطمینان ارتباط، استمرار و دسترسی VTRS، زیرساخت‌های کنار جاده یکی از راه‌های برقراری ارتباط بین وسیله نقلیه و ارائه دهنده خدمات (یعنی VTRS) است.
- امنیت و حفظ حریم خصوصی نقش اساسی در VTRSها، مشابه سایر سیستم‌های مبتنی بر شبکه دارند. از آن‌جا که VTRSها از انواع مختلف توپولوژی برای ارتباط داده استفاده می‌کنند، ارائه ارتباطات ایمن بین مشترکان مختلف احتمالاً چالش برانگیزتر است. بنابراین مطلوب است که از قبل یک محیط قابل اعتماد در بین وسایل نقلیه داشته باشید. به عنوان مثال، هرگونه آسیب‌پذیری در سیستم عامل شبکه اصلی می‌تواند بر عملکرد VTRS تأثیر بگذارد. یکی از محدودیت‌های مهم VTRS چگونگی تأیید اعتبار و مجوز قابل اطمینان برای کاربر در محیط با سرعت بالا است. از مسائل تحقیقاتی مهم و باز امروزه طراحی الگوریتم‌های رمز نگاری ایمن و کارامد، برای برقراری ارتباطات ایمن و کنترل دسترسی، به داده‌های ذخیره‌شده در پایگاه‌های داده است.
- تخمین و ارزیابی: همانطور که در این مقاله بحث شد، چندین VTRS بر اساس رویکردهای CI طراحی شده‌اند. شایان ذکر است که تخمین و ارزیابی هر سیستم پیشنهادی در محیطی نزدیک به شرایط واقعی ضروری است. به طور کلی، تخمین‌ها و ارزیابی‌ها معمولاً روی فضای آزمایش انجام می‌شود، زیرا آزمایش سیستم در محیط دنیای واقعی پرهزینه است. به طور کلی غیر واقعی است که بتوانیم سیستم پیشنهادی را در یک محیط واقعی ارزیابی کنیم. بنابراین، طراحی ابزارها و محیط‌های شبیه‌سازی که هرچه ممکن نزدیک به محیط دنیای واقعی باشند، ضروری است، به عنوان مثال مدل شبیه‌سازی Any Logic یک کتابخانه جریان ترافیک جاده‌ای فراهم می‌کند. همچنین نرم‌افزار PTV Vissium فرم‌های جدید تحرک مانند CAV و MaaS را شبیه‌سازی می‌نماید. تجسم‌های واضح و سریع، با ایجاد نقشه‌های متراکم و شلوغی، و انیمیشن‌هایی که جریان ترافیک و گلوگاه‌ها را نشان می‌دهند، به‌سرعت به توسعه و بهره‌وری بیشتر کمک خواهد نمود. آزادی آزمایش و توانایی بهینه‌سازی مدل‌های دقیق، با نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک، بهترین بستر موفقیت در برنامه‌ریزی و مهندسی ترافیک جاده را فراهم می‌کند استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک جاده کلید تجزیه و تحلیل دقیق و راه‌حل‌های ارزشمند است.

۵.۵ نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش تعداد وسایل نقلیه در سطح جهان، به‌ویژه در کلان شهرها، ازدحام ترافیک وسایل نقلیه به‌طور فزاینده‌ای به عنوان نگرانی برای دولت‌ها و جامعه شهری در نظر گرفته می‌شود. VTRS یکی از چندین رویکردی است که برای مدیریت تراکم وسایل نقلیه در مقالات و نشریات پیشنهاد می‌شود، که از الگوریتم‌های CI در سازوکار مسیریابی خود استفاده می‌کند. در این مقاله، یک نقد از VTRS مبتنی بر CI را از نظر ویژگی‌ها، مزایا و معایب آن‌ها ارائه گردید و مشاهده شد که الگوریتم مورچه‌ها، زنبورها، ژنتیک و PSO چهار الگوریتم CI هستند که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین تلاش‌هایی برای ترکیب استفاده از الگوریتم‌های CI با الگوریتم‌هایی مانند شبکه عصبی و سیستم فازی برای بهبود عملکرد و غلبه بر محدودیت‌های این چهار الگوریتم اصلی صورت گرفته است. از رویکردهای ترکیبی موجود، به نظر می‌رسد کسانی که PSO را با شبکه عصبی یا سیستم فازی سازگار می‌کنند از سایر راه‌حل‌های ترکیبی موجود به دلیل توانایی در دستیابی به کاهش زمان محاسبه، سهولت اجرا، پارامترهای کمتر برای تنظیم و مناسب بودن برای مشکلات در مقیاس بزرگ بهتر عمل می‌کنند. ما همچنین مشاهده کردیم که در حالی که اکثر VTRSهای موجود به نتایج امیدوارکننده‌ای برای کاهش زمان سفر یا بهبود گردش ترافیک دست یافته‌اند، این راه‌حل‌ها نمی‌توانند کاهش پیامدهای مربوط به ترافیک مانند آلودگی هوا، سر و صدا و مصرف

سوخت را تضمین کنند.

از این رو، توسعه VTRS سبز که مصرف سوخت، آلودگی صوتی و کاهش آلودگی هوا را در سازوکار مسیریابی مد نظر دارد، باید در اقدامات و جهت‌گیری آینده مورد توجه بیشتری قرار گیرد. تحقیقات بالقوه شامل طراحی راه‌حل‌های مؤثر در جهت تقویت حمل‌ونقل عمومی، یافتن سوخت‌های جایگزین با رویکرد کاهش آلودگی، ساخت وسایل نقلیه هیبریدی و یا کامل برقی از جمله رویکردهای توسعه VTRS سبز برای زندگی شهری است.

مراجع

[1] Gambardella, Luca M and Dorigo, Marco. *Ant-Q: A reinforcement learning approach to the traveling salesman problem*, pp. 252–260. Elsevier, 1995.

[2] Dorigo, Marco and Gambardella, Luca Maria. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 1(1):53–66, 1997.

[3] Maniezzo, Vittorio and Carbonaro, Antonella. An ANTS heuristic for the frequency assignment problem. *Future Generation Computer Systems*, 16(8):927–935, 2000.

[4] Blum, Christian and Dorigo, Marco. The hyper-cube framework for ant colony optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 34(2):1161–1172, 2004.

[5] Dorigo, Marco and Stützle, Thomas. *Ant colony optimization: overview and recent advances*, pp. 311–351. Springer, 2019.

[6] Seeley, Thomas D. *The wisdom of the hive: the social physiology of honey bee colonies*. Harvard University Press, 2009.

[7] Wu, Xin Jie, Hao, Duo, and Xu, Chao. An improved method of artificial bee colony algorithm. in *Applied mechanics and materials*, vol. 101, pp. 315–319. Trans Tech Publ.

[8] Jabbarpour, Mohammad Reza, Jalooli, Ali, Shaghaghi, Erfan, Noor, Rafidah Md, Rothkrantz, Leon, Khokhar, Rashid Hafeez, and Anuar, Nor Badrul. Ant-based vehicle congestion avoidance system using vehicular networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 36:303–319, 2014.

[9] Cong, Zhe, De Schutter, Bart, and Babuška, Robert. Ant colony routing algorithm for freeway networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 37:1–19, 2013.

[10] Kponyo, Jerry, Kung, Yujun, and Zhang, Enzhan. Dynamic travel path optimization system using ant colony optimization. in *2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, pp. 142–147. IEEE.

[11] Jerry, Kponyo. An ant colony optimization solution to the optimum travel path determination problem in vanets. in *The Fifth International Conference on Mobile Services, Resources, and Users (MOBILITY 2015)*.

[12] Wang, Zhen, Li, Jianqing, Fang, Manlin, and Li, Yang. A multimetric ant colony optimization algorithm for dynamic path planning in vehicular networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(10):271067, 2015.

[13] Li, Deng-Feng. Topsis-based nonlinear-programming methodology for multiattribute decision making with interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 18(2):299–311, 2010.

[14] Karaboga, Dervis and Basturk, Bahriye. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (abc) algorithm. *Journal of global optimization*, 39(3):459–471, 2007.

[15] Karaboga, Dervis and Basturk, Bahriye. On the performance of artificial bee colony (abc) algorithm. *Applied soft computing*, 8(1):687–697, 2008.

[16] Krishnanand, KR, Nayak, Santanu Kumar, Panigrahi, Bijaya K, and Rout, Pravat K. Comparative study of five bio-inspired evolutionary optimization techniques. in *2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, pp. 1231–1236. IEEE.

[17] Teodorović, Dušan and Dell'Orco, Mauro. Mitigating traffic congestion: solving the ride-matching problem by bee colony optimization. *Transportation Planning and Technology*, 31(2):135–152, 2008.

[18] Wedde, Horst F, Lehnhoff, Sebastian, van Bonn, Bernhard, Bay, Zeynep, Becker, Sven, Bottcher, S, Brunner, Christian, Buscher, A, Furst, T, and Lazarescu, Anca M. A novel class of multi-agent algorithms for highly dynamic transport planning inspired by honey bee behavior. in *2007 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (EFTA 2007)*, pp. 1157–1164. IEEE.

[19] Ghosal, Prasun, Chakraborty, Arijit, and Banerjee, Sabyasachee. Honey bee based vehicular traffic optimization and management. in *Proceedings of Seventh International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA 2012)*, pp. 455–463. Springer.

[20] Gen, Mitsuo, Cheng, Runwei, and Wang, Dingwei. Genetic algorithms for solving shortest path problems. in *Proceedings of 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'97)*, pp. 401–406. IEEE.

[21] Delavar, MR, Samadzadegan, F, and Pahlavani, P. A gis-assisted optimal urban route finding approach based on genetic algorithms. *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, 35(Part 2):305–308, 2004.

[22] Alhalabi, Sanaa M, Al-Qatawneh, Sokyna M, and Samawi, Venus W. Developing a route navigation system using genetic algorithm. in *2008 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, pp. 1–6. IEEE.

[23] Nanayakkara, Suranga Chandima, Srinivasan, Dipti, Lup, Lai Wei, German, Xavier, Taylor, Elizabeth, and Ong, Sim Heng. Genetic algorithm based route planner for large urban street networks. in *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pp. 4469–4474. IEEE.

[24] Yu, Haicong and Lu, Feng. A multi-modal route planning approach with an improved genetic algorithm. *Advances in geo-spatial information science*, 193, 2012.

[25] Dezani, Henrique, Bassi, Regiane DS, Marranghello, Norian, Gomes, Luís, Damiani, Furio, and Da Silva, Ivan Nunes. Optimizing urban traffic flow using genetic algorithm with petri net analysis as fitness function. *Neurocomputing*, 124:162–167, 2014.

[26] Mohemmed, Ammar W, Sahoo, Nirod Chandra, and Geok, Tan Kim. Solving shortest path problem using particle swarm optimization. *Applied Soft Computing*, 8(4):1643–1653, 2008.

[27] Doolan, Ronan and Muntean, Gabriel-Miro. Time-ants: an innovative temporal and spatial ant-based vehicular routing mechanism. in *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, pp. 951–956. IEEE.

[28] Kammoun, Habib M, Kallel, Ilhem, Casillas, Jorge, Abraham, Ajith, and Alimi, Adel M. Adapt-traf: An adaptive multiagent road traffic management system based on hybrid ant-hierarchical fuzzy model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 42:147–167, 2014.

[29] Zhang, Yudong, Jun, Yan, Wei, Geng, and Wu, Lenan. Find multi-objective paths in stochastic networks via chaotic immune pso. *Expert Systems with Applications*, 37(3):1911–1919, 2010.

[30] Yang, Licai, Lin, Jie, Wang, Dewei, and Jia, Lei. Dynamic route guidance algorithm based on artificial immune system. *Journal of control theory and applications*, 5(4):385–390, 2007.