سال ۲۹، شماره ۱۳۵، صفحات ۴۴–۵۵، نوع مقاله: ترویجی

مجله علمی مهندسی مکانیک

ISSN: 1605-9719

DOI: 10.30506/mmep.2020.130471.1832

مروری بر روش‌های مدیریت هوشمند تقاطع‌ها به صورت همکارانه

محمدحسن شجاعی‌فرد[۱]، مرتضی ملاجعفری[۲ و *]، مجید طالبی لیاسی[۳]

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

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

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

*مسئول مکاتبات: mollajafari@iust.ac.ir

◄ چکیده

تقاطع‌ها دارای نقش اساسی در ازدحام و ترافیک جاده‌ها هستند و مرکز ثقل عبور و مرور در معابر شهری را تشکیل می‌دهند. ظرفیت تقاطع‌ها، کنترل‌کننده حجم عبور وسایل نقلیه در کل شبکه است و پیشگیری از هرگونه خللی در تردد خودروها، مانند ایجاد گره‌های ترافیکی و تصادف‌ها، ضروری است. لذا با توجه به این تحقیقات در این مقاله سعی بر این شده است که ابتدا در مقدمه ای در مورد اهمیت موضوع مدیریت تقاطع بیان گردد و سپس یک دسته‌بندی کلی در مورد انواع روش‌های مدیریت تقاطع صورت گیرد. روش‌های مرسوم و قدیمی بر پایه استفاده از چراغ راهنمایی بودند که کنترل چراغ راهنمایی براساس بررسی شرایط تقاطع و اعمال دستور مناسب به چراغ صورت می‌گرفت. با پیشرفت فناوری‌های ارتباطی روش کنترل تقاطع همکارانه که بدون استفاده از چراغ راهنما انجام می‌شوند مورد توجه قرار گرفته است که ضمن کاهش تأخیر در عبور از تقاطع، امنیت عبور و مرور را نیز بهبود می‌بخشد.

◄ واژگان کلیدی

شبکه‌های بین خودرویی
تخصیص زمان_مکان
تخصیص دنباله
شبکه حمل‌ونقل هوشمند

◄ تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۴

A review on intelligent intersection management methods

Mohammad H. Shojaeifard[1], Morteza Mollajafari[2], Majid Talebi Liasi[3]

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

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

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

► Abstract

Intersections play a key role in reducing the congestion and road traffic and are the bottleneck of traffic on urban thoroughfares. The capacity of intersections determines the volume of vehicles passing through the entire transportation network, and it is essential to prevent any disruption to vehicle traffic, such as traffic jams and accidents. Accordingly, in this paper, the importance of the topic of intersection management is discussed. Then, a general classification of the types of intersection management methods is presented. The conventional and classic methods are based on the use of traffic lights, which applies the appropriate command to the traffic light by investigating the traffic conditions in the intersection. With the advancement of communication technologies, the method of cooperative intersection control, which works without the use of traffic lights, has been emerged. This system, not only reduces the delay in crossing the intersection but also improves the passengers' and pedestrians' safety.

► Keywords

Inter-vehicular networks
Time-space reservation
Trajectory reservation
Intelligent transporation system

► Article history

Received: *22 Jul 2020*
Accepted: *04 Nov 2020*

۱ مقدمه

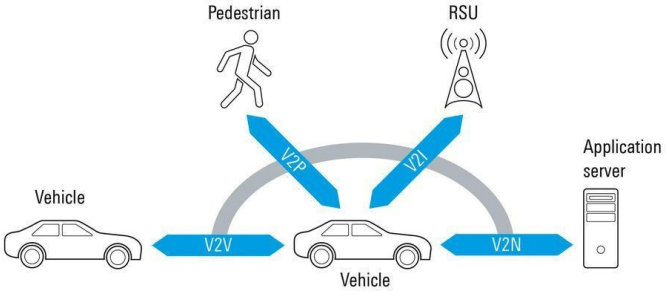
تراکم ترافیک خیابان‌ها و راه‌ها مسأله‌ای است که با افزایش تعداد وسایل نقلیه و شهرنشینی بیشتر تشدید می‌شود. از دست دادن زمان با ارزش در طول ازدحام ترافیک می‌تواند به طور مستقیم بر نرخ تولید کشور، بهره‌وری اقتصادی و عملکرد انسان‌ها و مصرف سوخت تأثیر بگذارد. ترافیک نه تنها زمان و منابع ما را هدر می‌دهد بلکه آلودگی و حوادث فراوانی را نیز ایجاد می‌کند [۱]. توسعه یک منطقه رابطه نزدیکی با سهولت حمل‌ونقل در آن منطقه دارد. بخش حمل‌ونقل دومین منبع بزرگ انتشار گازهای کربن در ایالات‌متحده است. حدود دو سوم این میزان گاز توسط وسایل نقلیه غیر باری است. بیش از ٪۲۲ نفت جهان را ایالات‌متحده مصرف می‌کند که از این مقدار، ٪۷۱/۴ سهم بخش حمل‌ونقل است. از دهه ۱۹۷۰ میلادی، تلاش‌ها برای کاهش آلودگی جوی ناشی از وسایل نقلیه و بهبود کارایی موتورها به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. به علاوه، مقامات جهان اجرای مقررات برای کاهش آلودگی و مصرف سوخته‌ای فسیلی را آغاز کرده‌اند. اما با افزایش تعداد وسایل نقلیه در جاده‌ها، ازدحام ترافیکی، سفرهای سالیانه و درنتیجه آلودگی خالص طی سال‌ها افزایش یافته است. براساس گزارشی که از سوی مؤسسه حمل‌ونقل تگزاس در آمریکا ارائه شده است، مسافران تقریباً ۴۲ ساعت را در طول یک سال در ترافیک سپری می‌کنند، رانندگان بیش از ۴۰۰ میلیارد گالن سوخت در سال را تلف می‌کنند، که هزینه آن بالغ بر معادل ۱۹۰ میلیارد دلار است، معادل ۹۶۰ دلار به ازای هر نفر [۲].

مدیریت تقاطع یکی از چالش‌برانگیزترین مشکلات در سیستم‌های حمل‌ونقل به منظور حفظ امنیت و جریان نرم در ترافیک است. اگرچه تقاطع‌ها بخش کوچکی از کل سامانه جاده هستند، ولی محل وقوع مقدار قابل توجهی از تصادف‌های ترافیک هستند. برطبق پایگاه اطلاعاتی تصادف‌های جاده‌ای اتحادیه اروپا، مرگ‌ومیر در تقاطع‌ها عامل بیش از ۲۰ درصد کل در اتحادیه اروپا در طول دهه گذشته هستند. نسبت مشابهی در آمریکا نشان می‌دهد که ۴۰ درصد تصادف‌ها و ۲۱/۵ درصد مرگ‌ومیر ترافیک مربوط به تقاطع‌ها هستند [۳]. با افزایش سالیانه سفر و عدم بهبود عملکرد ایمنی فعلی، ممکن است تلفات تا سال ۲۰۲۰ به میزان ۵۰ درصد افزایش یابد [۴].

مدیریت تقاطع به دو روش عمده انجام می‌شود. روش اول مبتنی بر استفاده از چراغ راهنمایی است. در تقاطع‌های مجهز به چراغ راهنما، عبور و مرور به کمک علامت‌های چراغ راهنما کنترل می‌شود. چراغ‌های راهنمایی با تنظیمات سیگنال نامناسب عامل بسیاری از ازدحام‌ها هستند. با پیشرفت در توسعه حسگرها، کامپیوترها و فناوری‌های ارتباطی، روش‌های پیشرفته زیادی برای تنظیم زمان سیگنال با توجه به داده‌های ترافیکی دریافتی ابداع شده‌اند. معرفی چراغ‌های راهنما گرچه به بهبود شرایط ترافیک در تقاطع‌ها کمک زیادی نموده است ولی مطالعات اخیر نشان می‌دهد که چراغ‌های راهنمایی به طور پویا با ترافیک جاری منطبق نیستند و تأثیر چراغ‌های راهنمایی از انتظارات فاصله زیادی دارند [۳].

روش دوم مدیریت تقاطع، روش مدیریت تقاطع همکارانه یا روش کنترل تقاطع بدون استفاده از چراغ راهنما است. مطالعه بر روی چگونگی مدیریت ترافیک در تقاطع‌های فاقد چراغ راهنما از یک دهه گذشته آغاز شده است که عمدتاً بر عبور خودروها از این تقاطع‌ها با استفاده از ارتباطات خودرو با خودرو[1] (V2V) و خودرو با زیرساخت[2] (V2I) تمرکز کرده‌اند. هدف اصلی این روش‌ها، افزایش کارایی تقاطع از طریق کاهش زمان تأخیر، اجتناب از برخورد در محدوده تقاطع و عبور ایمن خودرو است. پژوهش‌های اولیه بیشتر بر پروتکل‌های مبتنی بر تخصیص زمان_مکان[3] تمرکز داشته‌اند اما پژوهش‌های جدید بیشتر بر پروتکل‌های مبتنی بر دنباله تمرکز کرده‌اند. در پروتکل‌های مبتنی بر تخصیص زمان_مکان، خودرو به گونه‌ای تنظیم می‌شود که خط عبوری تعیین‌شده از طریق مدیر تقاطع را در همان زمان‌های اعلام‌شده طی نماید و این امر تنها برای خودروهای دارای تجهیزات پیشرفته امکان‌پذیر است و تخطی از خط عبور، خطرات جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد. بنابراین در چند سال اخیر بر پروتکل‌های مبتنی بر دنباله یا مسیر تمرکز کرده‌اند [۵].

وسایل نقلیه اکنون با حسگرهای پیشرفته مجهزند که اطلاعات محیطی با جزئیات بیشتری را به همراه درک غنی‌تری از فضای محلی فراهم می‌کنند. این اطلاعات سپس توسط خودروهای متصل به شبکه خودرویی[4] (VANETs)، جایی که خودروها به وسیله ارتباط V2V و V2I (V2I و V2V با هم به صورت V2X درنظر گرفته می‌شوند) به هم متصل می‌گردند، مورد پردازش قرار می‌گیرد. در شکل ۱، انواع ارتباط V2X خودرو نشان داده شده است. نقطه تمایز استفاده از این دسته‌بندی به میزان ظرفیت تقاطع، کارآیی در تسهیل عبور و مرور و میزان صرفه‌جویی در انرژی مربوط است. ارتباط V2X وظیفه افزایش همکاری بین عابران پیاده، وسایل نقلیه و زیرساخت حمل‌ونقل را انجام می‌دهند که قرار است تصادفات جاده‌ای را تا ٪۹۷ کاهش داده و باعث ایجاد یک سیستم حمل‌ونقل زمینی امن‌تر و سریع‌تر شود [۴].

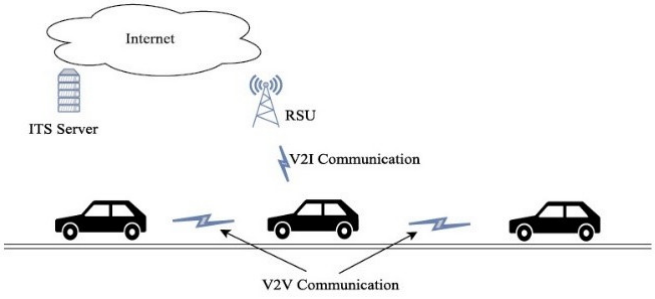


شکل ۱: انواع ارتباط V2X.

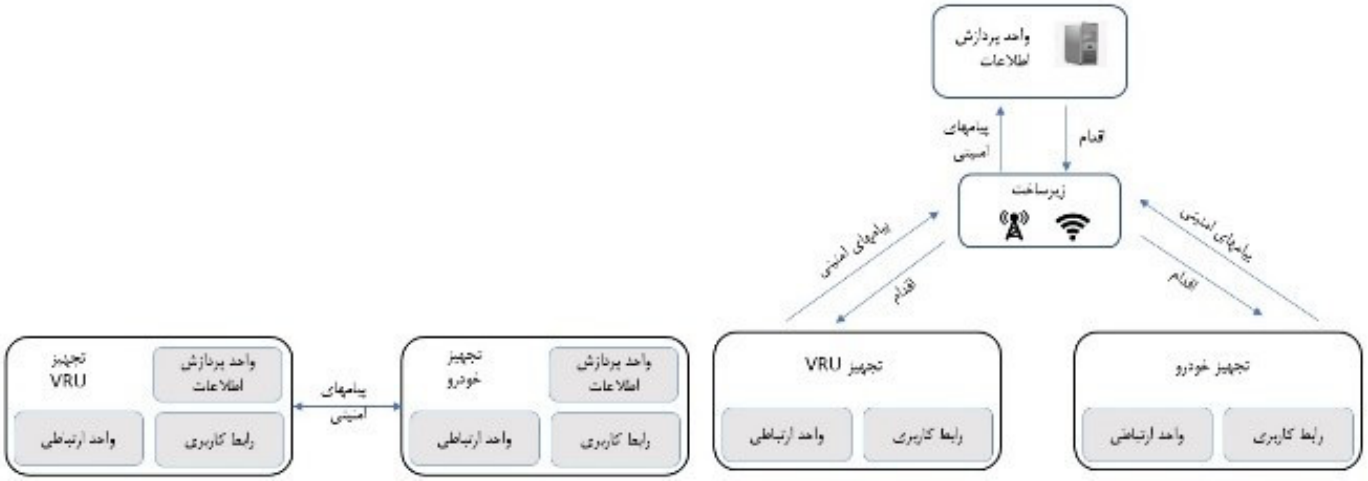
استفاده از حسگرها و ارتباطات V2V بر روی ظرفیت بزرگراه تأثیر دارد که می‌توانند به کاهش فاصله مناسب بین خودروها و در نتیجه افزایش ظرفیت بزرگراه کمک کنند [۶]. مدیریت همکارانه تقاطع همچنین می‌تواند از برنامه‌های تحت شبکه پشتیبانی کند که بر روی طیف سلولی دارای مجوز تجاری تحویل داده می‌شوند. این حالت می‌تواند برای ارایه خدمات شبکه برای ویژگی‌های مرتبط با ایمنی، همچنین خدمات تجاری که نیاز به ارائه خدمات یک اپراتور تلفن همراه و دسترسی به اطلاعات مبتنی بر شبکه ابری دارد، مورد استفاده قرار گیرد. این حالت همچنین تقاطع را قادر می‌سازد تا امنیت داده‌ها و حریم خصوصی شبکه‌های تلفن همراه را تأمین کند [۷]. ارتباطات وسایل نقلیه نوع V2V با استفاده از فناوری بی‌سیم در محیط شبکه

[1] Vehicle to Vehicle [2] Vehicle to Infrastructure [3] time-space reservation [4] vehicular ad-hoc networks

خودرویی تأمین می‌شوند که هیچ کنترل مرکزی ندارند، بلکه ارتباط بوسیله شبکه خودرویی یا VANET انجام می‌شود [۴]. با توجه به ویژگی‌های قابل‌اعتماد ارتباط V2I، برای کاربردهای زمان جاری بسیار مناسب است. به علاوه، V2I قابلیت ایجاد مسیرهای ارتباطی چند گره‌ای برای تبادل داده با سایر وسایل نقلیه را دارد. ارتباط V2I برای کاربردهای متعددی مانند پرداخت‌ها، برنامه‌های سرگرمی و راحتی سودمند است [۴]. در ارتباط V2I از تجهیزات ثابت کنار جاده‌ای[5] یا RSU که در تقاطع نصب می‌شوند استفاده می‌گردد مانند پمپ‌های بنزین و ایستگاه اتوبوس. واحدهای RSU از طریق بردهای الکترونیکی نصب‌شده در خودروها با آنها در ارتباط و تبادل اطلاعات هستند. در شکل ۲ ارتباط V2V و V2I نشان داده شده است. نوع دیگر ارتباط در شبکه خودرویی، ارتباط خودرو با عابران پیاد[6] V2P است. V2P می‌تواند به دو صورت ارتباط مستقیم یا غیر مستقیم پیاده‌سازی شود. در نوع مستقیم، دو تجهیز در خودرو و عابر نیاز است. در نوع غیرمستقیم که به کمک ارتباط با زیرساخت ساخته می‌شود، یک واحد پردازش اطلاعات نیز حضور دارد تا کار کشف، دنبال کردن و پیش‌بینی مسیر حرکت را انجام دهد (شکل ۳). با این کار امکان بروز تصادف بر اساس مسیر پیش‌بینی‌شده را بررسی می‌کند. سپس در صورت وجود خطر، به دستگاه موجود در خودرو و دستگاه سمت عابر اطلاع داده می‌شود. ارتباط زیر ساخت با تجهیز خودرو و عابر می‌تواند از طریق شبکه تلفن همراه یا Wi-Fi انجام شود. انواع عابران نیز عبارتند از؛ عابران پیاده، موتورسواران و ویلچرسواران [۸].



شکل ۲: ارتباط V2V و V2I.



شکل ۳: معماری ارتباط V2P ـ سمت راست معماری غیرمستقیم و سمت چپ معماری مستقیم.

سیستم حمل‌ونقل تحت شبکه به‌شدت به شبکه ارتباطی بی‌سیم قوی وابسته است. ارتباط مطمئن و یکپارچه V2X یک جنبه مهم از فناوری‌های اتصال وسایل نقلیه می‌باشد. بسیاری از تکنولوژی‌های ارتباطی مانند Wi-Fi، WiMAX، LTE و DSRC[7] وجود دارند، اما همه آن‌ها توانایی تأمین حداقل تأخیر، قابلیت اطمینان و انتقال داده دقیق را ندارند که برای کاربرد ایمن در وسایل نقلیه متصل مورد نیاز است. به عنوان مثال، فناوری دامنه کوتاه اختصاصی (DSRC) مشخصه‌های ویژه‌ای را ارایه می‌دهد، از قبیل اتصال کوتاه شبکه، تأخیر ارتباطات پایین، امنیت بسیار ایمن و همچنین ارتباط سریع برای کاربردهای مربوط به ایمنی مختلف، اما اتکا به DSRC به تنهایی گزینه مناسبی برای ارتباط شبکه‌های مربوط به خودرو نیست. DSRC از استانداردهایی مانند IEEE802.11p پیروی می‌کند. این استاندارد اولین با در سال ۲۰۱۲ معرفی شد [۴]. محدودیت DSRC این است که تا فاصله ۳۰۰ متر را پوشش می‌دهد، به همین خاطر امروزه DSRC با فناوری‌های دیگر یعنی Wi-Fi، WiMAX و LTE به صورت ترکیبی در تقاطع‌ها استفاده می‌شود. DSRC از طیف فرکانسی ۵/۹ گیگاهرتز بهره میبرد که از هفت کانال با پهنای باند ۱۰ مگاهرتز تشکیل شده است. عیب دیگر DSRC این است که سربار زیادی برای بسته‌های داده ایجاد می‌کند که در ارتباط بین خودوریی بسیار چالش‌برانگیز است. برای رفع این مشکل، متخصصان فناوری دسترسی بیسیم در محیط خودرویی[8] (WAVE) را معرفی کردند. WAVE از مدولاسیون تقسیم فرکانس متعامد برای تقسیم سیگنال به تعدادی از کانال‌های باند باریک استفاده می‌کند و فرکانس آن نیز ۵/۹ گیگاهرتز است. آخرین نسخه این فناوری از استاندارد IEEE 802.11p توسعه داده شده است. فناوری LTE نیز به طور گسترده برای ارتباط بین خودروها با تجهیزات کنار جاده‌ای استفاده شده است. مزایای LTE در رابطه با ارتباطات V2X این است که، پشتیبانی تحرک بیشتر، ظرفیت شبکه بالا و پوشش بیشتر را در مقایسه با 802.11p فراهم می‌کند، اما دارای عیب تأخیر بالاتر تحت تأثیر بار شبکه افزایش یافته است.

[5]road side units [6]vehicle to pedestrain communication [7]dedicated short range communication [8]wireless access in vehicular environment

آخرین نسل از فناوری شبکه‌های همراه که در V2X بکار گرفته می‌شود 5G است که سازگاری بیشتری با ارتباط انتهایی، زیرساخت‌های محاسباتی و شبکه سازی دارد. تمامی این ویژگی‌ها منجر به بهبود عملکرد ناشی از ویژگی‌های توان عملیاتی بیشتر، قابلیت اطمینان بیشتر، پشتیبانی از تحرک بالاتر، تأخیر کمتر و ظرفیت بیشتر و نیز امکان بهره‌مندی متنوع از خدمات تحت شبکه می‌شوند [۷]. در جدول ۱ انواع روش‌های ارتباطی در شبکه خودرویی به طور خلاصه با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۱: مقایسه انواع روش‌های ارتباطی بیسیم در شبکه خودرویی

نوع برنامه	کاربردهای اصلی	فناوری ارتباطی	تأخیر
امنیت جاده	جلوگیری از برخورد، علائم جاده‌ای، هشدار خودروهای اضطراری (مانند آمبولانس)	DSRC, WAVE, Wi-Fi, cellular network	خیلی کم، کمتر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه
مدیریت ترافیک	کنترل جریان ترافیک هوشمند، نظارت جاده (ردیابی خودرو)	DSRC, WAVE, cellular network	کم

در کاربردهایی که به امنیت وابسته هستند از فناوری Wi-Fi در ارتباط V2X استفاده می‌شود. علیرغم محدوده ارتباط کوچک Wi-Fi، از آن در تشکیل مسیرهای ارتباطی با تجهیزات واقع در همسایگی شبکه‌های محلی استفاده می‌شود. این تجهیزات مثلاً می‌توانند تلفن‌های همراه هوشمند باشند که از طریق فرستنده‌های واقع در کنار جاده اطلاعات لازم ترافیکی را به عابران و یا راننده‌ها می‌رسانند و ارتباط V2P را شکل می‌دهند [۴].

به دلیل کاربرد گسترده V2X در برنامه‌های خودرویی، ایمنی ترافیکی همراه با برنامه‌های سرگرمی باید مدنظر قرار گیرد. ماهیت پویای ساختار شبکه به دلیل تحرک‌پذیری، چالش بزرگی است که به ویژه با توجه به چارچوب‌های امنیتی مشکل‌ساز است. وسائل نقلیه به طور کلی با سرعت بالا حرکت می‌کنند در نتیجه ارتباطات را برای مدت‌های کوتاه ایجاد می‌کنند. بنابراین، تطبیق ویژگی‌های امنیتی با کیفیت ارتباطات که تحت‌تأثیر وسایل نقلیه با سرعت بالا قرار می‌گیرد، کار مهمی است. تمام عوامل مرتبط با تأخیر ارتباطی نیز در تقاطع‌ها باید مورد توجه قرار گیرند تا بتوان ایمنی و امنیت را در زمان واقعی کنترل کرد. شبکه ارتباطی V2X باید قادر به اولویت‌بندی اطلاعات دریافتی از صدها عنصر موجود در شبکه باشد. فرآیند اطلاعات باید اولویت‌بندی، بافر و تکنیک‌های صف‌بندی برای تضمین ارتباط قوی و مؤثر ارتباط داده را در نظر بگیرد. داده‌های دریافتی از بخش‌های بحرانی امنیتی باید با بالاترین اولویت به کار روند تا از آسیب موازی در شبکه جلوگیری شود [۴].

حملات در شبکه خورویی به طور گسترده به دو نوع طبقه‌بندی می‌شوند: حملات به سامانه و حملات به کاربر. مثال‌هایی از حملات به کاربر عبارتند از: تراکم و تصادفات وسایل نقلیه، یا کاهش اعتماد به کاربر در سامانه به دلیل عدم اطمینان از پیام‌های ردوبدل‌شده. حملات به یک سامانه مخابراتی بی‌سیم شامل ردیابی مکان‌های لحظه‌ای برای وسایل نقلیه خاص و تولید نادرست گزارش‌های سوءرفتار از وسیله نقلیه است که منجر به ابطال مجوز عبور یا تحریم رانندگان بی‌گناه می‌شود. اقدامات مؤثری برای محافظت از حریم خصوصی کاربران باید صورت گیرد. یک راه‌حل استفاده از گروه‌بندی و یا غیر متمرکز کردن فرایند توزیع کلید امنیتی است. به عنوان مثال در یک مورد نام مستعار خودروها را مرتب تغییر می‌دادند تا دنبال‌کردن خودروها توسط حمله کننده‌ها مشکل باشد. در پروژه دیگر خودروهایی که در مجاورت هم بودند به چند گروه مختلف تقسیم می‌شدند. در گروه‌بندی فقط یک امضا تولید می‌شود. این امر منجر به حفظ ناشناخته ماندن و حفظ حریم خصوصی خودروهای عضو گروه می‌گردد [۴].

معرفی چراغ راهنمایی به بهبود جریان ترافیک و ایمنی تقاطع کمک زیادی نموده است. کارهای عمده برای بهبود کنترل چراغ رهنمایی در حوزه‌های تحقیقاتی از جمله مدل ریاضی، منطق فازی، شبکه‌های عصبی، نظریه بازی و همچنین روش‌های یادگیری مبتنی بر عامل انجام شده‌است. این روش‌ها بر ارائه فرایندی متمرکز هستند که چراغ ترافیک هوشمند را فعال می‌سازد. نکته مهم این است که مسائل مربوط به کنترل تقاطع، تنها به کمک کنترل سیگنال تراکم شهری حل نمی‌شود، بلکه نیاز به یک سری ورودی‌های ضروری نیازمندیم که عبارتند از: اطلاعات در مورد صف‌های ترافیک در تقاطع، همچنین احتمالات تغییر و نرخ‌های جریان اشباع.

یک کنترل‌کننده ترافیک قادر به انطباق با شرایط ترافیکی واقعی خواهد بود. فرایندهای بهینه‌سازی برای کمینه کردن میانگین طول صف ترافیک با دادن چراغ‌سبز به خطوط با بزرگ‌ترین صف ترافیک طراحی شده‌اند. در این میان اطلاعات ترافیکی با ارتباطات بین خودروها و زیرساخت‌ها جمع‌آوری می‌شوند. اصلی‌ترین راه‌های کنترل تقاطع‌ها به کمک چراغ راهنما عبارتند از: روش فازی، روش شبکه‌های عصبی و نظریه بازی. تمامی این روش‌ها براساس استفاده از چراغ راهنمای هوشمند هستند. در فرایند بهینه‌سازی این راه‌ها، هدف کاهش طول صف خودروها در ترافیک است. به این صورت که چراغ سبز به طولانی‌ترین صف اختصاص می‌یابد و این کاری است که روش‌های ذکر شده در بالا انجام می‌دهند. اطلاعات ترافیک نیز از طریق ارتباط خودروها و زیرساخت‌ها با یکدیگر جمع‌آوری می‌شوند. منظور از زیر ساخت‌ها همان تجهیزات کنترلی در هر تقاطع است [۱].

در روش کنترل تقاطع با چراغ راهنما، از طریق حسگرهایی که در خودروها نصب شود و همچنین به کمک ارتباطات بیسیم خودروها با مراکز کنترل در ارتباط هستند. هر تعدادی از خودروها که تا زمان‌های مشخصی پشت چراغ قرمز قرار می‌گیرند، تشکیل گروه می‌دهند. سپس این خودروها به کمک ارتباط بیسیم از بین خود یک رهبر یا سرگروه انتخاب می‌کنند که این رهبر مسئول زمانبندی و تخمین میزان خودرها در صف است. در ادامه رهبرها با توجه این پارامترها درخواست چراغ سبز برای حرکت می‌کنند. در واقع خودروها تشکیل VALET می‌دهند. این خودورها هم می‌توانند خودران باشند و هم غیرخودران که به کمک تجهیزاتی در آنها نصب می‌شود، مسیر حرکت و سرعت مناسب برای آنها بر روی صفحه نمایش یا شیشه خودرو نمایش داده می‌گردد [۱].

۱.۱ انواع مختلف کنترل‌کننده‌های تقاطع

الگوهای ترافیکی تقاطع به طرز شدیدی غیرخطی و دارای عدم قطعیت هستند، به ویژه در ساعات شلوغ عبور و مرور. استفاده از روشهای کنترل پایه مانند

فضای حالت گرچه مفید است ولی به تنهایی کاربردی نمی‌باشد و در واقع اینها ابزاری هستند که در خدمت روش‌های کنترلی نوین مانند نظریه فازی و شبکه‌های عصبی چندلایه قرار می‌گیرند. لذا دو نوع سیستم کنترل برای سیگنال چراغ ترافیک پیشنهاد شده است. نوع اول، کنترل زمان سیکل از پیش تعیین شده است که از یک زمان چرخه از پیش تنظیم‌شده در چراغ ترافیک استفاده می‌کند، و نوع دوم، کنترل‌کننده فعال نام دارد که می‌تواند به طور فعال زمان چراغ سبز را تغییر دهد. نوع اول یک مکانیزم کنترل نور چراغ راهنمایی را با یک چرخه عملیاتی ثابت ایجاد می‌کند، در حالی که نوع دوم یک کنترل‌کننده با یک دوره عملیاتی متغیر است.

کنترل‌کننده زمان سیکل از پیش تعیین شده شامل زمان تنظیم‌شده اولیه می‌شود. در حقیقت، مدت‌زمان هر فاز در یک دوره عملیاتی مطابق با الگوی ترافیکی موجود تنظیم می‌شود [۹]. عیب اصلی این کنترل‌کننده عدم انطباق آن با شرایط جریان ترافیک در حال تغییر است. به عبارت دیگر، اگر ترافیک در یک تقاطع رخ دهد، طول مدت چراغ سبز افزایش نمی‌یابد و فاز بعدی بدون در نظر گرفتن حجم وسایل نقلیه در هر تقاطع ادامه می‌یابد. از آنجا که این کنترل‌کننده به میزان زیادی به داده‌های ترافیک وابسته است، عملکرد آن با هر تغییر ناگهانی در الگوی ترافیکی به تأخیر می‌افتد. این محدودیت‌های عملکرد را می‌توان از روش‌های با استفاده از روش‌های وسیله نقلیه فعال زمان جاری[9] برطرف کرد [۹].

کنترل‌کننده فعال شامل آشکارسازهایی است که می‌توانند باعث تغییر در طول فاز شوند. در این رویکرد، در هر خیابانی که منتهی به تقاطع می‌شود، آشکارساز نزدیکی وجود دارد که وسایل نقلیه موجود در آن تقاطع را نشان می‌دهد. در این روش، سه پارامتر بازه زمانی اولیه، واحد گسترش و محدوده گسترش مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر چراغ ترافیکی در فاز سبز باشد، ابتدا بازه زمانی اولیه باید سپری شود و سپس مدت‌زمان توقف چراغ سبز با مقدار برابر با واحد تمدید طول خواهد کشید. اگر در طول این زمان، ردیاب نصب‌شده حضور یک وسیله نقلیه را تشخیص دهد، زمان توقف چراغ سبز دوباره با مقدار واحد گسترش تمدید خواهد شد. این روند تا زمانی که محدوده گسترش بدست آید ادامه خواهد یافت. عیب اصلی این روش این است که با توجه به شرایط ترافیکی، گاهی اوقات لازم است که نور سبز برای بیش از حد مجاز باقی بماند و یا ممکن است چند خودرو وجود داشته باشد و با این حال، برای فاز سبز باید زمان واحد تمدید شود.

۲.۱ مدیریت تقاطع دارای چراغ راهنما بر اساس منطق فازی

کاربرد منطق فازی در کنترل‌کننده‌های سیگنال ترافیکی چند دهه است که مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده‌است. کنترل‌کننده‌های سیگنال فازی با کمینه کردن زمان انتظار خودروها و بیشینه کردن ظرفیت ترافیکی کار بهینه‌سازی را انجام می‌دهند. در این بخش یک الگوریتم جدید مبتنی بر منطق فازی ارائه شده‌است که نه تنها می‌تواند زمان انتظار و تعداد وسایل نقلیه را در پشت یک چراغ راهنمایی و در یک تقاطع کاهش دهد، بلکه وضعیت ترافیکی را در تقاطع مجاور نیز در نظر بگیرد. در نهایت، مقایسه‌ای بین کنترل‌کننده فازی طراحی‌شده و کنترل‌کننده زمان سیکل از پیش تعیین‌شده صورت‌گرفته است [۱۰].

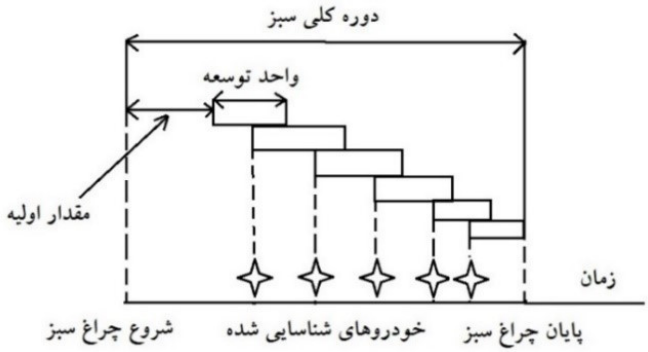
قبل از تشریح کنترل‌کننده فازی، لازم است عبارات خاصی که در این نوع سیستم کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرند، توضیح داده شود. یک «لینک» مسیری را نشان می‌دهد که دو تقاطع را بهم متصل می‌کند. طول لینک تعداد وسایط نقلیه بر روی یک لینک بین دو تقاطع نشان می‌دهد، در حالی که «طول صف» نشان‌دهنده تعداد وسایل نقلیه در مسیری است که پشت چراغ‌قرمز در طول یک فاز قرمز باقی می‌ماند. «چرخه زمانی» نشان‌دهنده زمان لازم برای یک تقاطع «چراغ ترافیکی» است تا هر چهار مسیر را روشن یا خاموش کند. یک «فاز» تمام جهات ممکن برای یک وسیله نقلیه در طول یک چرخه کامل زمانی را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که تعداد فازها در هر چرخه و همچنین مسیرهای هر فاز می‌توانند به‌صورت دلخواه انتخاب شوند. برای مثال، می‌توان تنها سه مسیر برای هر فاز و چهار فاز برای هر سیکل زمانی برای سادگی انتخاب کرد. حداکثر تعداد خودروهایی که می‌توانند بین دو تقاطع قرار گیرند به عنوان ظرفیت لینک مربوطه تعریف می‌شود [۱۱]. قوانین فازی اغلب با شرایط ترافیک تعیین می‌شوند. کنترل‌کننده ترافیک از یک فاز انتخاب‌شده[10] و فاز توسعه[11] استفاده می‌کند، در حالی که زمان انتظار وسایل نقلیه با استفاده از یک تایمر نصب‌شده در تقاطع بهینه‌سازی می‌شود. این سیستم قادر به مدیریت فوری ترافیک و کاهش مؤثر زمان انتظار وسایل نقلیه و حجم ترافیک است [۱۱].

اولین تلاش‌ها برای استفاده از منطق فازی در کنترل ترافیک توسط ممدانی[12] انجام شد. ممدانی اولین فردی بود که از منطق فازی در یک کاربرد کنترل بهره می‌برد. او و همکارانش یک چهارراه ترافیک مجزا را به عنوان یک خیابان ساده دو طرفه شبیه‌سازی کردند . براساس کارهای قبلی، چن[13] تحقیقات بیشتری انجام داد، اما این مطالعات بیشتر بر کنترل ترافیک با فاز ثابت تمرکز داشتند. کلسی[14] و بیست[15] کنترل ترافیک برای یک تقاطع تکی با یک مسیر به عنوان یک سیستم دو فازی شبیه‌سازی نمودند. همچنین یک تقاطع خطوط چهار مسیره را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها دریافتند که یک کنترل‌کننده منطق فازی تأخیر و زمان توقف وسایل نقلیه را کوتاه می‌کند [۱۲].

کنترل‌کننده فعال وسیله نقلیه شامل آشکارسازهایی است که می‌توانند باعث تغییر در طول فاز شوند. در این رویکرد، در هر خیابانی که منتهی به تقاطع می‌شود، آشکارساز نزدیکی وجود دارد که وسایط نقلیه موجود در آن تقاطع را نشان می‌دهد. در این روش، سه پارامتر بازه زمانی اولیه، واحد گسترش و محدوده گسترش مورد استفاده قرار می‌گیرند که در زیر توضیح داده خواهد شد [۱۰].

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، اگر چراغ ترافیکی در فاز سبز باشد، ابتدا بازه زمانی اولیه باید سپری شود و سپس مدت‌زمان توقف چراغ سبز با مقدار برابر با واحد تمدید طول خواهد کشید. اگر در طول این زمان، ردیاب نصب‌شده حضور یک وسیله نقلیه را تشخیص دهد، زمان توقف چراغ سبز دوباره با مقدار واحد گسترش تمدید خواهد شد. این روند تا زمانی که محدوده گسترش بدست آید ادامه خواهد یافت.

[9] real time [10] phase selection [11] phase extension [12] Mamdani [13] Chen [14] Kelsey [15] Bisset

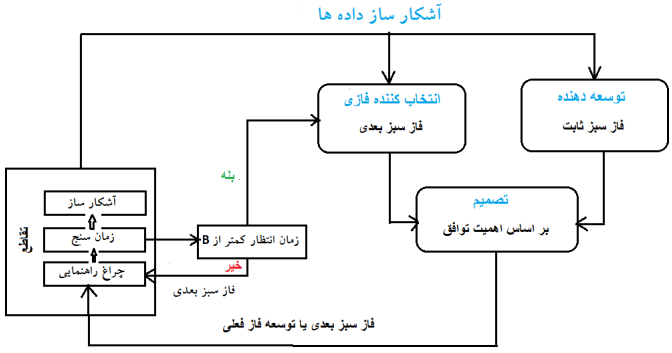


شکل ۴: کنترل‌کننده فعال وسیله نقلیه با مؤلفه‌های زمان اولیه، تمدید.

۱.۲.۱ مراحل کنترل فازی در تقاطع

سیستم کنترل فازی شامل سه مرحله است. این سه مرحله عبارتند از فاز سبز بعدی، تمدید فاز سبز و مرحله تصمیم‌گیری. ورودی‌ها از طریق انتخاب‌گر فاز سبز اعمال می‌شوند. مرحله بعدی فاز سبز فوریترین فاز را از بین فازهای در انتظار برای تبدیل شدن به سبز انتخاب می‌کند. در صورت لزوم، تمدید کننده فاز سبز مدت نور سبز را افزایش می‌دهد. در مرحله تصمیم‌گیری، با تصمیم‌گیری برای افزایش طول عمر نور سبز یا تغییر به فاز بعدی، مهم‌ترین مرحله از دو مرحله سبز بعدی و تمدید فاز سبز انتخاب می‌شود. به عنوان مثال، اگر مرحله تمدید فاز سبز مهم‌تر از مرحله فاز سبز بعدی باشد، آنگاه سیستم کنترل فازی می‌تواند چراغ‌سبز سبز را تمدید کند. بالعکس، اگر مرحله سبز بعدی مهم‌تر از مرحله تمدید فاز سبز باشد، مرحله تصمیم‌گیری از یک فاز سبز به مرحله سبز دیگر می‌رود [۱۰].

شکل ۵ نمونه‌ای از یک سامانه کنترل فازی وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. عیب اصلی این روش این است که با توجه به شرایط ترافیکی، گاهی اوقات لازم است که نور سبز برای بیش از حد مجاز بیشتر باقی بماند و یا ممکن است چند خودرو وجود داشته باشد و با این حال، برای فاز سبز باید زمان واحد تمدید شود [۱۰].



شکل ۵: سامانه کنترل فازی تقاطع.

۳.۱ مدیریت تقاطع به کمک شبکه‌های عصبی

کنترل جریان ترافیک تقاطع یکی از مسائل کلیدی در زمینه برقراری ترافیک پویا و مدیریت آن است. روش‌های سنتی برای پیش‌بینی جریان ترافیک به طور کلی براساس یک تقاطع مجزا پیش بینی می‌کنند. با این حال، مشخص شده‌است که جریان‌های ترافیکی از تقاطع‌های مجاور گرایش مشابهی را نشان می‌دهند. این امر نشان می‌دهد که انباشت و اتلاف وسیله نقلیه بر حجم ترافیک در تقاطع مجاور تأثیر می‌گذارد.

مدل فعلی پیش‌بینی جریان ترافیک شامل دو رویکرد اصلی است: سازوکارهای مؤلفه‌ای[16] و غیر مؤلفه‌ای[17] [۱۳]. اساس مدل معروف در سازوکار مؤلفه ای، یعنی مدل جعبه–جنکینز[18] یک راه‌حل کامل برای بسیاری از مشکلات سری‌های زمانی ارایه می‌دهد. بدیهی است که مقادیر حجم ترافیک داده‌های سری زمانی هستند. مدل ابتدا برای پیش‌بینی جریان ترافیک توسط احمد و کوک[19] در ۱۹۷۹ میلادی معرفی شد. سپس این مدل به طور منظم به تحلیل داده‌های حمل‌ونقل سری زمانی، به خصوص در پیش‌بینی ترافیک ثابت شد. پس از آن، محققان دریافتند که مدل نمی‌توانند مشکل پیش‌بینی مقادیر شدید حجم را حل کنند.

در مدل‌های غیرمؤلفه‌ای، پرکاربردترین آن، مدل شبکه عصبی مصنوعی یعنی یکی از مدل‌های هوش محاسباتی[20] است. از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی داده‌های حمل‌ونقل به ویژه پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه‌مدت استفاده شده‌است. شبکه عصبی مصنوعی یک سیستم دینامیکی غیرخطی است که به عنوان پردازش موازی و ذخیره‌سازی اطلاعات توزیع‌شده شناخته می‌شود. اگرچه هر یک از نورون‌ها دارای عملکرد بسیار ساده و محدودی هستند، شبکه متشکل از تعداد زیادی از نورون‌ها می‌تواند به عملکرد بسیار فراوانی دست پیدا کند [۱۴].

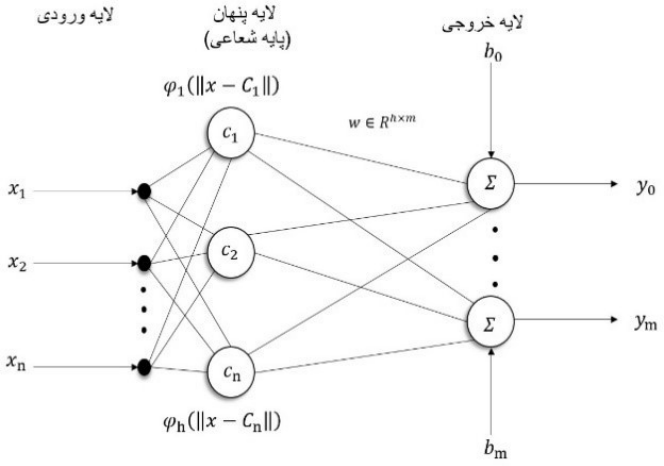
برای تحلیل عبور و مرور در تقاطع می‌توان از مدل‌های آماری برای تجزیه و تحلیل استفاده نمود. اکثر آن‌ها مدل‌های رگرسیون[21] خطی هستند. این مدل‌ها تعداد تصادفات یا نرخ تصادف را به عنوان تابعی خطی از ویژگی‌های انتخاب‌شده در نظر می‌گیرند. با این حال، در مدل رگرسیون خطی فرض می‌کند که تعداد تصادفات به طور نرمال توزیع شده‌است. این فرض بدیهی است زیرا تصادفات ترافیکی به طور کلی گسسته، تصادفی، پراکنده و غیر منفی هستند. برای غلبه بر این مشکل، مدل‌های رگرسیون پواسون و مدل‌های رگرسیون منفی[22] در مطالعات جدیدتر اتخاذ شدند.

شبکه‌های عصبی ادراک چند لایه[23] و گسترش بازگشتی[24] و تابع پایه شعاعی[25] پرکاربردترین مدل‌های شبکه عصبی در پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه‌مدت هستند. در مقایسه با BPNN، RBFNN نیاز به آموزش کمتری داشت و عملکرد بهتری نشان داد. تحقیقات نیز نشان داده‌است که RBF عملکرد کمی بهتر نسبت به MLP انجام داده است و ساختار آن ساده‌تر از MLP است زیرا فقط یک لایه پنهان دارد. با این حال بحث‌های زیادی در مورد ساختار آن وجود دارد. اما برای پیش‌بینی جریان ترافیک، ما می‌توانیم از فواید این ساختار برای استفاده از حجم ترافیک مکان‌های مختلف برای پیش‌بینی استفاده کنیم. بر عکس، در روش سری زمانی هیچ گونه رابطه ساختاری بین یک نقطه و دیگری وجود ندارد. در این رابطه یک شبکه عصبی شی‌گرا برای پیش‌بینی ترافیک از طریق یک شبکه بازگشتی تأخیر زمانی پیشنهاد

[16]parametric [17]none-parametric [18]Box-Jenkins model (ARIMA model) [19]Ahmed and Cook [20]computational intelligence (CI) [21]regression [22]negative binominal regression (NBR) models [23]multi-layer perception (MLP) [24]back-propagation neural networks (BPNN) [25]radial basis function neural networks (RBFNN)

شد. عده‌ای دیگر یک استراتژی چند لایه را پیشنهاد کردند که با استفاده از رویکردهای شبکه عصبی الگوهای موقتی را در نظر گرفت [۱۴].

همچنین یک روش مبتنی بر شبکه عصبی پایه شعاعی با استفاده از داده‌های جریان ترافیک تقاطع مجاور برای به دست آوردن نتایج پیش‌بینی دقیق‌تر و حل مشکل داده‌های ازدست‌رفته پیشنهاد شده‌است. شبکه عصبی پایه شعاعی یک شبکه عصبی سه لایه پیشرو با یک لایه پایه شعاعی است. این روش می‌تواند به طور یکنواخت هر تابع پیوسته را با دقت مورد انتظار تقریبی تخمین بزند. این شبکه دارای قابلیت تعمیم محلی و سرعت همگرایی سریع است. کل شبکه شامل سه‌لایه: یک لایه ورودی، یک لایه مخفی غیرخطی (لایه پایه شعاعی) و یک لایه خروجی خطی است، که در شکل زیر دیده می‌شود. شکل ۶ ساختار نمونه یک $n-m-h$ را نشان می‌دهد، که n تعداد ورودی، h گره‌های لایه پنهان، و m خروجی هستند، $x=(x_1,x_2,\ldots,x_n)^T\in R^n$ بردار ورودی شبکه است، $w\in R^{h\times m}$ ماتریس وزن خروجی است، $y=(y_1,y_2,\ldots,y_m)^T$ بردار خروجی شبکه است، $\phi_i(*)$ تابع فعال گره پنهان i است و نماد Σ نشان‌دهنده عملکرد فعال خطی یک نورون در لایه خروجی است.



شکل ۶: ساختار شبکه عصبی پایه شعاعی.

گره لایه پنهان واکنش جزیی سیگنال ورودی را ایجاد می‌کند. وقتی سیگنال ورودی به محدوده مرکزی تابع پایه نزدیک باشد، گره‌های لایه پنهان، خروجی بهتری را ایجاد می‌کنند. بنابراین، این شبکه ظرفیت خوبی از تقریب محلی دارد. وقتی نوبت به تابع پایه می‌رسد، تابع گاوس به طور کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه(۱)) [۱۴].

$$R_i(x)=\exp\left[\frac{\|x-c_i\|^2}{2\delta_i^2}\right],\quad i=1,2,\ldots,m \qquad (1)$$

داده‌های جریان ترافیک شامل چند گروه از حجم ترافیک پیوسته چند تقاطع است. فاصله زمانی می‌تواند بر حسب دقیقه باشد. یعنی در هر چند دقیقه حجم ترافیک هر تقاطع ثبت می‌گردد که در آن $V_{\max}$ نشان‌دهنده حداکثر سرعت جریان ترافیک در مدت چند دقیقه در طول دوره مشاهده و $V_{\min}$ نشان‌دهنده حداقل سرعت جریان ترافیک در این زمان است. می‌توان مشاهده کرد که داده‌های مربوط به تقاطع‌های مجاور گرایش مشابهی را در طول دوره مشاهده نشان می‌دهند [۱۴].

روش‌های پیش‌بینی سنتی براساس شبکه عصبی مصنوعی معمولاً در یک جاده یا چند بخش از یک جاده اعمال می‌شوند. یک ایده استفاده از مزایای جاده‌های مجاور است، که نتایج پیش‌بینی را با توجه به سیستم جاده به عنوان یک شبکه بهبود می‌بخشد. در این مطالعه حجم ترافیک تقاطع مجاور در نظر گرفته شده‌است. طبق رابطه (۲) حجم ترافیک تقاطع مجاور به عنوان ورودی برای بدست آوردن نتایج پیش‌بینی دقیق‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. چند گروه اول از داده‌ها به عنوان داده ورودی و بقیه برای بررسی دقت استفاده می‌شوند. تعدادی گروه اول در حال آموزش برای ساخت شبکه هستند و تعدادی گروه دیگر برای آزمایش شبکه به کار می‌روند.

$$x(i)=\frac{v_k(i)-v_k^{\max}}{v_k^{\max}-v_k^{\min}},\quad i=1,2,\ldots,n;k=1,2,3 \qquad (2)$$

که در آن، x دیتای ورودی شبکه عصبی، a ورودی شبکه عصبی، $v_k^{\max}$ جریان ترافیک ماکزیمم در تقاطع kام در طول دوره مشاهده و $v_k^{\min}$ جریان ترافیک مینیمم در تقاطع kام در طول دوره مشاهده هستند [۱۴].

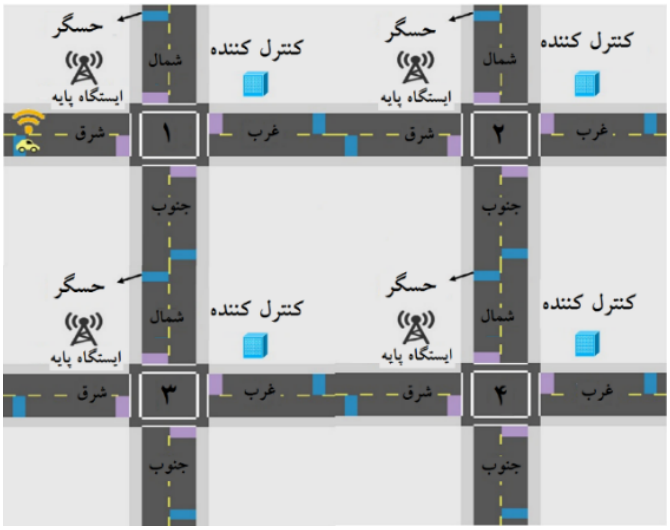
۴.۱ مدیریت تقاطع دارای چراغ راهنما به کمک نظریه بازی[۲۶]

استفاده از اینترنت اشیا بسیاری از صنایع گسترده شده‌است، حمل‌ونقل نیز از این موضوع مستثنا نیست. عبارت «حمل‌ونقل هوشمند» مبتنی بر «فناوری هوشمند» به عنوان یک موضوع برجسته برای آینده صنعت حمل‌ونقل معرفی شد. با افزایش ارتباطات و قابلیت‌های جمع‌آوری داده‌ها از قبیل شبکه حسگر بی‌سیم ، سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) و دستگاه‌های همراه اطلاعات در دسترس بیشتری را در زمان سفر، مقصد مبدأ، وسیله نقلیه و حرکت ترافیک فراهم می‌کنند.

در نظریه بازی تقاطع به عنوان یک شبکه بزرگ در نظر گرفته می‌شود. از طریق تکنولوژی اینترنت اشیا[۲۷]، الگوریتم تقسیم و ادغام[۲۸] توزیع شده می‌توان کاری کرد که کنترل چراغ راهنما در تقاطع به گونه ای هوشمند انجام شود، چه در ترافیک‌های یکنواخت و چه در نوع غیریکنواخت. نتیجه کار این است که زمان انتظار در تقاطع کاهش می‌یابد. فناوری اینترنت اشیا منجر به این شده است که خودروها از لحاظ ارتباطی به هم متصل باشند که به آنها خودروهای به هم متصل[۲۹] می‌گویند در نتیجه می‌توان از این طریق داده لازم را جمع آوری کرد (شکل ۷). سپس به کمک نظریه بازی‌ها می‌توانیم سیستم چراغ راهنمای دینامیک (پویا) را طراحی کنیم.

در تقاطع‌های دارای حجم بالای ترافیک، لازم است که هماهنگی و همکاری بین عوامل مختلف که کنترلرها نامیده می‌شوند وجود داشته باشد. در کنترل تقاطع هوشمند، این عوامل با هم در ارتباط هستند و قادر خواهد بود که هر نوع تقاطع و با هر میزان حجم ترافیک را مدیریت نمایند. در این سامانه از V2V، V2I و شبکه‌های ویژه خودرویی[۳۰] برای ارتباط بین اجزای سیستم استفاده می‌شود [۱۵].

[26] game theory [27] IOT [28] split and merge algorithm [29] connected cars [30] vehicular ad-hoc networks (VANETs)



شکل ۷: تقاطع‌های چندگانه متصل به هم.

نظریه بازی‌ها از یک مدل ریاضی برای تصمیم‌سازی مستقل و غیرمستقل استفاده می‌کند. در مورد ترافیک می‌توان جریان ترافیک را در یک تقاطع در نظر گرفت. سپس براساس نظریه بازی‌ها، تصمیم لحظه‌ای در مورد طول زمانی سیستم چراغ راهنما را اعمال کرد به گونه‌ای که جریان ترافیک به سهولت، روان و بهینه انجام گیرد. فرض بر این است که جهت‌های چهارگانه در تقاطع که ما آنها را فازها می‌نامیم به عنوان بازیکنان این نظریه، می‌خواهند زمان انتظار در تقاطع برای عبور را به کمترین مقدار ممکن برسانند یا زمان دریافت چراغ سبز جهت حرکت را افزایش دهند [۱۶].

یک بازی در یک تقاطع در واقع فرایند مذاکره بین دو بازیکن i و j (یا همان فازهای تقاطع) است. حال رابطه (۳) را در نظر بگیرید؛

$$G = \langle p, t, \Pi \rangle \,, \qquad (۳)$$

که در این رابطه G بازی مورد نظر و p دسته ای از بازیکنان یا فازها است (مانند i و j) که همان جهت‌های شمال–جنوب (NS) یا شرق–غرب (EW) در تقاطع چهار راهه هستند. t نشان دهنده دسته ای از عملگرها است که طول زمان چراغ سبز برای هر بازیکن را در هر دوره زمانی T نشان می‌دهند، به طوری که برای هر بازیکن یا فاز دسته‌ای از بازه زیر وجود دارد؛

$$t_i(j) = \{۰ \dots T\} \,. \qquad (۴)$$

Π یک تابع هزینه است که تعداد کل وسایل نقلیه را در جهت‌های مختلف نشان می‌دهد و در جهت‌های بازیکن i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Pi_i(t_i, t_j) = Q_i + t_j \alpha_i - t_i \beta_i \,, \qquad (۵)$$

که در آن t_i و t_j طول زمان اعمال چراغ سبز برای هر بازیکن i و j و Q_i تعداد وسایل نقلیه‌ای است که در فاز i منتظر چراغ هستند. α_i و β_i به ترتیب نرخ ورود و خروج وسایل نقلیه در سمت i هستند. نرخ ورود α از زمان سیکل kام به صورت زیر محاسبه می‌شود؛

$$\alpha_i^k = \alpha_i^{k-۱} + x(\alpha_i^{k-۱} - \alpha_i^{k-۲}) \,, \qquad (۶)$$

که در این رابطه x پارامتر فازی است، به طوری که $۰ < x < ۱$ و مقدار آن وقتی افزایش می‌یابد که $(\alpha_i^{k-۱} - \alpha_i^{k-۲})$ افزایش یابد. به طرز مشابه نرخ خروج β از دوره سیکل kام به صورت زیر بدست می‌آید؛

$$\beta_i^k = \beta_i^{k-۱} + y(\beta_i^{k-۱} - \beta_i^{k-۲}) \,. \qquad (۷)$$

برای حل مشکل و محاسبه بهترین پاسخ برای زمان‌ها در فازهای i و j لازم است تا مقادیر متعادل‌شده را برای این دو زمان بدست آوریم. این مقادیر زمانی جدید برای طول سیگنال کل $T = t_i + t_j$ به کمک معادلات تعادل نش[۳۱] بدست می‌آید؛

$$t_i^* = \frac{Q_i - Q_j + T\alpha_i + T\beta_j}{\alpha_i + \beta_i + \alpha_j + \beta_j} \,,$$
$$t_j^* = \frac{Q_j - Q_i + T\alpha_j + T\beta_i}{\alpha_i + \beta_i + \alpha_j + \beta_j} \,, \qquad t_i^*, t_j^* \in [۰, T] \,. \qquad (۸)$$

در معادلات بالا t_i^* و t_j^* بهترین پاسخ‌ها برای بازیکن‌های i و j هستند. دقت کنید که فرض ما بر این است که فقط دو چراغ سبز و قرمز داریم به طوری که زمان $T = t_i + t_j$ یک عدد ثابت است که نشان‌دهنده زمان مورد نیاز برای نشان دادن چراغ‌های سبز و قرمز در چراغ راهنما است [۱۶].

۲ مدیریت تقاطع فاقد چراغ راهنما (همکارانه)

در این بخش، روش‌های ارائه‌شده برای کنترل عبورومرور در تقاطع‌های فاقد چراغ راهنما بررسی و دسته‌بندی می‌شود. یکی از جدیدترین و مؤثرترین روش‌های مدیریت ترافیک که از فناوری اطلاعات نشأت می‌گیرد ایده بکارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است. البته این شیوه تنها راه‌حل مشکلات حمل‌ونقل نیست، بلکه زیربنای مناسبی جهت کاهش پیامدهای منفی قرن بیستم در عرصه حمل‌ونقل و ایجاد راه حل‌های جدیدتر و مؤثرتر برای پاسخگویی به نیازهای حمل‌ونقل در زندگی قرن بیست و یکم است [۵].

سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند بر اساس فناوری‌های کنترل و اطلاعات کار می‌کنند که در واقع هسته اصلی وظایف و عملکرد این سیستم‌ها هستند. از یک دیدگاه کلی می‌توان گفت که یک سیستم حمل‌ونقل هوشمند از سه جزء اصلی راه هوشمند، وسائل نقلیه هوشمند و زیرساخت‌های ارتباطی تشکیل شده است. سیستم حمل‌ونقل هوشمند طیف گسترده‌ای از کاربردها را در بر می‌گیرد که در پنج حوزه اصلی شامل سامانه‌های اطلاعات حمل‌ونقل[۳۲]، سامانه‌های پیشرفته مدیریت ترافیک[۳۳]، سامانه‌های حمل‌ونقل مبتنی بر پرداخت الکترونیکی[۳۴]، سامانه‌های پیشرفته و هوشمند حمل‌ونقل همگانی[۳۵]، سامانه‌های پیشرفته کنترل وسائل نقلیه[۳۶] تقسیم‌بندی شده است. با توجه به این بیان، موضوع این مقاله در حوزه سامانه‌های مدیریت ترافیک قرار می‌گیرد.

پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و ارتباطات، طراحی و پیاده‌سازی انواع شبکه‌ها را در محیط‌های مختلف امکان‌پذیر کرده‌است. یکی از این شبکه‌ها که توجه بسیاری را به خود جلب کرده شبکه بین خودرو[۳۷] است. شبکه بین خودرو، اصطلاحی خاص برای توصیف شبکه‌های اقتضایی خودسازمان‌دهنده[۳۸] خودروهای در حال حرکت است

[31] Nash equilibrium [32] advanced transportation information systems (ATIS) [33] advanced transportation management systems (ATMS) [34] electronic payment system (EPS) [35] advanced public transportation systems (APTS) [36] advanced vehicle control systems (AVCS) [37] vehicular ad hoc networks (VANET) [38] self-organization

[۱۷]. شبکه‌های بین خودرو فناوری‌های ارتباطی متفاوتی را اتخاذ و از سیستم‌های ارتباطی کوتاه‌برد و یا میان‌برد استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند به صورت ارتباط مستقل خودرویی یا بر اساس ارتباطات خودرو با خودرو یا خودرو با زیرساخت عمل کنند. برای افزایش پوشش شبکه‌ای و یا قدرت ارتباطی، می‌توان ایستگاه‌های تقویت[۳۹] را در کنار جاده به کار گرفت [۵، ۱۸].

۱.۲ انواع دسته‌بندی سیستم مدیریت تقاطع همکارانه[۴۰]

سامانه‌های مدیریت ترافیک تقاطع‌های فاقد چراغ راهنما از دو جهت نوع ارتباطات و پروتکل کنترلی بررسی و دسته‌بندی می‌شوند. شکل ۸ این موضوع را نشان می‌دهد. از دو دیدگاه می‌توان سیستم‌های مدیریت همکارانه فاقد چراغ راهنما را دسته‌بندی کرد:

۱. نوع ارتباطات: به طور کلی ارتباطات خودرویی شامل دو نوع ارتباط خودرو با خودرو و خودرو با زیرساخت هستند. این بعد، نوع ارتباطی را مشخص می‌کند که سیستم مدیریت ترافیک از آن بهره می‌برد.

۲. پروتکل کنترلی: این بعد، پروتکل اصلی‌ای را که سیستم ارائه‌شده برای مدیریت ترافیک به کار می‌برد را تعیین می‌نماید. سیستم مدیریت ترافیک می‌تواند به طرق مختلف مانند رزرو مکان–زمان و یا تعیین یک دنباله عبوری برای خودروها، مدیریت ترافیک را در تقاطع فاقد چراغ راهنما انجام دهد [۳، ۵].

شکل ۸: روش مدیریت ترافیک همکارانه در سیستم‌های فاقد چراغ راهنما.

۲.۲ دسته‌بندی روش مدیریت تقاطع همکارانه بر اساس نوع ارتباطات

از منظر دیگر سیستم‌های کنترل ترافیک را می‌توان با توجه به نوع ارتباطات آن‌ها در دو دسته متمرکز و غیرمتمرکز دسته‌بندی نمود [۳].

۱. سیستم‌های متمرکز[۴۱]: این سیستم‌ها بر مبنای ارتباطات خودرو با زیرساخت هستند. در این نوع سیستم‌ها یک کنترل‌کننده مرکزی در زیرساخت اولویت عبور خودروهای حاضر در محدوده کنترلی را با استفاده از یک پروتکل تعریف‌شده، مشخص می‌کند. [۳].

۲. سیستم‌های غیرمتمرکز یا توزیعی[۴۲]: این سیستم‌ها بر مبنای ارتباطات خودرو با خودرو هستند و به هیچ زیرساخت خاصی نیاز ندارند و خودمختاری بیشتری را به خودروها می‌دهند. در این نوع سیستم‌ها، خودروهای حاضر در محدوده کنترلی، برای محاسبه اولویت خود، با استفاده از یک پروتکل تعریف‌شده با یکدیگر مذاکره می‌کنند [۳، ۵].

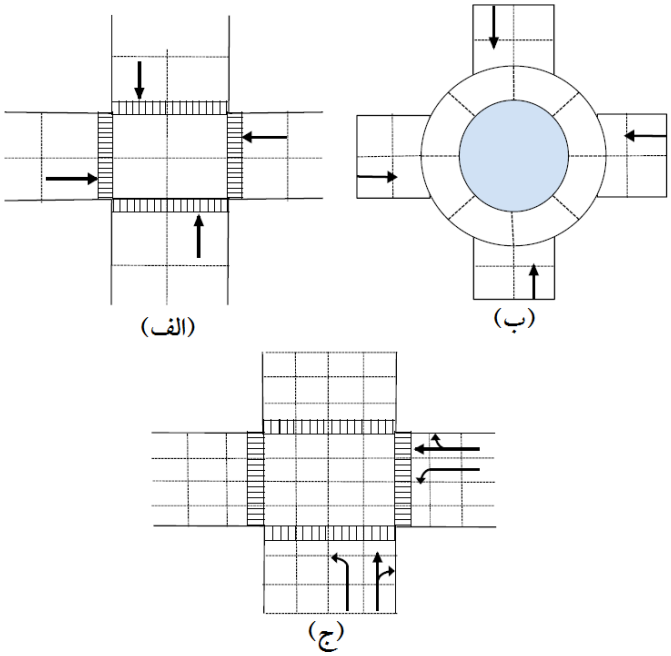
۳.۲ دسته‌بندی روش مدیریت تقاطع همکارانه بر اساس نوع پروتکل کنترلی

به طور کلی سه پروتکل اصلی برای مدیریت ترافیک در تقاطع‌های فاقد چراغ راهنما می‌توان در نظر گرفت که به شرح زیر است.

۱.۳.۲ پروتکل مبتنی بر تخصیص مکان–زمان[۴۳]

در این پروتکل، خودرو پس از ورود به محدوده کنترلی، درخواست تخصیص مکان–زمان را ارسال می‌نماید. سپس بر اساس پروتکل مبتنی بر تخصیص تعریف‌شده، خط عبور خودرو و زمان عبور آن از این خط مشخص می‌شود. خودرو موظف است در همان خط و زمان از تقاطع عبور نماید.

همان طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، تقاطع می‌تواند با کاشی‌های مکان–زمان[۴۴] مدل‌سازی شود. در تخصیص منابع همکارانه، وسایل نقلیه باید کاشی‌های روی مسیر برنامه‌ریزی‌شده خود را برای چند واحد زمانی معین ذخیره کنند. هنگامی که کاشی‌ها و واحدهای زمانی داده شوند، وسایل نقلیه می‌توانند با توجه به وضعیت تخصیص خود، از تقاطع عبور کنند. با انجام این کار، تضمین می‌شود که کاشی‌های مکانی به روشی داده شوند که برخوردی رخ ندهد. یعنی یک کاشی به بیش از یک وسیله نقلیه در بازه زمانی مشابه اختصاص داده نمی‌شود. علاوه بر این، تخصیص می‌تواند موقعیت ترافیکی را در نظر گرفته و اهداف بهینه‌سازی دیگری را برای بهبود عملکرد تقاطع مانند افزایش جریان ترافیک یا به حداقل رساندن مصرف انرژی بکار گیرد.

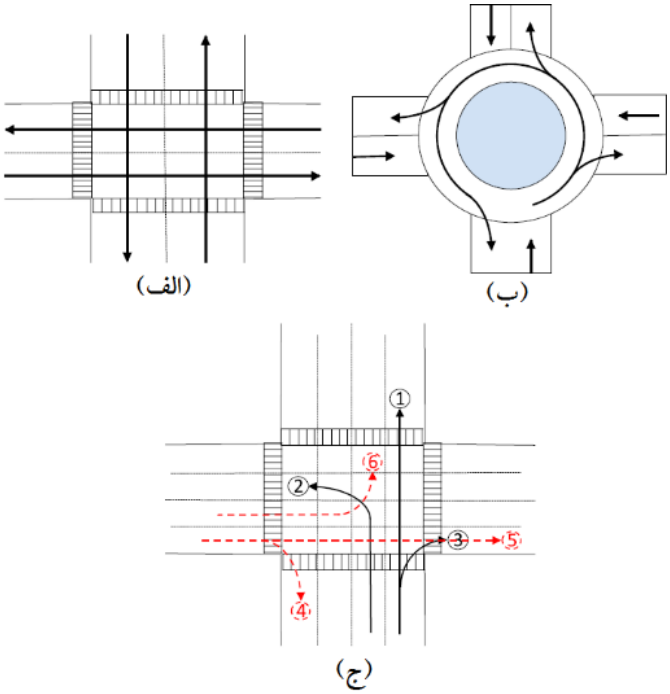


شکل ۹: نمایش تقاطع‌ها به صورت شبکه‌ای از کاشی‌ها. (الف) یک تقاطع چهارراهه با یک ترافیک مستقیم از هر طرف. (ب) یک تقاطع چهارراهه با ترافیک مستقیم، چپگرد و راستگرد. (ج) یک میدان مدل‌شده با ۲۴ کاشی.

[39] I-relay [40] cooperative intelligent traffic systems (CIM) [41] centralized system [42] distributed system [43] spatial-time [44] time-space tiles

۲.۳.۲ پروتکل مبتنی بر طراحی دنباله یا مسیر[45]

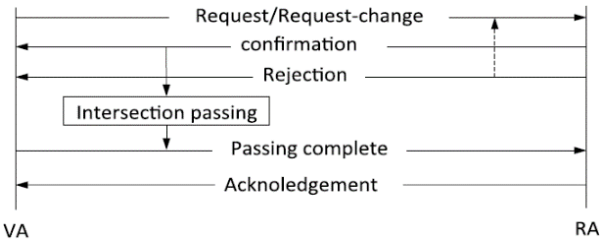
این پروتکل برای عبور خودروها از تقاطع یک دنباله را به دست می‌آورد. در این پروتکل‌ها هیچ تخصیصی برای خودرو انجام نمی‌شود و تنها یک دنباله زیر بهینه برای عبور خودروها و وضعیت تأیید/عدم تأیید عبور آنها مشخص می‌شود. استفاده از این پروتکل‌های مبتنی بر دنباله برای مدیریت ترافیک تقاطع از سال ۲۰۱۰ میلادی آغاز گردید [۵]. مسیرهای دارای عدم تعارض می‌توانند یک الگوی امن را تشکیل بدهند. در این الگو خودروها به طور امن می‌توانند از تقاطع عبور کنند. همان طور که در شکل ۱۰ مشخص است مسیرهای {۱,۲}، {۲,۳}، {۲,۴} و غیره الگوی امن را تشکیل می‌دهند، در حالی که {۲,۵}، {۲,۶} و غیره اینطور نیستند [۳].



شکل ۱۰: نمایش انواع طراحی مسیرهای تقاطع. (الف) یک تقاطع بدون اجازه گردش، هر ورودی به یک مسیر مربوط است، یعنی مسیر حرکت مستقیم. (ب) یک تقاطع چهارراهه چندبانده، هر ورودی با سه مسیر ارتباط دارد، یعنی مستقیم، چپگرد و راستگرد. (ج) یک میدان معمولی که هر ورودی با چهار مسیر ارتباط دارد، یعنی مستقیم، چپگرد، راستگرد و uـشکل.

۳.۳.۲ تخصیص منابع همکارانه متمرکز یا مرکزی

برای تخصیص منابع مشترک همکارانه، دو نوع از عوامل معرفی می‌شوند، به عنوان مثال، عامل وسیله نقلیه[46] (VA) در یک وسیله نقلیه و نماینده تخصیص تقاطع[47] (RA) که در زیرساخت قرار دارند، معرفی می‌شوند. یک وسیله نقلیه در هنگام نزدیک شدن به تقاطع با ارسال اطلاعات مرتبط از جمله زمان ورود، سرعت، مقصد رانندگی، دینامیک وسیله نقلیه و غیره درخواست تخصیص کاشی‌ها را توسط VA ارسال می‌کند. RA برنامه عبور را شبیه‌سازی می‌کند، مانند واحدهای زمانی و کاشی‌های مورد نیاز برای عبور. در طول شبیه‌سازی، RA بررسی می‌کند که آیا کاشی‌های درخواست‌شده قبلاً توسط وسیله نقلیه دیگر در زمان مناسب برای بررسی احتمال تعارض ذخیره شده‌اند یا نه. اگر هیچ اختلافی پیدا نشود، تخصیص انجام خواهد شد. در غیر این صورت درخواست رزرو رد می‌شود و وسیله نقلیه باید درخواست جدید ارسال کند. زمانی که یک کاشی اعطا می‌شود، وسیله نقلیه باید مشخص کند که آیا می‌تواند تخصیص را دنبال و از آن عبور کند یا خیر. اگر نه، وسیله نقلیه باید رزرو را لغو و درخواست جدیدی را درخواست کند. در شکل ۱۱ انواع پیام‌های ارسالی بین واحدهای RA و VA مشاهده می‌شود [۳].



شکل ۱۱: تعاملات بین عامل خودرو (VA) و عامل تخصیص (RA).

۴.۲ رزرو منابع همکارانه توزیعی[48]

در این‌جا تخصیص منابع همکارانه نیز به شکل همکارانه که در آن هیچ پشتیبانی زیرساختار مورد نیاز نیست، در نظر گرفته شده‌است. ابتدا یک طرح رزرو توزیعی مبتنی بر مناطق برخورد[49] پیشنهاد شد. در آنجا مفهوم نشانه[50] برای تخصیص و اشغال منابع معرفی می‌گردد. هر یک از مناطق برخورد با یک نشانه در ارتباط بوده و در هر زمان تنها یک وسیله می‌تواند نشانه را نگه دارد و در نتیجه منطقه را اشغال کند. وسیله نقلیه حامل این نشانه به طور مداوم اطلاعات اشغال را تا زمانی که منطقه را ترک کرده و نشانه آن را آزاد کرد، پخش می‌کند. در همین حال، وسایل نقلیه دیگر به طور پیوسته با گوش دادن و پیدا کردن نشانه بدنبال اجتناب از درگیری بوده‌اند. علاوه بر انطباق انعطاف‌پذیری و انطباق با شرایط ترافیکی، تعدادی از محققان همچنین یک اولویت مبتنی بر انصاف را پیشنهاد کردند که در آن وسایل نقلیه در جاده‌های بسیار متراکم و یا وسایل نقلیه ویژه‌ای از قبیل وسایل نقلیه اضطراری، ممکن است اولویت بالاتری را برای عبور از تقاطع درخواست کنند [۳].

در [۱۹] یک پروتکل تخصیص توزیع‌شده پیشنهاد شد. این پروتکل دو مجموعه پیام، ادعا[51] و لغو را برای تخصیص و نشر منابع معرفی می‌کند. تمام وسایل نقلیه دیگر وضعیت تخصیص را تشخیص دادند و از کاشی‌هایی که توسط خودروی دیگری اختصاص داده شده‌اند اجتناب نمودند. همانطور که بیان شد، تخصیص منابع در سمت وسیله نقلیه صورت‌گرفته و بنابراین هیچ پشتیبانی زیرساختی لازم نیست. برای تسهیل اولویت‌های وسایل نقلیه، ادعاها اگر در تعارض با یکدیگر باشند، ادعای با اولویت بالاتر قادر به تسلط بر یک مورد با اولویت پایین‌تر است. بنابراین، اگر یک وسیله نقلیه برسد و ادعاهایی را برای کاشی‌های خاص با اولویت بالاتر ارسال کند، وسیله نقلیه با یک اولویت پایین‌تر روی آن کاشی‌ها باید تخصیص خود را عرضه کند.

در مدیریت تقاطع همکارانه علاوه بر جلوگیری از برخورد خودورها، وضعیت عابرین پیاده نیز در تنظیمات مورد بررسی قرار می‌گیرد. ما در این‌جا به این عابران، کاربران جاده‌ای آسیب‌پذیر[52] می‌گوییم. روش‌های مدیریت

[45] trajectory planning [46] vehicle agent [47] reservation agent [48] distributed cooperative resources reservation [49] collision regions [50] token
[51] claim [52] vulnerable road users (VRUs)

تقاطع همکارانه بر ترافیک وسایل نقلیه متمرکز بوده، درحالیکه در تقاطع‌ها، مسائل ایمنی مانند تشخیص و هشدار اکثرا مورد بررسی محققان قرار گرفته است. به طور سنتی، بینایی رایانه‌ای و حسگرهای زیرساخت روش‌های اصلی برای تشخیص عابر پیاده هستند. آن‌ها به طور گسترده توسط صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از محدودیت‌های این روش‌ها این است که آن‌ها بر یک تشخیص خط دید[۵۳] تکیه دارند. برای گسترش ناحیه شناسایی، به خصوص نواحی غیر خطی، روش‌های مبتنی بر ارتباطات مخابراتی و ارتباطی مانند 3G و LTE مورد بررسی قرار گرفته اند [۲۰].

۳ نتیجه‌گیری

برای مدیریت تقاطع دو دسته عمده وجود دارد. دسته اول مبتنی بر استفاده از چراغ راهنما در تقاطع است. مهمترین روش‌های کنترل تقاطع در این دسته عبارتند از: کنترل فازی، شبکه‌های عصبی و نظریه بازی. به طور خلاصه کاربرد منطق فازی در کنترل ترافیک مناطق مختلف به صورت زیر است:

۱. کاربرد منطق فازی برای مشکلات مهندسی ترافیک نتایج رضایت‌بخشی را در محیط واقعی یا شبیه‌سازی شده تولید می‌کند.

۲. توانایی ذاتی مجموعه فازی برای مدل‌سازی ابهام و عدم قطعیت به تعدادی از پدیده‌ها و فرآیندهای تصمیم‌گیری در مهندسی ترافیک مانند انتخاب مسیر و وضعیت بعدی خودرو کمک می‌کند.

۳. توانایی منطق فازی برای ترکیب داده‌ها از منابع مختلف، دقت برآوردها و پیش‌بینی‌ها را افزایش داده و داده‌های ناپدیدشده[۵۴] را جبران می‌کند. کنترل فازی می‌تواند اهداف متضاد بالقوه متفاوتی را کنترل کند.

۴. ماهیت شفاف و شهودی قاعده و متغیرهای ورودی اتخاذ شده در سیستم کنترل منطق فازی، ساخت، آزمایش و اصلاح را نسبتاً آسان می‌سازد.

به دلیل عدم قطعیت و غیرخطی بودن پیش‌بینی جریان ترافیک کوتاه‌مدت می‌تواند یک کار چالش برانگیز باشد. شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند یک راه‌حل خوب برای این مسأله باشد چراکه امکان دستیابی به دقت پیش‌بینی بالاتر در مدت‌زمان نسبتاً کوتاه از طریق این ابزار وجود دارد.

نظریه بازی همکارانه کمک می‌کند تا عامل‌های تقاطع با هم همکاری وارتباط داشته باشند. در تحقیقات آینده بر مدیریت ترافیک توزیع شده تمرکز خواهد شد. در این روش هر وسیله نقلیه می‌تواند بدون نیاز به کنترل‌کننده مرکزی یا چراغ راهنما خود به تنهایی برای عبور از تقاطع تصمیم‌گیری نماید.

معرفی چراغ‌های راهنما گرچه به بهبود شرایط ترافیک در تقاطع‌ها کمک زیادی نموده است ولی مطالعات اخیر نشان می‌دهد که چراغ‌های راهنمایی به طور پویا با ترافیک جاری منطبق نیستند و تأثیر چراغ‌های راهنمایی از انتظارات فاصله زیادی دارند [۵]. این موضوع باعث شده است تا بتدریج مدیران شهری به سمت حذف چراغ راهنمایی و استفاده از روشهای مدیریت تقاطع همکارانه که فاقد چراغ راهنما هستند گام بردارند. علت این موضوع این است که در روش‌های مدیریت تقاطع دارای چراغ راهنما تنها یک تقاطع زیر نظر قرا دارد، درحالی که در روش مدیریت همکارانه، علاوه بر تقاطع مورد نظر وضعیت ترافیک تقاطع‌های مجاور و حتی دورتر نیز به طور پیوسته مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پژوهش‌ها در زمینه چگونگی مدیریت ترافیک در تقاطع‌های فاقد چراغ راهنما عمدتاً بر روی عبور خودروهای خودران از این تقاطع‌ها با استفاده از ارتباطات خودرو با خودرو و خودرو با زیرساخت تمرکز کرده‌اند. هدف اصلی این پژوهش‌ها، افزایش کارایی تقاطع با کاهش زمان تأخیر، اجتناب از برخورد در محدوده تقاطع و عبور ایمن خودرو می‌باشد. در ابتدا، اغلب موارد بر پروتکل‌های مبتنی بر تخصیص منابع زمان–مکان تمرکز داشتند، اما در ادامه، پژوهش‌ها بیشتر بر روی پروتکل‌های مبتنی بر دنباله تمرکز کردند؛ چرا که در پروتکل‌های مبتنی بر تخصیص، خودرو موظف بود که خط عبوری تعیین‌شده از طریق مدیر تقاطع را در همان زمان‌های اعلام شده طی نماید و این امر تنها برای خودروهای خودران دارای تجهیزات پیشرفته امکان‌پذیر می‌باشد و تخطی از آن خط عبور، خطرات جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد. بنابراین در اواخر دهه گذشته، بیشتر پژوهش‌ها بر روی افزایش کارایی تقاطع‌های فاقد چراغ راهنما با ارائه پروتکل‌های مبتنی بر دنباله فعالیت کردند؛ چرا که در این پروتکل‌ها خط سیر فضا–زمانی برای خودرو مشخص نمی‌شد و تنها قبل از ورود خودرو به تقاطع وضعیت تأیید/عدم تأیید عبور آن از تقاطع به آن اعلام می‌شد.

مراجع

[1] Wang, Qi, Wan, Jia, and Yuan, Yuan. Locality constraint distance metric learning for traffic congestion detection. *Pattern Recognition*, 75:272–281, 2018.

[2] Guerrero-Ibáñez, Juan, Zeadally, Sherali, and Contreras-Castillo, Juan. Sensor technologies for intelligent transportation systems. *Sensors*, 18(4):1212, 2018.

[3] Chen, Lei and Englund, Cristofer. Cooperative intersection management: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 17(2):570–586, 2015.

[4] Ghosal, Amrita and Conti, Mauro. Security issues and challenges in v2x: A survey. *Computer Networks*, 169:107093, 2020.

[۵] محمدی، طاهره، وحدت‌نژاد، حامد، و نصرآبادی، محمدمهدی. بررسی انواع سیستم های مدیریت ترافیکی در تقاطع های فاقد چراغ راهنما. در *اولین کنفرانس ملی علوم مدیریت نوین و برنامه‌ریزی پایدار ایران*، ۱۳۹۴.

[6] Bhover, Sushma U, Tugashetti, Anusha, and Rashinkar, Pratiksha. V2x communication protocol in vanet for cooperative intelligent transportation system. in *2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, pp. 602–607. IEEE, 2017.

[7] Wang, Jian, Shao, Yameng, Ge, Yuming, and Yu, Rundong. A survey of vehicle to everything (v2x) testing. *Sensors*, 19(2):334, 2019.

[8] Sewalkar, Parag and Seitz, Jochen. Vehicle-to-pedestrian communication for vulnerable road users: Survey, design considerations, and challenges. *Sensors*, 19(2):358, 2019.

[53] line of sight (LOS) [54] missing data

[9] Azimirad, Ehsan, Pariz, Naser, and Sistani, M Bagher Naghibi. A novel fuzzy model and control of single intersection at urban traffic network. *IEEE Systems Journal*, 4(1):107–111, 2010.

[10] Shahraki, Abdollah Amirkhani, Shahraki, Meisam Niazi, and Mosavi, Mohammad Reza. Design and simulation of a fuzzy controller for a busy intersection. in *2013 International Conference on Computer Applications Technology (ICCAT)*, pp. 1–6. IEEE, 2013.

[11] Rahman, SYED MASIUR and Ratrout, NEDAL T. Review of the fuzzy logic based approach in traffic signal control: prospects in saudi arabia. *Journal of transportation Systems engineering and information Technology*, 9(5):58–70, 2009.

[12] Zhao, Dongbin, Dai, Yujie, and Zhang, Zhen. Computational intelligence in urban traffic signal control: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(4):485–494, 2011.

[13] Vlahogianni, Eleni I, Golias, John C, and Karlaftis, Matthew G. Short-term traffic forecasting: Overview of objectives and methods. *Transport reviews*, 24(5):533–557, 2004.

[14] Zhu, Jia Zheng, Cao, Jin Xin, and Zhu, Yuan. Traffic volume forecasting based on radial basis function neural network with the consideration of traffic flows at the adjacent intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 47:139–154, 2014.

[15] Bui, Khac-Hoai Nam, Jung, Jai E, and Camacho, David. Game theoretic approach on real-time decision making for iot-based traffic light control. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 29(11):e4077, 2017.

[16] Bui, Khac-Hoai Nam and Jung, Jason J. Cooperative game-theoretic approach to traffic flow optimization for multiple intersections. *Computers & Electrical Engineering*, 71:1012–1024, 2018.

[17] Vegni, Anna Maria, Biagi, Mauro, Cusani, Roberto, et al. Smart vehicles, technologies and main applications in vehicular ad hoc networks. *Vehicular technologies-deployment and applications*, pp. 3–20, 2013.

[18] Hartenstein, Hannes and Laberteaux, Kenneth. *VANET: vehicular applications and inter-networking technologies*, vol. 1. John Wiley & Sons, 2009.

[19] VanMiddlesworth, Mark, Dresner, Kurt, and Stone, Peter. Replacing the stop sign: Unmanaged intersection control for autonomous vehicles. in *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 3*, pp. 1413–1416, 2008.

[20] Azimi, Seyed Reza, Bhatia, Gaurav, Rajkumar, Ragunathan Raj, and Mudalige, Priyantha. Vehicular networks for collision avoidance at intersections. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 4(2011-01-0573):406–416, 2011.