فصلنامه دانش انتظامی سمنان ، دوره چهاردهم ، شماره پنجاه و یکم ، بهار ۱۴۰۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

صفحات: ۱۱۴-۹۸

بهبود کنترل ترافیک شهری بر اساس اینترنت اشیاء با هوشمند سازی چراغ های راهنمایی و مسیریابی مجدد خودروهاوکاهش زمان سفر

نویسندگان:

عبدالوهاب احسانی راد [۱]*، سیده فاضله شیرازیان [۲]، احسان کاشی [۳]

چکیده

ترافیک سنگین در شهرهای پرجمعیت یکی از بزرگترین مشکلات شهروندان است. سنسورهای هوشمند نصب شده روی چراغ‌های راهنمایی می‌توانند به مدیریت این مشکل کمک کنند. این سنسورها که با استفاده از اینترنت اشیا (IoT) مدیریت می‌شوند، در هنگام ترافیک سنگین، مدت زمان توقف یا حرکت را بر اساس جریان ترافیک تنظیم می‌کنند. شبکه‌های پهن‌باند داده‌های ترافیکی را به صورت بلادرنگ فراهم می‌کنند که این امر به بهینه‌سازی هوشمندانه مسیریابی ترافیک کمک می‌کند. یکی از چالش‌های اصلی در بهینه‌سازی جریان ترافیک، تغییرات پویا و تأثیر مسیریابی بر روی مسیرهای دیگر است. در این پژوهش، مدلی برای محاسبه زمان سفر خیابان ارائه شده است. هر خودرو پس از ورود به شبکه، مسیر بهینه را به صورت پویا دریافت می‌کند. وضعیت ترافیک شهری به صورت دوره‌ای بررسی می‌شود و خیابان‌های مستعد ازدحام ترافیکی شناسایی می‌شوند. در گام اول، الگوریتم دایجسترا برای پیاده‌سازی مسیر کوتاه‌تر استفاده شده تا معیاری برای ارزیابی کارایی روش پیشنهادی باشد. سپس، عوامل مؤثر بر زمان سفر شناسایی و درجه اهمیت هر کدام مشخص می‌شود. با استفاده از الگوریتم A* و تحلیل اطلاعات شبکه‌های بین خودرویی، مسیر مطلوب با کوتاه‌ترین زمان سفر شناسایی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده تأثیر بسزای این روش در کاهش زمان سفر است. همچنین، مسیریابی خودروها و تنظیمات چراغ‌های راهنمایی بر اساس وضعیت ترافیک کنونی به صورت پویا انجام می‌شود. ارزیابی عملکرد روش ما با استفاده از شبیه‌سازی کارایی مدل پیشنهادی را در بهینه‌سازی جریان ترافیکی نشان می‌دهد.

کلید واژه ها : شبکه های بین خودرویی، کاهش زمان سفر ،مسیریابی پویا، چراغ راهنمای پویا، سیستم حمل و نقل هوشمند

۱ : استادیار،گروه کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی- vahabehr@gmail.com

۲ : کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، موسسه آموزش عالی شمس گنبدکاووس afmj6069953@gmail.com

۳ : استادیار گروه عمران، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود e.kashi@iau-shahrood.ac.ir

مقدمه

در سال های اخیر فناوری ارتباطات سبز به عنوان یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی و صنایع ارتباطی مورد توجه قرار گرفته که علت توجه به این حوزه تاثیر آن بر کاهش آلودگی های زیست محیطی می‌باشد. با توسعه روزافزون ،شهرها جا به جایی انسان و کالا تبدیل به یک مسئله روزمره شده است که پیچیدگی آن دائما در حال افزایش است. ازدحام ترافیکی نه تنها برای رانندگان ایجاد مزاحمت میکند بلکه سبب افزایش آلودگی هوا نیز می‌گردد. همچنین سبب افزایش احتمال تصادفات در رانندگی می‌گردد. برای روان سازی جریان ترافیک شهری دو رویکرد توسعه زیرساخت ها و استفاده کارا و حداکثر از این منابع محدود (خیابانها) پیش رو است. با توجه به نگرش کاهش هزینه و سرعت انجام کار، رویکرد دوم مورد توجه قرار گرفته است؛ یعنی «استفاده صحیح از منابع موجود» که استفاده نادرست از این منابع موجب ازدحام ترافیکی و در نتیجه اتلاف زمان مفید افراد خواهد شد (Qingquan, 2008:40). ازدحام ترافیکی را میتوان به دودسته برگشت پذیر۱ و ناگهانی۲ تقسیم‌بندی کرد (Afrin, 2020,46).

ازدحام های ترافیکی برگشت پذیر به صورت دوره‌ای رخ می‌دهند و دلایل وقوع این گونه ترافیک ها عدم تعادل جریان ترافیکی در ساعات مختلف شبانه روز می‌باشد. ازدحام‌های ناگهانی یک اختلال ناخواسته در درون شبکه جاده ای است که میتواند دلایلی چون حوادث غیر مترقبه بارندگی های شدید و آب گرفتگی خیابانها، ساخت و ساز جاده ای وقایع خاص از قبیل کنسرت‌ها و مسابقات ورزشی باشد. پیش‌بینی ازدحام ترافیک به صورت دقیق و بی درنگ، اساس مطالعات کنترل ترافیک است. با توجه به پیشرفت‌هایی که در زمینه سیستم‌های هوشمند ترافیکی صورت گرفته، پیش بینی ترافیک نقش بنیادی را در مدیریت و کنترل ترافیک ایفا می‌کند. بیشتر محققان تلاش کردند که پیش‌بینی ترافیک را با کار بر روی پیش بینی زمان سفر انجام دهند. تا کنون روشهای متعددی پا به عرصه ظهور نهاده اند تا بتوانند با تغییراتی هر چند ساده راه را برای هموار کردن مشکلات ترافیک در شهر مرتفع سازند. یکی از این روشهای نوین و تاثیرگذار در این زمینه اینترنت اشیا ۳(IoT) می‌باشد که به عنوان یک سیستم فراگیر میتواند در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد (Yogheshwaran, 2020:59).

تکامل بنیادی اینترنت جدید در یک شبکه از اشیا متصل به هم این است که نه تنها اطلاعات را از محیط خود جمع آوری میکنند و با دنیای فیزیکی در تعامل هستند، بلکه از استانداردهای اینترنت

۱-Recurrent

۲-Non- recurrent

۳-Internet of Things.

موجود برای فراهم کردن سرویسهایی برای انتقال اطلاعات تحلیل و ارتباطات استفاده می‌کنند. دستگاه های اینترنت اشیا به انواع تجهیزات الکترونیکی مجهز هستند. آن ها به شبکه های ارتباطی، وای فای، بلوتوث، دوربین و میکروفون مجهز هستند .همچنین سایر تجهیزات الکترونیکی نیز روی آن ها نصب می شود. جریان داده های نامحدود، ریشه اولیه بکارگیری اینترنت اشیا است. جریان داده است که تعیین می کند اینترنت اشیا تا چه سطحی با کاربر ارتباط برقرار نماید. با وجود دستگاههایی مانند RFID،Wi-Fi، بلوتوث، حسگرهای تعبیه شده[1] و گره های عملگر[2]، IoT پا را از نوباوگی فراتر نهاده و در آستانه تبدیل اینترنت ایستای کنونی به اینترنت کاملا یکپارچه در آینده خواهد بود (Banerjee, 2019:53). ترافیک شهری میتواند از اینترنت اشیا در جهت جمع-آوری یک سری پارامترها و دادههای محیطی اطراف کمک گرفته و با تصمیم گیری های لازم بر اساس اطلاعات مفید جمع‌آوری شده مدیریت و کنترل صحیح ترافیک شهری را ارتقا بخشد (Godwin, 2021:269).

در حال حاضر سیستم‌های راهنمای مسیر (RGS)[3] رانندگی را برای محیط های آشنا و ناآشنا به صورت مسیریابی گام به گام و یا اطلاعات مسیریابی بهینه بی درنگ را به صورت گسترده فراهم نموده است. RGS ها براساس شرایط ترافیک بیدرنگ جمع آوری شده توسط حسگرهای تعبیه شده و با استفاده از مسیرهای ارتباطی متصل به سیستم مرکزی راهنمایی را فراهم می‌کنند هنگامی که پیش بینی دقیق باشد، انتظار می رود اطلاعات پیش بینی بسیار موثرتر از اطلاعات عمومی باشد و دلیل آن امکان محاسبه تغییرات سریع شرایط مکانی مسیر و زمانی با استفاده از اطلاعات پیش بینی می‌باشد.

سیستم‌های کنونی راهنمای مسیر همچون گوگل و Sygic با استفاده از اطلاعات ترافیکی مبتنی بر زیرساخت مسیرهای کوتاه ترافیکی را محاسبه میکنند اما این راه حل ها تلاشی برای جلوگیری از ازدحام انجام نمی دهند و راهکارهای واکنشی دارند، به طوری که اطلاعات ترافیکی را بعد از رخداد ازدحام فراهم می‌کنند.در حالی که این سیستم‌ها میتوانند به صورت فعال برای جلوگیری از ازدحام ترافیکی رانندگان را راهنمایی کنند. با استفاده از راهنمای فعال مسیر میتوان به خودروها برای کاهش و یا جلوگیری از ازدحام کمک نمود. در این مکانیزم RGS فعال زمانی که ازدحام ترافیکی پیش‌بینی می‌شود راهنمای مسیر جدید جهت جلوگیری از ازدحام برای رانندگان ارسال می شود. راهکارهای مختلفی برای حل مسئله ازدحام ترافیکی ارائه شده است.

در این مقاله پیش رو یک مدل پیش بینی میزان ترافیک براساس رویکرد میکروسکوپیک ارائه و از مدل Greenshield برای تخمین زمان سفر استفاده میکنیم و یک سیستم راهنمای مسیر با

[1] - Embedded sensors
[2] - Actuator nodes
[3] - Route guidance system

استفاده از مدل پیش بینی برای بهبود عملکرد سیستم معرفی میکنیم. زمانی که سیستم با استفاده از حسگرهای موجود در شهر و با کمک مدل پیش بینی از احتمال وقوع ازدحام در بخشهای مختلف شهر مطلع می‌گردد. با محاسبات صورت گرفته مسیر بهینه برای خودروهایی که در خیابان های بالادست قرار دارند محاسبه کرده و برای خودروهای مربوطه ارسال میکند فرض بر این است که خودروها مسیرهای پیشنهادی را می پذیرند بررسی وضعیت ترافیکی شهری و محاسبه مسیر برای مسیرهای انتخاب شده به صورت دوره ای (ثانیه) صورت می‌گیرد. برای ارزیابی عملکرد ،سیستم از شبیه ساز SUMO بر روی نقشه واقعی منطقه بروکلین (Zhu, 2019:4063) و نقشه مسیر آن استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده میانگین زمان سفر در روش پیشنهادی پژوهش ۱۲ درصد بهتر از روش DTA تخصیص ترافیک پویا که در این مدل توانایی نمایش پدیده‌های پیچیده ترافیکی از قبیل چگونگی ایجاد و از بین رفتن صف و پس زدگی جریان ترافیک در شبکه های شلوغ را دارد و لحظه ای گزارش می دهد و ۱۸ درصد بهتر از روش مسیریابی Global می‌باشد.

پروین جعفری (jafari, 1396) در پژوهش خود از هوشمند سازی چراغ های راهنمایی توسط سیستم منطق فازی، SCATS و پردازش تصویر استفاده کرده است. در این پژوهش به بررسی سیستم SCATS تخصیص زمان بندی فاز سبز که به عنوان پیشرفته ترین و پرکاربردترین سیستم کنترل ترافیک هوشمند شهری در دنیا به شمار می آید، پرداخت و نواقص این سیستم که عدم محاسبه طول صف چراغ قرمز به عنوان یک رکن مهم تصمیم ساز است را مورد بررسی قرار داد سیستم Scats با توجه به معایبی که دارد ، به تنهایی برای زمان بندی چراغ های راهنمایی کافی نبود . بر همین اساس برای بهبود عملکرد کنترل، از سیستم پردازش تصویر استفاده کرد درسیستم های مبتنی بر پردازش تصویر می توان طول لحظه ای صف چراغ قرمز را بدست آورد. در این روش با نصب دوربین های دیجیتال در نقاط ورودی هر تقاطع ، امکان تشخیص خودروها و وسایل نقلیه عبوری فراهم گشته و اطلاعات بدست آمده را می توان در تصمیم گیری لحاظ کرد. از بارزترین مشکلات سیستم پردازش تصویر که میتوان به آن اشاره نمود، عدم امکان تشخیص ابتدای تقاطع و صف ترافیک است، به گونه ای که خودروها بلوک های ابتدایی را کاملا پر نکرده باشند، که همین امر کنترل دقیق ترافیک را امکانپذیر نساخت. به همین دلیل ترکیب مزایای دو روش Scats و پردازش تصویر میتوانست تا اندازه زیادی به بهبود کنترل هوشمند ترافیک منجر گردد. در روش پیشنهادی، با ترکیب دو روش SCATS و پردازش تصویر دوربین ها به کمک سیستم فازی، میتوان تا حد زیادی از مزایای دو روش بهره برد و معایب دو روش را حذف نمود. به این منظور همانند سیستم SCATS در ابتدای هر تقاطع از سنسور های القایی استفاده میگردد و همچنین به منظور تعیین طول صف قرمز با استفاده از نصب دوربین و پردازش تصویر میتوان ابتدا و انتهای مسیر سبز

و قرمز را همزمان رصد نمود. در مقاله (Isazadeh, 2015)، سامانه هایی جهت مسیردهی مجدد خودروها در تکه مسیر های ورودی به ناحیه های دارای ازدحام بر اساس پارامترهای ترافیکی به منظور کاهش زمان سفر پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی, خودروها با به کارگیری سامانه اطلاعات ترافیکی بیسیم بین خودرویی و بدون نیاز به زیرساخت, مرکز کنترل و صرف هزینه های کلان, میتوانند اطلاعات مورد نیاز برای انتخاب مناسب ترین مسیر را بدست آورند. در پژوهش (Imanpor, 2014)، هر خودرو پس از ورود به شبکه، با توجه به مبدا و مقصد خود، مسیر بهینه را دریافت می کند. و با استفاده از روش تشخیص وپیش بینی ازدحام، خیابان های مستعد ازدحام ترافیکی شناسایی شده و به خودروها اعلام می شود .

روش پژوهش

در اجراهای متوالی شبیه سازی متوجه می شویم یکی از دلایل زیاد بودن زمان سفر خودروها، پیمودن مسیری طولانی تر ازکوتاهترین مسیر ممکن است. برای یافتن پاسخ این سؤال که آیا با انتخاب کوتاهترین مسیر از مبداء به مقصد میتوان زمان سفر را کاهش داد از الگوریتم دایجسترا استفاده می کنیم زیرا الگوریتم دایجسترا الگوریتمی برای یافتن کم وزن ترین مسیر در گراف های وزن دار است. در نتیجه با توجه به هدف ما که استفاده از الگوریتم دایجسترا برای یافتن کوتاهترین مسیر از مبداء به مقصد است، وزن دهی به یال ها که در گراف ایجاد شده، باید بر اساس طول یال ها باشد.

در این مقاله با توجه به اینکه الگوریتم دایجسترا بر روی گراف کار میکند، نقشه را به صورت یک گراف فرض کرده ایم که در آن تقاطع ها به عنوان گره و خیابا نها به عنوان یال فرض شده اند. تقاطع همسایه با توجه به اینکه خیابانی که آنها را به هم متصل می کند یک طرفه یا دو طرفه است توسط یک یا دو یال در گراف به یکدیگر متصل شده اند از طول مسیر به عنوان وزن یال و از الگوریتم دایجسترا برای یافتن کوتاهترین مسیر از مبداء تا مقصد استفاده کردیم اما آیا پیمودن کوتاه ترین مسیر همیشه به معنی کمینه کردن زمان سفر است؟ آیا الگوریتم دایجسترا قابلیت استفاده در مقیاس واقعی را دارد؟ متاسفانه پاسخ سوالات بالا در اغلب شرایط خیر است. پس باید برای حل این چالش ها رویکردهای متفاوتی اتخاذ کرد. برای مثال یکی از این چالش ها مرتبه زمانی دایجسترا می باشد که در بدترین حالت در گرافی با V راس و E یال از مرتبه $O(|E| + |V| \log |V|)$است که به هیچ وجه قابل قبول نیست و باید دنبال جایگزینی برای آن بود. یکی از این الگوریتم ها که می تواند جایگزین دایجسترا شود الگوریتم A* است. A* در مقایسه با دایجسترا زمان پردازش کمتری دارد با استفاده از کمترین منابع سخت افزاری از روش جستجوی اولین بهترین برای یافتن کم وزن ترین مسیر از مبداء تا مقصد استفاده میکند و مرتبه زمانی آن در بدترین حالت $O(|E|)$ می باشد.

بهبود کنترل ترافیک شهری بر اساس اینترنت اشیاء با هوشمند سازی چراغ های راهنمایی و ... ـــ

تخمین داده‌های ترافیکی

ما شبکه حمل و نقل جاده ای را به عنوان گرافی مشتمل بر لینک‌ها (E) و گره ها (N) در نظر گرفتیم. خودروها درون لینک ها حرکت می‌کنند و هرچه بر ازدحام لینکها افزوده می‌شود سرعت خودروها نیز کاهش می‌یابد. هر کدام از لینک‌ها دارای وزن هستند که وزن‌ها زمان سفر تخمینی در لینک مورد نظر می‌باشند وزن لینک‌ها به صورت دوره‌ای محاسبه شده و در دسترس می‌باشند. روش‌های گوناگونی برای تخمین زمان سفر جاده‌ای وجود دارند. می‌توان از دستگاه های GPS[1] بر اساس ذخیره دادهها GSM[2] بر اساس داده‌های جریان خودروهایی[3] (FCD) و بلوتوث نام برد. یکی از روش‌های تخمین زمان سفر مدل Greenshield است که یک رابطه خطی بین تراکم ترافیکی و سرعت تخمینی وجود دارد. این روش به صورت گسترده ای در مدل‌های محققان حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته شده است که به صورت رابطه ۱ بیان شده است:

$$Ti\,(K) = \frac{L_i(K)}{V_i(K)} \qquad Vi(k) = Vf\left(1 - \frac{X_i\,(k)}{X_{jam}}\right)$$

رابطه شماره(۱)

Xjam: حداکثر تراکم ترافیکی در خیابان i ام

Xi (k): میزان ترافیک شناسایی شده خیابان iام در فاصله k ام

Vf: سرعت جریان آزاد در خیابان i ام

Li وTi (k) : به ترتیب طول خیابان iام و زمان سفر تخمین زده شده در خیابان i در فاصله زمانی Kام

اصولا Xi / Xiam نسبت بین تعداد خودروهایی که در حال حاضر در خیابان وجود دارند و حداکثر ظرفیت خودرویی خیابان مورد نظر میباشد و تعداد خودروهای موجود در خیابان را میتوان با استفاده از فناوریهای مختلف جمع‌آوری داده‌های ترافیکی گردآوری نمود. حداکثر تعداد خودرو در خیابانها طبق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد

$$\text{Max number of vehicles} = \frac{\text{road`s length} * \text{number of lane}}{\text{average of vehicle length} + \text{min gap}}$$

رابطه شماره(۲)

[1] - Global position system
[2] - Global system for mobile communication
[3] - Floating car data

در مدل ارائه شده برای محاسبه زمان سفر در لینک، اثر لینک‌های پایین‌دست بر روی لینک‌های بالادست اعمال نشده است. به عنوان مثال اگر در لینک پایین دست ظرفیت لینک بسیار کمتر از لینک‌های بالادست باشد، بعد از پر شدن لینک دیگر امکان ورود خودرو از لینک‌های بالا به این لینک وجود ندارد، در این شرایط زمان سفر برای خودروها به چه صورت محاسبه می شود؟ در روش جدید برای محاسبه تابع هزینه، از رابطه ۳ که در زیر نشان داده شده است استفاده می کنیم.

$$Hi\,(K) = Tcycle,i \rightarrow (i+1) * Ni\,(k) \quad (3)$$

$$. \; Fi\,(k) = Ti\,(k) + Hi\,(k)$$

رابطه شماره(۳)

Xi (k) : میزان ترافیک شناسایی شده خیابان iام در فاصله زمانی k ام

$\tilde{a}i \rightarrow (i+1)d\,(k)$: نسبت تقسیم ترافیک بر روی خیابان iام که در فاصله زمانی k ام وارد خیابان پایین dام می‌شود.

Xjam (i+1)d: حداکثر تراکم ترافیکی در خیابان پایین دست dام از خیابان i.

Ni (k): حداکثر چرخه مورد نیاز برای تخلیه خیابان iام

Tcycle,i → (i+1): مدت زمان یک چرخه برای خیابان iام

Hi (k): مدت زمان لازم برای تخلیه خیابان iام

Fi (k): تابع هزینه زمان سفر یک خودرو از ورود تا زمانی که از خیابان خارج شود.

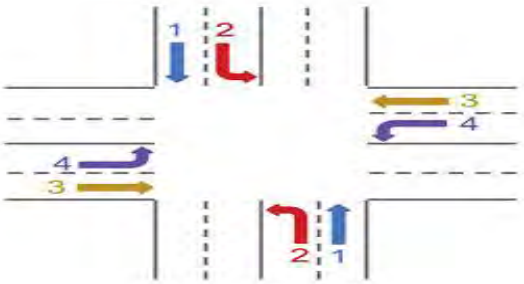
Ti (k): زمان سفر پیش‌بینی شده درون خیابان iام در فاصله زمانی kام

تشخیص و پیش‌بینی ترافیک

در سیستم پیشنهادی فرض بر این است که خودروها از طریق شبکه اینترنت توسط سیستم مرکزی قابل دسترس هستند و تمامی اطلاعات از جمله مبدا و مقصد خودروها موجود می‌باشد. همچنین به صورت دوره ای داده‌های ترافیکی مانند میزان ترافیک در هر خیابان Xi (k) از طریق حسگرهای موجود در شبکه هر τ ثانیه جمع آوری و به سیستم مرکزی ارسال می‌گردد. که k اندیس فواصل کنترل ترافیک می‌باشد. براساس داده های ترافیکی لحظه‌ای جمع آوری شده در صورتی که $\frac{X_i\,(k)}{X_{jam}} \geq \delta$ باشد، خیابان i ام علائم ازدحام را نشان میدهد. $\delta \in (۰.۱)$ حد آستانه ازدحام و Xjam ظرفیت خیابان iام می‌باشد.

تنظیم چراغ راهنمای پویا

در این بخش به کنترل انطباقی چراغ راهنمایی با استفاده ازحسگرهای موجود در چهار راه می پردازیم.



شکل ۱: یک مثال از چراغ راهنمایی با چهار فاز.

در هر چهارراه چندین خط وارد می‌شوند و هر کدام از این خطوط نسبت به هم دو وضعیت همروند و یا ناهمروند دارند اگر خودروهای دو خط متمایز همزمان وارد چهارراه شوند، این دو خط نسبت به هم همروند هستند در شکل ۱ چهار گروه همروندی نشان داده شده است. مدت زمانی که چراغ راهنمایی برای عبور یک گروه همروند سبز است به علاوه زمان های تلف شده شامل چراغ زرد و تمام قرمز را فاز مینامیم به مجموع مدت زمانی که همه گروه ها یک فاز را سپری کنند یک چرخه میگوییم. هر کدام از چراغ های راهنمایی با توجه به نوع تقاطع و تعداد گروههای همروندی میتوانند تعداد فازهای مختلفی داشته باشند. در این پژوهش برای تنظیم پویای فازهای چراغ راهنمایی مولفه های minDuration و maxDuration را نیز افزوده‌ایم. به صورت پیش‌فرض زمان هر فاز به میزان minDuration تنظیم شده است. در فاصله detector-gap =2m از چراغ راهنمایی حسگر برای تشخیص خودرو قرار داده شده در صورتی که بعد از اتمام زمان minDuration حسگر هیچ خودرویی را تشخیص ندهد چراغ راهنمایی وارد فاز بعدی میشود در غیر این صورت به میزان max-gap=3s به زمان فاز افزوده میشود و این امر ممکن است تا زمان maxDuration ادامه یابد.

روش انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد

زمانی که احتمال رخداد ازدحام در بخشی از شبکه جاده ای تشخیص داده می‌شود. با حذف خودروهایی که مسیر عبورشان شامل خیابان مورد نظر میباشد امکان کاهش تراکم ترافیکی در آن بخش ایجاد می‌گردد. برای تصمیم‌گیری در انتخاب خودروها، اینکه در چه فاصله ای از خیابان متراکم قرار داشته باشند تا برای مسیریابی مجدد انتخاب شوند و این امر سبب کاهش تراکم

ترافیکی نیز گردد میتوان از پارامتر L استفاده کرد که در جدول ۱ یکی از پارامترهای شبیه سازی است و در رابطه ۱ استفاده می شود.

$$T_i(K) = \frac{L_i(K)}{V_i(K)} \qquad V_i(k) = V_f\left(1 - \frac{X_i(k)}{X_{jam}}\right)$$

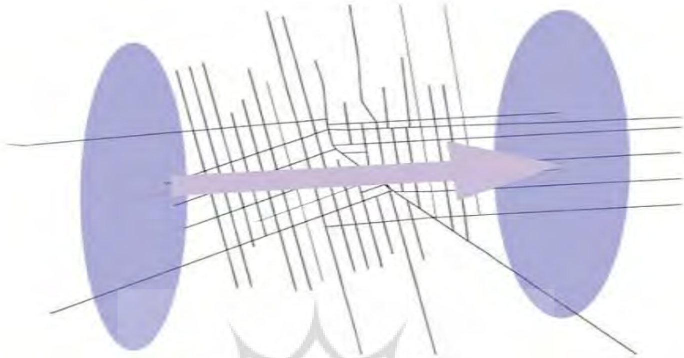
رابطه شماره(۱)

یعنی خودروهایی که در خیابانهای تا L گام بالاتر از نقطه ازدحام قرار دارند برای مسیریابی مناسب می‌باشند عمق شبکه از محل ازدحام برای انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد در مسیریابی محلی از این پارامتر استفاده می شود.L=2. ما باید L را به گونه ای انتخاب کنیم که بهترین نتیجه را در پی داشته باشد. اگر مقدار L از حدی بیشتر گردد خودروهای انتخابی میتوانند به حدی زیاد شوند که سبب ایجاد تراکم ترافیکی در نقاط دیگر گردد برای شبیه سازی صورت گرفته مقدار L=۲ انتخاب شده است. یعنی خودروهایی که تا دو سطح خیابان بالاتر از نقطه ازدحام هستند و مسیرشان از نقطه ازدحام عبور میکند برای مسیریابی مجدد انتخاب می‌شوند.

شبیه سازی

برای انجام شبیه سازی از SUMO ۰.۲۴۰۰ و TraCl استفاده شده است. SUMO یک مجموعه شبیه ساز ترافیکی میکروسکوپیک متن باز و قابل حمل است و برای شبکه‌های بزرگ جاده ای طراحی شده است. TraCl یک کتابخانه است که دستورات کنترلی رفتار شبیه ساز مانند وضعیت خودرو، تنظیمات جاده ای و چراغ های راهنمایی را فراهم میکند (Marković, 2010:1). الگوریتمهای مسیریابی و تنظیمات پویای چراغهای راهنمایی از طریق این کتابخانه و با استفاده از برنامه نویسی به زبان پایتون صورت گرفته است. برای استفاده از نقشه خیابانهای شهر در شبیه ساز SUMO می توان از OpenStreetMap (OSM)استفاده کرد (Pan, 2013:3551). OSM یک نقشه شهری کامل از جهان است که توسط بسیاری از افراد و با استفاده از تصاویر هوایی دستگاههای GPS و غیره کامل شده و بروز رسانی گردیده است بعد از دانلود نقشه مورد نظر از طریق OSM با استفاده از Netconvert که یک برنامه command line میباشد فایلهای OSM تبدیل به فایلهای مورد استفاده برای SUMO میگردند. با استفاده از Netconvert میتوان جاده های ،ریلی تونلها و مسیرهای اتوبوس و .... را از نقشه حذف کرد، و برای خیابانها محدودیتهای سرعت را مشخص نمود. در این پژوهش برای امکان مقایسه با روش‌های دیگر از نقشه شهری بروکلین و نقشه مسیر موجود در پژوهش پن و همکاران (Chen, 2001:157) استفاده کرده ایم. بروکلین یکی از پنج بخش نیویورک با وسعت ۷۷.۸۵ کیلومتر مربع ۵۵/۱۵۵ کیلومتر طول خیابانها ، تعداد ۱۹۲ تقاطع و ۵۵۱

خیابان میباشد با شبیه سازی ها عملکرد روش خود را با دیگر استراتژیهای پژوهش مقایسه کرده-ایم. در شبیه سازی از تنظیمات پیش فرض در Sumo استفاده کرده ایم. طول خودروها ۵ متر حداقل فاصله بین خودرو برابر ۲.۵ متر مدل حرکت خودروهای به دنبال هم Krauss (Isa, 2015:174) شتاب ۲۰۶ و نقص و خطا در رانندگی برابر ۰،۵ مقداردهی شده است نقشه جریان ترافیکی شبکه جاده ای بروکلین در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: جریان ترافیکی در شبکه جاده ای بروکلین (Marković, 2010:1).

تعداد ۱۰۰۰ خودرو در شبکه بروکلین وجود دارند که از ناحیه چپ شبکه به ناحیه راست شبکه در بازه زمانی صفر تا ۱۰۰۰ ثانیه شروع به حرکت می‌کنند در جدول ۱ پارمترهای استفاده در شبیه سازی معرفی شده اند.

جدول ۱: پارامترهای استفاده در شبیه‌سازی

پارامتر	تعریف
تناوب	فرکانس پیش بینی و فرکانس انجام مسیریابی مجدد =۱۲۰ ثانیه
آستانه ازدحام δ	اگر $\delta < \frac{x_{i(k)}}{x_{jam}}$باشد خیابان مورد نظر در فاصله زمانی k‌م دارای ازدحام می باشد $\delta =$ ۰.۶
سطحL	عمق شبکه از محل ازدحام برای انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد در مسیریابی محلی از این پارامتر استفاده می شود.L=2

مسیریابی Local در هر دوره زمانی T ثانیه با استفاده از داده های ترافیکی جمع آوری شده توسط حسگرها وضعیت ترافیکی، مانند تعداد خودروهای موجود در هر خیابان نسبت تقسیم ترافیک بر روی هر خیابان به خیابانهای پایین دست در فواصل زمانی مشخص و در نهایت مدت زمان سفر در هر یک از خیابانها محاسبه میگردد. با استفاده از الگوریتم انتخابی خودرو، خودروهای مورد نظر انتخاب شده و مسیریابی مجدد صورت می‌گیرد.

مقایسه با مسیریابی Global در روش مسیریابی Global در هر دوره زمانی T ثانیه برای تمامی خودروها مسیریابی مجدد صورت می‌گیرد و خودروها با توجه به وضعیت کنونی شبکه بهترین مسیر را انتخاب می نمایند از ایراداتی که در این روش وجود دارد تعداد مسیریابی مجدد برای هر خودرو میباشد که تعداد آن میتواند اعداد بزرگی باشد. از مشکلات دیگر در این روش انتقال ازدحام از یک نقطه به نقطه ای دیگر عنوان کرد که در ادامه این روش با روش پیشنهادی مقایسه می-گردد.

مقایسه با روش تخصیص پویای ترافیک DTA[1] مسئله تخصیص ترافیک به اختصاص مسیرها در یک شبکه اشاره دارد که سبب کمینه کردن زمان سفر میشود. جدیدترین راه حل برای رویکردهای مبتنی بر شبیه سازی الگوریتم تخصیص پویای ترافیک نام دارد عنصر کلیدی در تخصیص پویای ترافیک روشی است که در آن مسیر خودروها از طریق شبکه و به صورت لینک به لینک یا گره به گره در فواصل زمانی متوالی ردیابی و دنبال می شود. جریانها باید در سراسر شبکه در فواصل زمانی ردیابی گردند و احتمالا مقصد بعدی که به آن هدایت می‌شوند، وابسته به رویکرد مورد استفاده در تخصیص ترافیک است (Litman, 2013) در روش DTA که در پژوهش (Tan, 2022:376) مورد استفاده قرار گرفته از فرایند تکرار شبیه سازی و مدل ریاضی برای بدست آمدن تعادل کاربر[2] به صورت تصادفی استفاده شده است. با توجه به تقاضای ترافیکی مسیرهای اولیه با فرض خالی بودن شبکه انتخاب میشود سپس بار شبکه و زمان سفر توسط شبیه ساز محاسبه شده و مسیرهای انتخابی توسط رانندگان به روزرسانی می شوند این فرایند تا زمانی که زمان سفر به حالت ثابت برسد و یا اینکه به حداکثر تکرار شبیه سازی برسد ادامه می یابد. حداکثر تکرار شبیه سازی در این پژوهش ۵۰ در نظر گرفته شده است. الگوریتم به صورت زیر خلاصه می‌شود:

گام اول: مقداردهی اولیه مسیر برای هر یک از خودروها، مسیر بهینه در شبکه خالی است.

گام دوم: هزینه های وابسته به زمان خیابانها توسط شبیه ساز محاسبه گردد .

گام سوم: مسیرهای بهینه بخش کوچکی از خودروها با استفاده از هزینه های وابسته به زمان بدست آمده از گام دوم، مجداً محاسبه گردد.

گام چهارم: اگر مسیرهای محاسبه شده جدید در گام سوم تغییر یافته، به گام دوم برگردد.

روش DTA یک سری محدودیتها در درون دارد. این مسئله واضح نیست که برخی از تکرارهای شبیه سازی سبب همگرا شدن جوابها ودلیل آن نبود یک معیار توقف منحصربه فرد است در نهایت می‌تواند پاسخی نزدیک به تعادل را بدست آورد.

---

[1] - Dynamic Traffic Assignment
[2] - Stochastic user equilibrium(SUE)

نتایج شبیه‌سازی

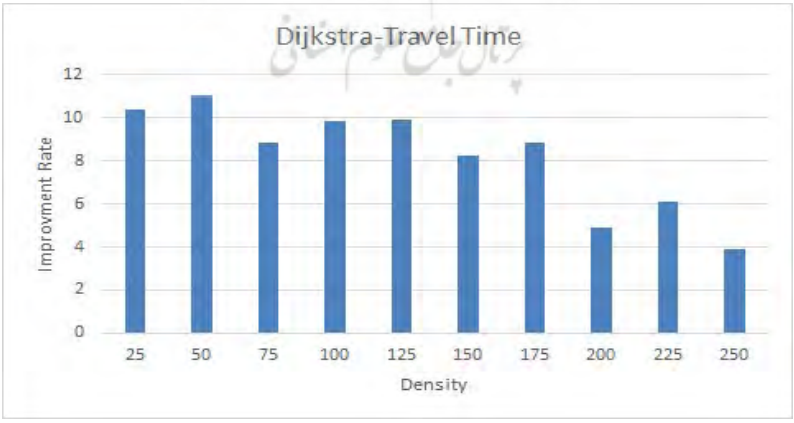
یکی از معیارهای ارزیابی سیستم میانگین زمان سفر خودروها میباشد. شکل ۳ و ۴ میانگین زمان سفر برای دو حالت با چراغ راهنمایی پویا و ایستا را نشان می‌دهد. شکل ۳ نشان میدهد که در روش مسیریابی local با استفاده از تابع هزینه جدید و با در نظر گرفتن چراغ راهنمای ایستا در مقایسه با روش DTA ۱۰٪ و نسبت به روش Global ۱۶٪ بهبود در میانگین زمان سفر بدست آمده است.در شکل ۴ میانگین زمان سفر روش local برای دو حالت چراغ راهنمایی پویا و ایستا با یکدیگر مقایسه شده اند که نتایج نشان می‌دهد میانگین زمان سفر با استفاده از چراغ راهنمای پویا ۳۶٪ بهتر از چراغ راهنمایی ایستا می‌باشد. میانگین زمان انتظار در ترافیک معیار دیگر در ارزیابی یک سیستم میباشد. شکل ۵ میانگین زمان انتظار روش مسیریابی local برای دو حالت چراغ راهنمایی پویا و ایستا با یکدیگر مقایسه می‌کند که نتایج نشان می‌دهد میانگین زمان انتظار با استفاده از چراغ راهنمای پویا ۴۱٪ کمتر از چراغ راهنمایی ایستا می‌باشد.

شکل ۳ : میانگین زمان سفر با چراغ راهنمایی ایستا

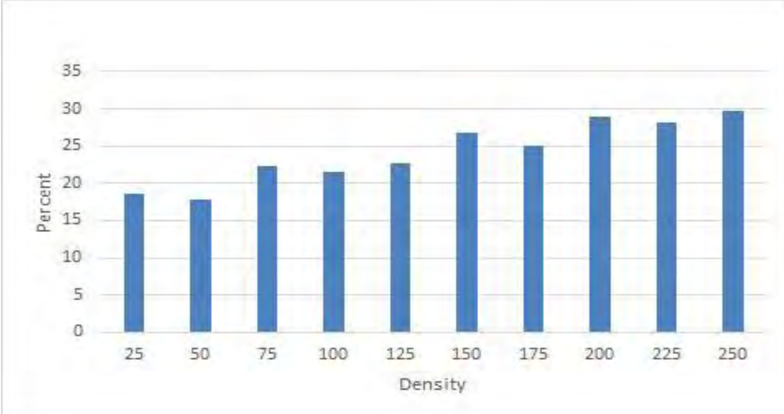
شکل ۴: مقایسه میانگین زمان سفر برای حالت‌های چراغ راهنمایی ایستاو پویا.

شکل ۵: مقایسه میانگین زمان انتظار برای حالت‌های چراغ راهنمایی ایستا و پویا.

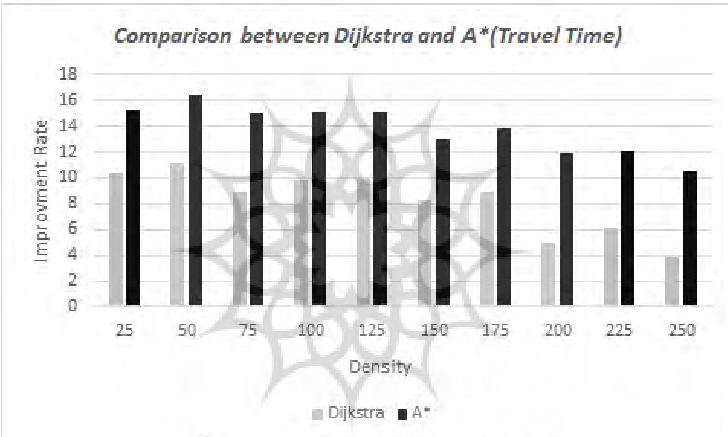
نتایج مربوط به روش کوتاهترین مسیر این الگوریتم با انتساب وزن به یالهای گراف سعی در یافتن مسیر بهینه دارد. مسیر بهینه ارائه شده توسط این الگوریتم در واقع کوتاهترین مسیر ممکن از مبدا به مقصد می باشد. میزان کاهش زمان سفر با استفاده از این الگوریتم در شکل زیر۶ نشان داده شده است.همان گونه که قابل مشاهده است با وجود تاثیر مثبت این روش در تراکم های پایین، میزان این تاثیر مثبت، با افزایش تراکم کاهش می یابد .همچنین این الگوریتم در شکل ۷ بر زمان سفر بعضی از خودر وها تاثیر معکوس داشته .دلیل این پدیده می تواند منتهی شدن کوتاهترین مسیر به خیابان های پرترافیک باشدنتایج در این قسمت نتایج شبیه سازی حاصل از پیاده سازی روش پیشنهادی و با استفاده از ابزارهای Veins ،SUMO و OMNET ++ در شرایط تراکمی متفاوت بر روی نقشه سه شهر لندن، نیویورک، پاریس ارائه می گردد. نقشه این سه شهر از openstreetmap.org سایت دانلود شده است .این سایت متعلق به سازمانی است که در سال 2006 شروع به کار کرده و هدف آن فراهم کردن نقشه های دقیق و رایگان برای عموم مردم است.



شکل ۶: بهبود زمان سفر توسط الگوریتم دایجسترا



شکل ۷: درصد خودروهایی که الگوریتم دایجسترا بر روی آن ها تاثیر معکوس داشته است



شکل ۸: مقایسه الگوریتم دایجسترا با الگوریتم A*

با توجه به نمودارشکل۸ در تراکم های بالا حدود ۳۰٪ خودروهایی که کوتاهترین مسیر را تا مقصد انتخاب کرده اند زمان سفر بیشتری را نسبت به حالت عادی تجربه کرد ه اند و پیش بینی می شود با افزایش تراکم به مقادیر بالاتر این درصد نیز افزایش یابد.در نتیجه واضح است که روش کوتاهترین مسیر قادر به انتخاب مسیر بهینه به ویژه در تراکم های بالا نیست . به همین دلیل استفاده از روش دیگری که قادر به محاسبه مسیر بهینه و کمینه کردن زمان سفر خودروها، حتی در تراکم های بالا باشد ضروری به نظر می رسد.

نتایج مربوط به روش زمان سفر

الگوریتم زمان سفر، با توجه به تراکم لحظه ای و زمان لازم برای عبور از یک خیابان، مسیر بهینه را پیشنهاد می کند .مقایسه این روش با الگوریتم کوتاهترین مسیر در نمودار زیر قابل مشاهده

است.هما نطور که مشاهده می شود روش زمان سفر در همه تراکم ها عملکرد بهتری ارائه می دهد . و با افزایش تراکم تفاوت بین این دو زمان سفر(در مقایسه *A) روش بیشتر نمایان می شود . هرچند با خودش در تراکم های پایین تر عملکرد بهتری ارائه می دهد.دلیل این پدیده این است که با افزایش تراکم ,اکثر مسیرها به حالت اشباع نزدیک و هزینه تردد از آن ها بالا می رود.

نتیجه گیری

در این مقاله یک روش جدید محاسبه تابع هزینه سفر ارائه شدو مقادیر تابع هزینه برای محاسبه و مسیریابی مجدد خودروهاتوسط سیستم مرکزی به منظور کاهش میانگین زمان سفر، مورداستفاده قرار گرفت .ما برای اعتبار سنجی روش خود از رویکردمبتنی بر شبیه سازی استفاده کردیم .نتایج نشان می دهد باتنظیم درست فواصل زمانی و محاسبات دقیق تر تخمین زمان سفر بر روی لینک ها، میتوان میانگین زمان سفر خودرویی را کاهش داد .همچنین نتایج نشان میدهد، تنظیمات پویای چراغ های راهنمایی خود به تنهایی میتوانند تاثیرات چشمگیری در کاهش میانگین زمان سفر ایجاد نمایند .مقایسه و روش انتخاب خودرو به صورت محلی و کلی نشان بدهدکه انتخاب درست خودرو، خود می تواند سبب کاهش نقاط پر ازدحام گردد و در نتیجه سبب کاهش زمان سفر خودروها گردد. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که روش زمان سفر با توجه به در نظر گرفتن شرایط لحظه ای جاده قادر به تطبیق خود با شرایط مختلف است و در نتیجه در هر شرایط تراکمی قادر می باشد بهترین مسیر ممکن را پیشنهاد کند .هرچنددر کارهای آتی می توان با تلفیق روش پیشنهادی با مدیریت چراغ های راهنمایی و هوشمندسازی کامل خیابان ها و دوربین ها از اتلاف بیجای زمان رانندگان در پشت چراغ های قرمز جلوگیری کرده و منجر به کاهش هرچه بیشتر زمان سفر با استفاده از روش پیشنهادی شد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

Afrin, T., & Yodo, N. (2020). A survey of road traffic congestion measures towards a sustainable and resilient transportation system. *Sustainability, 12*(11), 46-60.

Banerjee, S., Chakraborty, C., & Chatterjee, S. (2019). A survey on IoT based traffic control and prediction mechanism. In *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation* (pp. 53-75).

Chen, M., & Chien, S. I. (2001). Dynamic freeway travel-time prediction with probe vehicle data: Link based versus path based. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1768*(1), 157-161.

Godwin, J. J., Krishna, B. S., Rajeshwari, R., Sushmitha, P., & Yamini, M. (2021). IoT based intelligent ambulance monitoring and traffic control system. In *Further Advances in Internet of Things in Biomedical and Cyber Physical Systems* (pp. 269-278).

Imanpour, M. (2014). A smart urban traffic management and control method using the Internet of Things (Master's thesis). Tarbiat Modares University, Faculty of Computer Engineering.

Isa, N., Mohamed, A., & Yusoff, M. (2015). Implementation of dynamic traffic routing for traffic congestion: A review. In *Soft Computing in Data Science* (pp. 174-186). Springer.

Isazadeh, S., Baloch, Z., Nik, M., & Mehrjo, M. (2015). Reducing the time of city trips by rerouting cars with the help of inter-car wireless network. *International Conference on Information Technology and Knowledge*, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Sistan and Baluchistan, Zahedan.

Jafari, P. (2017). Intelligent control and a traffic fabric using the Internet of Things (Master's thesis).

Li, Q., Wei, X., & Li, Y. (2008). System architecture and enabling technologies of intelligent roadway system. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 1*, 40-48.

Litman, T. (2013). Smarter congestion relief in Asian cities. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*.

Marković, H., et al. (2010). GPS data-based non-parametric regression for predicting travel times in urban traffic networks. *PROMET - Traffic & Transportation, 22*(1), 1-13.

Pan, J.-S., et al. (2013). Proactive vehicular traffic rerouting for lower travel time. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 62*(8), 3551-3568.

Tan, L., & Wang, N. (2022). Future internet: The internet of things. In *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)* (Vol. 5, pp. 376-380). IEEE.

Yogheshwaran, M., Praveenkumar, D., Pravin, S., Manikandan, P. M., & Saravanan, D. S. (2020). IoT based intelligent traffic control system. *International Journal of Engineering Technology Research & Management, 4*(4), 59-63.

Zhu, F., Lv, Y., Chen, Y., Wang, X., Xiong, G., & Wang, F. Y. (2019). Parallel transportation systems: Toward IoT-enabled smart urban traffic control and management. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 21*(10), 4063-4071.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی