فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

یک روش پویای بهبود جریان ترافیک شهری با استفاده از اینترنت اشیاء: تنظیم هوشمند چراغ‌های راهنمایی و مسیریابی مجدد خودروها

مهدی ایمان‌پور- بهزاد اکبری

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر ، دانشگاه تربیت مدرس تهران

۲- استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس تهران

چکیده

یکی از مشکلات بزرگ در کلان‌شهرها پدیده ازدحام ترافیکی است. حجم بالای ترافیک در این شهرها سبب کندشدن حرکت خودروها، توقف‌های طولانی پشت چراغ‌های راهنمایی و آسیب روحی و روانی جبران‌ناپذیر برای مسافران و رانندگان می‌گردد. با پیشرفت سیستم‌های ارتباطی، سیستم‌های هوشمند ترافیکی نقش بسزایی در بهینه سازی جریان ترافیکی در شهرهای بزرگ و شلوغ ایفا می‌کنند. امروزه شبکه‌های فراگیر پهن باند، مجموعه داده‌های ترافیکی بی‌درنگ را به گونه‌ای فراهم می‌کنند که مسیریابی ترافیکی به صورت هوشمندانه بهینه سازی گردد. تغییرات پویای ترافیک و همچنین تاثیر یک مسیریابی بر روی مسیرهای دیگر یکی از چالش‌های اصلی در بهینه سازی کلی جریان ترافیکی می‌باشد. با توجه به این مسئله، در این مقاله یک مدل برای محاسبه زمان سفر خیابان ارائه شده است. هر خودرو پس از ورود به شبکه، با توجه به مبدا و مقصد خود، مسیر بهینه را به صورت پویا دریافت می‌کند. وضعیت ترافیک شهری به صورت دوره‌ای بررسی می‌گردد و با استفاده از روش تشخیص و پیش‌بینی ازدحام، خیابان‌های مستعد ازدحام ترافیکی شناسایی شده و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی انتخاب خودرو، وسایل نقلیه‌ی منتخب بر اساس کوتاه‌ترین زمان سفر و با استفاده از الگوریتم دایجسترا، مسیریابی مجدد می‌شوند. علاوه بر مسیریابی خودروها بر اساس وضعیت کنونی، چراغ‌های راهنمایی به صورت پویا تنظیم می‌شوند. نتایج ارزیابی عملکرد روش ما با استفاده از شبیه‌سازی، کارایی مدل پیشنهادی را در بهینه سازی جریان ترافیکی نشان می‌دهد.

کلید واژه: مسیریابی پویا، چراغ راهنمای پویا ، پیش بینی ترافیک شهری ، سیستم حمل و نقل هوشمند

۱- مقدمه

با توسعه روزافزون شهرها، جابجایی انسان و کالا تبدیل به یک مسئله روزمره شده است که پیچیدگی آن دائما در حال افزایش است. رشد شهری باعث افزایش تقاضا برای زیرساخت‌های محدود حمل و نقل همچون خیابان‌ها شده و در نهایت سبب ازدحام ترافیکی می‌گردد. ازدحام ترافیکی در حوزه حمل و نقل و به طور خاص در نواحی شهری به عنوان یک مسئله و چالش عمومی شناخته شده است [۱]. ازدحام ترافیکی نه‌تنها برای رانندگان ایجاد مزاحمت می‌کند بلکه سبب افزایش آلودگی هوا نیز می‌گردد [۲]؛ همچنین سبب افزایش احتمال تصادفات در رانندگی می‌گردد [۳].

برای روان سازی جریان ترافیک شهری دو رویکرد توسعه زیرساخت‌ها و استفاده کارا و حداکثر از این منابع محدود(خیابان‌ها) پیش رو است. در این مقاله رویکرد دوم مورد توجه قرارگرفته است؛ یعنی «استفاده صحیح از منابع موجود» و استفاده نادرست از این منابع موجب ازدحام ترافیکی و در نتیجه اتلاف زمان مفید افراد خواهد شد.

ازدحام ترافیکی را می‌توان به دو دسته برگشت‌پذیر[1] و ناگهانی[2] تقسیم بندی کرد [۱]. ازدحام‌های ترافیکی برگشت‌پذیر به صورت دوره‌ای رخ می‌دهند و دلایل وقوع این گونه ترافیک‌ها عدم تعادل جریان ترافیکی در ساعات مختلف شبانه‌روز می‌باشد. ازدحام‌های ناگهانی یک اختلال ناخواسته دردرون شبکه جاده‌ای است که می‌تواند دلایلی چون حوادث غیرمترقبه

1 Recurrent
2 Non-recurrent

بارندگی‌های شدید و آب‌گرفتگی خیابان‌ها، ساخت و ساز جاده‌ای، وقایع خاص از قبیل کنسرت‌ها و مسابقات ورزشی باشد [۴]. راهکارهای مختلفی برای حل مسئله ازدحام ترافیکی ارائه شده است. در [۵] سه راه حل برای کاهش ازدحام ترافیکی با عناوین کاهش تقاضای ترافیکی، انتقال ترافیک جاده‌ای به روش‌های دیگر مسافرتی و پراکنده کردن ترافیک به منظور افزایش استفاده از ظرفیت شبکه معرفی شده است. راه حل سوم به دلیل توانایی کاهش ترافیک در ساعات پرتردد اصلی ترین راه حل در نظر گرفته شده است.

پیش‌بینی ازدحام ترافیک به صورت دقیق و بی‌درنگ، 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 پیش‌بینی زمان سفر انجام دهند. بر اساس نوع داده می‌توان مدل پیش‌بینی را به دو دسته مبتنی بر داده‌های ترافیکی تاریخچه‌ای و مبتنی بر ترافیک داده‌های بی‌درنگ تقسیم بندی کرد. دسته اول شامل متوسط تاریخچه و تکنیک‌های هموارسازی[1]، رگرسیون پارامتریک و ناپارامتریک [۶]و[۷] میانگین متحرک[2] [۸, ۹] ، یادگیری ماشین [۱۰] و شبکه عصبی [۱۱, ۱۲] بودند. این روش‌ها اغلب دارای پیچیدگی محاسبات بالا و نیازمند تعداد زیاد پارامتر تخمین بوده و از عدم انطباق با تغییرات در الگوی ترافیکی رنج می‌برند. در مقایسه ای که در [۱۳] بین متوسط گیری تاریخچه، سری‌های زمانی، رگرسیون ناپارامتریک و شبکه‌های عصبی صورت گرفته، نشان داده شده، مدل رگرسیون ناپارامتریک به طور قابل توجهی عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های دیگر دارند و پیاده سازی آسان‌تری نیز دارند. با این حال مدل رگرسیون ناپارمتریک نیازمند داده‌های تاریخچه زیادی می‌باشد و فرآیند یادگیری طولانی دارد. علاوه براین، در سناریوهایی که انطباق‌ها در پایگاه داده تاریخچه مناسب نباشند، رگرسیون ناپارامتریک خروجی پیش‌بینی قابل اعتمادی بدست نمی‌آورد.

در دسته دوم، چندین مدل مبتنی بر داده‌های ترافیکی بی‌درنگ ارائه شده است [۱۴, ۱۵]. در [۱۶] انواع تکنیک‌های جمع‌آوری داده مانند سیستم‌های شناسایی خودروهای خودکار، شناساگرهای حلقوی و حسگرهای مبتنی بر رادار معرفی شده

1 Smoothing
2 Moving average

و در ادامه به معرفی جمع آوری داده‌ها با روش FCD[3] پرداخته است که با استفاده از انتقال دهنده GSM/GPRS و حرکت حسگرهای درون خودرو با جریان ترافیک، داده‌های مورد نیاز مانند سرعت را محاسبه می‌کند و دیگر نیازی به ابزارهای نصب‌شده در کنار جاده وجود ندارد.

تاکنون روش‌های متعددی پا به عرصه ظهور نهاده‌اند 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 (IoT)[4] می‌باشد و IoT به عنوان یک سیستم فراگیر می‌تواند در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد. تکامل بنیادی اینترنت جدید در یک شبکه از اشیا متصل به هم، این است که نه تنها اطلاعات را از محیط خود جمع‌آوری می‌کنند و با دنیای فیزیکی در تعامل هستند، بلکه از استانداردهای اینترنت موجود برای فراهم کردن سرویس‌هایی برای انتقال اطلاعات، تحلیل و ارتباطات استفاده می‌کنند [۱۷]. با وجود دستگاه‌هایی مانند RFID، Wi-Fi، بلوتوث، حسگرهای تعبیه شده[5] و گره‌های عملگر[6]، IoT پا را از نوباوگی فراتر نهاده و در آستانه تبدیل اینترنت ایستای کنونی به اینترنت کاملا یکپارچه در آینده خواهد بود [۱۸]. اینترنت اشیا با چنین توانمندی می‌تواند در هر حوزه کاربردی که وارد می‌شود تحولات چشم‌گیری را در آن زمینه ایجاد کند و باعث شکوفایی آن گردد. ترافیک شهری می‌تواند از اینترنت اشیا در جهت جمع آوری یک سری پارامترها و داده‌های محیطی اطراف کمک گرفته و با تصمیم‌گیری‌های لازم بر اساس اطلاعات مفید جمع‌آوری شده، مدیریت و کنترل صحیح ترافیک شهری را ارتقا بخشد.

در حال حاضر سیستم‌های راهنمای مسیر (RGS)[7] رانندگی را برای محیط‌های آشنا و ناآشنا به صورت مسیریابی گام به گام و یا اطلاعات مسیریابی بهینه بی‌درنگ را به صورت گسترده فراهم نموده است [۵]. RGSها براساس شرایط ترافیک بی‌درنگ جمع‌آوری شده توسط حسگرهای تعبیه‌شده و با استفاده از مسیرهای ارتباطی متصل به سیستم مرکزی، راهنمایی مسیر را فراهم می‌کنند. هنگامی که پیش بینی دقیق باشد، انتظار می‌رود اطلاعات پیش بینی بسیار موثرتر از اطلاعات عمومی باشد، و دلیل آن امکان محاسبه تغییرات سریع شرایط مکانی

3 Floating-Car Data
4 Internet of Things
5 Embedded sensors
6 Actuator nodes
7 Route guidance system

و زمانی با استفاده از اطلاعات پیش‌بینی می‌باشد. سیستم‌های کنونی راهنمای مسیر همچون گوگل و Sygic [۱۹] با استفاده از اطلاعات ترافیکی مبتنی بر زیرساخت، مسیرهای کوتاه ترافیکی را محاسبه می‌کنند. اما این راه‌حل‌ها تلاشی برای جلوگیری از ازدحام انجام نمی دهند و راهکارهای واکنشی دارند، به طوری که اطلاعات ترافیکی را بعد از رخداد ازدحام فراهم می‌کنند؛ درحالی 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 تراکم ترافیکی پیش‌بینی می‌شود، راهنمای مسیر برای رانندگان فراهم می‌گردد.

در این مقاله یک مدل پیش‌بینی میزان ترافیک براساس رویکرد میکروسکوپیک ارائه و از مدل Greenshield برای تخمین زمان سفر استفاده می‌کنیم و یک سیستم راهنمای مسیر با 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 پیش‌بین از احتمال وقوع ازدحام در بخش‌های مختلف شهر مطلع می‌گردد، با محاسبات صورت گرفته مسیر بهینه برای خودروهایی که در خیابان‌های بالادست[1] قرار دارند، محاسبه کرده و برای خودروهای مربوطه ارسال می‌کند. فرض بر این است که خودروها مسیرهای پیشنهادی را می‌پذیرند. بررسی وضعیت ترافیکی شهری و محاسبه مسیر برای مسیرهای انتخاب شده به صورت دوره‌ای (τ ثانیه) صورت می‌گیرد.

برای ارزیابی عملکرد سیستم، از شبیه‌ساز SUMO بر روی نقشه واقعی منطقه بروکلین[۶] و نقشه مسیر آن استفاده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده میانگین زمان سفر در روش پیشنهادی مقاله ۱۰درصد بهتر از روش DTA و ۱۶ درصد بهتر از روش مسیریابی Global می‌باشد.

۲– روش پژوهش

ما یک مدل پیش‌بینی میزان ترافیک ارائه کرده و به کمک حسگرها، مرکز محاسبه و کنترل ترافیک و سیستم ارتباطی، یک سیستم جامع راهنمای مسیر پیشنهاد داده‌ایم. در این مقاله فواصل زمانی کنترلی(τ_c) و فواصل زمانی جمع‌آوری داده‌های ترافیکی (τ_{agg}) یکسان در نظر گرفته شده است. عملیات سیستم پیشنهادی شامل چندین گام می‌شود: ۱- تشخیص و پیش‌بینی ازدحام ۲-انتخاب خودروهای مستعد برای مسیریابی مجدد۳- محاسبه مسیر جایگزین با درنظر گرفتن چراغ‌های راهنمای ایستا و پویا ۴- ارسال مسیر جایگزین محاسبه شده برای خودروهای انتخابی

۲– ۱– تخمین داده‌های ترافیکی

ما شبکه حمل و نقل جاده ای را به عنوان گرافی مشتمل بر لینک‌ها (E) و گره‌ها (N) در نظر گرفتیم. خودروها درون لینک‌ها 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 دستگاه‌های GPS[2] بر اساس ذخیره داده‌ها، GSM[3] بر اساس داده‌های جریان خودروهایی(FCD[4]) و بلوتوث [۵] 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 در مقاله [۲۰] به صورت رابطه ۱ بیان شده است:

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

X_{jam} . حداکثر تراکم ترافیکی در خیابان iام

$X_i(k)$: میزان ترافیک شناسایی شده خیابان iام در در فاصله زمانی kام

V_f . سرعت جریان آزاد در خیابان iام

L_i و $T_i(k)$ به ترتیب طول خیابان iام و زمان سفر تخمین زده شده در خیابان i در فاصله زمانی kام

اصولا $\frac{X_i}{X_{jam}}$ 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 جمع آوری داده‌های ترافیکی، گردآوری نمود. حداکثر تعداد خودرو در خیابان‌ها طبق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد.

1 Upstream links

2 Global position system

3 Global system for mobile communication

4 Floating car data

$$\text{max number of vehicles}= \frac{\text{road's length*number of lane}}{\text{average of vehicle length} + \text{min gap}} \quad (۲)$$

در مدل ارائه شده برای محاسبه زمان سفر در لینک، اثر لینک‌های پایین دست بر روی لینک‌های بالادست اعمال نشده است. به عنوان مثال اگر در لینک پایین دست ظرفیت لینک بسیار کمتر از لینک‌های بالا دست باشد، بعد از پر شدن لینک دیگر امکان ورود خودرو از لینک‌های بالا به این لینک وجود ندارد، حال بایستی زمان سفر را برای خودروها به چه صورت اسبه کرد؟ در روش جدید برای محاسبه تابع هزینه، این مسئله مدنظر قرار گرفته است که در رابطه ۳ نشان داده شده است.

$$H_i(k) = T_{cycle,i\to(i+1)} * N_i(k) \quad (۳)$$

$$F_i(k) = T_i(k) + H_i(k)$$

$X_i(k)$: میزان ترافیک شناسایی شده خیابان i ام در در فاصله زمانی k ام

$\tilde{a}_{i\to(i+1)_d}(k)$: نسبت تقسیم ترافیک بر روی خیابان i ام که در فاصله زمانی k ام وارد خیابان پایین دست d ام می‌شود.

$X_{jam(i+1)_d}$: حداکثر تراکم ترافیکی در خیابان پایین دست d ام از خیابان i

$N_i(k)$: حداکثر چرخه[1] مورد نیاز برای تخلیه خیابان i ام

$T_{cycle,i\to(i+1)}$. : مدت زمان یک چرخه برای خیابان i ام

$H_i(k)$. : مدت زمان لازم برای تخلیه خیابان i ام

$F_i(k)$: تابع هزینه زمان سفر یک خودراز ورود تا زمانی که از خیابان خارج شود

$T_i(k)$. : زمان سفر پیش‌بینی شده درون خیابان i ام در فاصله زمانی k ام

با توجه به تعداد خودروهای موجود در خیابان i ام و دانستن اینکه چه درصدی از خودروهای موجود درخیابان قصد ورود به هر یک از خیابان‌های پایین‌دست را دارند؛ همچنین ظرفیت باقیمانده از خیابان‌های پایین‌دست و با استفاده از رابطه ۳، تابع هزینه زمان سفر جدید برای هر یک از خیابان‌ها محاسبه می‌گردد. بر اساس تابع هزینه جدید هر یک از خودروهای انتخابی مسیریابی مجدد می‌گردند.

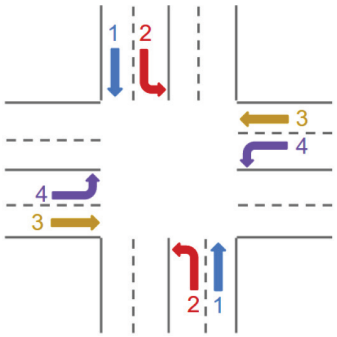
1 Cycle

۲-۲- تشخیص و پیش‌بینی ازدحام

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 دوره‌ای، داده‌های ترافیکی مانند میزان ترافیک در هر خیابان، $X_i(k)$ 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 داده‌های ترافیکی لحظه‌ای جمع‌آوری 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 X_{jam} ظرفیت خیابان i ام می‌باشد.

۲-۳- تنظیم چراغ راهنمای پویا

در این بخش به کنترل انطباقی چراغ راهنمایی با استفاده از حسگرهای موجود در چهارراه می‌پردازیم.



شکل ۲: 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 همرند هستند. در شکل ۱ چهار گروه همروندی نشان داده شده است. مدت زمانی که چراغ راهنمایی برای عبور یک گروه همروند سبز است بعلاوه زمان‌های تلف شده(شامل چراغ زرد و تمام قرمز) را فاز می‌نامیم. به مجموع مدت زمانی که همه گروه‌ها یک فاز را سپری کنند یک چرخه می‌گوییم. هر کدام از چراغ‌های راهنمایی با توجه به نوع تقاطع و تعداد گروه‌های همروندی می‌توانند تعداد فازهای مختلفی داشته باشند. در این مقاله برای تنظیم پویای فازهای چراغ راهنمایی، مولفه‌های minDuration و maxDuration را نیز افزوده‌ایم. به صورت

پیش‌فرض زمان هر فاز به میزان minDuration تنظیم شده است. در فاصله detector-gap=۲m 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 اینصورت به میزان max-gap=۳s به زمان فاز افزوده می‌شود و این امر ممکن است تا زمان maxDuration ادامه یابد.

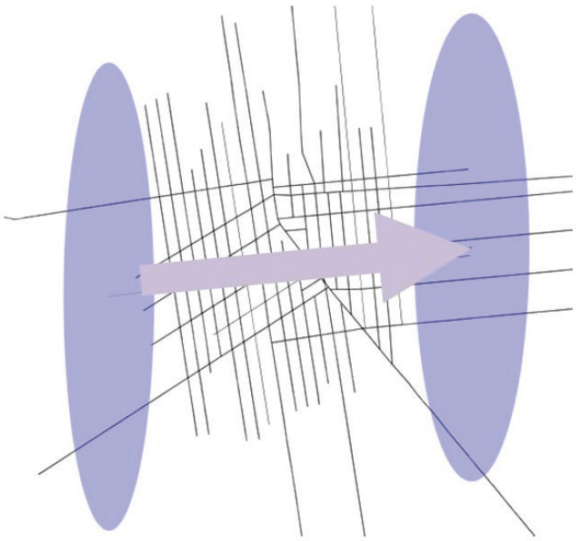
۲-۴- روش انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد

زمانی که احتمال رخداد ازدحام در بخشی از شبکه جاده‌ای 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 فاصله‌ای 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. یعنی خودروهایی که در خیابان‌های تا Lگام بالاتر از نقطه ازدحام قرار دارند، برای مسیریابی مناسب می‌باشند. ما باید L را به‌گونه‌ای 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.

۳- شبیه سازی

برای انجام شبیه سازی از SUMO ۰.۲۴.۰ و TraCI استفاده شده است. SUMO یک مجموعه شبیه ساز ترافیکی میکروسکوپیک، متن باز و قابل حمل است و برای شبکه‌های بزرگ جاده‌ای طراحی شده است. TraCI یک کتابخانه است که دستورات کنترلی رفتار شبیه ساز مانند وضعیت خودرو، تنظیمات جاده‌ای و چراغ‌های راهنمایی را فراهم می‌کند. الگوریتم‌های مسیریابی و تنظیمات پویای چراغ‌های راهنمایی از طریق این کتابخانه و با استفاده از برنامه‌نویسی به زبان پایتون صورت گرفته است. برای استفاده از نقشه خیابان‌های شهر در شبیه‌ساز SUMO می‌توان از OSM (OpensStreetMap) [۲۱] استفاده کرد. 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 جاده‌های ریلی، تونل‌ها و مسیرهای اتوبوس و ... را از نقشه حذف کرد و برای خیابان‌ها محدودیت‌های سرعت را مشخص نمود. در این مقاله برای امکان مقایسه با روش‌های دیگر از نقشه شهری بروکلین و نقشه مسیر موجود در مقاله پن و همکاران [۲۰] استفاده کرده ایم. بروکلین، یکی از پنج بخش نیویورک با وسعت ۷۷.۸۵ کیلومتر مربع، ۱۵۵/۵۵ کیلومتر طول خیابان‌ها، تعداد ۱۹۲ تقاطع و ۵۵۱ خیابان می‌باشد. با شبیه‌سازی‌ها عملکرد روش خود را با دیگر استراتژی‌های مقاله مقایسه کرده‌ایم.

در شبیه‌سازی از تنظیمات پیش‌فرض در Sumo استفاده کرده‌ایم. طول خودروها ۵ متر، حداقل فاصله بین خودرو برابر ۲.۵ متر، مدل حرکت خودروهای به دنبال هم[1] Krauss [۲۲]، شتاب ۲.۶ و نقص و خطا در رانندگی برابر ۰،۵ مقداردهی شده است. نقشه جریان ترافیکی شبکه جاده‌ای بروکلین در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳:جریان ترافیکی در شبکه جاده‌ای بروکلین [۲۰]

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 شبیه‌سازی معرفی شده‌اند.

1 Car following model

جدول ۱: پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی

پارامتر	تعریف
تناوب	فرکانس پیش بینی و فرکانس انجام مسیریابی مجدد(ثانیه)=۱۲۰
آستانه ازدحام δ	اگر $\frac{X_i(k)}{X_{jam}} > \delta$ باشد، خیابان مورد نظر در فاصله زمانی kام دارای ازدحام می‌باشد. $\delta = ۰.۶$
سطح L	عمق شبکه از محل ازدحام برای انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد. در مسیریابی محلی از این پارامتر استفاده می‌شود. $L = ۲$

۱.۳– مسیریابی Local

در هر دوره زمانی τ ثانیه با استفاده از داده‌های ترافیکی جمع‌آوری شده توسط حسگرها، وضعیت ترافیکی، مانند تعداد خودروهای موجود در هر خیابان، نسبت تقسیم ترافیک بر روی هر خیابان به خیابان‌های پایین‌دست 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.

۲.۳– مقایسه با مسیریابی Global

در روش مسیریابی Global در هر دوره زمانی τ ثانیه برای تمامی خودروها مسیریابی مجدد صورت می‌گیرد و خودروها با توجه به وضعیت کنونی شبکه بهترین مسیر را انتخاب می‌نمایند. 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 نقطه‌ای دیگر عنوان کرد. که در ادامه این روش با روش پیشنهادی مقایسه می‌گردد.

۳.۳– 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 راه‌حل برای رویکردهای مبتنی بر شبیه‌سازی، 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 می‌شود. 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 [۲۳]. در روش DTA که در مقاله [۲۰] مورد استفاده قرار گرفته از فرایند تکرار شبیه‌سازی 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 شبیه‌ساز محاسبه شده و مسیرهای انتخابی توسط رانندگان بروزرسانی می‌شوند. این فرایند تا زمانی که زمان سفر به حالت ثابت برسد و یا اینکه به حداکثر تکرار شبیه‌سازی برسد ادامه می‌یابد. حداکثر تکرار شبیه‌سازی در این مقاله 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: هزینه‌های وابسته به زمان خیابان‌ها توسط شبیه‌ساز محاسبه گردد.

گام سوم: مسیرهای بهینه بخش کوچکی از خودروها، با استفاده از هزینه‌های 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 برگرد.

روش DTA یک سری محدودیت‌ها در درون خود دارد. این مسئله واضح نیست که برخی از تکرارهای شبیه‌سازی سبب همگرا شدن جواب‌ها می‌شود و دلیل آن نبود یک معیار توقف منحصربه فرد می‌باشد. در نهایت می‌تواند پاسخی نزدیک به تعادل را بدست آورد.

1 Dynamic Traffic Assignment

2 Stochastic user equilibrium(SUE)

۴.۳– نتایج شبیه‌سازی

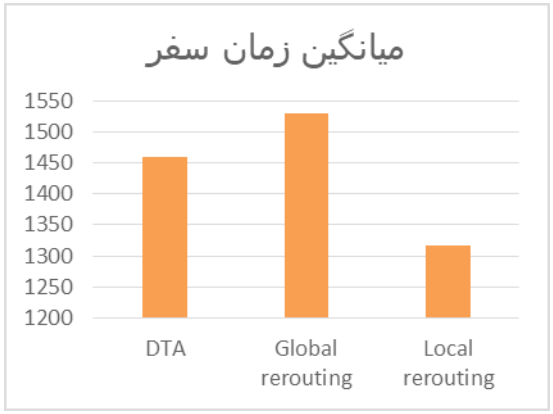
یکی از معیارهای ارزیابی سیستم میانگین زمان سفر خودروها می‌باشد. شکل ۳ و ۴ میانگین زمان سفر برای دو حالت با چراغ راهنمایی پویا و ایستا را نشان می‌دهد. شکل ۳ نشان می‌دهد که در روش مسیریابی local با استفاده از تابع هزینه جدید و با درنظر گرفتن چراغ راهنمای ایستا در مقایسه با روش DTA، ۱۰٪ و نسبت به روش Global، 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.

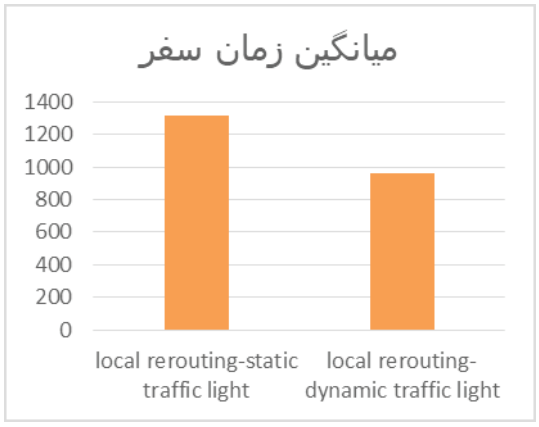
میانگین زمان انتظار در ترافیک معیار دیگر در ارزیابی یک سیستم می‌باشد. شکل ۴ میانگین زمان انتظار روش مسیریابی localبرای دو حالت چراغ راهنمایی پویا و ایستا با یکدیگر مقایسه می‌کند که نتایج نشان می‌دهد میانگین زمان انتظار با استفاده از چراغ راهنمای پویا ۴۱٪ کمتر از چراغ راهنمایی ایستا می‌باشد.

۴– نتیجه‌گیری

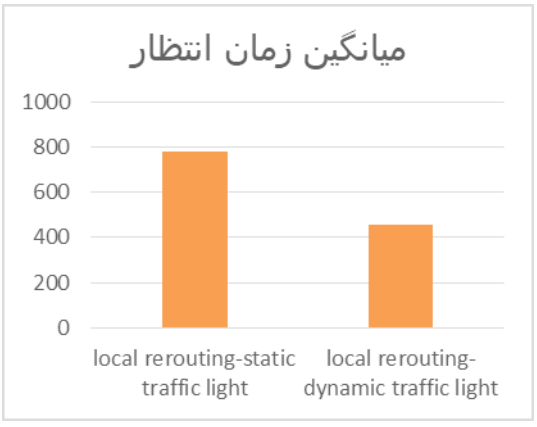
در این مقاله یک روش جدید محاسبه تابع هزینه سفر ارائه شد و مقادیر تابع هزینه برای محاسبه و مسیریابی مجدد خودروها توسط سیستم مرکزی به منظور کاهش میانگین زمان سفر، مورد استفاده قرار گرفت. ما برای اعتبار سنجی روش خود از رویکرد مبتنی بر شبیه‌سازی استفاده کردیم. نتایج نشان می‌دهد با تنظیم درست فواصل زمانی و محاسبات دقیق‌تر تخمین زمان سفر بر روی لینک‌ها، می‌توان میانگین زمان سفر خودرویی را کاهش داد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، تنظیمات پویای چراغ‌های راهنمایی خود به تنهایی می‌توانند تاثیرات چشمگیری در کاهش میانگین زمان سفر ایجاد نمایند. مقایسه دو روش انتخاب خودرو به صورت محلی و کلی نشان می‌دهد که انتخاب درست خودرو، خود می‌تواند سبب کاهش نقاط پرازدحام گردد و در نتیجه سبب کاهش زمان سفر خودروها گردد.



شکل ۴: میانگین زمان سفر با چراغ راهنمایی ایستا



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



شکل۶: مقایسه میانگین زمان انتظار برای حالت‌های چراغ راهنمایی ایستا و پویا

۵- مراجع

1. Isa, N., A. Mohamed, and M. Yusoff, Implementation of Dynamic Traffic Routing for Traffic Congestion: A Review, in Soft Computing in Data Science. 2015, Springer. p. 174-186.
2. Litman, T., Smarter Congestion Relief In Asian Cities. Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific, 2013: p. 1.
3. Litman, T., Factors to Consider When Estimating Congestion Costs and Evaluating Potential Congestion Reduction Strategies. Victoria, Canada: Victoria Transport Policy Institute, 2013.
4. Kwoczek, S., et al., Predicting Traffic Congestion in Presence of Planned Special Events.
5. Liang, Z. and Y. Wakahara, Real-time urban traffic amount prediction models for dynamic route guidance systems. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2014. 2014(1): p. 1-13.
6. Marković, H., et al., GPS Data-based Non-parametric Regression for Predicting Travel Times in Urban Traffic Networks. PROMET-Traffic&Transportation, 2010. 22(1): p. 1-13.
7. Zhang, X. and J.A. Rice, Short-term travel time prediction. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2003. 11(3): p. 187-210.
8. Comert, G. and A. Bezuglov, An online change-point-based model for traffic parameter prediction. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2013. 14(3): p. 1360-1369.
9. Xia, J., M. Chen, and W. Huang, A multistep corridor travel-time prediction method using presence-type vehicle detector data. Journal of Intelligent Transportation Systems, 2011. 15(2): p. 104-113.
10. Rzeszótko, J. and S.H. Nguyen, Machine learning for traffic prediction. Fundamenta Informaticae, 2012. 119(3): p. 407-420.
11. Dunne, S. and B. Ghosh, Weather adaptive traffic prediction using neurowavelet models. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013. 14(1).
12. Mazloumi, E., et al., Prediction intervals to account for uncertainties in neural network predictions: Methodology and application in bus travel time prediction. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011. 24(3): p. 534-542.
13. Smith, B.L., B.M. Williams, and R.K. Oswald, Comparison of parametric and nonparametric models for traffic flow forecasting. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2002. 10(4): p. 303-321.
14. Chen, M. and S.I. Chien, Dynamic freeway travel-time prediction with probe vehicle data: Link based versus path based. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2001. 1768(1): p. 157-161.
15. Wang, Y., M. Papageorgiou, and A. Messmer, Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter: A case study. Transportation Science, 2007. 41(2): p. 167-181.
16. De Fabritiis, C., R. Ragona, and G. Valenti. Traffic estimation and prediction based on real time floating car data. in Intelligent Transportation Systems, 2008. ITSC 2008. 11th International IEEE Conference on. 2008. IEEE.
17. Gubbi, J., et al., Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 2013. 29(7): p. 1645-1660.
18. Yan, L., et al., The Internet of things: from RFID to the next-generation pervasive networked systems. 2008: CRC Press.
19. 1 December 2015; Available from: http://www.sygic.com/gps-navigation/live-services.
20. Pan, J.-S., et al., Proactive vehicular traffic rerouting for lower travel time. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2013. 62(8): p. 3551-3568.
21. 24 May 2015; Available from: http://www.openstreetmap.org.
22. Krauss, S., P. Wagner, and C. Gawron, Metastable states in a microscopic model of traffic flow. Physical Review E, 1997. 55(5): p. 5597.
23. Janson, B.N., Dynamic traffic assignment for urban road networks. Transportation Research Part B: Methodological, 1991. 25(2): p. 143-161.

A dynamic urban traffic flow improving method by using IOT: Intelligent traffic lights tuning and vehicles rerouting

Mehdi Imanpour, Behzad Akbari

1-M.SC. Student, Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran,
2- Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering,
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Abstract

Traffic congestion is one of the big problems in large cities. The high volume of traffic causes slow transportation, long stops times behind traffic lights and psychological damage for passengers and drivers. By advances in communication systems, intelligent traffic systems can play more roles in optimization of traffic flows in large and crowded cities. Today ubiquitous broadband networks provide real-time traffic data collection by which traffic routing can be optimized intelligently. Dynamically changing of traffic and also impact of traffic in one route on other related routes is one of the main challenges that make it difficult to globally optimize the traffic flow. Regarding to this issue, in this paper, we propose a new model to calculate the street travel time in which each vehicle finds its optimal routes according to its origin and destination, dynamically. In our proposed method, urban traffic situation is evaluated periodically and the streets with high traffic congestion potential are identified via diagnosis and prediction algorithms. Then the selected vehicles are re-rerouted based on shortest path by using Dijkstra's algorithm. In addition to rerouting the vehicles according to current situation, we tune the traffic lights dynamically. Our performance evaluation through simulation shows the efficiency of the proposed method in optimization of traffic flow.

Keywords: dynamic rerouting, dynamic traffic light, urban traffic prediction, intelligent transport system