سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۶
Vol.9, No. 2, Summer 2017

۱-۲۰

ارائهٔ مدل عامل مبنا برای کنترل هوشمند چراغ‌های راهنمایی و مسیریابی پویا

محمد آخوندی[۱]*، محمد سعدی مسگری[۲]، محمدرضا ملک[۳]، امید عسگری سیچانی[۴]

۱. کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۲. دانشیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی، عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی، دانشکدهٔ نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۳. دانشیار سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۴. کارشناس ارشد هوش مصنوعی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۶/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۶/۲۱

چکیده

ترافیک شهری در دنیای امروز، به‌خصوص در کلان‌شهرها، یکی از مشکلات مهم و فراگیر محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر برای غلبه بر این مشکل، راه‌حل‌های بسیاری پیشنهاد شده که بیشتر آنها برمبنای مدل‌سازی کلان ترافیک شهری عرضه شده‌اند. ولی به‌دلیل پیچیدگی‌های زیاد محیط شهری و عوامل متعدد و متفاوت مؤثر در ترافیک شهری، این مدل‌ها نمی‌توانند به‌خوبی فضای دینامیک و متغیر ترافیک شهری را مدل‌سازی کنند. در مقابل، به‌دلیل قابلیت بالای عامل‌ها در مدل‌سازی تعاملات مؤلفه‌های مؤثر در ترافیک و همچنین مدل‌سازی فضای متغیر محیط شهری، روش عامل مبنا روشی مناسب و نویدبخش برای مدل‌سازی ترافیک شهری به‌شمار می‌رود. با توجه به مطالب بیان‌شده، در این تحقیق، به‌منظور ارتقا و بهبود مسیریابی وسائط نقلیه برمبنای ایجاد قابلیت ارسال و دریافت اطلاعات ترافیکی در میان مؤلفه‌های ترافیک، یک مدل عامل مبنا مطرح شده است. همچنین، در این مدل، چراغ‌های راهنمایی و در واقع کنترل سبز و قرمزشدن آنها، با توجه به وضعیت ترافیکی (تعداد اتومبیل‌ها) در خیابان‌های متصل به تقاطع‌های در معرض کنترل، هوشمندسازی شده است. در مدل مطرح‌شده، فرض شده است تمامی وسایل نقلیه به GPS و وسایل ارتباطی مناسب مجهزند. برای پیاده‌سازی از پلتفُرم JADE و کتابخانهٔ کلاس‌های آن استفاده شده است. درنهایت، داده‌های شبیه‌سازی مناسب به مدل وارد شده و نتایج حاصل از روش‌ها و سناریوهای گوناگون مطرح‌شده در مدل، از منظر کاهش ترافیک و میانگین زمان سفر در شبکهٔ حمل‌ونقل شهری، ارزیابی شده است.

کلیدواژه‌ها: عامل مبنا، سیستم حمل‌ونقل هوشمند، ترافیک، مسیریابی، چراغ‌های راهنمایی و رانندگی هوشمند.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: اصفهان، خیابان هزارجریب، کوچهٔ شهید کریمی، پ ۳۲، ط ۲ ، کدپستی ۸۱۶۹۷۴۸۵۴۲، تلفن : ۰۹۱۳۲۱۱۲۰۷۷.
Email: makhondi225@yahoo.com

۱- مقدمه

در دنیای امروز، به‌ویژه در کلان‌شهرها، ازدحام ترافیکی یکی از مشکلات مهم و فراگیر شمرده می‌شود که هر روزه با آن روبه‌روییم. برای حل این مشکل، تلاش‌های زیادی انجام و راه‌حل‌های متعددی نیز ارائه شده است اما، به‌دلیل انبوهی و پیچیدگی و پارامترهای این مشکل و متفاوت‌بودنشان، هر یک از این راه‌حل‌ها شیوه و پاسخی محلی به‌حساب می‌آیند و پاسخ کلی نیستند (Lopez-Neri et al., 2010).

دلیل اصلی معضل ترافیک تصمیمات نادرست رانندگان و افزایش روزافزون اتومبیل‌های سطح شهر است. تصمیم نادرست رانندگان به‌علت ناآگاهی آنان از وضعیت ترافیکی شبکه است. بنابراین امکان دارد راننده‌ای، از میان سه راه متفاوت برای رسیدن به مقصد خود، راهی را انتخاب کند که به‌ظاهر کوتاه‌تر است و سریع‌تر می‌تواند آن را بپیماید ولی، به‌علت شلوغی آن خیابان در آن زمان، بسیار دیرتر از زمان پیش‌بینی‌شده به مقصد می‌رسد و مدت زیادی را در ترافیک به‌سر می برد (Chen et al.,2009).

روان‌نبودن ترافیک نه تنها زمان راننده را تلف می‌کند بلکه باعث استهلاک خودرو، افزایش مصرف سوخت، آلودگی هوا و درنتیجه، گرم‌ترشدن روزافزون کرهٔ زمین خواهد شد. اگر تأثیرات منفی روحی و روانی بر رانندگان را نیز در نظر بگیریم، متوجه می‌شویم که این مشکل، در مجموع، زیان بسیار زیادی به‌همراه دارد. بنابراین اگر بتوان، با روش‌ها و فناوری‌های نوین، به رانندگان در تصمیم گیری و انتخاب مسیر درست به‌گونه‌ای کمک کرد، به یقین در راه ازمیان‌بردن و یا دست‌کم، کاهش ماندن در ترافیک و میانگین زمان سفر در شبکه قدم بزرگی برداشته می‌شود (Weyns et al., 2007).

برای حل این مشکل، نیاز به سیستمی داریم که بتوانیم پیشنهادها، راه‌حل‌ها و الگوریتم‌های جدید را در آن مطرح، آزمایش و ارزیابی کنیم. به‌عبارتی دیگر، به سیستمی با قابلیت شبیه‌سازی ترافیک شهری نیاز است، شامل اتومبیل‌هایی با مقاصد متفاوت، چراغ‌های راهنمایی و مانند آن، که بتوان آن را با واسطهای کاربر گرافیکی پیکربندی کرد. در این تحقیق، با اجرای یک سیستم عامل مبنای حمل‌ونقل شهری، در جهت تحقق این هدف گام برداشته‌ایم. روش‌های عامل مبنا، به‌دلیل توزیع یافتگی و مناسب‌بودن برای محیط‌های تغییرپذیر مانند محیط شهری، یکی از بهترین روش‌ها برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم حمل‌ونقل شهری محسوب می‌شوند؛ به‌ویژه در زمینهٔ کنترل ترافیک شهری (Dresner and Stone, 2008). در زمینهٔ کنترل و مدیریت ترافیک شهری، که موضوع اصلی این مقاله است، تحقیقات زیادی صورت گرفته که به برخی از آنها اشاره می‌کنیم:

درمورد کنترل تقاطع‌های شهری و چراغ‌های راهنمایی، تحقیقات گوناگونی در سطح جهان انجام گرفته است. برای نمونه، رزموند[1] (۱۹۹۹؛ ۲۰۰۱) و ساندهو و همکاران[2] (۲۰۱۵) مدل‌هایی برای کنترل ترافیک شهری مبتنی‌بر چند عامل چراغ راهنمایی هوشمند و عامل جاده‌ای ارائه کرده‌اند. چوی و همکاران[3] (۲۰۰۳) یک ساختار چندعاملی سلسله‌مراتبی و ترکیبی براساس تصمیم‌گیری فازی، به‌منظور کنترل بی‌درنگ چراغ‌های راهنمایی عرضه کرده‌اند. همچنین سرینیواسان و چوی[4] (۲۰۰۶) ساختار چندعاملی تک‌لایه‌ای را، با هدف کنترل چراغ‌های راهنمایی، با قابلیت تخصیص دینامیک مناطق در معرض پوشش عامل‌ها پیشنهاد داده‌اند. کوزونن[5] (۲۰۰۳) یک شبیه‌سازی برخط عامل مبنا، مبنی‌بر دریافت داده‌های بی‌درنگ سنسورها، به‌منظور مدل‌کردن وضعیت ترافیکی و کنترل هوشمند چراغ‌های راهنمایی ارائه داده است. خمیس و گوما[6] (۲۰۱۴)، برای کنترل چراغ‌های راهنمایی، چارچوبی

1. Roozemond et al.
2. Sandhu et al.
3. Choy et al.
4. Srinivasan and Choy
5. Kosonen
6. Khamis and Gomaa

چندعاملی با استفاده از توابع چندمعیارهٔ تعاملی را مطرح کرده‌اند. پیشنهاد عبدوس و همکاران[1] (۲۰۱۳) سیستمی چندعاملی، برای کنترل چراغ‌های راهنمایی در یک شبکهٔ ترافیکی شهری بزرگ، بوده است. برای کاهش پیچیدگی مسئله، آنها شبکه را به چند ناحیه، هر ناحیه شامل چند تقاطع، تقسیم‌بندی کردند و عامل‌هایی را در دو سطح، برای کنترل نواحی و کنترل تقاطع‌ها، در نظر گرفتند و بدین‌ترتیب مدل خود را ارائه داده‌اند.

در بخش مدل‌سازی و شبیه‌سازی ترافیکی، به‌ویژه در بخش مدل‌سازی رفتار راننده‌ها و تصمیم‌گیری برای انتخاب مسیر بهینه، واله و همکاران[2] (۲۰۰۰؛ ۲۰۰۲) یک ساختار عامل مبنا را، برای مطالعهٔ تأثیر اطلاعات دینامیک در سامانه‌های ترافیکی، با توجه به واکنش رانندگان به‌کار بردند. دیا[3] (۲۰۰۲)، برای مدل‌سازی رفتار انتخاب مسیر رانندگان، یک روش عامل مبنا را با استفاده از اطلاعات بدون‌درنگ ترافیکی، با توجه به الگوی رفتاری رانندگان که با یک مسیر ارتباطی جهانی هدایت شده بودند، به‌کار گرفت. ادلر و بلو[4] (۲۰۰۲) و نیز ادلر و همکاران (۲۰۰۵) به سامانه‌های هدایت مسیر و مدیریت ترافیک تعاملی مبتنی‌بر تجمیع سیستم‌های چندعاملی را اشاره داشته‌اند. گالاند و همکاران[5] (۲۰۱۴) یک مدل چندعاملی، برای شبیه‌سازی رفتار رانندگان در محیط شهری، با استفاده از پلتفُرم Janus و افزون‌بر آن، پیشنهادهایی برای کاهش پیچیدگی طراحی مطرح کرده‌اند. ملنیکف و همکاران[6] (۲۰۱۶) یک سیستم شبیه‌سازی ترافیکی عامل مبنا را برای مقایسه با داده‌های سنسورهای محیطی شبکهٔ حمل‌ونقل، به‌ویژه در شرایط اضطراری، عرضه داشتند. در بخش‌های دیگر سامانهٔ حمل‌ونقل شهری مانند مدل‌سازی رفتار عابران پیاده (Kukla et al., 2001; Szymanezyk and Dickinson, 2014)، ایمنی در تقاطع‌ها (Salim et al., 2005)، سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند (Rossetti et al., 2008) و (Lu and Chen, 2012) نیز از قابلیت‌های عامل‌های هوشمند استفاده شده است که از توضیح‌دادن بیشتر درمورد آنها صرف‌نظر می‌کنیم.

همان‌طورکه اشاره شد، در حوزهٔ کاربرد عامل‌ها در مدل‌سازی و کنترل ترافیک شهری، تحقیقات بسیاری صورت گرفته است. در اغلب این تحقیقات، بیشتر بر حوزه‌ای خاص تمرکز شده است. برخی از این تحقیقات در زمینهٔ هوشمندسازی چراغ‌های راهنمایی و پیشنهاد راه‌حل و مدل‌سازی برای آنها انجام شده‌اند. در بسیاری از این تحقیقات، از قابلیت‌های بالای عامل‌های هوشمند در مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار رانندگان و چگونگی تصمیم‌گیری آن‌ها در وضعیت‌های متفاوت، ازجمله در وضعیت‌های اضطراری، پرداخته شده است. در موارد بسیاری هم دربارهٔ مدل‌سازی و شبیه‌سازی عامل مبنای سیستم‌های هدایت مسیر و مسیریابی پویای وسایل نقلیه، با استفاده از اطلاعات ترافیکی بدون درنگ، کارهایی صورت گرفته اما به مدل‌سازی‌های جامع‌تر با استفاده از عامل‌های هوشمند کمتر پرداخته شده است و بررسی بیشتر در این زمینه ضرورت دارد. بنابراین در تحقیق پیشِ رو و در مدل پیشنهادی، هم به هوشمندسازی چراغ‌های راهنمایی در تقاطع‌ها پرداخته شده و هم به مسیریابی پویای وسایل نقلیه و رفتار رانندگان در وضعیت‌های متفاوت ترافیکی، با استفاده از اطلاعات ترافیکی بدون درنگ شبکه که از سیستم GPS[7] به‌دست آمده است. همچنین، به توزیع یافتگی و تمرکزگرانبودن در مدل‌سازی و تصمیم‌گیری مستقل همهٔ عامل‌ها، مانند رانندگان و چراغ‌های راهنمایی، براساس اطلاعات ترافیکی توجه ویژه‌ای شده است. درنهایت، در اجرای مدل نیز یکی از بهترین پلتفرم‌های عامل‌های هوشمند، یعنی JADE[8]، و کتابخانهٔ

1. Abdoos et al.
2. Wahle et al.
3. Dia
4. Adler and Blue
5. Galland et al.
6. Melnikov et al.
7. global positioning system
8. Java agent development framework

کلاس‌های آن، به‌دلیل پیچیدگی محیط شهری، به‌کار رفته است. در این مطالعه، مدل‌سازی و پیاده‌سازی عامل مبنایی از وضعیت ترافیک شهری، با هدف کاهش ترافیک و زمان سفر در شبکهٔ حمل‌ونقل شهری، با استفاده از امکانات و روش‌های مناسب برای مسیریابی پویای وسایل نقلیه و هوشمندسازی چراغ‌های راهنمایی انجام شده است. درواقع، یکی از اهداف اصلی این مطالعه بررسی میزان تأثیر هوشمندسازی، هم در تغییر وضعیت چراغ‌های راهنمایی در نقش عامل‌های ثابت و هم در انتخاب مسیر وسایل نقلیه در نقش عامل‌های متحرک، با دسترسی به اطلاعات لحظه‌ای ترافیک خیابان‌ها در کاهش میانگین زمان سفر در نتیجهٔ آن کاهش ترافیک در سراسر شبکهٔ حمل‌ونقل شهری و مقایسهٔ کمّی نتایج سناریوهای گوناگون، با به‌کارگیری پلتفرم قدرتمند JADE است. همین‌طور، یکی دیگر از اهداف مهم این تحقیق شبیه‌سازی مراودهٔ اطلاعاتی و ارتباطاتی بین اجزای فضای ترافیک شهری است.

جنبه‌های جدید این تحقیق را، در مقایسه با تحقیقات مرورشده، می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

الف) در تحقیقات پیشین، یا فقط چراغ‌های راهنمایی در برابر ترافیک هوشمند و درواقع، حساس و پاسخگو به آن شده‌اند یا فقط خودروها، در تصمیم‌گیری و انتخاب مسیر براساس ترافیک یال‌ها، هوشمند عمل می‌کنند. اما در تحقیق حاضر، هوشمندسازی هم‌زمان چراغ‌ها و خودروها، با کمک عامل مرکزی سومی، انجام گرفته و تأثیر هریک از این دو، جداگانه و نیز در کنار همدیگر، در سناریوهای متفاوتی بررسی و مقایسه شده است. درواقع، در این تحقیق سعی شده است که از توانایی بالای عامل‌ها برای مدل‌سازی جامع‌تر سیستم حمل‌ونقل شهری استفاده شود که این کار با امکان تعریف سناریوهای متعدد و ایجاد قابلیت استفاده از اطلاعات لحظه‌ای ترافیک، هم برای خودروها جهت مسیریابی و هم برای چراغ‌های راهنمایی کنترل‌کنندهٔ تقاطع‌ها و نیز ایجاد قابلیت مراودهٔ اطلاعاتی بین اجزای سیستم امکان‌پذیر می‌شود؛ درصورتی‌که در اغلب مدل‌سازی‌های عامل مبنای انجام‌شده، بیشتر به یکی یا بخشی از این موارد پرداخته شده است. ازجمله می‌توان به تحقیق رزموند (۲۰۰۱)، سرینیواسان و چوی (۲۰۰۶)، جین و ما[1] (۲۰۱۵) و درسنر و استون[2] (۲۰۰۸) در کنترل و مدیریت عامل مبنای چراغ‌های راهنمایی و تقاطع‌ها و همین‌طور دیا (۲۰۰۲) و وینز و همکاران[3] (۲۰۰۷) در زمینهٔ مدل‌سازی عامل مبنای مسیریابی خودروها در شبکه اشاره کرد. موارد جامع‌تر نیز در بررسی‌های انجام‌شدهٔ عامل مبنا نبوده‌اند؛ مانند بررسی تالی و همکاران[4] (۲۰۱۵) برای تلفیق کنترل چراغ‌های راهنمایی و هدایت مسیر در شبکهٔ حمل‌ونقل.

ب) در مدل‌سازی‌های عامل مبنای انجام‌شده در تحقیقات دیگران، بیشتر چارچوب و ساختار عامل مبنا با هدف مدل‌کردن اجزای شبکه و شیوهٔ دسترسی به اطلاعات لحظه‌ای ترافیک و مدیریت ترافیک مطرح شده و کمیّت تأثیر آن در کاهش ترافیک و میانگین کل زمان سفر در شبکه به‌ندرت با سناریوسازی بررسی شده است. اما در این تحقیق، در سناریوهای گوناگون و مطابق با آن‌چه در بخش ۳-۵ بیان شده است، کاهش تا حدود ۲۳ درصدی در میانگین زمان سفر در کل شبکه، در مقایسه با حالت عادی، به‌دست آمده است. البته در این زمینه، دیگران نیز کارهایی انجام داده‌اند که می‌توان به تحقیق سرینیواسان و چوی (۲۰۰۶) اشاره کرد. طی این تحقیق، چند مدل کنترل چراغ راهنمایی، از لحاظ میانگین تأخیر تا مقصد رسیدن وسایل نقلیه، با یکدیگر مقایسه شده‌اند. مقایسهٔ این مدل‌ها اختلافی حداکثر ۳۵ درصدی را در میانگین این تأخیر، در زمان‌های اوج ترافیک روزانه میان بهترین و بدترین مدل، نشان می‌دهد و میزان و درصد کاهش تأخیر را، به‌نسبت حالت عادی کنترل چراغ‌های

1. Jin and Ma
2. Dresner and Stone
3. Weyns et al.
4. Taale et al.

راهنمایی، برای هیچ‌یک از مدل‌ها به‌صورت کمی بیان نمی‌کند. در برخی موارد نیز، صرفاً برای بهبود مدل‌های عامل مبنا با هدف شبیه‌سازی ترافیکی یا پیش‌بینی وضعیت ترافیکی و مقایسهٔ نتایج آن با داده‌های واقعی شبکهٔ حمل‌ونقل شهری، کارهایی صورت گرفته و میانگین زمان سفر و فاصلهٔ طی‌شده از نظر کمی اندازه‌گیری شده است اما برای یافتن روش بهتر به‌قصد کاهش ترافیک و زمان سفر، همانند آن‌چه در این تحقیق مورد نظر ما بوده، سناریوسازی و مقایسه‌ای صورت نگرفته است. ازجملهٔ موارد می‌توان به بررسی ملنیکف و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد. نتایج تحقیق آن‌ها اختلافی حدوداً ۹ درصدی و ۲ درصدی را، به‌ترتیب در میانگین زمان سفر و میانگین فاصله‌ای که عامل‌ها طی کردند، با داده‌های واقعی به‌دست‌آمده از سنسورهای شبکه نشان داده است. آنها، برای نزدیک‌شدن نتایج به واقعیت، پیشنهادهایی داشته‌اند. نیز می‌توان به تحقیق چن و راکا[1] (۲۰۱۶) اشاره کرد که در آن مدل‌سازی عامل مبنایی برای پیش‌بینی چندمرحله‌ای از زمان‌های سفر در شبکهٔ حمل‌ونقل، با استفاده از داده‌های ترافیکی پیشین و لحظه‌ای، توسعه داده شده و درنهایت، این مدل خطایی حدوداً ۹ درصدی را، در پیش‌بینی زمان‌های سفر، نشان می‌دهد.

ج) تمامی عامل‌ها، ازجمله رانندگان و چراغ‌های راهنمایی، در عین مراودهٔ اطلاعاتی، کاملاً مستقل و توزیع‌یافته و بدون هرگونه سیستم تصمیم‌گیری متمرکز رفتار می‌کنند.

د) اگرچه در این مطالعه به‌شکل مستقیم از نرم‌افزار عمومی GIS استفاده نشده است، مدل‌سازی رفتارهای عامل‌های متحرک و چراغ‌های راهنمایی مشخصاً براساس روابط مکانی متریک یا همان فاصله‌ها و روابط توپولوژیک صورت گرفته که منظور اتصالات یال‌های شبکه با هم و با چراغ‌های راهنمایی است. به‌عبارتی دیگر، در این تحقیق سعی شده است نخستین گام‌ها در زمینهٔ مدل‌سازی حرکت خودروها، در محیطی کاملاً مکانی، برداشته شود. به‌رغم اینکه محیط مکانی و حرکت در آن، به‌صورت ساده و در قالب تعدادی خیابان دوطرفه در جهت محورهای X و Y، مدل‌سازی شده؛ این مدل بستر اولیه‌ای برای مدل‌سازی کامل‌تر محیط مکانی معابر شهری ارائه کرده است. در این مدل، حرکت مکانی خودروها به‌صورت بردارهایی متناسب با سرعت فرضی آنها و محاسبهٔ فاصلهٔ بین نقاط و نیز تخمینی ساده و ابتدایی از شلوغی ترافیک مدل‌سازی شده است که در متن مقاله توضیح داده خواهد شد.

ه) همچنین، فرض استفاده از سیستم GPS در همهٔ خودروها، برای دسترسی به اطلاعات لحظه‌ای ترافیک، مطرح شده و به همین منظور، دسترسی تمامی وسائط نقلیه به این سیستم شبیه‌سازی شده است. این نکته در تحقیقات دیگران، دست‌کم در بررسی‌هایی که داشته‌ایم، مطرح نشده است و طرح آن در تحقیق حاضر رویکردی آینده‌نگرانه به موضوع را نشان می‌دهد.

۲- مواد و روش کار

با توجه به هدف بیان‌شده در بخش پیشین، در این تحقیق، یک سیستم سادهٔ حمل‌ونقل شهری با قوانین و مقررات عبورومرور ساده و نیز، خیابان‌ها و تقاطع‌های متعدد و سه نوع عامل برای طراحی در نظر گرفته شد. عامل‌های در نظر گرفته‌شده عبارت‌اند از:

۱. عامل اصلی[2] به‌منزلهٔ مرکز کنترل ترافیک؛

۲. عامل متحرک[3] در نقش وسیلهٔ نقلیه؛

۳. عامل چراغ راهنمایی[4] به‌منظور کنترل تقاطع

همچنین، دو فرض برای حل مسئله لحاظ می‌شود:

الف) مجهزبودن تمامی وسایل نقلیه به GPS و سیستم هدایت خودرو و فراهم‌آوردن امکان استفادهٔ همهٔ آن‌ها از اطلاعات وضعیت ترافیکی، در جهت مسیریابی بهینه

1. Chen and Rakha
2. main agent
3. mobile agent
4. traffic light agent

ب) هوشمندسازی چراغ‌های راهنمایی براساس وضعیت ترافیکی.

۲-۱- عامل اصلی به‌منزلهٔ مرکز کنترل ترافیک

عاملی اصلی در این نرم‌افزار پیش بینی شده که نقش آن گردآوری اطلاعات و نمایش گرافیکی آن برای شخص کاربر است و نقش مرکز کنترل ترافیک را ایفا می‌کند. برای ایجاد نقش مرکز کنترل ترافیکی در عامل اصلی، همهٔ عامل‌های دیگر، که همان اتومبیل‌ها باشند، لحظه‌به‌لحظه پیغامی شامل مختصات لحظه‌ای خود را به عامل اصلی می‌فرستند و آن را از مختصات فعلی خود آگاه می‌کنند. بنابراین، در رفتار اجراشده در عامل اصلی، این اطلاعات به‌صورت لحظه‌به‌لحظه در ساختمان داده‌های مناسب ذخیره می‌شود. با توجه به اینکه خود عامل اصلی وظیفهٔ نمایش گرافیکی محیط شبیه‌سازی را نیز برعهده دارد و بنابراین به محدوده و مختصات چهارگوشهٔ همهٔ خیابان‌ها آگاه است، عامل اصلی می‌تواند پیوسته پاسخ‌گوی درخواست‌های عامل‌های دیگر، ازجمله درخواست اطلاع از وضعیت ترافیک یک خیابان خاص در آن لحظه، باشد.

۲-۲- عامل‌های متحرک به‌منزلهٔ وسائط نقلیه

۲-۲-۱- شبیه‌سازی سیستم GPS یا سامانهٔ هدایت حرکت در محیط مکانی برای عامل‌های متحرک

برای اینکه هر اتومبیل، پیش از ورود به خیابان، بتواند تشخیصی از ترافیک احتمالی در این مسیر داشته باشد، یک سیستم شبیه‌ساز GPS در نرم‌افزار اجرا شده است که مجهزبودن همهٔ وسائط نقلیه به GPS را شبیه‌سازی می‌کند. این سامانه به هر عامل متحرک، براساس سرعتی که برای حرکت از مبدأ به مقصد در محیط شبیه‌سازی برای آن در نظر گرفته شده است، یک بردار حرکتی اختصاص می‌دهد و هرچه سرعت در نظر گرفته‌شده برای عامل بیشتر باشد، طول بردار حرکتی نیز بیشتر خواهد بود. البته در بخش بعد، توضیح خواهیم داد که این سرعت را می‌توان، متناسب با شرایط ترافیکی و نزدیک به شرایط واقعی، تغییر داد. بنابراین هر عامل متحرک، طبق سرعت لحظه‌ای‌اش در هر مرحله از به‌روزرسانی محیط شبیه‌سازی، که یک ثانیه در نظر گرفته شده است، به‌اندازهٔ طول بردار حرکتی خود در محیط شبیه‌سازی، تغییر موقعیت می‌دهد. حرکت وسائط نقلیه در شبکهٔ حمل‌ونقل شهری بدین‌ترتیب شبیه‌سازی شده است. چون طول بردار حرکتی و جهت بردار که در جهت محور X یا Y قرار دارد مشخص است، در هر مرحله از جابه‌جایی در محیط شبیه‌سازی، عامل متحرک طول بردار را به مختصات قبلی خود اعمال می‌کند و مختصات جدید و لحظه‌ای خود را به‌دست می‌آورد. بنابراین، در هر لحظه، به مختصات فعلی خود دسترسی دارد و بدین‌صورت، مجهزبودن تمامی عامل‌های متحرک، یعنی همان وسائط نقلیه، به سیستم GPS شبیه‌سازی شده است.

۲-۲-۲- الگوریتم پاداش و مجازات برای تغییر سرعت خودروها، به تناسب ترافیک

برای هدایت صحیح خودروها، تصمیم درست یا نادرست هر عامل متحرک در انتخاب مسیر باید به‌نفع یا به‌ضرر آن باشد. به‌عبارت ساده‌تر، بر اثر تصمیم درست و رفتن به مسیری کم‌تراکم و خلوت، بتواند سریع‌تر حرکت کند و در عوض، به‌علت تصمیم نادرست و رفتن به مسیری شلوغ و پرتراکم، از سرعتش کاسته و مجبور شود آرام‌تر حرکت کند و درنتیجه، وقت بیشتری از او تلف شود. این مورد به‌دلیل انطباق بیشتر شرایط حرکتی عامل‌های متحرک در محیط شبیه‌سازی با حرکت واقعی وسائط نقلیه در محیط واقعی در نظر گرفته شده است زیرا می‌دانیم که در محیط واقعی نیز، در صورت ورود به خیابانی خلوت، می‌توان با سرعت بیشتری حرکت کرد و عکس این مطلب نیز صادق است. در این زمینه، ضریبی در نظر گرفته شده است که توسط مرکز کنترل ترافیک، یا همان عامل اصلی، محاسبه و برای هر عامل متحرک در هر لحظه ارسال می‌شود. این ضریب درواقع میانگین تعداد عامل‌های

متحرک عبوری از هر خیابان در مدت ۱۰ ثانیه است؛ بنابراین هر ۱۰ ثانیه یک‌بار، محاسبه و برای عامل‌های متحرک، متناسب با خیابانی که در آن قرار می‌گیرند، ارسال می‌شود. این ضریب برای دقت بالاتر در محاسبه در نظر گرفته شد و شامل میانگین تعداد عامل‌های متحرک ورودی به خیابان و عامل‌های پشت‌چراغ‌مانده در خیابان و عامل‌های عبوری از وسط خیابان مفروض، طی ۱۰ ثانیه گذشته، می‌شود. به این دلیل عامل اصلی آن را محاسبه می‌کند که، طبق توضیح بخش قبل، عامل اصلی در هر لحظه از مختصات عامل‌های متحرک و بنابراین، وضعیت ترافیک و تعداد عامل‌های عبوری هر خیابان آگاه است. هر عامل متحرک هم این ضریب را در رابطه (۱) قرار می‌دهد و سرعت جدید خود را، مطابق با نتیجه به‌دست‌آمده، تنظیم می‌کند (Aronsson , 2006). البته در رابطهٔ اصلی این ضریب، یعنی ضریب Flow، میانگین ترافیک عبوری در مدت پنج دقیقه است که با توجه به درنظرگرفتن مدت ۱۰ ثانیه در این تحقیق، فرمول متناسب با آن تغییر کرده است. نیز در رابطهٔ اصلی، به‌جای V1، عدد ثابت ۳۹/۸ کیلومتر بر ساعت وجود دارد و بنابراین، برای استفاده از این فرمول در این تحقیق، سرعت اولیهٔ عامل‌های متحرک برای ورود به محیط شبیه‌سازی به‌صورتی در نظر گرفته شد که میانگین آن‌ها برحسب کیلومتربرساعت برابر با این عدد باشد. همین‌طور چون پارامترهایی، مانند تعداد خطوط مخصوص دوچرخه‌سواری و اجازه‌داشتن یا نداشتن برای پارک‌کردن در کنار خیابان، در طراحی محیط در این تحقیق مدنظر قرار نداشت، از فرمول حذف شده است. به این ترتیب سرعت او، متناسب با تصمیم درستش و ورود به خیابانی با ترافیک سبک‌تر و یا برعکس، متفاوت خواهد بود.

رابطه (۱) $$v(x) = \frac{v1 - 6.06 \times Flow + 5.28 \times Lanes}{3.6}$$

که در آن V(x) سرعت ثانویهٔ عامل متحرک بر اثر وضعیت ترافیکی جدید، برحسب متربرثانیه، V1 سرعت اولیه، عامل متحرک، پس از تبدیل به واحد کیلومتر بر ساعت، Flow ضریب یا میانگین تعداد عامل‌های متحرک عبوری از خیابانی که عامل متحرک X در آن قرار دارد، در ۱۰ ثانیهٔ قبل و Lanes تعداد خطوط یا باندهای خیابان، که با توجه به طراحی در نظر گرفته‌شده برای خیابان‌ها، برابر عدد ۲ است.

پس به این ترتیب، اگر عامل متحرک مسیری را برای حرکت خود انتخاب کند که در آن تعداد عامل‌های متحرک یا همان اتومبیل‌های عبوری کم باشد، سرعتش به سرعت پیش‌فرض و اولیهٔ در نظر گرفته‌شده برای آن بسیار نزدیک خواهد بود و در صورت عبور تعداد بیشتری از اتومبیل‌ها از خیابانی که عامل متحرک در آن قرار دارد و درواقع ترافیک بیشتر، به‌نسبت میانگین تعداد اتومبیل‌های عبوری در واحد زمان که همان ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است، براساس رابطه (۱) از سرعت او کاسته می‌شود. این روش ازجمله روش‌های موسوم به پاداش و مجازات است که معمولاً در سیستم‌های چندعاملی به‌کار می‌رود (Kisiel-Dorohinicki ,۲۰۰۲). در این بخش از تحقیق، مفاهیم این روش درمورد سرعت عامل‌های متحرک استفاده شده است.

۲-۲-۳- الگوریتم و روش مسیریابی عامل‌های متحرک در محیط

هنگام رسیدن به چهارراه، عامل متحرک باید تصمیم بگیرد به کدام سمت حرکت را ادامه دهد. در اینجا الگوریتم‌ها و روش‌های متعددی را می‌توان استفاده کرد. در طراحی، دو سناریو برای مسیریابی عامل‌های متحرک در نظر گرفته شد. تصمیم‌گیری در سناریوی نخست بدون استفاده از اطلاعات وضعیت ترافیکی و فقط براساس فاصله انجام می‌گیرد. در سناریوی دوم، با پرسش از عامل اصلی در چهارراه‌ها، درمورد ترافیک، و میانگین تعداد عامل‌های متحرک ورودی به خیابان‌ها یا لینک‌های مسیرهای مدنظر بین آن چهارراه و مقصد مورد نظر، در مدت زمان مشخصی از گذشته که ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است، تصمیم گرفته می‌شود.

به بیان دیگر، عامل براساس آشنایی با محیط و داشتن نقشه، برای رسیدن به مقصد مشخص‌شده، بر سر هر چهارراه سه مسیر موجود را بررسی می‌کند و یا فقط براساس فاصلهٔ شبکه‌ای و یا استفادهٔ هم‌زمان از فاصله و اطلاعات وضعیت ترافیکی شبکه مسیر را برمی‌گزینند. دلیل اینکه تعداد محدود سه مسیر در نظر گرفته شد کاهش پیچیدگی اجرا، به‌دلیل تعداد زیاد مسیرهای ممکن، بود و دیگر اینکه، در واقعیت هم معمولاً افراد، هنگام انتخاب مسیر، مسیرهای مشخص و محدودی را در نظر دارند و چندان از مسیرهای دور از دسترس، حتی اگر ترافیک روان‌تری داشته باشند، استفاده نمی‌کنند. درواقع، این دو سناریو برای مسیریابی عامل‌های متحرک به این منظور در نظر گرفته شد که، پس از پیاده‌سازی، امکان مقایسهٔ میانگین زمان سفر در کل شبکهٔ حمل‌ونقل، در دو حالت استفاده از اطلاعات ترافیکی لحظه‌ای شبکه و استفاده‌نکردن از آن، ایجاد شود. بنابراین برای هر عامل، یک تابع هیوریستیک[1] یا تابع هوشمند در نظر گرفته شده است که، با توجه به استفاده‌کردن یا استفاده‌نکردنِ عامل‌های متحرک، یا همان خودروها، از اطلاعات وضعیت ترافیکی برای مسیریابی، به‌قصد تصمیم‌گیری، وزنی را به هر سمت از چهارراه نسبت می‌دهد و سمتی که وزن کمتری را شامل می‌شود به‌منزلهٔ مسیر مناسب انتخاب می‌شود.

تابع هیوریستیک معمولاً در هوش مصنوعی در نظر گرفته می‌شود و برای تخمین یک کمیت به‌کار می‌رود. تابع هیوریستیکی مناسب است که مقدار کمیت مورد نظر را نزدیک به واقعیت تخمین بزند و همچنین، مقدار تخمینی بیشتر از مقدار واقعی کمیت نباشد و درصدی از آن باشد (Rosenfeld et al., 2008). در اینجا کمیت مورد نظر ما فاصله‌ی عامل‌های متحرک تا مقصد است.

۲-۲-۳-۱- استفاده‌نکردن عامل‌های متحرک از اطلاعات ترافیک لحظه‌ای در مسیریابی

در صورت استفاده‌بردن عامل‌های متحرک از اطلاعات وضعیت ترافیکی، عامل‌های متحرک از مکان خود فاصلهٔ شبکه‌ای را تا مقصد محاسبه می‌کنند. بنابراین، عامل متحرک بر سر چهارراه کمترین فاصلهٔ شبکه‌ای تا مقصد را، فقط از بین سه مسیر موجود، انتخاب می‌کند و براساس آن به مسیر خود ادامه می‌دهد. درواقع، عامل متحرک به مختصات لحظه‌ای خود دسترسی دارد و از سویی، با داشتن نقشه و آشنایی با محیط، به طول خیابان‌ها هم دسترسی دارد، بنابراین، براساس محاسبهٔ مجموع طول خیابان‌های موجود در هر مسیر، از بین سه مسیر موجود تا مقصد ، کوتاه‌ترین را انتخاب و به‌سمت مقصد حرکت می‌کند. شایان ذکر است که طول هر خیابان فاصلهٔ مراکز چهارراه‌های دو سمت آن خیابان در نظر گرفته شده است. همچنین ازآن‌جاکه هدف این تحقیق پیاده‌سازی یک سیستم چندعاملی توزیع یافته بود، مشخص‌کردن سه مسیر مناسب از هر چهارراه تا هر مقصد به عامل اصلی سپرده شد و درواقع، عامل اصلی است که سه مسیر را برای عامل متحرک مشخص می‌کند. اما همان‌طور که اشاره شد، محاسبات طول مسیرها و یافتن کوتاه‌ترین مسیر را خود عامل متحرک انجام می‌دهد. بنابراین در صورت استفاده‌نکردن عامل‌های متحرک از اطلاعات وضعیت ترافیک لحظه‌ای در مسیریابی، هر عامل متحرک ازطریق تابع هیوریستیک خود فاصلهٔ شبکه‌ای مکان فعلی‌اش تا مقصد را محاسبه می‌کند و فقط این فاصله است که در تصمیم‌گیری عامل برای انتخاب مسیر تأثیر دارد.

۲-۲-۳-۲- استفادهٔ عامل‌های متحرک از اطلاعات ترافیک لحظه‌ای در مسیریابی

در صورت استفادهٔ عامل‌های متحرک از اطلاعات وضعیت ترافیکی در مسیریابی، هنگام رسیدن به چهارراه و تصمیم‌گیری، افزون‌بر مؤلفه ی مسافت که در بخش قبل در مورد محاسبهٔ آن توضیح داده شد، میانگین تعداد عامل‌های متحرک ورودی به خیابان‌ها یا لینک‌های سه مسیر مشخص‌شده بین آن چهارراه و

1. heuristic function (HF)

مقصد مورد نظر در زمان مشخصی از گذشته (۱۰ ثانیه) را نیز، در انتخاب مسیر، لحاظ می‌کنند. بدین‌ترتیب که هریک از سه مسیری که از هر چهارراه تا مقصد مشخص شده ممکن است یک یا چند خیابان را شامل شود. لحظه‌ای که عامل متحرک در چهارراه و پشت چراغ قرمز قرار دارد، از عامل اصلی تعداد اتومبیل‌های ورودی به تمامی خیابان‌های هریک از سه مسیر را، به‌صورت مجزا طی ۱۰ ثانیهٔ قبلهٔ درخواست می‌کند. سپس میانگین تعداد اتومبیل‌های ورودی به خیابان‌های هر مسیر را محاسبه می‌کند و آن را به‌منزلهٔ پارامتر Flow در رابطه (۱) بخش ۲-۲-۲ قرار می‌دهد. بنابراین، میانگین سرعت خود را در هریک از این مسیرهای احتمالی در پیشِ رو محاسبه می‌کند و با داشتن طول مسیر و میانگین سرعت، زمان احتمالی رسیدن به مقصد را به‌دست می‌آورد. درنتیجه، عامل متحرک مسیری را انتخاب می‌کند که طی آن احتمالاً زمان کمتری را برای رسیدن به مقصد نیاز داشته باشد. البته پس از انتخاب مسیر و گذر از نخستین چهارراه و حرکت به‌سمت مقصد، با توجه به همین سازوکار در چهارراه بعدی نیز، امکان تصحیح مسیر مطابق با وضعیت ترافیکی جدید وجود دارد. بنابراین، پارامتر مورد استفاده برای یافتن مسیر، هنگام استفاده از اطلاعات وضعیت ترافیکی شبکه، زمان خواهد بود. البته بیان این نکته ضروری است که تمامی خیابان‌ها در طراحی محیط به دو باند رفت و برگشت تقسیم شده‌اند و بنابراین، فقط ترافیک مسیرهای رفت هر چهارراه را در نظر خواهند گرفت. در این حالت، ممکن است یک عامل متحرک، به‌جای آنکه به مسیر با مسافت کمتر ولی شلوغ‌تر برود، از مسیر طولانی‌تر ولی با ترافیک روان‌تر حرکت کند. درنتیجه، مطابق با آنچه در بخش ۲-۲-۲ بیان شد، می‌تواند با سرعت بیشتری نیز حرکت کند و در زمان کمتری به مقصد خود برسد. برعکس، درصورتی‌که ترافیک چندانی در مسیر نزدیک نباشد، بیهوده راه را طولانی نمی‌کند و راه دورتر را برنمی‌گزیند.

۲-۲-۳-۳- تابع هیوریستیک مورد استفاده برای انتخاب مسیر بر سر چهارراه‌ها

تابع هیوریستیک و فرمول آن که درواقع جهت حرکت بر سر چهارراه‌ها را مشخص می‌کند، مطابق رابطه (۲) است:

$$HF(X)=\begin{cases} d, & isGPSOn=False \\ \frac{L}{\text{Vavg}} & isGPSOn=True \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن HF(X) تابع هیوریستیک عامل متحرک X، dفاصلهٔ شبکه‌ای عامل متحرک تا مقصد، L طول کل هریک از سه مسیر و Vavg میانگین سرعت محاسبه‌شدهٔ عامل متحرک در هریک از سه مسیر، با توجه به اطلاعات وضعیت ترافیکی مسیر است.

بنابراین، هر عامل متحرک با توجه به استفاده از اطلاعات وضعیت ترافیکی یا استفاده‌نکردن از آن در مسیریابی، که همان وضعیت True یا False اشاره‌شده در رابطه (۲) است، از این تابع برای یافتن مسیر بهینه در چهارراه‌ها، یعنی مسیر با وزن کمتر، استفاده می‌کند و به حرکت خود در سمت موردنظر ادامه می‌دهد. عاملْ مسیرِ با وزن کمتر را برمی‌گزیند که منظور از آن، هنگام استفاده‌نکردن از اطلاعات وضعیت ترافیکی، مسیر با فاصلهٔ شبکه‌ای کمتر و هنگام استفاده از اطلاعات وضعیت ترافیکی، مسیری با زمان سفر کمتر است. همچنین، در هر لحظه، پیغامی درمورد مکان خود به عامل اصلی ارسال می‌کند و آن را همواره از موقعیت خود باخبر نگاه می‌دارد.

سعی شده است این شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت باشد. به همین دلیل، فرض شده است هر عامل فقط موقعیت، سرعت اولیه و نام خود را می‌داند و در مورد شهر و مسیرها، مثلاً نقشهٔ شهر، اطلاعاتی دارد. اما درمورد موقعیت، مقصد، سرعت و شیوهٔ عملکرد دیگر عامل‌های متحرک یا اتومبیل‌ها اطلاعاتی ندارد و این اطلاعات را در این شبیه‌سازی فقط همان عامل اصلی داراست و عامل‌ها، در صورت نیاز، با ارسال پیغامی به عامل اصلی وضعیت ترافیک را درخواست می‌کنند.

شایان ذکر است که هر عامل متحرک قدرت

تصمیم‌گیری جداگانه و حرکت و توقف مربوط بـه خـود را دارد و کاملاً خودمختـار اسـت. هـر عامـل، بـرای حرکـت، اطلاعـاتی بـه‌منزلـهٔ وضـعیت ترافیکـی را از عامـل اصـلی دریافت می‌کند اما ایـن بـه‌معنـای وابسـتگی یـا کنتـرل از هستهٔ مرکزی نیست. بنابراین، سیستم طراحی‌شده سـامانهٔ چندعاملی توزیع یافته‌ای است و عامل‌ها فقـط از اطلاعـات عامل اصلی، در مقام ارائه‌دهندهٔ اطلاعات، استفاده می‌کننـد و از آن دستور نمی‌گیرند.

۲-۳- عامل چراغ راهنمـایی بـه‌منظـور کنتـرل تقاطع

در این شبیه‌سازی، عنصـر بهبوددهنـدهٔ دیگـری بـرای کاهش معضل ترافیک و تقلیل زمان سـفر بـه‌کـار رفتـه است؛ یعنی چراغ‌های راهنمایی و رانندگی هوشـمند بـا قابلیت استفاده از اطلاعات ترافیکـی. ایـن عامـل چـراغ راهنمـایی، کـه خـود یکـی دیگـر از انـواع عامـل‌هـای پیاده‌سازی‌شده در سیستم چنـدعاملی در ایـن تحقیـق است، در هر لحظه، چهار چراغ مربوط به چهـار سـمت چهارراه را کنترل می‌کند؛ به‌صورتی‌کـه در هـر لحظـه، فقط یک سمت به مدت زمانی که کاربر می‌توانـد آن را تنظیم کند دارای چراغ سبز است. عامل چراغ راهنمایی به سه روش چهارراه را کنترل می‌کند:

۱. به‌صورت ساعتگرد یا در جهت عقربه‌های ساعت؛

۲. به‌روش تعداد خودروهای پشت چراغ؛

۳. به‌روش حداقل زمان رسیدن یک خودرو به چراغ.

در روش نخست، چراغ سبز براسـاس زمـان ثابـت و قابل تعریفی در چهار سمت جابه‌جا می‌شود. هوشمندی خاصی در این شیوه وجود ندارد و صرفاً، برای مقایسـه، پیـاده‌سـازی شـده اسـت. بـا توجـه بـه اینکـه محـیط شبیه‌سازی برداری اسـت و درنتیجـه، عامـل‌هـا نیـز در محیط برداری حرکت می‌کنند، هر عامل متحرک، پیش از هر حرکت برداری، تخمین مـی‌زنـد کـه بـه چهـارراه می‌رسد یا خیر. درواقع، عامـل متحـرک ایـن کـار را بـا دانستن سرعت لحظه‌ای و درنتیجه، طول بردار حرکتی خود و نیز با محاسبهٔ فاصلهٔ بـاقی‌مانـده تـا چهـارراه، بـا توجه به دانستن مختصات خود و نقشـهٔ محـیط، انجـام می‌دهد. اگر پاسخ مثبت باشد، توقف می‌کند و با ارسال پیغامی، از عامل چراغ راهنمایی مربوط بـه آن چهـارراه اجازهٔ حرکـت در آن مسـیر را مـی‌گیـرد. عامـل چـراغ راهنمایی نیـز، در صـورت سـبزبودن چـراغ آن مسـیر، پیغامی شامل اجازهٔ حرکت ارسال می‌کند و در صـورت قرمزبودن، پیغام آن شامل اجازه‌نداشتن عامل متحـرک برای ادامهٔ حرکت اسـت. البتـه ایـن درخواسـت اجـازهٔ حرکت از عامل چراغ راهنمایی، به‌طور مـداوم و در هـر مرحله از به‌روزرسانی محیط شـبیه‌سـازی، ادامـه پیـدا می‌کند تا زمانی‌که اجازهٔ حرکت به عامل متحـرک داده شود.

۲-۳-۱- شیوهٔ تعداد خودروهای پشت چراغ

چراغ راهنمایی در این روش، بـه‌مـدت معینـی کـه کـاربر می‌تواند زمان آن را تغییر دهد، در یک سـمت، سـبز بـاقی می‌ماند. در این مدت، اگر عامل متحرکی از یک سـمت بـه چهارراه برسد و عامـل چـراغ راهنمـایی پیغـامی مبنـی‌بـر نداشتنِ اجازهٔ عبور برای آن ارسال کند و درواقع، آن عامـل پشت چراغ قرمز بمانـد، عامـل چـراغ راهنمـایی آن را بـه عامل‌های پشت چراغ در آن سمت اضافه مـی‌کنـد. عامـل پشت چراغ هم منتظـر مـی‌مانـد تـا پیغـام اجـازه‌ی عبـور دریافت شود. پس از گذشـت دورهٔ زمـانی سـبزماندن یـک سمت، بخش مدیریت موجـود در عامـل چـراغ راهنمـایی بررسی می‌کند که تا کنـون چنـد عامـل متحـرک در هـر سمت منتظر مانده است. اگر هیچ عـاملی در چهـار جهـت منتظر نبوده و درخواست عبور نداده باشد، روند سبزشـدن چراغ‌ها، به‌صورت ساعتگرد، ادامه می‌یابد. اما درصـورتی‌کـه چندین عامل متحرک یـا خـودرو در چنـد جهـت منتظـر باشـند، از بـین آنهـا آن سـمتی کـه تعـداد عامـل منتظـر بیشتری را داراست سبز می‌شود و اجازه ی حرکت را به آن عامل‌های متحرک می‌دهد. اگر عامل منتظر چندین سمت هم‌زمان به یک اندازه و بیشتر از بقیه باشـد، از میـان آنهـا، یکی به‌صورت تصادفی سبز می‌شود.

۲-۳-۲- روش حداقل زمان رسیدن یک خودرو به چراغ

در این روش، عامل چراغ راهنمایی به استفاده از اطلاعات عامل اصلی نیاز دارد. بنابراین، پس از گذشت دورهٔ زمانی تعیین‌شده برای سبزماندن یک سمت از چهارراه، عامل چراغ راهنمایی به عامل اصلی پیغامی ارسال می‌کند که دربردارندهٔ درخواست اطلاعات درمورد جهت مناسب‌تر برای سبزکردن چراغ است. این جهت مناسب‌تر به این صورت در عامل اصلی محاسبه می‌شود: در ابتدا، چهار ناحیه یا خیابان متصل به چراغ راهنمایی درخواست‌کننده به‌دست می‌آید. سپس به‌ازای هریک از عامل‌های متحرک موجود در این چهار ناحیه، که هم داخل و هم روی مرز ناحیه در نظر گرفته شده اند، زمان مورد نیاز برای رسیدن به چهارراه محاسبه می‌شود. براساس این زمان‌های محاسبه‌شده، جهت مربوط به ناحیهٔ قرارگیری عامل متحرکی که زودتر به چهارراه می‌رسد، به‌منزلهٔ پاسخ و مطابق رابطه (۳)، برای عامل چراغ راهنمایی فرستاده می‌شود.

رابطه (۳) $$MT = \min(j)\ (\min(i)\ (\frac{d(i)}{CSA(i)}))$$

در این رابطه، MT[1] کمترین زمان لازم برای رسیدن خودرو به چهارراه است. j شمارهٔ ناحیه یا خیابان متصل به چهارراه، i شمارهٔ هر عامل متحرک موجود در یکی از چهار ناحیهٔ متصل به چهارراه، CSA(i)[2] سرعت عامل متحرک iاُم موجود در آن ناحیه و d(i) فاصلهٔ عامل متحرک iاُم موجود در آن ناحیه تا چهارراه، در آن لحظه، است.

طبق رابطه (۳)، فاصلهٔ هر عامل متحرک از نقطهٔ پایانی و در میانهٔ ناحیهٔ قرارگیری‌اش، که همان نقطهٔ مرزی با چهارراه است، محاسبه و بر سرعت لحظه‌ای آن تقسیم می‌شود که مقدار زمان برای رسیدن به چهارراه را برای آن عامل نشان می‌دهد. سپس کمترین زمان لازم برای رسیدن به چهارراه، از میان این زمان‌های موردنیازِ عامل‌های متحرک هر ناحیه یا خیابان، برای آن مسیر یا ناحیه قرار داده می‌شود. سپس از میان چهار مسیر، مسیری انتخاب می‌شود که کمترین زمان را دارد و پیامی مبنی‌بر پاسخ برای همان عامل چراغ راهنمایی و رانندگی ارسال می‌شود که درواقع، بهترین مسیر یا جهت برای سبزشدن را معرفی می‌کند. به این ترتیب در این روش، چراغِ سمتی سبز می‌شود که عاملی متحرک، از آن سمت، زودتر از بقیه به چهارراه می‌رسد و درنتیجه، عامل‌ها کمتر از همیشه پشت چراغ منتظر می‌مانند. اگر مدت زمان سبزماندن چراغ به‌صورت مناسبی تنظیم شود، بهترین پاسخ را با این روش دریافت خواهیم کرد که می‌تواند به‌طور مؤثری در کاهش میانگین زمان سفر تمامی خودروها مفید باشد.

۳- نتایج و بحث

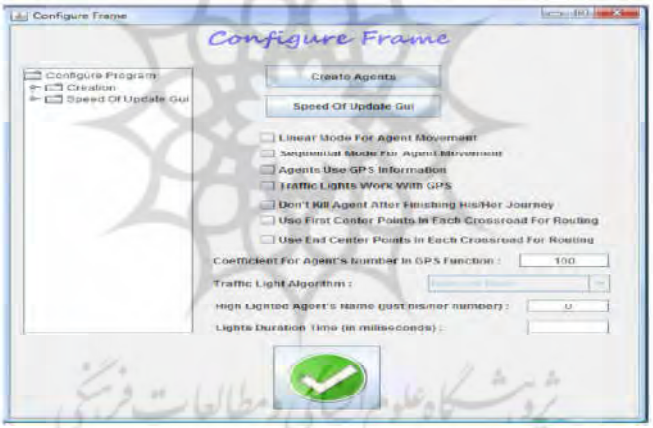
در پیاده‌سازی، از نرم‌افزار و محیط برنامه‌نویسی NetBeans، نسخهٔ ۷، استفاده شده است. این نرم‌افزار بین برنامه‌نویسان جاوا رایج است (Bellifemine et al., 2007). درواقع، از قابلیت‌ها و توانایی‌های عامل مبنای پلتفُرم JADE و محیط برنامه‌نویسی NetBeans در پیاده‌سازی و اجرا استفاده شده است. به‌عبارت دیگر، کتابخانهٔ کلاس‌های پلتفرم JADE به‌کار رفته است که به محیط برنامه‌نویسی NetBeans اضافه می‌شود و می‌توان در کدنویسی از کلاس‌های آن بهره جست. JADE محیط، پلتفرم و میان‌افزاری به‌منظور توسعهٔ عامل مبنا و براساس زبان برنامه‌نویسی جاوا است. بنابراین، برای نوشتن کد و برنامه‌نویسی به این زبان از محیط برنامه‌نویسی NetBeans به‌منزلهٔ IDE[3] استفاده شده است. پلتفرم JADE از مجموعه‌ای از agent containerها تشکیل شده که در سطح شبکه توزیع شده‌اند. عامل‌ها درون این containerها قرار دارند. خود این containerها روی ماشین اجرایی جاوا قرار می‌گیرند و اجرا می‌شوند. یکی از agent containerها

1. min time
2. current speed of agent
3. integrated development environment

به‌منزلهٔ container اصلی شناخته می‌شود که وظیفهٔ آن مدیریت و فعال‌سازی کل سیستم است. درواقع، اولین container نقش اصلی را دارد و دیگر containerها، پس از فعال‌شدن، باید به container اصلی متصل و در آن ثبت شوند. کلاس‌های اصلی موجود در برنامه نیز براساس سه عامل مهم در نظر گرفته‌شده در مدل، که در بخش‌های پیشین توضیح داده شده است، یعنی عامل اصلی و عامل متحرک و عامل چراغ راهنمایی، نامگذاری شده‌اند. محیط شبیه‌سازی به‌کاررفته نیز محیطی برداری است که با استفاده از پلتفرم قدرتمند JADE، این امکان به‌راحتی فراهم شد.

رابط کاربر گرافیکی طراحی‌شده نیز اجازهٔ ورود داده‌ها، انتخاب سناریوها و روش‌های مورد نظر در طراحی و مدل‌سازی را به کاربر می‌دهد. سعی شده است رابط کاربر به‌صورت user friendly باشد و استفاده از آن برای کاربر آسان باشد. شکل ۱ رابط کاربر گرافیکی سیستم را نشان می‌دهد.

در طراحی محیط شبیه‌سازی، مطابق شکل ۲، سه نوع ناحیهٔ تردد در نظر گرفته شده است. نخستین ناحیه private avenue است که تمام خیابان‌هایی به‌شمار می‌رود که از یک تقاطع به یکی از ده مقصد در نظر گرفته‌شده برای عامل‌های متحرک متصل می‌شوند. دومی crossroad نام دارد که تقاطع است و میان چهار مسیر قرار دارد. این تقاطع‌ها محل تصمیم‌گیری عامل‌های متحرک‌اند؛ یعنی عامل‌ها در این ناحیه‌ها تصمیم می‌گیرند کدام یک از سه مسیر در نظر گرفته‌شده را برگزینند. سومین ناحیه street است که ناحیهٔ متصل‌کنندهٔ دو چهارراه به همدیگر محسوب می‌شود.



شکل ۱. رابط کاربر گرافیکی سیستم

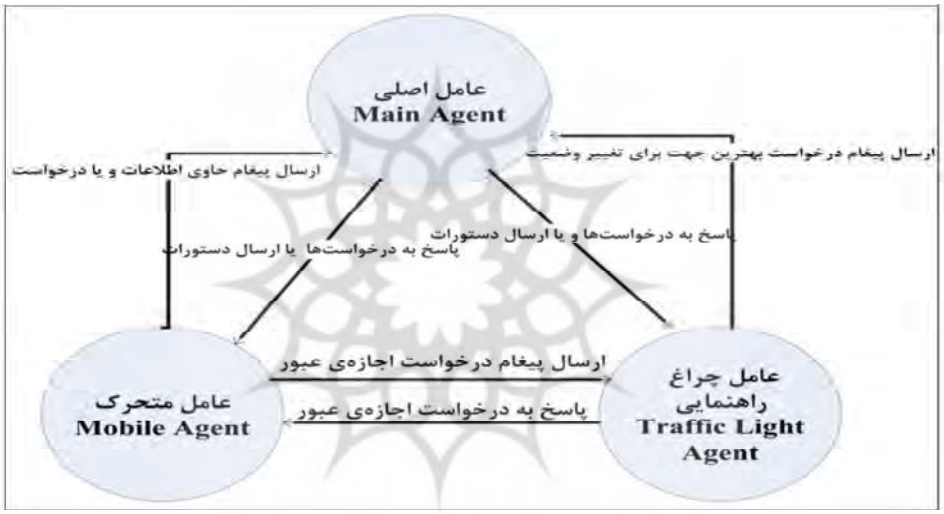
شکل ۲. نواحی حرکتی در محیط و مثالی از سه مسیر و تخمین فاصله تا مقصد

۳-۱- مراودهٔ اطلاعاتی عامل‌ها با هم

همان‌طورکه در بخش ۲ نیز بیان شد، سه عامل اصلی، متحرک و عامل چراغ راهنمایی در مدل در نظر گرفته شده است که، با توجه به اهداف تحقیق، قابلیت برقراری ارتباط و مراودهٔ اطلاعاتی را دارند. شکل ۳ ارتباطات آنها را نشان می‌دهد.

۳-۲- داده‌های به‌کار گرفته‌شده در مدل

به‌دلیل نداشتن دسترسی به داده‌های معتبر سیستم حمل‌ونقل شهری، داده‌های به‌کاررفته در مدل داده‌های شبیه‌سازی شده است. این داده‌ها متناسب با محیط و عامل‌های متحرک در نظر گرفته و به مدل وارد می‌شوند. داده‌های ورودی شامل مختصات مبدأ هر عامل متحرک، سرعت اولیهٔ مورد نظر برای هر عامل به‌منظور حرکت در محیط و مختصات مقصد آنهاست که در قالب یک فایل، با فرمت txt، مطابق شکل ۴، به مدل وارد می‌شوند.



شکل ۳. شمای ارتباطات کلی سه عامل

شکل ۴. فرمت داده‌های ورودی به مدل

۳-۳- حرکت برداری عامل‌ها در محیط

شکل ۵ حرکت عامل‌های متحرک به‌همراه کارکرد عامل‌های چراغ راهنمایی را در محیط نشان می‌دهد.

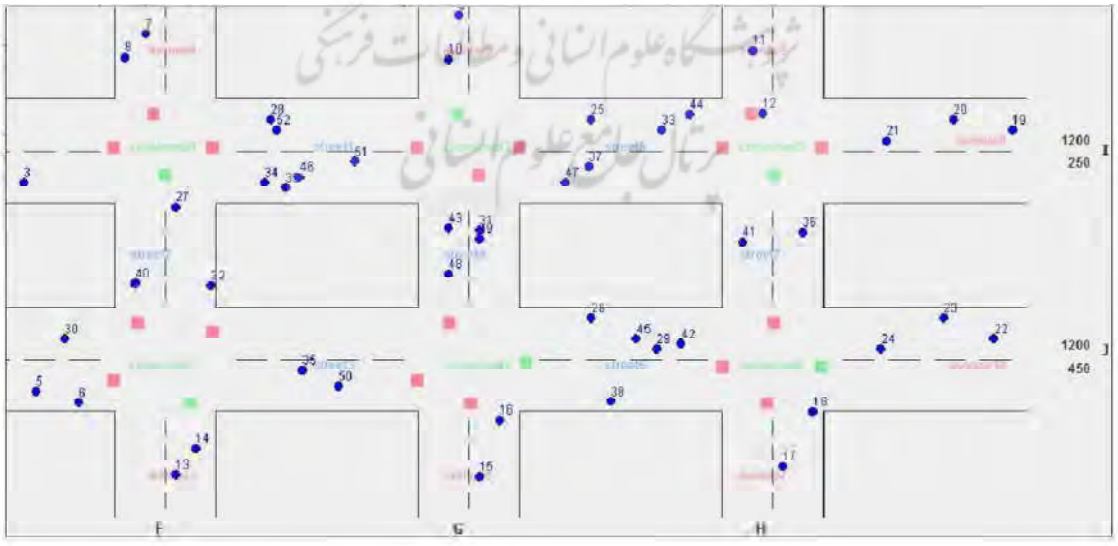
همان‌طورکه در شکل ۵ نشان داده شده است، عامل‌های متحرک، به‌صورت نقاط آبی‌رنگ و به‌همراه شمارهٔ خود، در محیط در حال حرکت‌اند. بنابراین، با توجه به داده‌ها و پارامترهای ورودی و روش‌های انتخابی برای کارکرد عامل‌ها، امکان ردیابی تک‌تک عامل‌ها در محیط شبیه‌سازی و مقایسهٔ بصری رفتارشان در محیط، حین اجرا و از سوی کاربر، وجود دارد. همچنین، چراغ‌های راهنمایی موجود در تقاطع‌ها نیز به‌شکل مربع‌های کوچک سبز و قرمز در شکل مشاهده می‌شود. در این شکل، حرکت عامل‌ها به‌روش عادی نمایش داده شده است. اما امکان نمایش خطی حرکت عامل‌ها یا تمایز یک عامل از دیگر عامل‌ها، برای تحلیل بهتر، وجود دارد.

۴-۳- امکان گزارش‌گیری و نمایش نتایج

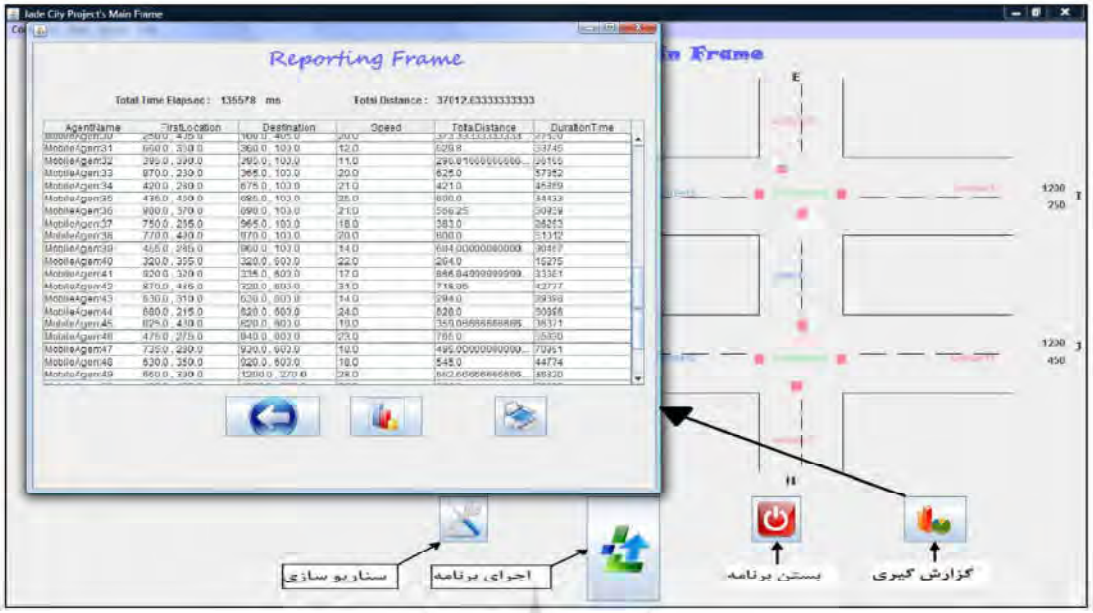
پس از ورود داده‌ها، انتخاب پارامترها و روش‌ها و درواقع، ایجاد سناریو از سوی کاربر و با اجرای برنامه، عامل‌های متحرک از مبدأ در نظر گرفته‌شده شروع به حرکت در محیط می‌کنند تا به هدف، که همان مقصدشان است، برسند. پس از پایان اجرای برنامه و رسیدن همهٔ عامل‌های متحرک به مقصد، این امکان وجود دارد که نتایج حاصل از اجرا در قالب یک جدول نمایش داده و چاپ شود. اطلاعات این جدول شامل اطلاعات اولیهٔ هر عامل و مسافت و زمانی است که طی کرده تا از مبدأ به مقصد برسد. همچنین، میانگین زمان و مجموع مسافتی را که همهٔ عامل‌های متحرک طی کرده‌اند می‌توان استخراج کرد. براساس این اطلاعات، می‌توان نتایج حاصل از انتخاب سناریوهای متفاوت را، مطابق شکل ۶، مشاهده و مقایسه کرد.

۵-۳- نتایج به‌دست‌آمده پس از اجرا

پس از ورود داده‌ها و اجرای سیستم با آنها و به‌روش‌ها یا سناریوهای متفاوت، نتایج مطابق جدول ۱ به‌دست آمد. در این تحقیق، شش سناریو تعریف شده است. باید اشاره شود که داده‌های شبیه‌سازی به‌کاررفته در همهٔ سناریوها یا روش‌ها، برای مقایسهٔ نتایج، یکسان در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۵. نمایش حرکت عامل‌ها در محیط



شکل ۶. نمایش جدول نتایج و خروجی سیستم

جدول ۱. نتایج حاصل از سناریوهای متفاوتِ اجراشده

روش اجرا (سناریو)	کل زمان شبیه‌سازی و اجرای سناریو (ثانیه)	مجموع فواصلی که عامل‌ها تا رسیدن به مقصد، طی کردند (متر)	میانگین زمان سفر عامل‌های متحرک در شبکه تا رسیدن به مقصد (ثانیه)
عامل متحرک: مسیریابی بدون استفاده از اطلاعات ترافیکی عامل چراغ راهنمایی: کنترل عادی تقاطع	۱۹۷/۳۴۵	۴۲۵۲۷/۳۹۲	۹۱/۵۹۷
عامل متحرک: مسیریابی بدون استفاده از اطلاعات ترافیکی عامل چراغ راهنمایی: کنترل تقاطع به‌روش تعداد عامل‌ها	۱۲۹/۲۳۹	۴۲۵۰۳/۴۵۳	۷۲/۲۳۴
عامل متحرک: مسیریابی بدون استفاده از اطلاعات ترافیکی عامل چراغ راهنمایی: کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان	۱۳۸/۲۷۷	۴۲۵۱۸/۵۳۸	۷۹/۷۶۵
عامل متحرک: مسیریابی با استفاده از اطلاعات ترافیکی عامل چراغ راهنمایی: کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان	۱۶۹/۵۴۶	۴۳۷۱۹/۴۹۱	۷۱/۹۹۳
عامل متحرک: مسیریابی با استفاده از اطلاعات ترافیکی عامل چراغ راهنمایی: کنترل تقاطع به‌روش تعداد عامل‌ها	۱۷۸/۱۱۹	۴۴۱۱۸/۷۲۸	۷۰/۳۵۵
عامل متحرک: مسیریابی با استفاده از اطلاعات ترافیکی عامل چراغ راهنمایی: کنترل تقاطع به‌روش عادی	۲۰۴/۲۳۴	۴۳۸۸۶/۷۶۴	۸۸/۴۳۶

براساس مطالعهٔ نتایج این جدول، مطالب زیر استخراج می‌شوند:

- سه ردیف نخست جدول به حالتی مربوط است که عامل متحرک مسیریابی را بدون استفاده از اطلاعات ترافیکی و فقط براساس فاصلهٔ شبکه‌ای از مقصد انجام می‌دهد. مقایسهٔ ردیف‌های اول و سوم جدول این مطلب را بیان می‌کند که کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان، با استفاده از عامل چراغ راهنمایی، باعث کاهش میانگین زمان سفر کل عامل‌های متحرک، در مقایسه با حالت عادی کنترل تقاطع، شده است.
- به همین ترتیب، کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان با استفاده عامل چراغ راهنمایی باعث شده است کل زمان شبیه‌سازی نیز کاهش یابد. هرچند این معیار اهمیت زیادی ندارد چون بیان می‌کند که زمان لازم برای به‌مقصدرسیدن آخرین خودرو چقدر است و گاه امکان دارد آخرین خودرو، بسیار دیرتر از دیگر خودروها، به مقصد خود برسد.
- مقایسهٔ ردیف‌های اول و دوم جدول این مطلب را بیان می‌کند که کنترل تقاطع به‌روش تعداد عامل‌ها با استفاده از عامل چراغ راهنمایی سبب کاهش شدیدتر میانگین زمان سفر کل عامل‌های متحرک، در مقایسه با هر دو حالت کنترل عادی تقاطع و کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان، شده است.
- به همین صورت، کنترل تقاطع به‌روش تعداد عامل‌ها با عامل چراغ راهنمایی باعث شده است کل زمان شبیه‌سازی نیز، در مقایسه با هر دو حالت دیگر، کاهش بسیار بیشتری داشته باشد.
- جالب‌توجه است که در این سه حالت، یعنی ردیف‌های اول تا سوم، مجموع فواصل طی‌شده ثابت است و تفاوت در حد یک‌هزارم است. این منطقی است زیرا، در این سه روش، عامل‌های متحرک مسیرهای متفاوتی را نمی‌پیمایند. به‌عبارت دیگر، در این روش‌ها، فاصلهٔ هر نقطه از شبکه به یکی از نقاط مقصد ثابت است و عامل‌های متحرک، فقط براساس کوتاه‌ترین فاصله و بدون استفاده از اطلاعات وضعیت ترافیکی، به‌سمت مقصد حرکت می‌کنند.
- در ردیف‌های سوم و چهارم، روش کنترل تقاطع با استفاده عامل چراغ راهنمایی ثابت است. مقایسهٔ این دو ردیف نشان می‌دهد که روش مسیریابی با استفاده از اطلاعات ترافیکی و توسط عامل متحرک، در مقایسه با حالت مسیریابی بدون استفاده از اطلاعات ترافیکی، سبب کاهش میانگین زمان سفر کل عامل‌های متحرک شده است که کاهش تقریباً محسوسی هم به‌شمار می‌رود. دلیل اصلی اینکه کاهش زیاد محسوس نیست این است که تصمیم‌گیری عامل‌ها، برای انتخاب مسیر، با استفاده از اطلاعات وضعیت ترافیکی، براساس وضعیت ترافیک کلی سه مسیر منتخب و محاسبهٔ زمان احتمالی رسیدن به مقصد از سه مسیر، با استفاده از رابطه (۲) صورت می‌گیرد. سعی شده است که تصمیم‌گیری طبق اطلاعات ترافیک محلی نباشد اما، در هر صورت، تصمیم‌گیری براساس اطلاعات ترافیکی لحظهٔ انتخاب مسیر بر سر چهارراه صورت می‌گیرد و امکان پیش‌بینی دقیق ترافیک کل مسیر تا رسیدن به مقصد و تصمیم‌گیری براساس آن، به‌دلیل تعدد مسیرها و پویا و متغیربودن محیط شبیه‌سازی‌شده مطابق با شرایط واقعی شبکهٔ حمل‌ونقل شهری، وجود ندارد.
- سه ردیف آخر جدول مربوط به حالتی است که عامل متحرک مسیر یابی را، با استفاده از اطلاعات ترافیکی و نیز فاصلهٔ شبکه‌ای تا مقصد، به‌صورت ترکیبی انجام می‌دهد. درواقع عامل متحرک، با داشتن طول سه مسیر منتخب و محاسبهٔ سرعت احتمالی خود در این مسیرها، با توجه به وضعیت ترافیک، مسیر را انتخاب می‌کند. جالب‌توجه است که مسیریابی عامل متحرک با استفاده از اطلاعات ترافیکی، در یک مورد، یعنی ردیف ششم، کل زمان شبیه‌سازی را افزایش داده است زیرا، همان‌طورکه اشاره شد، گاه پیش می آید که آخرین خودرو بسیار دیرتر از دیگر خودروها

به مقصد می‌رسد. به‌عبارت دیگر، اصلاح و کاهش میانگین زمان سفر برای کل مجموعهٔ عامل‌های متحرک دلیل کاهش این زمان برای تک‌تک آنها محسوب نمی‌شود.

- نکتهٔ توجه‌برانگیز دیگر این است که در سه ردیف آخر، در مقایسه با سه ردیف نخست، مجموع فواصلی که عامل‌های متحرک پیموده‌اند تا حدودی بیشتر شده است. این موضوع را می‌شد پیش‌بینی کرد زیرا، در مسیریابی با استفاده از اطلاعات ترافیکی، عامل‌های متحرک مسیر خلوت‌تر را به مسیر کوتاه‌تر ترجیح می‌دهند.
- مقایسهٔ سه ردیف آخر جدول نشان می‌دهد که در مسیریابی با استفاده از اطلاعات ترافیکی، کنترل تقاطع به‌روش تعداد عامل‌ها سبب کاهش بسیار بیشتر میانگین زمان سفر کل عامل‌های متحرک، در مقایسه با هر دو حالت کنترل عادی تقاطع و کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان، شده است. البته روش کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان نیز کاهش خوبی را در میانگین زمان سفر نشان می‌دهد و از این نظر، تفاوتی جزئی با روش تعداد عامل‌ها دارد. همچنین این حالت، یعنی ردیف پنجم جدول، کمترین میانگین زمان سفر را در میان هر شش سناریوی اجراشده به خود اختصاص داده است و از این لحاظ، بهترین سناریوی اجراشده محسوب می‌شود که، به‌نسبت شرایط عادی، کاهش حدوداً ۲۳ درصدی در میانگین زمان سفر در شبکه را در پی داشته است. روش کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان نیز موجب کاهش حدوداً ۲۱/۵ درصدی در میانگین زمان سفر شده است.
- نکتهٔ آخر که از مقایسهٔ ردیف‌های اول و ششم، دوم و پنجم و همچنین سوم و چهارم استنباط می‌شود این است که تأثیر مسیریابی عامل‌های متحرک با استفاده از اطلاعات ترافیکی در کاهش میانگین زمان سفر، به‌طرز محسوسی، کمتر از تأثیر مدیریت و کنترل صحیح تقاطع‌ها با چراغ‌های راهنمایی هوشمند است.

۴- نتیجه‌گیری

اهداف اصلی این تحقیق مدل‌سازی عامل پایهٔ بخشی از فضای ترافیک شهری، با امکان دسترسی عامل‌های متحرک و عامل‌های چراغ راهنمایی به اطلاعات ترافیک لحظه‌ای، به‌منظور کمک به تصمیم‌گیری آنها و نیز سنجش امکان مراودهٔ اطلاعاتی بین اجزای تشکیل‌دهندهٔ این فضا، به‌همراه ارزیابی تأثیر این مراوده، بوده است. در این مدل، هر سه نوع عامل، خودروها و چراغ‌های راهنمایی و مرکز کنترل ترافیک، می‌توانند با یکدیگر ارتباط و مراودهٔ اطلاعاتی داشته باشند. با تعریف معیارهایی، تأثیر این‌گونه ارتباطات اطلاعاتی و روش‌های گوناگون مبتنی‌بر این ارتباطات سنجیده می‌شود. در این زمینه، محیط شهری به‌صورت فضایی برداری، شامل خیابان‌های دوطرفه و تقاطع‌ها و چراغ‌های راهنمایی به‌همراه خودروها و مبدأ و مقصد این خودروها، مدل‌سازی شده است. محیط شامل تقاطع‌ها، خیابان‌های بین این تقاطع‌ها، مبدأ و مقصد خودروها و خیابان‌های بین تقاطع‌ها و مقاصد است. عامل‌های طراحی‌شده نیز خودروها، چراغ‌های راهنمایی و مرکز کنترل ترافیک را دربر می‌گیرد.

در ادامه، بخشی از تجربه‌ها و نتیجه‌گیری‌های اصلی بیان می‌شود که طی این تحقیق حاصل شدند. مدل‌سازی عامل مبنا یکی از روش‌های مدل‌سازی جزء پایه[1] است که توانایی بسیاری در مدل‌سازی دنیای پویا و پیچیدهٔ ترافیک شهری دارد. در چنین مدلی، امکان مشاهدهٔ مستقیم و زندهٔ عامل‌ها، همچون خودروها و چراغ‌های راهنمایی، چگونگی کارکردشان، ارتباطات آنها و موارد دیگر وجود دارد. این باعث می‌شود به‌راحتی بتوان ساختار و رفتارهای هر عامل را ارزیابی، بازنگری و اصلاح کرد. امکان تعریف سناریوهای گوناگون و آزمودن آنها نیز در این سیستم وجود دارد. در برخی شهرها و شرایط، مردم ترجیح می‌دهند، در ازای حرکت سریع‌تر و زمان کمتر، مسافت بیشتری را

1. component based

طی کنند. برعکس در شهرهایی دیگر، با شیب زیاد و هزینهٔ سوخت بالا و مردمی صبورتر، می‌توان تکیهٔ بیشتری بر مسافت، در مقابل سنگینی ترافیک و زمان سفر، داشت. نکتهٔ دیگر این است که شبکهٔ حمل‌ونقل شهری را نمی‌توان به‌سادگی، در یک فضای رستری[1]، مدل‌سازی کرد. استفاده از پلتفرم و نرم‌افزار JADE قدری دشوار بود. در مقابل، این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی ترافیک شهری در فضایی برداری را به‌خوبی فراهم می‌کند و امکان توسعهٔ بسیاری را، برای سیستم ایجادشده، در اختیار می‌گذارد.

در ادامهٔ این تحقیق، امکان توسعهٔ سیستم در بسیاری جنبه‌ها وجود دارد. از جمله اینکه هم محیط و هم عامل‌ها بسیار ساده مدل‌سازی شدند. برای نمونه، تفاوت میدان و چهارراه موضوع مهمی محسوب می‌شود و تأثیر هریک نیاز به بررسی دارد. همچنین، می‌توان رفتارهای واقعی‌تر و منطقی‌تری را برای عامل‌ها طراحی و اجرا کرد. مثلاً می‌توان ترکیبی هم‌زمان از کنترل تقاطع به‌روش کمترین زمان و کنترل تقاطع به‌روش تعداد عامل‌ها را در نظر گرفت. این کار، از لحاظ طراحی و اجرا، سخت‌تر است و به بررسی بیشتری نیاز دارد. همچنین، می‌توان مدل را به‌گونه‌ای طراحی کرد که محاسبات مربوط به تعیین جهت انتخابی برای سبزشدن چراغ راهنمایی با استفاده عامل چراغ راهنمایی صورت گیرد؛ نه ازطریق عامل اصلی. این روش، به‌ویژه، برای شبکهٔ ترافیک وسیع منطقی‌تر است به این دلیل که پردازش‌های لازم میان تعداد بیشتری عامل توزیع می‌شود.

در این تحقیق، براساس مطالعهٔ محققان دیگر و با توجه به مفاهیم پاداش و مجازات، دربارهٔ شیوهٔ تأثیر تعداد خودروهای یک یال در سرعت آنها، با استفاده از رابطه (۱) توضیح داده شده است. برای بررسی پارامترهای مؤثر دیگر و انطباق بیشتر با شرایط ترافیکی شهرهای ایران، در این زمینه می‌توان مطالعات مستقلی انجام داد تا تأثیر ترافیک در سرعت لحظه‌ای خودروها، با توجه به ارتباط مستقیم آن با نتایج تحقیق، به‌صورت واقعی‌تر مدل‌سازی شود. همچنین، طبق توضیحات بخش ۲-۲-۳، برای ساده‌ترکردن پیاده‌سازی با توجه به درنظرگرفتن فاصلهٔ شبکه‌ای و محاسبهٔ آن توسط عامل‌های متحرک تا مقصد، که تعدد مسیرها و درنتیجه، پیچیدگی‌های خاص خود را در پی دارد و نیز انطباق با واقعیت، که در همین بخش توضیح داده شده است، ازآنجاکه با اهداف اصلی این تحقیق که همان بررسی سناریوهای متفاوت و مقایسهٔ نتایج آنها در کاهش زمان سفر در شبکه است منافاتی نداشت، در هر چهارراه برای رسیدن به هر مقصدی امکان انتخاب بین سه مسیر درنظر گرفته شد. در تحقیقات بعدی و با محیط شبیه‌سازی پیچیده‌تر و وسیع‌تر، می‌توان این محدودیت را، با توجه به اهداف جدید در نظر گرفته‌شده، حذف کرد یا، متناسب با شرایط جدید، تغییر داد.

۵- منابع

Abdoos, M., Mozayani, N. & Bazaan, A.L.C., 2013, **Holonic Multi-Agent System for Traffic Signals Control**, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 26(5-6), PP. 1575-1587.

Adler, J.L. & Blue, V.J., 2002, **A Cooperative Multi-Agent Transportation Management and Route Guidance System**, Transp. Res. Part C: Emerging Technol., 10(5/6), PP. 433-454.

Adler, J.L., Satapathy, G., Manikonda, V., Bowles, B. & Blue, V.J., 2005, **A Multi-Agent Approach to Cooperative Traffic Management and Route Guidance**, Transp. Res. Part B: Methodological, 39(4), PP. 297-318.

Aronsson, K.F.M., 2006, **Speed Characteristics of Urban Streets Based on Driver Behaviour Studies and Simulation**, Doctoral Thesis in Infrastructure, Royal Institute of Technology.

Bellifemine, F.L., Caire, G. & Greenwood, D., 2007, **Developing Multi-Agent Systems with JADE**, Hoboken, NJ: Wiley, PP. 1-15.

1. rester

Chen, B., Cheng, H.H. & Palen, J., 2009, **Integrating Mobile Agent Technology with Multi-Agent Systems for Distributed Traffic Detection and Management systems**, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 17(1), PP. 1-10.

Chen, H. & Rakha, H.A., 2016, **Multi-Step Prediction of Experienced Travel Times Using Agent-Based Modeling**, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 71, PP. 108-121.

Choy, M.C., Srinivasan, D. & Cheu, R.L., 2003, **Cooperative, Hybrid Agent Architecture for Real-Time Traffic Signal Control**, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. A, Syst., Humans, 33(5), PP. 597-607.

Dia, H., 2002, **An Agent-Based Approach to Modelling Driver Route Choice Behavior under the Influence of Real-Time Information**, Transp. Res. Part C:Emerging Technol., 10(5/6), PP. 331-349.

Dresner, K. & Stone, P., 2008, **A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management**, J. Artif. Intell. Res., 31(1), PP. 591- 656.

Galland, S., Buisson, J., Gaud, A., Goncalves, M., Koukam, A., Guiot, F. & Henry, L., 2014, **Agent-Based Simulation of Drivers with the Janus Platform**, Procedia Computer Science, 32, PP. 738-743.

Jin, J. & Ma, X., 2015, **Adaptive Group-Based Signal Control by Reinforcement Learning**, Transportation Research Procedia, 10, PP. 207-216.

Khamis, M.A. & Gomaa, W., 2014, **Adaptive Multi-Objective Reinforcement Learning with Hybrid Exploration for Traffic Signal Control Based on Cooperative Multi-Agent Framework**, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 29, PP. 134- 151.

Kisiel-Dorohinicki, M., 2002, **Agent-Oriented Model of Simulated evolution**, In W.L. Grosky & F. Plasil (Eds.), Sofsem 2002: Theory and Practice of Informatics, LNCS, Springer-Verlag.

Kosonen, I., 2003, **Multi-Agent Fuzzy Signal Control Based on Real-Time Simulation**, Transp. Res. Part C: Emerging Technol., 11(5), PP. 389-403.

Kukla, R., Kerridge, J., Willis, A. & Hine, J., 2001, **PEDFLOW: Development of an Autonomous Agent Model of Pedestrian Flow**, Transp. Res. Rec., 1774, PP. 11-17.

Lopez-Neri, E., Ramirez-Trevino, A. & Lopez-Mellado, E., 2010, **A Modeling Framework for Urban Traffic Systems Microscopic Simulation**, International Journal of Simulation: Simulation Modelling Practice and Theory (ELSEVIER), PP. 1145-1161.

Lu, C. & Chen, H., 2012, **Hierarchical Planning for Agent-Based Traffic Management and Control**, IFAC Proceedings Volumes, 45(24), PP. 256-261.

Melnikov, V.R., Krzhizhanovskaya, V.V., Lees, M.H. & Boukhanovsky, A.V., 2016, **Data-Driven Travel Demand Modelling and Agent-Based Traffic Simulation in Amsterdam Urban Area**, Procedia Computer Science, 80, PP. 2030-2041.

Roozemond, D.A., 1999, **Using Autonomous Intelligent Agents for Urban Traffic Control Systems**, Proc. 6th World Congr. Intell. Transp. Syst., Toronto, Canada.

Roozemond, D.A., 2001, **Using Intelligent Agents for Pro-active, Real-Time Urban Intersection Control**, Eur. J. Oper. Res., 131(2), PP. 293-301.

Rosenfeld, A., Kaminka, G., Kraus, S. & Shehory, O., 2008, **A Study of Mechanisms for Improving Robotic Group Performance**, Artificial Intelligence, 172. PP. 633-655.

Rossetti, R.J.F., Ferreira, P.A.F., Braga, R.A.M. & Oliveira, E.C., 2008, **Towards an Artificial Traffic Control System**, Proc. 11th Int. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst., PP. 14-19.

Salim, F.D., Krishnaswamy, S., Loke, S.W. & Rakotonirainy, A., 2005, **Context-Aware Ubiquitous Data Mining Based Agent Model for Intersection Safety**, Proc. EUC Workshops, 3823, PP. 61-70.

Sandhu, S.S., Jain, N., Gaurav, A., Sriman, N.C. & Iyengar, N., 2015, **Agent Based Intelligent Traffic Management System for Smart Cities**, International Journal of Smart Home, 9(12), PP. 307-316.

Srinivasan, D. & Choy, M.C., 2006, **Cooperative Multi-Agent System for Coordinated Traffic Signal Control**, Proc. Inst. Elect. Eng.—Intell. Transp. Syst., 153(1), PP. 41-50.

Szymanezyk, O. & Dickinson, P., 2014, **Validation of Pedestrian Groups in Agent-Based Simulation**, Transportation Research Procedia, 2, PP. 706-714.

Taale, H., Kampen, J.V. & Hoogendoorn, S., 2015, **Integrated Signal Control and Route Guidance Based on Back-Pressure Principles**, Transportation Research Procedia, 10, PP. 226-235.

Wahle, J., Bazzan, A.L.C, Klügl, F. & Schreckenberg, M., 2000, **Anticipatory Traffic Forecast Using Multiagent Techniques**, Traffic and Granular Flow '99, D. Helbing, H. Hermann, M. Schreckenberg & D. Wolf, Eds. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag.

Wahle, J., Bazzan, A.L.C, Klügl, F. & Schreckenberg, M., 2002, **The Impact of Real-Time Information in a Two-Route Scenario Using Agent-Based Simulation**, Transp. Res. Part C: Emerging Technol., 10(5/6), PP. 399-417.

Weyns, D., Holvoet, T. & Helleboogh, A., 2007, **Anticipatory Vehicle Routing Using Delegate Multi-Agent Systems**, Proc. IEEE Intell. Transp. Syst. Conf., PP. 87-93.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی