Archive of SID

شبیه‌سازی و کاربرد آن در مطالعات ترافیک؛ مدل تعقیب خودرو

سید صابر ناصرعلوی[۱]، محمود صفارزاده[۲]، امیر رضا ممدوحی[۳]، نوید ندیمی[۴]

از صفحه۵۹ تا۷۴

تاریخ دریافت:۹۰/۳/۲۸ تاریخ پذیرش:۹۰/۵/۴

چکیده

اخیراً استفاده از ابزار شبیه‌سازی جریان ترافیک به‌عنوان یکی از روش‌های مفید مدیریت ترافیک، کنترل ترافیک، تصمیم‌گیری و انتخاب راهبرد بهینه، روزبه‌روز افزایش می‌یابد. بنابراین، شناخت عمیق مدل‌های به‌کار رفته در شبیه‌سازهای رایانه‌ای ضرورت دارد و عدم درک صحیح از این‌گونه مدل‌ها ممکن است منجر به استفاده نامناسب و تولید نتایج نادرست شود. در این مقاله مروری، خصوصیات جریان ترافیک همراه با روش‌های بررسی این خصوصیات و انواع رویکردهای مختلف برای مدل‌سازی جریان ترافیک بیان می‌شود. سپس در خصوص شبیه‌سازی ترافیک به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین ابزارهای کنونی بررسی جریان ترافیک بحث می‌شود و مدل‌های خرد و کلان شبیه‌سازی ترافیک معرفی شده و خصوصیات آن‌ها بیان می‌شود. در انتها انواع و خصوصیات مدل‌های تعقیب خودرو که جزء جدایی‌ناپذیر و از مهم‌ترین زیرمدل‌های شبیه‌سازی خرد ترافیک است، تشریح می‌شود. به‌طور کلی، مبانی توسعه مدل‌های تعقیب خودرو، تحت قانون درآوردن پاسخ خودروی تعقیب کننده به عمل پیشتاز (که درگیر تغییرات سرعت‌ها و مکان‌هاست) می‌باشد.

کلیدواژه‌ها

شبیه‌سازی/ جریان ترافیک/ تعقیب خودرو/ مدل‌سازی/ مدیریت ترافیک/ کنترل ترافیک.

۱. دانشجوی دکتری مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس saber_alavi@modares.ac.ir
۲. استاد دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس saffar_m@modares.ac.ir
۳. استادیار دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس armamdoohi@modares.ac.ir
۴. کارشناس ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری،،دانشگاه تربیت مدرس n.nadimi@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

ویژگی‌های خودروها در جریان ترافیک با سرعت، مکان و شتاب هر خودرو در هر لحظه از زمان بیان می‌شوند. این سه متغیر با هم رابطه ریاضی دارند: سرعت مشتق اول و شتاب مشتق دوم مکان نسبت به زمان است. در حرکت روی خط مستقیم، مبانی جنبشی جهت توصیف حرکت خودروها در جریان ترافیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزایش سرعت خودرو در حرکت روی خط مستقیم به قدرت موتور و شرایط جاده بستگی دارد. در بسیاری از مدل‌های جریان ترافیکی، نیروهای فیزیکی مثل اصطکاک جانبی، باد و موارد گرانشی نادیده گرفته می‌شود (داگانزو[1]، ۱۹۹۷). نیروهای اعمال شده بر روی یک خودروی در حال حرکت را معرفی کرد. بسیاری از این نیروها به دلایل ساده‌سازی، در فرمول‌بندی جریان ترافیک نادیده گرفته می‌شوند.

مدل‌های جریان ترافیک به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: مدل‌های ماکروسکوپی[2]، مدل‌های میکروسکوپی[3] و مدل‌های مزوسکوپی[4]. این مدل‌ها بر اساس ارایه سطح جزییات در مدل‌سازی دانه‌ای[5] جریان ترافیک مقایسه می‌شوند. مدل‌های ماکروسکوپی جریان ترافیک را در یک روش هم‌فزون و به عنوان یک جریان سیال در نظر می‌گیرد. این مدل‌ها از متغیرهای متوسط، مثل چگالی ترافیک، حجم ترافیک و متوسط سرعت، برای توصیف حالت‌های جریان ترافیک استفاده می‌کنند (می، ۱۹۹۰؛ اج سی ام، ۲۰۰۰). برخلاف مدل‌های ماکروسکوپی، مدل‌های میکروسکوپی تعاملات بین تک‌تک خودروها را در جریان ترافیک در نظر می‌گیرند. به‌واسطه ملاحظات تک‌تک خودروها در مدل‌های میکروسکوپی امکان محاسبه افزایش سرعت، کاهش سرعت و رفتارهای پیوند مسیر[6] و تغییرخط‌عبور[7] به‌وجود می‌آید. در

1- Daganzo
2 - Macroscopic
3 - Microscopic
4 - Mesoscopic
5 - Granularity
6 - Lane merging
7 - Lane merging and changing behavior

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌های میکروسکوپی، هر خودرو در سامانه بر اساس سرعت، مکان و نقاط مبدأ- مقصد توصیف می‌شود. مشخصات مدل‌های ترافیکی مزوسکوپی مابین مدل‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی است. این مدل‌ها نه تنها خصوصیات مربوط به تک‌تک خودروها را لحاظ می‌کنند، بلکه تعاملات خودروها را در یک روش هم‌فزون نیز در نظر می‌گیرند.

پارامترهای میکروسکوپی جریان ترافیک مثل سرفاصله‌زمانی[1] و سرفاصله‌مکانی[2] در حرکت دو خودروی پشت‌سرهم تعریف می‌شوند. ویژگی رفتاری تک‌تک خودروها نسبت به یکدیگر با سرفاصله‌زمانی و سرفاصله‌مکانی در جریان ترافیک مشخص می‌شود. سرفاصله‌مکانی، فاصله بین دو خودروی پشت‌سرهم در جریان ترافیک از یک نقطه مرجع است. برخی مواقع به‌جای سرفاصله‌مکانی، از واژه‌های فاصله‌آزاد[3] یا گپ‌مکانی[4] استفاده می‌شود.

از مقادیر متوسط پارامترهای میکروسکوپی جریان ترافیک، یعنی متوسط سرفاصله‌های مکانی و متوسط سرفاصله‌های زمانی، پارامترهای ماکروسکوپی (تردد، متوسط سرعت و چگالی) به‌دست می‌آید. از لحاظ ریاضی، چگالی برعکس متوسط سرفاصله‌مکانی، جریان ترافیک برعکس متوسط سرفاصله‌زمانی و سرعت متوسط نسبت متوسط سرفاصله‌مکانی به متوسط سرفاصله‌زمانی است. در واقع، اگر N خودرو در مدت یک دقیقه مشاهده شود، سپس یک جریان، یک چگالی و یک سرعت متوسط (پارامترهای ماکروسکوپیک) وجود دارد؛ در عین حال، N سرفاصله‌مکانی و سرفاصله‌زمانی وجود دارد.

چگالی ترافیک پارامتری ماکروسکوپی است که برای اندازه‌گیری تمرکز خودروها در یک قسمت از جاده به‌کار می‌رود. چگالی متوسط (زمانی) تعداد خودروهای اشغال کننده یک یا چند خط عبور در قسمتی از جاده تعریف می‌شود و با واحد خودرو بر مسافت (مایل یا کیلومتر) بیان می‌شود. همچنان که قبلاً تعریف شد، سرعت نرخ حرکت است و با واحد مسافت بر زمان اندازه‌گیری می‌شود. جریان ترافیک نیز پارامتری ماکروسکوپی است که سیالی

1 - Time headway
2 - Spacing
3 - Clearance
4 - Space gap

www.SID.ir

Archive of SID

و روانـی حرکـت خودروها را در یک جریان ترافیک اندازه‌گیری می‌کند و معمولاً به صورت خودرو بر سـاعت محاسـبه می‌شود. برخی اوقات از جریان ترافیک به‌عنوان حجم ترافیک[1]، شدت[2] یا قابلیت عبوردهی[3] یاد می‌شود. حجم ترافیک موقعی که در یک ساعت اندازه‌گیری می‌شود، برابر با جریان است. لازم به ذکر است که چگالی، سرعت و جریان با هم رابطه دارند.

جریان ترافیک در تسـهیلات جاده‌ای به دو کلاس کلی تقسـیم می‌شـود. جریان منقطع[4] و جریان غیرمنقطع[5] (می، ۱۹۹۰؛ اچ سـی ام، ۲۰۰۰). جریان‌های غیرمنقطع بر روی تسـهیلات فاقـد عناصـر خارجی اختلال‌گر در جریان ترافیک (سـبب قطع جریان عادی خودروها) رخ می‌دهـد. اجـزای خارجی اختلال‌گر شـامل تقاطعات، تبادل‌ها و کم‌شـدگی خط‌عبور[6] و ... است. جریان ترافیک در این نوع جریان (جریان‌های غیرمنقطع) نتیجه تعاملات بین تک‌تک خودروها یا طرح هندسی جاده می‌باشد. جریان‌های ترافیک غیرمنقطع در قسمت‌های اساسی آزادراه (دور از نقاط رمپ‌های ورود و خروج) رخ می‌دهد. جریان‌های ترافیک منقطع بر روی تسهیلات دارای اجزای خارجی اختلال‌گر رخ می‌دهد. حضور اجزای خارجی مثل تقاطعات، کم‌شدن خط عبور یا رمپ‌های ورودی و خروجی در برخی اوقات سبب می‌شود که سرعت خودروها آهسته شود و بعضاً به حالت ایست در بیاید.

یکی از جنبه‌های مفید نمودارهای اساسی، فهم فرمولاسیون تئوری تعقیب خودرو[7] است. برای مثال، رابطه سـرعت- چگالی مشـابه سرعت به‌عنوان تابعی از سرفاصله‌مکانی در منطق تعقیب خودرو است (می، ۱۹۹۰). در مورد تعقیب خودرو در قسمت‌های بعدی بحث می‌شود. رابطه سـرعت- تردد در مراحل برنامه‌ریزی و طراحی تسـهیلات حمل‌ونقلی، برای بررسـی ظرفیـت و کیفیت عملیات (سـطح سـرویس) مورد انتظار به‌کار مـی‌رود. رابطه بین جریان و

1 - Traffic volume
2 - Intensity
3 - Throughput
4 - Interrupted flow
5 - Uninterrupted flow
6 - Lane drops
7- Car-following theory

www.SID.ir

Archive of SID

چگالی از لحاظ نظری می‌تواند جهت کنترل نرسیدن چگالی به چگالی بهینه (به‌منظور این‌که تسهیلات جاده‌ای اکثر اوقات با یک سطح سرویس بالا عمل کند) به‌کار رود.

بـا مطالعات بیش‌تر و بعد از بررسـی‌های میدانی دقیـق اطلاعات ترافیکی و در واقع، پس از توسـعه قابل‌توجه تئوری جریان ترافیک در دهه ۱۹۵۰، معلوم شـد که سرعت و چگالی با یکدیگر رابطه نمایی دارند (گرین برگ، ۱۹۵۹). بعد از آن، اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات منجر به تولید دو سـری رژیم مدل‌های مجزا برای روابط جریان ترافیک به‌عنوان: رژیم‌های جریان آزاد و جریان متراکم شـد (ادی، ۱۹۶۱). مدل گرین شـیلد[1] یک مدل تک‌رژیمی است. سومین رژیم نیز جهت پوشش انتقال از جریان آزاد تا جریان متراکم معرفی شد. به‌علاوه، می (۱۹۹۰) فرمولاسیون مدل‌های چندرژیمی را ارایه کرد.

شبیه‌سازی رایانه‌ای جریان ترافیک

شبیه‌سـازی رایانه‌ای عبارت اسـت از ارایه دینامیکی سـامانه دنیای واقعی با اسـتفاده از مـدل رایانه‌ای می‌باشـد. تاریخچه شبیه‌سـازی به کمی بعد از معرفی اولیـن رایانه دیجیتالی در دهـه ۱۹۳۰ برمی‌گردد (می؛ ۱۹۹۰). کاربرد شبیه‌سـازی بـرای مطالعات جریان ترافیک و فرمولاسـیون‌های مدل‌های شبیه‌سـازی ترافیکی پس از توسعه تئوری جریان ترافیک در دهه ۱۹۵۰ شـروع شد (پورسـولا، ۱۹۹۹). مدل‌های شبیه‌سـازی ترافیکی دارای توانایی بررسی و ارزیابی پروژه‌های حمل‌ونقلی تحت شـرایط مختلف (شـامل شـرایطی که به‌سختی بتوان در میدان مشـاهده کرد) اسـت. از این‌رو، مدل‌های شبیه‌سـازی ابزارهـای ارزیابی ترافیک بسیار مفیدی محسوب می‌شوند. کاربرد شبیه‌سازی به‌منظور مدل‌سازی جریان ترافیک به‌دلیل پیشرفت‌های جاری در فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه افزایش پیدا کرده است. برای مثال، امروزه چندین زبان برنامه‌نویسی شی‌گرای سطح بالا و همچنین پردازش‌کننده‌های رایانـه‌ای پرقـدرت مختلف وجود دارد که می‌توانـد به راحتی مدل‌های ترافیکی را فرموله و شبیه‌سازی بکند. برای مثال، زبان‌های برنامه‌نویسی شی‌گرا مثل C++ و Java می‌توانند اشیا را

1. Green shields

www.SID.ir

Archive of SID

طوری به‌صورت تعاملی توسعه دهند که ساده‌سازی برای حل مسائل، به‌خوبی صورت گیرد.

شکل شماره ۱: نمایش یک نمونه شبیه‌ساز ترافیکی

شبیه‌سازی یکی از ابزارهایی است که می‌تواند برای تخصیص کارآمد فضای راه‌ها، کاهش آلودگی در شهرها، افزایش ایمنی در جاده‌ها و جهت توجه نیازمندی‌های استفاده‌کنندگان در مراحل تصمیم‌گیری به‌کار گرفته شود. هم اکنون این فکر فراگیر شده است که اگر پیش از پیاده‌سازی تصمیمات در زمینه مدیریت ترافیک آن‌ها را شبیه‌سازی کنیم، هزینه کمتری به همراه خوهد داشت. به کمک شبیه‌سازی شبکه معابر می‌توان از صرف وقت و هزینه زیاد جلوگیری کرده و امکان بروز اشتباه‌ها را کم کرد. امروزه، تصمیم‌گیران به اهمیت شبیه‌سازی از جهت نمایش واقعی وضعیت ترافیک پی برده‌اند (پورسولا، ۱۹۹۹). در شکل شماره ۱ نمای یک نمونه شبیه‌ساز ترافیکی در رایانه مشاهده می‌شود.

تاکنون کوشش‌های بسیاری برای شبیه‌سازی ترافیک صورت گرفته است که هر یک مزایا و معایب خاص خود را داشته است. در میان نرم‌افزارهای شبیه‌ساز ترافیک، برخی از آن‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

قابلیت اتصال به سیستم‌های کنترل ترافیک را دارند و با این قابلیت امکان پیش‌بینی وضعیت ترافیک در ساعت‌های بعد و اطلاع استفاده‌کنندگان و تصمیم‌گیران شبکه معابر را فراهم می‌آورند. مطالعات انجام شده نشان داده که شبیه‌سازی در موارد زیر می‌تواند به‌کار گرفته شود:

- آموزش کارکنان برای استفاده بهتر از تجهیزات مدیریت ترافیک.
- آمادگی برای حوادث برنامه‌ریزی شده وسیع، نظیر راهپیمایی‌ها، حوادث ورزشی مهم و فستیوال‌های خیابانی.
- برنامه‌ریزی ایجاد تغییرات در شبکه معابر نظیر دوربرگردان‌ها، خیابان‌های یک‌طرفه و خط ویژه اتوبوس‌رانی.
- نمایش جریان ترافیک برای اطلاع‌رسانی به مردم و مسئولان.
- کشف تغییرات هفتگی و فصلی در میزان تقاضای سفر در معابر مختلف.
- تمرین نحوه برخورد با حوادث غیرمترقبه نظیر تصادفات، سیل و تعمیرات راه‌ها (یانگ و همکاران، ۱۹۹۶).

آنچه در این قسمت گفته شد، گوشه‌ای از کاربردهای شبیه‌سازی در مدیریت ترافیک است. کاربردهای دیگری نیز بسته به قابلیت‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی وجود دارد که در هر مورد می‌تواند مطرح شود. در پی موفقیت‌های به‌دست آمده از ابزار شبیه‌سازی برای ارزیابی عملکرد ترافیکی اخیراً، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی ایمنی نیز مورد توجه بسیار قرار گرفته است.

مدل‌های شبیه‌سازی

بسیاری از ابزارهای شبیه‌سازی ترافیک به‌منظور مطالعه کارایی‌های زیست‌محیطی و عملکردی تسهیلات حمل‌ونقلی توسعه داده شده‌اند. معیارهای کارایی عملکردی مدل‌های شبیه‌سازی به‌منظور بررسی کارایی سامانه در واژه‌هایی مثل ظرفیت، زمان سفر و تأخیر به‌کار می‌روند. از معیارهای کارایی زیست‌محیطی نیز به‌منظور بررسی تأثیر ترافیک بر آلودگی هوا استفاده می‌شود. با معیارهای کارایی زیست‌محیطی، می‌توان مدل‌های مربوط به کیفیت هوا

www.SID.ir

Archive of SID

و صدا را تولید کرد. مزیت استفاده از شبیه‌سازی در سیستم حمل‌ونقل به‌علت توانایی آن در آزمایش و ارزیابی سیستم بدون ایجاد اختلال در ترافیک موجود یا قرار دادن خدمه‌کاری در خطر، بسیار زیاد است. به‌علاوه، استفاده از شبیه‌سازی برای تحلیل سیستم‌های ترافیک چندین مزیت دارد: نتایج بسیاری برای هر محدوده مطالعه در طول مدت زمان نسبتاً کم از شبیه‌سازی مهیا می‌شود، و از شبیه‌سازی در روند برنامه‌ریزی و مراحل اولیه طراحی تسهیلات استفاده می‌شود.

همان‌طور که در بحث تئوری جریان ترافیک گفته شد، مدل‌های شبیه‌سازی ترافیکی بر اساس سطح جزئیات می‌توانند به سه کلاس مدل‌های ماکروسکوپی، میکروسکوپی و مزوسکوپی طبقه‌بندی شوند؛ (اچ اس ام، ۲۰۰۰).

استنباط مدل‌های شبیه‌سازی ماکروسکوپی از دینامیک سیال‌هاست. در این مدل‌ها، شبیه‌سازی جریان ترافیک بر روی یک قسمت از جاده انجام می‌گیرد و تعاملات تک‌تک کاربرهای جاده در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین، این مدل‌ها پارامترهایی مثل حجم ترافیک، سرعت متوسط و چگالی را ارایه می‌کنند. این پارامترها به‌عنوان متغیرهای پیوسته در زمان یا مکان تعریف می‌شوند. مدل‌های شبیه‌سازی ماکروسکوپی معمولاً برای تحلیل سطح‌سرویس، تقاضا و عرضه در طول برنامه‌ریزی منطقه‌ای یا شبکه‌های حمل‌ونقلی سطح گسترده به‌کار می‌روند. مثالی از مدل ترافیکی ماکروسکوپی، مدل LWR پیشنهاد شده به‌وسیله لایت‌هیل و ویدام[1] است (می، ۱۹۹۰). این مدل جریان ترافیک را به‌وسیله مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل شرح می‌دهد و جریان ترافیک را به‌عنوان سیال توصیف می‌کند. لایت‌هیل و ویدام فرض کردند که روابط اساسی بین جریان، سرعت و چگالی در همه شرایط ترافیکی، یعنی هم در شرایط جریان آزاد و هم در شرایط جریان متراکم، برقرار است. شبیه‌سازی رایانه در این مدل موقعی که تحلیل تعاملات جریان ترافیک جاده‌ای هم زمانی و هم مکانی انجام شود، به‌کارگرفته شد. گسسته‌سازی مدل LWR، که آن را معمولاً به‌عنوان مدل انتقال سلولی داگانزو می‌شناسند (DCTM[2]) فرم دیگری از مدل ماکروسکوپی است (داگانزو، ۱۹۹۴). DCTM

1- Lighthill and Whitham

2 - Daganzo Cell Transmission Model

www.SID.ir

Archive of SID

بر اساس گسسته‌سازی مکانی جاده به قسمت‌هایی ریزتر (سلول‌ها) می‌باشد.

مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی، رفتار تک‌تک خودروها در یک سامانه ترافیک با استفاده از زیر مدل‌های تعقیب خودرو[1]، تغییر خط[2]، پذیرش گپ[3] و انتخاب مسیر[4]، شبیه‌سازی می‌کند. زیر مدل‌های تعقیب خودرو افزایش سرعت خودروها را از تعامل آن‌ها با سایر کاربرهای جاده و هم‌چنین با اشیای جاده مشخص می‌کند. زیرمدل‌های تغییرخط به راننده برای حرکت از یک خط عبور به بقیه خطوط عبور بر اساس شرایط ترافیکی حاکم و اهداف راننده کمک می‌کنند. زیرمدل‌های پذیرش گپ برای توصیف پیوند خودروها به جریان ترافیک یک مسیر به‌کارمی‌روند. تشخیص مسیرهایی که راننده‌ها در عمل انتخاب می‌کند با استفاده از زیرمدل‌های انتخاب مسیر انجام می‌شوند. به مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی[5]، مدل‌های شبیه‌سازی میکرو[6] نیز گفته می‌شود. پارامترهای این مدل‌ها شامل: سرفاصله مکانی، سرفاصله زمانی، سرعت‌های خودرو، افزایش سرعت‌ها و پارامترهای رفتاری راننده و ... می‌باشند. میانگین این پارامترها برای استنباط پارامترهای ماکروسکوپی به‌کار می‌روند. به‌علاوه، در مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی متغیرهای فضایی و زمانی هر خودرو دارای اهمیت فراوانی است و آن‌ها در نمودارهای زمان- مکان (نمودار خط سیر)، که به بررسی چگونگی حرکت خودروها و تعاملات آن‌ها با یکدیگر در جریان ترافیک کمک می‌کنند، گزارش می‌شوند.

مدل‌های شبیه‌سازی میکرو نسبت به مدل‌های شبیه‌سازی ماکرو، دارای جزییات بیش‌تری هستند. بنابراین می‌توانند جهت ارزیابی تأثیرات سطح بهبودهای پیشنهاد شده بر تسهیلات جاده‌ای، در درجه بالاتری از دقت مورد استفاده قرار گیرند. با وجود این، به‌علت طبیعت و گستردگی اطلاعاتی که مدل‌های میکروسکوپی شبیه‌سازی می‌کنند، آن‌ها در مقایسه با

1 - Car-following-
2 - Lane-changing
3 - Gap acceptance
4 - Route-choice
5 - Microscopic simulation models
6 - Micro simulation models

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌های ماکروسکوپی به آهستگی اجرا می‌شوند؛ از این‌رو، آن‌ها محاسبه‌بر[1] هستند. با توجه به هدف و با سبک‌وسنگین‌کردن[2]، انتخاب مدل‌های میکروسکوپی از مدل‌های ماکروسکوپی صورت می‌گیرد. محدودیت اصلی استفاده از مدل‌های میکروسکوپی، پرداخت بسیاری از پارامترهای توصیفی در رفتار رانندگی در این مدل‌ها است.

تا کنون نرم‌افزارهای بسیاری برای شبیه‌سازی ترافیک تهیه شده‌اند که هر یک دارای کاربرد خاص خود بوده‌اند. در این بخش برخی از این نرم‌افزارها که بیش از بقیه مورد استفاده بوده‌اند و دارای کاربردهای تجاری می‌باشند, معرفی می‌شوند(یانگ و همکاران، ۱۹۹۶).

نرم‌افزار شبیه‌ساز AIMSUN: یک نرم‌افزار شبیه‌ساز خرد ترافیک که قادر است هرگونه شرایط ترافیکی را برای هر شبکه‌ای از معابر شهری و برون‌شهری شبیه‌سازی کند. این نرم‌افزار معمولاً برای آزمایش سیستم‌های کنترل ترافیک و سیاست‌های مدیریتی جدید به‌کار گرفته می‌شود، اما امکان به‌کارگیری آن برای پیش بینی وضعیت ترافیک در سیستم‌های هدایت وسایل‌نقلیه نیز وجود دارد.

نرم‌افزار شبیه‌ساز Paramics: یک ابزار مناسب برای تحلیل جریان ترافیک در راه‌ها است، که جریان ترافیک و ازدحام وسایل‌نقلیه را شبیه‌سازی می‌کند و یک خروجی تصویری برای مدیریت ترافیک و طراحی شبکه معابر ارایه می‌کند.

نرم‌افزار شبیه‌ساز TRANSIMS: این نرم‌افزار رفتار تک‌تک افراد را شبیه‌سازی می‌کند. موقعیت و مسیر وسایل‌نقلیه‌ای که به‌کارمی‌گیرند و از این قبیل اطلاعات برای هر یک از افراد قابل تشخیص است و به این ترتیب می‌توان به این سؤال پاسخ داد که هر تغییری در وضعیت ترافیک به نفع چه کسانی و به ضرر چه کسانی است.

نرم‌افزار شبیه‌ساز CORSIM: خروجی شبیه‌سازی این نرم‌افزار در جداولی ارایه می‌شود که در آن موقعیت وسایل‌نقلیه در زمان‌های مختلف مشخص شده است. به این ترتیب، امکان بررسی‌های بعدی آمار جمع‌آوری شده فراهم می‌شود. این جداول در محیط نرم‌افزارهایی مثل Excel قابل خواندن و بررسی می‌باشند.

1 - Computational-intensive

2 - Trade off

www.SID.ir

Archive of SID

نرم‌افزار شبیه‌سازی NETSIM: این نرم‌افزار یک نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک در سطح خرد برای خیابان‌های شهری می‌باشد. NETSIM یک مدل شبیه‌سازی خرد ترافیکی وابسته به زمان[1] است که شبکه خیابان‌ها را به‌صورت شبکه‌ای از گره‌ها و کمان‌ها در نظر می‌گیرد. هر کمان می‌تواند حداکثر ۵ باند حرکت داشته باشد. تولیدکننده‌های ترافیک مثل خیابان‌های فرعی یا پارکینگ‌ها به‌صورت گره‌های منبع[2] در نظر گرفته می‌شوند. وسایل‌نقلیه به‌صورت مستقل در هر ثانیه با توجه به وضعیت ترافیک موجود و سیستم‌های کنترلی موجود در آن قسمت پردازش می‌شوند. حرکت وسایل‌نقلیه به‌صورت مجموعه‌ای از الگوریتم‌های دنباله‌روی وسایل‌نقلیه، تشکیل صف و تغییر خط هدایت می‌شود.

مدل‌های شبیه‌سازی مزوسکوپی دارای مشخصاتی بین مدل‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی می‌باشند. آن‌ها می‌توانند رفتارهای هر خودرو را بدون تعاملات آن‌ها ارایه دهند. برای مثال، منطق حرکت خودرو می‌تواند برای هر خودرو بر اساس خط عبور- چگالی[3] کلی نسبت به تعاملات هر خودرو بر اساس سرعت خودرو و سرفاصله مکانی ارایه شود. مثال‌هایی از نرم‌افزارهای مزوسکوپی از قرار زیر می‌باشند:

INTEGRATION (Prevedouros & Wang 1999), TRANSIMS (Nagel et al. 1997) and CORFLO.

مدل‌های تعقیب خودرو

مدل‌های تعقیب خودرو قسمت جدایی‌ناپذیر مدل‌های ترافیک میکروسکوپی هستند. مطالعات آن‌ها از دهه ۱۹۵۰ شروع شده است. مطالعات می (۱۹۹۰) و بریک استون و مک‌دونالد (۱۹۹۸)، مروری جامع از مدل‌های تعقیب خودرو را ارایه می‌کنند.

در ۱۹۵۳ پایپس اولین مدل تعقیب خودرو را پیشنهاد کرد. او فرض کرد که راننده‌ها سرعتشان را با کنترل سرفاصله مکانی مطلوب، حفظ می‌کنند. این مدل عموماً به‌عنوان مدل

1. Time Based
2. Source
3. Lane-density

www.SID.ir

Archive of SID

راهور
۷۰
فصلنامه
علمی- ترویجی
سال هشتم- شماره ۱۵

پیشـتاز را تعقیب کن[1] شـناخته می‌شـود. بعداً چاندلر (۱۹۵۸) زمان واکنش را در مدل وارد کردند، که نتیجه آن، مدل محرک- پاسـخ[2] اسـت. بعد از آن، محققان جنرال موتورز یک مدل غیرخطی تعمیم یافته[3] پیشنهاد کردند که معمولاً به‌عنوان مدل GHR[4] شناخته می‌شود (گازیس و همکاران، ۱۹۶۱). این مدل بر حسب رابطه دیفرانسیل تأخیر به شکل زیر معرفی می‌شود:

$$\frac{dv_i(t+\tau)}{dt} = \lambda v_i^m(t)\frac{v_{i+1}(t)-v_i(t)}{\left[x_{i+1}(t)-x_i(t)\right]^l}$$

کـه $v_i(t)$ و $v_{i+1}(t)$ به‌ترتیب سـرعت‌های لحظه‌ای خودروهـای تعقیب کننده (عقبی) و پیشـتاز (جلویـی) هسـتند. $x_i(t)$ و $x_{i+1}(t)$ به‌ترتیب مکان‌های لحظـه‌ای خودروهای تعقیب‌کننده و پیشـتاز می‌باشـند. τ زمان واکنش و λ پارامتر حساسـیت به تحریک است؛ تحریک در تغییرات سرعت‌های دو خودروی پشت‌سرهم می‌باشند. m و l هم پارامترهای مدل هستندکه به‌ترتیب سرعت خودرو و گپ مکانی را تنظیم می‌کنند.

گیپس (۱۹۸۱) یک مدل تعقیب خودرو را بر اسـاس فاصله ترمز ایمن با خودروی پیشـتاز جهـت حرکات عدم تصادف[5] پیشـنهاد کرد. بر خلاف بسـیاری از مدل‌های پیشـین تعقیب خودروی پیشـنهادی، مدل گیپس سـرعت‌های خودرو را بر اسـاس گام‌های زمانی گسسـته محاسـبه می‌کنـد. ویژگـی جالب توجـه دیگر این مدل این اسـت که مدل سـهل‌انگاری[6] و واکنش‌های افراطی[7] رانندگان (که عوامل ناپایداری جریان ترافیک هسـتند) را ضبط می‌کند. اخیراً مدل مشابهی به‌وسیله کرایوس و همکاران (۱۹۹۷) پیشنهاد شده است. آن‌ها خانواده‌ای از مدل‌های تک‌پارامتری را پیشـنهاد کردند که توانایی‌های ترمزگیری خودروها را مشـخص

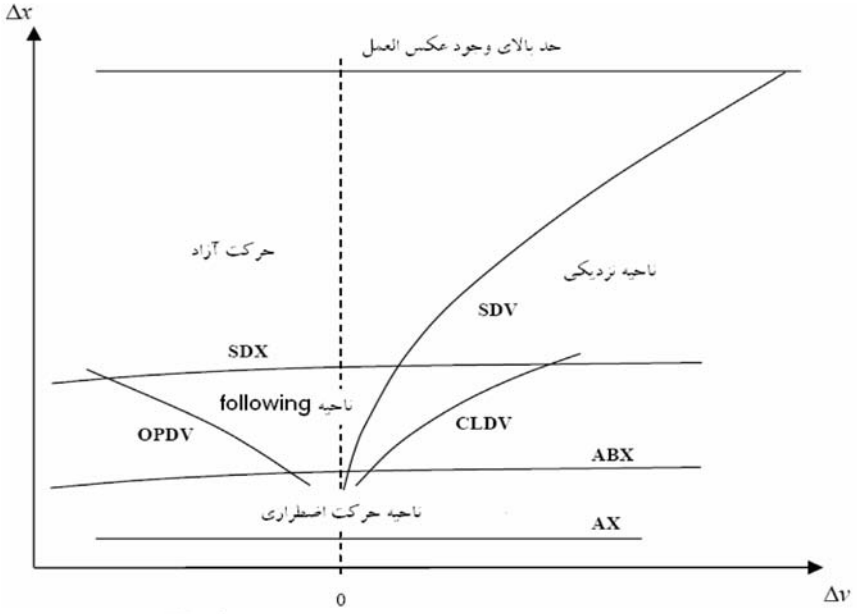
1 - Follow-the-leader model
2 - Stimulus-response model
3 - Generalized non-linear model
4 - Gazis-Herman-Rothery
5 - Collision-free movements
6 - Underestimation
7 - Overreactions

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کند. توسعه آن‌ها بر اساس یک خصوصیت کلی جریان ترافیک، توانایی‌های افزایش سرعت و کاهش سرعت خودروها در حرکت خودرویی عدم- تصادف[۸] است.

نوع دیگری از مدل تعقیب خودرو، مدل تعقیب خودروی وابسته به پارامترهای روحی- جسمی[۹] (تن و روان) وایدمنن (۱۹۹۱) است. این مدل مربوط به مهارت، علم، هوش، ظرفیت و استعدادهای رانندگان است. وایدمنن فرض کرد راننده در یکی از چهار حالت رانندگی قرار دارد: رانندگی آزاد[۱۰]، نزدیک شدن[۱۱]، تعقیب کردن[۱۲] یا ترمزگیری[۱۳]؛ که واکنش رانندگان در هر کدام از این حالت‌ها به ترکیبات سرعت- سرفاصله مکانی نسبی بستگی دارد (شکل شماره ۲).



شکل شماره ۲: آستانه‌ها و رژیم‌های مختلف در مدل وایدمنن[۱۴]

8 - Collision-free vehicle movement

9 - Psychophysical car-following model

10- Free driving

11- Approaching

12- Following

13- Braking

14. Wiedemann

www.SID.ir

Archive of SID

راهور
۷۲
فصلنامه
علمی- ترویجی
سال هشتم- شماره ۱۵

نتیجه‌گیری

بسیاری از ابزارهای شبیه‌سازی ترافیک به‌منظور مطالعه کارایی‌های زیست‌محیطی و عملکردی تسهیلات حمل‌ونقلی توسعه داده شده‌اند. استنباط مدل‌های شبیه‌سازی ماکروسکوپی از دینامیک سیال‌ها است. در این مدل‌ها، شبیه‌سازی جریان ترافیک بر روی یک قسمت از جاده انجام می‌گیرد و تعاملات تک‌تک کاربرهای جاده در نظر گرفته نمی‌شود. مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی، رفتار تک‌تک خودروها در یک سامانه ترافیک با استفاده از زیرمدل‌های تعقیب خودرو، تغییر خط، پذیرش گپ و انتخاب مسیر، شبیه‌سازی می‌کند. مدل‌های تعقیب خودرو قسمت جدایی‌ناپذیر مدل‌های ترافیک میکروسکوپی هستند. به‌طور کلی، مبانی توسعه مدل‌های تعقیب خودرو، تحت قانون در آوردن پاسخ خودروی تعقیب‌کننده به عمل خودروی پیشتاز (که درگیر تغییرات سرعت‌ها و مکان‌ها است) می‌باشد. فرض اصلی این مدل‌ها این است که راننده به‌طور دقیق در مورد سرعت و موقعیت خودروی پیشتاز قضاوت می‌کند. از این‌رو، سرفاصله‌مکانی و سرعت نسبی را ارزیابی خواهد کرد. فرض تمام این مدل‌ها این است که در حرکات خودروها هیچ‌گونه تصادفی رخ نمی‌دهد. برخی از این مدل‌ها بر اساس یک مقیاس زمانی پیوسته هستند در حالی که بقیه مثل مدل گیپس مبتنی بر مقیاس زمانی گسسته است.

منابع

- Brackstone, M., and M. McDonald, (1999). Car-following: a Historical Review Transportation Research F, Vol. 2, pp.181-196.

- Daganzo, C., (1994), The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. Transportation Reє search B, Vol. 28, No. 4, pp.269 287.

- Daganzo, C. F (1997), Fundamentals of Transportation and Traffic Operations.

- Elsevier Science Ltd., 2nd Ed.

www.SID.ir

Archive of SID

- Edie, L.C . (1961) , Following and Steady-State Theory Traffic Flow, Operations Research, Vol. 9. pp.545-567.

- Gazis, D., R. Herman, and R. Rothery, 1961, Nonlinear follow-the-leader models of traffic flow. Operations Research, Vol. 9, pp. 545–567.

- Gipps, P. G. (1981), A behavioral Car Following Model for Computer Simulation. Transportation Research B, volume 2 :pages 105–111, (1981).

-Greenberg,H.(1959),AnAnalysisofTrafficFlow,OperationsResearch,Vol.7,pp.79-85.

- Krauss, S. P. Wagner, and C. Gawron, (1997), Metastable states in a Microscopaic Model of Traffic Flow. Physical Review E, Vol. 55 No. 304, pp. 5597–5602.

- May, A., (1990). Advanced Traffic Flow Theory. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

- Pursula, M , (1999), Simulation of Traffic Systems - An Overview. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol.3, No.1, pp. 1-8.

- Wiedemann, R. (1991), Modelling of RTI-elements on multi-lane roads, Advanced Telematics in Road Transport edited by the Commission of the European Community, Vol. DG XIII.

- Yang Q. and Koutsopoulos H.N. (1996) . A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems. Transportation Research Part C, Vol. 4, pp. 113-129.

www.SID.ir