

SUMO – Simulation of Urban MObility

ارائه کتبی درس شبیه‌سازی کامپیوتری

چکیده

SUMO یک نرم افزار شبیه سازی ترافیک متن باز است که شامل برنامه شبیه سازی وابسته به آن و ابزارهای پشتیبانی است و عمدتاً برای وارد کردن شبکه و مدل سازی تقاضا استفاده می شود. SUMO به بررسی انواع متنوعی از موضوعات تحقیقاتی، عمدتاً در زمینه مدیریت ترافیک و ارتباطات خودرویی کمک می کند. ما وضعیت کنونی نرم افزار را شرح می دهیم، کاربردهای اصلی آن را براساس موضوعات تحقیقاتی و مثال ها توضیح می دهیم، و همچنین توسعه ها و گسترش هایی که در آینده خواهد داشت را بررسی می کنیم.

مقدمه

SUMO ("شبیه سازی حرکت شهری") [۱][۲] یک پلتفرم شبیه سازی جریان ترافیک بر پایه میکروسکوپی، بین حالت و چندحالت، فضایی پیوسته و زمانی گسسته است. اجرای SUMO در سال ۲۰۰۱ آغاز شد و نسخه اول متن باز آن در سال ۲۰۰۲ منتشر شد. دو دلیل برای ارائه کار به عنوان متن باز تحت مجوز عمومی گنو [۱] وجود داشت. اولین دلیل، دلخواه بود که با یک ابزار رایگان، جامعه شبیه سازی ترافیک را با الگوریتم های خودشان پشتیبانی کند. شبیه سازی های ترافیک متن باز دیگری موجود بود، اما به علت پیاده سازی در قالب یک پایان نامه دانشجویی، پس از آن پشتیبانی نشدند. ضعف عمده - علاوه بر دوباره کاری - عدم وجود قابلیت مقایسه تقریباً مدل ها یا الگوریتم های پیاده سازی شده بود و تصور می شود یک پلتفرم شبیه سازی مشترک در اینجا مفید باشد. دومین دلیل برای انتشار متن باز این نرم افزار شبیه سازی، به دست آوردن حمایت از سایر نهادها بود.

طی ده سال گذشته، SUMO به یک بسته نرم افزاری کامل برای مدل سازی ترافیک تبدیل شده است که شامل وسایلی همچون برنامه وارد کننده شبکه جاده قادر به خواندن فرمت های منبع مختلف، ابزارها و اسکریپت هایی برای تولید تقاضا و مسیریابی با استفاده از منابع ورودی متنوع (ماتریس منبع تقاضا و مقصد، آمار ترافیک و غیره)، یک شبیه سازی با کارایی بالا که برای ایستگاه های ترافیکی انفرادی و شهرهای کامل قابل استفاده است، کنترل از راه دور توسط یک رابط "کنترل از راه دور" (TraCI) برای تطبیق آنلاین شبیه سازی و تعداد زیادی از ابزارها و اسکریپت های اضافی است. بخش عمده ای از توسعه توسط مؤسسه سیستم های حمل و نقل در مرکز هوا و فضا آلمان (DLR) انجام می شود. اطرافیان خارجی توسعه های مختلفی را به بسته شبیه سازی پشتیبانی کردند.

هنگام تلاش برای بهبود ترافیک، یک مدل معتبر برای کار با آن مورد نیاز است.

اگرچه برخی افراد ممکن است تصور کنند که ترافیک را می توان با زمان حرکت و مسیرهایی با مدت زمان مشخص توصیف کرد، اما ترافیک به شدت به تمایل شخصی افراد برای تحرک مشروط می شود - حدود ۶۰٪ از ترافیک را تشکیل می دهد - و به همین دلیل، نه زمان حرکت، نه ثابت و زودتر. مسیرهای شناخته شده در دسترس هستند. این یک مشکل بزرگ برای مدل سازی خود ترافیک است. به خصوص حمل و نقل خصوصی منجر به عدم امکان توصیف ترافیک با استفاده از فرمول های ریاضی می شود. هر دو، آرزوی انسان مدرن برای ترک و رسیدن به مکان ها و زمان های معین از یک سو، و حرکت وسیله نقلیه در خیابان از سوی دیگر، بر ترافیک و یکدیگر تأثیر می گذارد: بار کاری شبکه خیابانی به زمان حرکت رانندگان و تعیین کننده سرعت حرکت است. بالعکس، بار بر زمان حرکت رانندگان تأثیر می گذارد زیرا آنها می خواهند سریع حرکت کنند و در زمان مشخصی برسند. علاوه بر این، ترافیک توسط مقادیری مانند آب و هوا، زیرساخت های داخل منطقه یا سایر حوادثی که بر سیستم تأثیر می گذارد، مشروط می شود. این پیچیدگی منجر به رفتارهای مختلف کل سیستم می شود که در آن سیستم به معنای تولید ترافیک و ترافیک خود است، و به عنوان هیچ ریاضی معتبری وجود ندارد.

مدل هایی که تمام این تأثیرات را در نظر می گیرند در دسترس است، شبیه سازی تنها راه برای نشان دادن نقاط ضعف شبکه خیابان یا پیش بینی ترافیک آن است. برای این منظور بسته های نرم افزاری شبیه سازی زیادی توسعه داده شد. برخی از آنها در پروژه **SMARTEST** آزمایش شدند (**SMARTEST ۱۹۹۹**). چنین بسته های نرم افزاری شبیه سازی ترافیک در مجموعه ای از مصنوعات مدل سازی شده و همچنین در الگوی استفاده متفاوت هستند: برخی به عنوان برنامه های کاربردی استفاده کننده از ویندوز تصور می شوند در حالی که برخی دیگر که بیشتر ابزاری برای محققان ترافیک هستند، ابزارها یا برنامه های خط فرمان ساده هستند. **SMARTEST** همچنین فهرستی از ویژگی هایی که چنین بسته هایی دارند را در اختیار دارد. **SMARTEST** بیشتر با شبیه سازی های میکروسکوپی سر و کار داشت. شبیه سازی هایی از این نوع، وسایل نقلیه منفرد را به عنوان قطعات اتمی در نظر می گیرند، نه کل جریان ترافیک (ماکروسکوپی) یا بخش های منفرد وسایل نقلیه یا رانندگان (زیر میکروسکوپی). چنین مدل های خودرویی ممکن است در زمان و مکان با استفاده از اتوماتای سلولی گسسته باشند یا فقط در زمان گسسته باشند (**Nagel and Schreckenberg ۲۰۰۱**, Brockfeld et al ۱۹۹۲) یا حتی ممکن است مدل های کاملاً پیوسته باشند.

از دیدگاه یک محقق، هنگام استفاده از بسته های نرم افزاری شبیه سازی موجود، ممکن است مشکلات متعددی به دلیل در دسترس بودن آن ها به عنوان جعبه سیاه نرم افزاری آماده برای استفاده، به ویژه زمانی که محصولات تجاری در نظر گرفته می شوند، پیش بیاید. در ابتدا، نمی توان مدل اساسی یک شبیه سازی را بررسی کرد. همچنین، به دلیل معماری های مختلف نرم افزار، مقایسه ویژگی های مدل های مختلف (مانند سرعت شبیه سازی، توانایی آن در توصیف واقعیت و غیره) اگر غیر ممکن نباشد، دشوار است. علاوه بر این، چنین ابزارهای

شبیه‌سازی را نمی‌توان با معرفی ایده‌های خود مانند انواع جدید حسگرها، اندازه‌گیری‌ها یا مدل‌ها، به طور خود به خود گسترش داد.

برای معرفی ابزاری که این وظایف هنوز پشتیبانی نشده را انجام می‌دهد، نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک به نام SUMO («شبیه‌سازی تحرک شهری») را معرفی می‌کنیم. در واقع این نرم‌افزار یک شبیه‌سازی ترافیک پیوسته، میکروسکوپی و چندوجهی است و علی‌رغم نامش قادر به مدل‌سازی ترافیک در شبکه‌های بزرگ‌تر از شهرهای منفرد است. شبکه‌های بزرگراهی، بدون هیچ تغییری.

در این مقاله، ما به بررسی برخی از توسعه‌ها و چشم‌اندازهای آینده SUMO می‌پردازیم. ما با مروری بر کاربردهای موجود در این بسته، نشان می‌دهیم که چگونه در آماده‌سازی و انجام یک شبیه‌سازی ترافیک کمک می‌کنند. سپس، موضوعات تحقیقاتی اصلی که با استفاده از SUMO قابل بررسی هستند، ارائه می‌شود. سپس، استفاده از SUMO در برخی از پروژه‌های تحقیقاتی اخیر توضیح داده می‌شود. در نهایت، توسعه‌های اخیر را ارائه می‌دهیم و در مورد موضوعات فعلی توسعه بحث می‌کنیم.

مجموعه نرم‌افزار SUMO

SUMO تنها یک شبیه‌سازی ترافیک نیست، بلکه مجموعه‌ای از برنامه‌هاست که به آماده‌سازی و انجام شبیه‌سازی یک سناریوی ترافیک کمک می‌کنند. اپلیکیشن شبیه‌سازی به نام "sumo" که در این مجموعه وجود دارد، از فرمت‌های خود برای شبکه‌های جاده‌ای و تقاضای ترافیک استفاده می‌کند، بنابراین هر دو باید وارد یا تولید شوند و از منابع مختلف وجود داشته باشند. به خاطر داشتن شبیه‌سازی مناطق بزرگ به عنوان برنامه اصلی sumo، تلاش زیادی صورت گرفته است تا الگوریتم‌های هیوریستیک طراحی و پیاده‌سازی شوند که ویژگی‌های ناقص ولی لازم را تعیین کنند.

در ادامه، برنامه‌های موجود در مجموعه معرفی می‌شوند و براساس هدفشان تقسیم‌بندی می‌شوند: تولید شبکه، تولید تقاضا و شبیه‌سازی.

SUMO برای شبیه‌سازی یک شبکه جاده‌ای ترافیکی به اندازه یک شهر طراحی شده است.

از آنجایی که شبیه‌سازی چند وجهی است، به این معنی که نه تنها حرکات خودرو در داخل شهر مدل‌سازی می‌شود، بلکه سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی در شبکه خیابان، از جمله شبکه‌های قطار جایگزین، مدل‌سازی می‌شوند، بخش اتمی شبیه‌سازی یک انسان منفرد است. این انسان هستی با زمان حرکت و مسیری که طی می‌

کند توصیف می شود که دوباره از مسیرهای فرعی تشکیل شده است که یک روش ترافیکی واحد را توصیف می کنند.

بنابراین، یک فرد شبیه سازی شده ممکن است ماشین خود را به نزدیکترین ایستگاه سیستم حمل و نقل عمومی برده و با وسایل حمل و نقل دیگر به سفر خود ادامه دهد. به غیر از حرکات با وسایل نقلیه موتوری، فرد ممکن است راه برود. پیاده روی به هیچ وجه شبیه سازی نشده است، بلکه با تخمین زمان مورد نیاز فرد برای رسیدن به مقصد مدل سازی شده است.

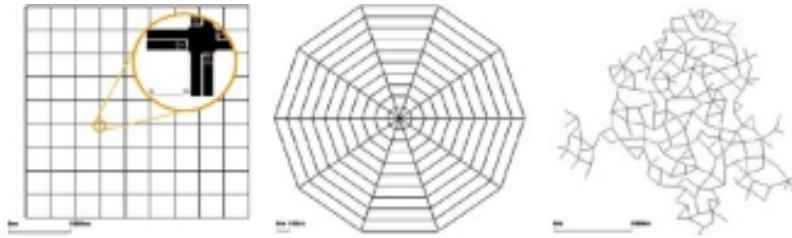
جریان ترافیک به صورت میکروسکوپی شبیه سازی شده است. به این معنی که هر وسیله نقلیه ای که در شبکه شبیه سازی شده حرکت می کند به صورت جداگانه مدل سازی شده و دارای مکان و سرعت مشخصی است. در هر مرحله زمانی که مدت زمان آن ۱ ثانیه است، این مقادیر بسته به وسیله نقلیه جلویی و شبکه خیابانی که وسیله نقلیه در حال حرکت است به روز می شود. شبیه سازی وسایل نقلیه خیابانی گسسته زمانی و فضایی پیوسته است. از آنجایی که مدل ماشین راننده ما پیوسته است - همانطور که اکثر مدل های ماشین راننده هستند - تصمیم گرفتیم از این رویکرد استفاده کنیم. هنگام شبیه سازی ترافیک، ویژگی های خیابان، مانند قوانین حداکثر سرعت و حق تقدم در نظر گرفته می شود.

الف. تولید شبکه جاده ای

شبکه های جاده ای SUMO شبکه های واقعی را به صورت گراف نمایش می دهند که در آن گره ها تقاطع ها هستند و جاده ها توسط لبه ها نمایش داده می شوند. تقاطع ها شامل موقعیت، شکل و قوانین راهرویی هستند که ممکن است توسط چراغ های راهنمایی و رانندگی تغییر کند. لبه ها ارتباطات یک طرفه بین دو گره هستند و شامل تعداد ثابتی از پیست ها هستند. هر پیست شامل هندسه و اطلاعاتی درباره کلاس های وسایل نقلیه مجاز بر روی آن و سرعت مجاز بیشینه است. بنابراین، تغییرات در تعداد پیست ها در طول یک جاده با استفاده از چندین لبه نمایش داده می شوند. نمایی مانند این از شبکه های جاده ای بسیار رایج است؛ اگرچه روش های دیگری مانند فرمت شبکه Vissim یا فرمت OpenDRIVE وجود دارد. علاوه بر این دیدگاه اساسی از یک شبکه جاده ای، شبکه جاده ای SUMO شامل طرح چراغ های راهنمایی و رانندگی و اتصالات بین پیست ها در تقاطعات است که توصیف می کند کدام پیست ها می توانند برای دستیابی به پیست بعدی استفاده شوند.

شبکه جاده ای SUMO می تواند با استفاده از برنامه ای به نام "netgenerate" تولید شود یا با وارد کردن یک نقشه جاده رقمی با استفاده از "netconvert" وارد شود. netgenerate سه نوع مختلفی از شبکه های جاده ای انتزاعی می سازد: شبکه های شبیه "مانهاتن" شبکه های شبکه ای مانند مداری "شبکه های عنکبوتی" و شبکه های تصادفی. هر یک از الگوریتم های تولید دارای یک مجموعه گزینه هستند که اجازه تنظیم ویژگی های شبکه را می دهند.

شکل ۱ نمونه‌هایی از شبکه‌های تولید شده را نشان می‌دهد.

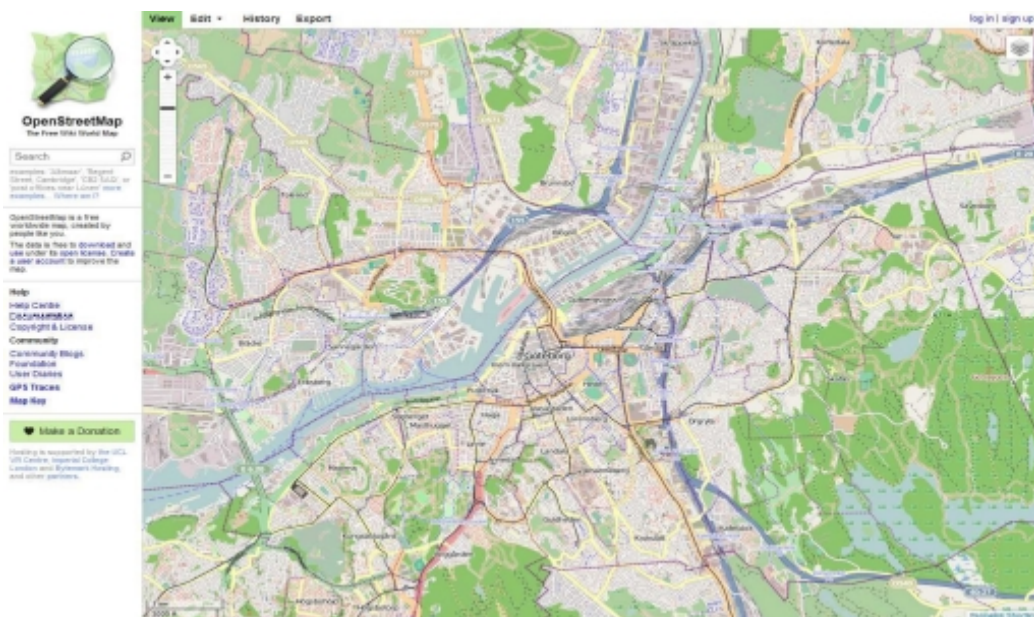


شکل ۱. نمونه‌هایی از شبکه‌های جاده‌ای انتزاعی ساخته شده با استفاده

از **"netgenerate"**؛ از چپ به راست: شبکه شبکه‌ای ("مانهاتن")،

شبکه عنکبوتی و شبکه تصادفی.

واردکننده شبکه جاده اپلیکیشن **netconvert** شبکه‌ها را از شبیه‌سازهای ترافیک دیگر مانند **VISUM** یا **Vissim** یا **MATSim** تبدیل می‌کند. همچنین این برنامه قادر است به فرمت‌های رایج دیگری از شبکه جاده‌ای مانند **shapefiles** یا **OpenStreetMap** بخواند. علاوه بر این فرمت‌ها، **netconvert** قادر است فرمت‌های کمتر شناخته شده‌ای مانند **OpenDRIVE** یا فرمت شبکه **RoboCup** را نیز بخواند. شکل‌های ۲ و ۳ نشان‌دهنده قابلیت وارد کردن شبکه جاده از **OpenStreetMap** به عنوان مثال هستند، که با مقایسه تصویر اصلی در صفحات وب **OpenStreetMap** با تصویر **SUMO** از شبکه وارد شده نشان داده شده است.



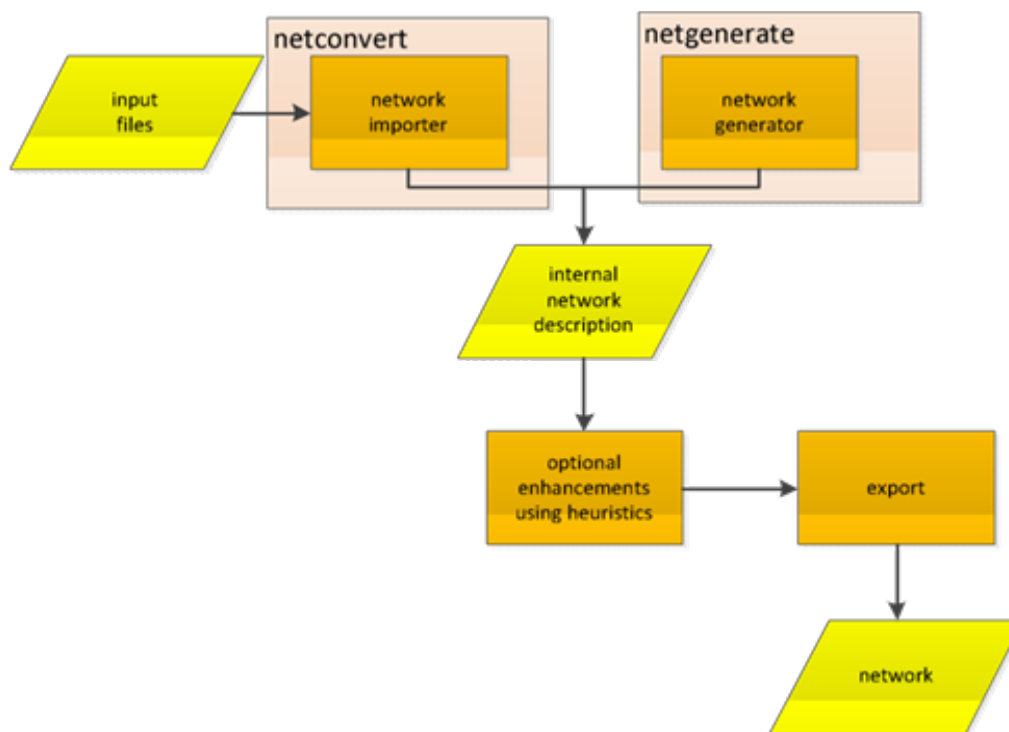
شکل ۲. شبکه اصلی **OpenStreetMap** در گوتنبرگ.



شکل ۳. شبکه گوتنبرگ وارد شده به **SUMO**.

علاوه بر این، **netconvert** قادر است یک نمایش **XML** اختصاصی و ویژه **SUMO** از گراف شبکه جاده را به عنوان "**XML** ساده" بخواند که در آن بالاترین درجه کنترل را برای توصیف شبکه جاده برای **SUMO** فراهم می‌کند. این نمایش **XML** به پنج نوع فایل تقسیم می‌شود، هر کدام برای توصیف گره‌ها، لبه‌ها، به اختیار انواع لبه‌ها، اتصالات و طرح‌های (معمولاً ثابت) چراغ‌های راهنمایی تقسیم می‌شود. انواع لبه‌ها مجموعه‌هایی از ویژگی‌های پیش‌فرض لبه را نام‌گذاری می‌کنند که می‌توانند توسط لبه‌های بعداً بارگیری شده مرجعیت شوند. گره‌ها تقاطع‌ها را وصف می‌کنند و لبه‌ها بخش‌های جاده را. اتصالات نشان می‌دهد که کدام یک از راه‌های ورودی به یک تقاطع به کدام راه‌های خروجی متصل است. شبکه شبیه‌سازی ساخته شده توسط **netconvert** شامل مقادیر محاسبه شده به صورت افزوده، همچنین مقادیر مشتق شده مانند هندسه دقیق در تقاطع‌ها است. همچنین امکان تبدیل یک شبکه شبیه‌سازی به فرمت "ساده" نیز وجود دارد. به طور همزمان می‌توان چندین فرمت ورودی را بارگیری کرده و به طور خودکار آنها را ترکیب کرد. از آنجا که فرمت "ساده" به شما امکان می‌دهد مشخص کردن عناصر شبکه را حذف کنید و پارامترهای لبه و لاین تکی را تنظیم کنید، می‌توان از آن برای انجام تغییرات گسترده‌ای در شبکه استفاده کرد. برای پشتیبانی از چنین تغییراتی، **SUMO** ابزار پایتون **netdiff.py** را فراهم می‌کند که تفاوت بین دو شبکه **A** و **B** را محاسبه و نمایش می‌دهد. بارگیری شبکه **A** و **D** با استفاده از **netconvert** شبکه **B** را بازسازی می‌کند.

بیشتر شبکه‌های جاده دیجیتال موجود در ابتدا برای استفاده در منظور مسیریابی (ناوبری) طراحی شده‌اند. به همین دلیل، آنها اغلب درجه جزئیات مورد نیاز برای شبیه‌سازی‌های راهنمایی ترافیک جاده می‌توانند برجسته نباشند: تعداد لاین‌ها، به ویژه در مقابل تقاطع‌ها، اطلاعات در مورد لاین‌هایی که به لاین‌های پیایی متصل می‌شوند، موقعیت و طرح چراغ‌های راهنمایی و غیره وجود ندارند. با به اشتراک گذاشتن کتابخانه یکسان برای آماده‌سازی شبکه‌های جاده تولید شده/وارد شده، به شکل ۴، هر دو **netgenerate** و **netconvert** سعی در تعیین مقادیر کم‌بینایانه با استفاده از استنباط‌های غیر دقیق دارند. یک نمای کلی خام از این فرایند آماده‌سازی در [۸] قابل مشاهده است. با این حال، بیشتر الگوریتم‌های توصیف شده در [۸] پس از انتشار آن، بازبینی شده‌اند. فرایندهای اختیاری نیز می‌توانند موقعیت‌های خروج و ورود بزرگراه، دایره‌های ترافیکی، چراغ‌های راهنمایی و غیره را حدس بزنند.



شکل ۴. روند مشترک آماده‌سازی شبکه در **netgenerate** و **netconvert**.

حتی با وجود امکانات داده شده، باید اشاره شود که آماده‌سازی یک شبکه واقعی برای شبیه‌سازی میکروسکوپی همچنان یک کار زمان‌بر است، زیرا توپولوژی واقعیت جهانی در تقاطع‌های پیچیده به صورت دستی بهبود یافته باید شود. یک ابزار جدید به نام "netedit" اجازه می‌دهد تا شبکه‌های جاده‌ای را به صورت گرافیکی ویرایش کنید. این در بسیاری از موارد ساده‌تر و سریع‌تر از آماده‌سازی پرونده‌های ورودی XML است. همچنین فرآیند تولید شبکه و بازبینی که در غیر این صورت مراحل جداگانه ایجاد شبکه و بازبینی با استفاده از **netconvert** و رابط کاربری گرافیکی شبیه‌سازی است، ترکیب می‌شود. **netedit** هنوز برای استفاده عمومی در دسترس نیست.

ب. خودروها و مسیرها

SUMO شبیه‌سازی ترافیک کاملاً میکروسکوپی است. هر خودرو به طور صریح مشخص می‌شود که حداقل توسط یک شناسه منحصر به فرد، زمان حرکت و مسیر خودرو از طریق شبکه تعریف شده است. با "مسیر" ما منظور لیست کاملی از یال‌های متصل بین مبدا و مقصد خودرو است. در صورت نیاز، هر خودرو می‌تواند با استفاده از ویژگی‌های حرکت و ویژگی‌های ورود و خروج با جزئیات دقیق توصیف شود، مانند خط استفاده شده، سرعت و یا موقعیت دقیق روی یک یال. هر خودرو می‌تواند نوعی را که ویژگی‌های فیزیکی و متغیرهای مدل حرکت استفاده شده را توصیف می‌کند، تعیین کند. همچنین هر خودرو می‌تواند به یکی از کلاس‌های آلایش آلاینده یا نويز موجود اختصاص داده شود. متغیرهای اضافی امکان تعریف ظاهر خودرو در رابط کاربری گرافیکی شبیه‌سازی را فراهم می‌کند.

یک سناریوی شبیه‌سازی شهری بزرگ براحتی می‌تواند شامل یک میلیون خودرو و مسیرهای آنها باشد. حتی برای مناطق کوچک، تعریف تقاضای ترافیک به صورت دستی به سختی ممکن است. مجموعه **SUMO** شامل برخی از برنامه‌ها است که از منابع اطلاعات مختلف برای تنظیم یک تقاضا استفاده می‌کنند.

برای سناریوهای بزرگ معمولاً از آنچه به نام "ماتریس مبدا / مقصد" (**OD matrices**) استفاده می‌شود. آنها حرکت بین مناطق تجزیه و تحلیل ترافیک (**TAZ**) را در تعداد خودرو در هر واحد زمانی توصیف می‌کنند. برای استفاده در **SUMO**، این ماتریس‌ها باید به سفرهای خودرو فردی با زمانهای حرکت در طی مدت زمان توصیف شده تجزیه گردند. متأسفانه، اغلب یک ماتریس تنها برای یک روز تعیین می‌شود که برای شبیه‌سازی ترافیک میکروسکوپی بسیار نامرتب است زیرا جریان‌ها بین دو **TAZ** در طول یک روز به شدت متفاوت هستند. به عنوان مثال، مردم در صبحانه وارد مرکز شهر می‌شوند تا به محل کار بروند و در بعد از ظهر یا شب منطقه مرکزی شهر را ترک می‌کنند. این تغییرات جهت از یک ماتریس ۲۴ ساعته بنامرآورند. کمک بسیار بیشتر ولی فقط در برخی از موارد در دسترس است، ماتریس‌هایی با مقیاس ۱ ساعت هستند. مجموعه **SUMO** شامل "odtrips" است که برای تبدیل ماتریس **OD** به سفرهای خودروی تکی استفاده می‌شود. یک منحنی بار ساعتی می‌تواند به عنوان ورودی اضافی برای تقسیم جریان‌های روزانه به برش‌های ساعتی واقع‌گرایانه‌تر داده شود. علاوه بر تجزیه ماتریس، این برنامه به طور اختیاری یک یال از شبکه جاده‌ای را بعنوان موقعیت حرکت/ورود تخصیص می‌دهد. نگاشت از مناطق اختصاص ترافیک به یال‌ها باید به عنوان ورودی دیگری تهیه شود.

از نتیجه سفرهای حاصل از **odtrips** شامل یک خروجی و یک پایان جاده همراه با زمان حرکت استفاده می‌شود؛ اما شبیه‌سازی برای عبور کامل لیستی از لبه‌ها نیاز دارد. چنین مسیرهایی معمولاً با اجرای یک فرآیند

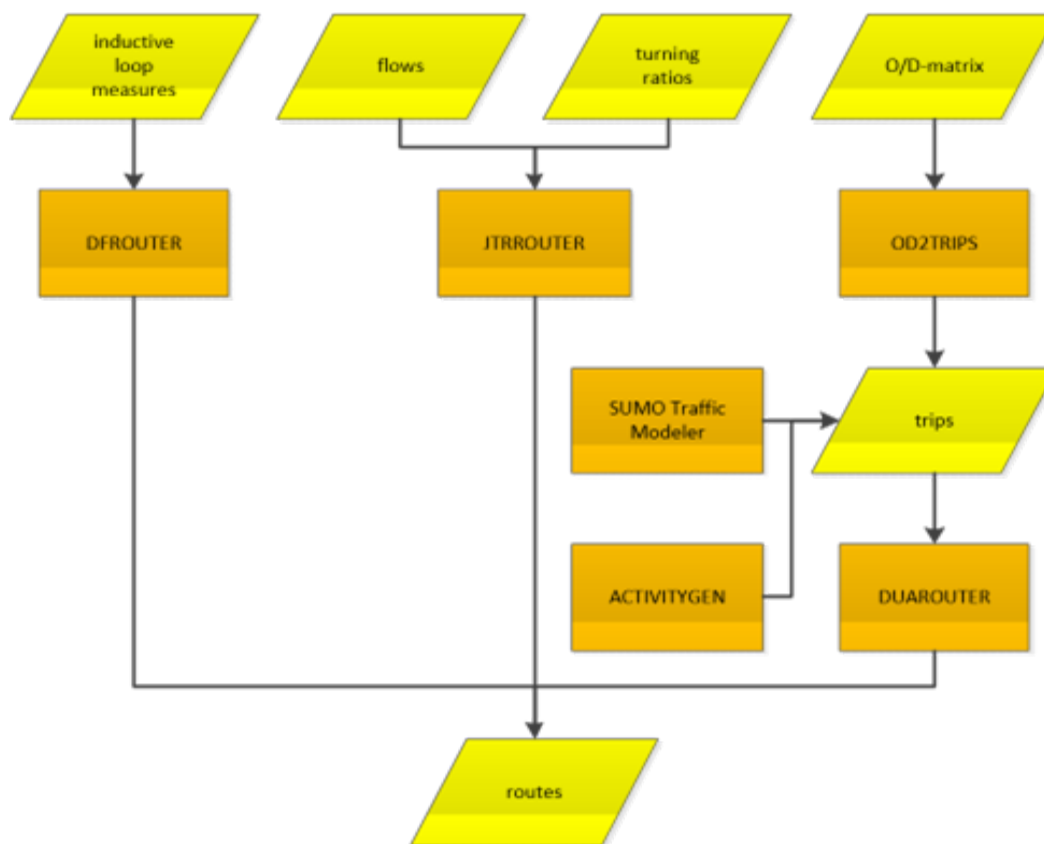
تخصیص کاربر پویا (DUA) محاسبه می‌شوند. این یک فرآیند تکراری است که از روش مسیریابی مانند محاسبه کوتاه‌ترین مسیر تحت توابع هزینه‌های مختلف استفاده می‌کند.

SUMO شامل دو برنامه محاسبه مسیر بیشتر است. اولی به نام "jtrrouter" از تعریف درصد انعطاف پذیری در تقاطع برای محاسبه مسیرها در سراسر شبکه استفاده می‌کند. چنین رویکردی می‌تواند برای تنظیم تقاضا در بخشی از شبکه جاده‌ای شهری که از تعداد کمی گره تشکیل شده است استفاده شود. دومین برنامه به نام "dfrouter" مسیرها را با استفاده از اطلاعات حلقه‌های القایی یا سایر تشخیص‌دهنده‌های متقاطع محاسبه می‌کند. این رویکرد در صورتی که شبکه جاده‌ای حلقه‌ها داشته باشد و ورودی‌ها و خروجی‌های بزرگراه به طور کامل توسط تشخیص‌دهنده‌ها پوشش داده شوند به خوبی جوابگو است. اما در موارد شبکه‌های شهری با حلقه‌ها یا در صورت پوشش کمتر تشخیص‌دهنده‌ها، شکست می‌خورد.

باید توجه کنیم که در حالیکه نمایش دیجیتالی شبکه‌های جاده‌ای جهان واقعی در سال‌های اخیر با کیفیت خوبی در دسترس قرار گرفته است، تقریباً منابع موجود برای تقاضای ترافیک به صورت رایگان در دسترس نیستند. در اکثر پروژه‌های ما (DLR)، یک سازمان مدیریت جاده مسئول پشتیبانی از اطلاعات تقاضا بود، یا به صورت ماتریس O/D یا حداقل با تأمین شمارش ترافیک، که برای تنظیم یک مدل بر اساس فرضیات خشن استفاده شد.

دو ابزار موجود در بسته SUMO تلاش می‌کنند تا این مشکل را با مدلسازی آرزوهای تلفیقی جمعیت توصیف شده حل کنند. "SUMO Traffic Modeler" نوشته [۹] Leontios G. Papaleontiou یک رابط کاربری گرافیکی را ارائه می‌دهد که به کاربر امکان می‌دهد منابع و مجاری تقاضا را به صورت گرافیکی تنظیم کند. "activitygen" که توسط Piotr Woznica و Walter Bamberger از دانشگاه TU Munich نوشته شده است، تقریباً همان قابلیت‌ها را دارد، اما رابط کاربری ندارد. هر دو ابزار در نرم‌افزار جعبه SUMO قرار دارند و هر دو از مدل‌های خود برای ایجاد آرزوهای تلفیقی در یک منطقه مورد بررسی استفاده می‌کنند و نیاز به داده‌های مختلفی دارند. در حال حاضر هر دوی آن‌ها در دست ارزیابی هستند.

شکل ۵ امکانات تنظیم تقاضا برای شبیه‌سازی ترافیک با استفاده از ابزارهای موجود در بسته SUMO را خلاصه می‌کند.



شکل ۵. روش‌های پشتیبانی شده برای تولید تقاضا

ج. شبیه‌سازی

برنامه "sumo" شبیه‌سازی گسسته زمان انجام می‌دهد. طول گام پیش‌فرض ۱ ثانیه است، اما می‌توان آن را تا ۱ میلی‌ثانیه کاهش داد. در داخل، زمان به میکروثانیه نمایش داده می‌شود و به عنوان مقادیر صحیح ذخیره می‌شود. حداکثر مدت زمان یک سناریو به ۴۹ روز محدود شده است. مدل شبیه‌سازی به صورت پیوسته در فضا است و در داخل، موقعیت هر خودرو توسط خطی که خودرو روی آن قرار دارد و فاصله از ابتدای این خط توصیف می‌شود.

در حین حرکت در شبکه، سرعت هر خودرو با استفاده از یک مدل معروف به «مدل پیروی از خودرو» محاسبه می‌شود. معمولاً مدل‌های پیروی از خودرو با توجه به سرعت خودرو، فاصله‌اش تا خودروی جلویی (رهبر) و سرعت رهبر، سرعت خودروی مورد بررسی (خودرو «اگو») را محاسبه می‌کنند. SUMO به طور پیش‌فرض از

یک گسترش از مدل پیروی از خودرو تصادفی توسعه یافته توسط Stefan Krauß استفاده می‌کند. انتخاب مدل Krauß به دلیل سادگی و سرعت اجرای بالای آن صورت گرفته است.

اثبات شده است که مدل Krauß در مقایسه با مجموعه‌ای از مدل‌های پیروی از خودرو برتری دارد. با این حال، این مدل نقص‌هایی دارد، از جمله اینکه اندازه فاصله محافظتی آن محافظت‌کننده است و در نتیجه در حین تغییر حالت بین خطوط، پذیرش فاصله محافظتی ناکافی است، و همچنین اینکه این مدل به طور مطلوبی مقیاس‌پذیر نیست هنگامی که طول گام زمانی تغییر می‌کند. برای مقابله با این مشکلات، یک رابط برنامه نویسی برنامه کاربردی (API) برای پیاده‌سازی سایر مدل‌های پیروی از خودرو در SUMO اضافه شده است. در حال حاضر، از جمله مدل‌های موجود، مدل راننده هوشمند (IDM)، مدل سه فاز کرنر و مدل Wiedemann می‌باشد. با این حال، باید ذکر شود که با استفاده از این مدل‌ها در شبکه‌های جاده پیچیده، مشکلات مختلفی رخ می‌دهد، احتمالاً به دلیل محدودیت‌های جانبی غیرمشخص و/یا فرضیاتی که توسط چارچوب شبیه‌سازی ایجاد می‌شوند. به همین دلیل، استفاده از مدل‌های مختلف پیروی از خودرو تنها به عنوان آزمایشی در حال حاضر باید اعلام شود. به عنوان یک شبکه شبیه‌سازی جریان ترافیک، تنها ممکن است تا محدودیت‌های مربوط به رفتار راننده فردی را بازتاب دهد؛ با این حال، ممکن است به هر خودرویی مجموعه‌ای از پارامترها (از جمله طول خودرو تا پارامترهای مدل مانند زمان فاصله سریع) را اختصاص دهید، و حتی با اجرای مدل‌های مختلف، آن‌ها را همزمان اجرا کنید. محاسبه تغییر خط راندن از طریق مدلی است که در هنگام پیاده‌سازی SUMO توسعه یافته است.

دو نسخه از شبیه‌سازی ترافیک وجود دارد. برنامه "sumo" یک برنامه وارد خط فرمان خالص برای شبیه‌سازی دسته‌ای کارآمد است. برنامه "sumo-gui" واسط کاربر گرافیکی (GUI) ارائه می‌دهد که شبکه شبیه‌سازی و خودروها را با استفاده از OpenGL نمایش می‌دهد. قابلیت‌های بسیاری برای سفارشی کردن نمایش وجود دارد، به عنوان مثال نمایش سرعت، زمان‌های انتظار و پیگیری خودروهای فردی. عناصر گرافیکی اضافی - نقاط مورد علاقه، چندضلعی‌ها و استیکرهای تصویر - امکان بهبود ظاهر بصری یک سناریو را فراهم می‌کنند. رابط کاربری گرافیکی همچنین امکانات مختلفی برای تعامل با سناریو را ارائه می‌دهد، به عنوان مثال تغییر بین برنامه‌های ترافیکی آماده، تغییر تحصیلات دنبال‌کننده مسیر، و غیره. شکل ۶ یک تقاطع تک خروجی شبیه‌سازی شده در sumo-gui را نشان می‌دهد. sumo-gui همه ویژگی‌های نسخه خط فرمان sumo را ارائه می‌دهد.



شکل ۶. تصویر نمایه واسط کاربری گرافیکی که خودروها

را بر اساس آلاینده‌گی CO_2 آن‌ها رنگ‌آمیزی می‌کند.

در SUMO امکان تولید خروجی‌های متنوع برای هر اجرای شبیه‌سازی وجود دارد. این خروجی‌ها از حلقه‌های القایی شبیه‌سازی شده تا موقعیت تک‌تک خودروها در هر گام زمانی و حتی ارزش‌های پیچیده‌تری مانند اطلاعات درباره سفر هر خودرو یا مقادیر تجمعی برای تمام خیابان‌ها و/یا خطوط مختلف می‌تواند باشد. به غیر از اندازه‌گیری‌های معمولی ترافیک، SUMO با یک مدل آلاینده‌گی صدا و مدل آلاینده‌های محیطی / مصرف سوخت توسعه یافته است، به بخش V.A هم مراجعه کنید. تمام فایل‌های خروجی تولید شده توسط SUMO به صورت فرمت XML هستند.

یک فایل شبکه SUMO بخش مربوط به ترافیک یک نقشه، جاده‌ها و تقاطع‌هایی را که وسایل نقلیه شبیه‌سازی شده در امتداد یا در سراسر آن حرکت می‌کنند، توصیف می‌کند. در مقیاس بزرگ، یک شبکه SUMO یک گراف جهت دار است. گره‌ها که معمولاً در زمینه SUMO «اتصالات» نامیده می‌شوند، تقاطع‌ها و «لبه‌ها»

جاده‌ها یا خیابان‌ها را نشان می‌دهند. توجه داشته باشید که لبه‌ها یک طرفه هستند. به طور خاص، شبکه SUMO حاوی اطلاعات زیر است:

هر خیابان (لبه) به عنوان مجموعه‌ای از خطوط، از جمله موقعیت، شکل و محدودیت سرعت هر خط، منطقه چراغ راهنمایی که توسط تقاطع‌ها نشان داده می‌شود، تقاطع‌ها، از جمله مقررات حق تقدم آنها، اتصالات بین خطوط در اتصالات (گره‌ها). همچنین، بسته به فرمت‌های ورودی استفاده شده و گزینه‌های پردازش مجموعه، می‌توانید مناطق و توضیحات دوربرگردان پیدا کنید.

اگرچه یک فایل شبکه SUMO قابل خواندن (XML) توسط انسان است، اما قرار نیست با دست ویرایش شود. در عوض باید از فایل‌های توضیحات SUMO XML همراه با `netconvert` استفاده کنید. همچنین می‌توانید نقشه‌های موجود را از فرمت‌های مختلف با استفاده از `netconvert` تبدیل کنید یا نقشه‌های راه‌هندسی ساده و انتزاعی را با `netgenerate` ایجاد کنید. برای اصلاح یک فایل `net.xml` موجود، می‌توانید آن را با `netconvert` همراه با فایل‌های پیچ بارگذاری کنید. همچنین می‌توانید از `netedit` برای ساخت شبکه‌های جاده‌ای خود یا برای بازسازی شبکه‌های به‌دست‌آمده از `netconvert` یا `netgenerate` استفاده کنید.

د. تعامل آنلاین

در سال ۲۰۰۶، شبیه‌سازی به امکان تعامل با برنامه‌های بیرونی از طریق اتصال سوکت گسترش یافت. این واسط کاربری، با نام `"TraCI"` یا `"Traffic Control Interface"` توسط آکسل وگنر و همکاران او در دانشگاه لوبک توسعه داده شده است [۱۸] و در توزیع رسمی SUMO در دسترس قرار گرفته است. در پروژه `iTETRIS`، به بخش `IV.B` مراجعه کنید، این واسط کاربری بازبینی و به طور نزدیک‌تری در ساختار SUMO یکپارچه شده است.

برای فعال کردن تعامل آنلاین، باید SUMO با یک گزینه اضافی راه‌اندازی شود که شماره پورتی را برای گوش کردن دریافت می‌کند. پس از بارگیری شبیه‌سازی، SUMO برای دریافت اتصالی از این پورت گوش داده شروع می‌کند. پس از اتصال، مسئولیت ضربه زدن به مراحل شبیه‌سازی در SUMO و همچنین قطع ارتباط که موجب خروج از شبیه‌سازی نیز می‌شود، بر عهده مشتری است. مشتری می‌تواند به مقادیر تقریباً تمام اجسام شبیه‌سازی دسترسی پیدا کند، مانند تقاطع‌ها، لبه‌ها، خطوط، چراغ‌های راهنمایی ترافیکی، حلقه‌های القایی و بطور طبیعی خودروها. مشتری می‌تواند همچنین مقادیر را تغییر دهد، به عنوان مثال برنامه ترافیک چراغ

راهنمایی تازه بسازد، سرعت یک خودرو را تغییر دهد یا آن را مجبور به تغییر خط کند. این امکان را به ما می‌دهد که تعاملات پیچیده‌ای مانند همگام‌سازی آنلاین چراغ‌های راهنمایی ترافیکی یا مدل‌سازی رفتار خاص خودروها را داشته باشیم.

در حالی که DLR به طور عمده از کتابخانه مشتری نوشته شده در زبان پایتون برای تعامل با شبیه‌سازی استفاده می‌کند، مشتری می‌تواند با هر زبان برنامه‌نویسی دیگری که سوکت‌های TCP را پشتیبانی می‌کند، نوشته شود. یک رابط برنامه‌نویسی پایتون و همچنین یک رابط برنامه‌نویسی جاوا به صورت رایگان با SUMO همراه هستند و پشتیبانی از زبان‌های برنامه‌نویسی دیگر نیز ممکن است.

موضوعات تحقیقات

در ادامه، موضوعات تحقیقات اصلی که با استفاده از SUMO مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ارائه می‌شوند. این لیست اصلاً بر اساس مشاهدات مقالات منتشر شده است که به SUMO ارجاع داده‌اند.

۱. ارتباطات وسایل نقلیه

احتمالاً محبوب‌ترین کاربرد بسته نرم‌افزاری SUMO در برنامه‌ریزی ترافیک در تحقیقات ارتباطات V2X - ارتباط وسیله به وسیله و وسیله به زیرساخت - است. در این زمینه، SUMO اغلب برای تولید پرونده‌های "پی‌گیری" استفاده می‌شود، که تحرک گره‌های ارتباطی را با تبدیل خروجی یک شبیه‌سازی SUMO به فرمت قابل خواندنی برای شبیه‌سازی ارتباطی مورد استفاده قرار می‌دهد. این روش پس‌پردازش امکان تغذیه شبیه‌سازی ارتباطی با رفتار واقع‌گرایانه وسیله نقلیه را فراهم می‌کند، اما در شبیه‌سازی اثرات برنامه‌های درون خودرویی که رفتار وسیله نقلیه را تغییر می‌دهند، شکست می‌خورد. برای بررسی این اثرات، باید شبیه‌سازی ترافیک و ارتباط را ترکیب کرد [۲۰]. برای اینگونه تحقیقات، SUMO به طور معمول به یک شبیه‌سازی ارتباطی بیرونی متصل می‌شود، مانند ns۲ [۲۱] یا ns۳ با استفاده از TraCI. برای ایجاد یک محیط کارایی برای شبیه‌سازی ارتباطات وسیله نقلیه، باید یک ماژول دیگر که حاوی مدل برنامه V2X برای شبیه‌سازی است، موجود باشد. بعلاوه، مکانیزم‌های همگام‌سازی و تبادل پیام باید مورد استفاده قرار گیرند.

[۲۲] TraNS یک میان‌افزار بسیار محبوب برای شبیه‌سازی V۲X بود که این نیازها را برآورده می‌کرد. این میان‌افزار بر پایه SUMO و ns۲ ساخته شده بود. افزونه‌های TraNS برای ns۲ مسئول همگام‌سازی شبیه‌سازی‌ها بودند و برنامه همچنین باید در محیط ns۲ مدل شود. پس از پایان پروژه‌هایی که تهیه‌کنندگان TraNS در آن کار می‌کردند، TraNS دیگر توسط آنان پشتیبانی نمی‌شد. از آن زمان به بعد، با توجه به تغییرات صورت گرفته در API TraCI پس از انتشار آخرین نسخه TraNS، TraNS فقط با نسخه منسوخ شده SUMO کار می‌کند.

جایگزینی مدرن برای TraNS در پروژه iTETRIS [۲۳] پیاده‌سازی شد. سیستم iTETRIS SUMO را به ns۳ جانشین ns۲ می‌کند. ns۳ انتخاب شد زیرا مشاهده شد که ns۲ هنگام کار با تعداد زیادی وسیله نقلیه غیرپایدار است. در سیستم iTETRIS، "سیستم کنترل iTETRIS"، یک برنامه نوشته شده در زبان سی++ مسئول راه‌اندازی و همگام‌سازی شبیه‌سازهای مربوطه است. برنامه‌های V۲X به عنوان برنامه‌های جداگانه و زبان غیر وابسته مدل می‌شوند. این تقسیم‌بندی واضح از مسئولیت‌ها امکان پیاده‌سازی آسان برنامه‌های خود را به زبان برنامه‌نویسی موردعلاقه کاربر می‌دهد.

چهارچوب SUMO [۲۰] Veins را با OMNET++ [۲۴]، یک شبیه‌سازی ارتباطی دیگر، کپل می‌کند. یک رویکرد دیگر بسیار منعطف برای اتصال SUMO به برنامه‌های دیگر، بستر واسط VSimRTI است که توسط Fraunhofer Fokus توسعه یافته است [۲۵]. معماری الهام گرفته از HLA آن نه تنها امکان تعامل بین SUMO و سایر شبیه‌سازهای ارتباطی را فراهم می‌کند. بلکه قادر است SUMO و Vissim، یک بسته شبیه‌سازی ترافیک تجاری را نیز به هم وصل کند. در [۲۵]، یک سیستم توصیف شده است که در آن SUMO برای مدل‌سازی مناطق بزرگ، صرف‌نظر از جزئیات، و Vissim برای شبیه‌سازی دقیق‌تر تقاطع‌های ترافیک استفاده شده است.

بسیاری از برنامه‌های ارتباطات وسایل نقلیه هدفشان افزایش ایمنی ترافیک است. باید گفت که تا به حال، مدل‌های جریان ترافیک میکروسکوپی قادر به مدل‌سازی تصادمات واقعی نیستند و بنابراین اقدامات مرتبط با ایمنی را به طور غیرمستقیم استخراج می‌کنند، مانند تشخیص ترمیم‌کردن کلی. قدرت SUMO در شبیه‌سازی برنامه‌های V۲X است که هدف آن بهبود کارایی ترافیک است. علاوه بر این، بررسی مفاهیم مرتبط با هدایت پیام به مقصد تعریف شده ("routing پیام") با استفاده از SUMO امکان پذیر است، به عنوان مثال، [۲۶] یا [۲۷].

۲. انتخاب مسیر و ناوبری دینامیک

تخصیص مسیرهای مناسب به تقاضای کامل یا زیرمجموعه‌ای از وسایل نقلیه به صورت تئوری و همچنین در راستای توسعه برنامه‌های جدید در دنیای واقعی بررسی شده است. در سطح تئوری، علاقه در مدل‌سازی مناسب نحوه‌ی انتخاب راه‌ها توسط شرکت کنندگان ترافیک وجود دارد - مسیری از طریق شبکه جاده‌ای داده شده - به مقصد موردنظر آن‌ها. زیرا مدت زمان عبور از یک یال گراف جاده به شدت به تعداد شرکت کنندگان استفاده کننده از این یال وابسته است، محاسبه مسیرها از طریق شبکه تحت بار یک مرحله بحرانی در آماده‌سازی شبیه‌سازی‌های گسترده ترافیک است. به دلیل سرعت اجرای سریع SUMO، این امکان وجود دارد که الگوریتم‌هایی برای این فرایند "تخصیص کاربر" یا "تخصیص ترافیک" را در مقیاس میکروسکوپی مورد بررسی قرار دهیم. معمولاً، چنین الگوریتم‌هایی با استفاده از مدل‌های جریان ترافیک ماکروسکوپی، یا حتی با استفاده از مدل‌های ظرفیت خیابان‌های بیشتری که اثراتی مانند تجزیه شدن ترافیک را نادیده می‌گیرند، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

SUIT SUMO این تحقیقات را با استفاده از برنامه duarouter پشتیبانی می‌کند. دو الگوریتم برای محاسبه یک تخصیص کاربر پیاده‌سازی شده‌اند: [۲۸] c-logit و الگوریتم تخصیص کاربر دینامیک [۲۹] Gawron. هر دو آن‌ها از نظرهای تکراری و در نتیجه مصرف زمانی هستند. امکاناتی برای کاهش مدت زمان محاسبه یک تخصیص مورد ارزیابی قرار گرفته و در [۳۰] گزارش شده است. یک امکان دیگر برای کاهش تلاش محاسباتی در [۳۱] داده شده است. در اینجا، خودروها فقط یک بار توسط شبیه‌سازی مسیردهی میشوند و انتخاب مسیر براساس تطبیق پیوسته وزن‌های یال‌ها در طول شبیه‌سازی انجام می‌شود.

تحلیل عملی برای مکانیسم‌های انتخاب مسیر با یافته‌های هوشمندی سیستم‌های ناوبری به وجود می‌آید. سیستم‌های ناوبری نوین مانند مسیرهای (IQ Tom Tom [۳۲]) از اطلاعات ترافیک آنلاین استفاده می‌کنند تا کاربر را با سریع‌ترین مسیر در سیستم، با توجه به وضعیت فعلی در خیابان‌ها پشتیبانی کنند. یک موضوع تحقیق در اینجا توسعه روش‌های جدید نظارت بر ترافیک است، که ارتباط وسایل نقلیه یکی از امکانات آن است. با افزایش نرخ نفوذ وسایل نقلیه مجهز به دستگاه ناوبری، سوالات دیگر پیش می‌آیند: اگر تمام وسایل نقلیه اطلاعات یکسانی بدست بیاورند، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا همه آن‌ها از همان مسیر استفاده می‌کنند و ترافیک جدیدی ایجاد می‌شود؟ این سوالات نه تنها برای رانندگان مهم است، بلکه برای مقامات محلی نیز مهم است، زیرا دستگاه‌های ناوبری ممکن است مفاهیمی برای نگهداشت مناطق خاص را توسط استراتژی‌هایی مانند مسیردهی وسایل نقلیه از طریق این مناطق، نامعتبر کنند. SUMO امکان مطرح کردن این موضوعات را فراهم می‌کند، مانند [۳۳].

۳. الگوریتم‌های کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی

ارزیابی برنامه‌ها یا الگوریتم‌های ترافیک برای ساختن چراغ‌های راهنمایی و رانندگی قابل تطبیق با وضعیت ترافیک فعلی، یکی از کاربردهای اصلی شبیه‌سازی ترافیک جریان ریز است. از آنجا که مدل شبکه SUMO نسبت به برنامه‌های تجاری مانند Vissim به طور نسبی خشن است، عموماً SUMO توسط مهندسان ترافیک برای ارزیابی تقاطع‌های واقعی استفاده نمی‌شود. با این حال، زمان اجرای سریع SUMO و اینکه با استفاده از رابط TraCI API متن باز آن می‌تواند با برنامه‌های خارجی تعامل داشته باشد، آن را به یک نامزد مناسب برای ارزیابی الگوریتم‌های کنترل ترافیک جدید در سناریوهای انتزاعی تبدیل می‌کند.

بررسی اولیه در مورد چراغ‌های راهنمایی و رانندگی در پروژه "OIS" [۳۴] انجام شد که یک الگوریتم کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی را که از طریق تراکم صف‌ها توسط پردازش تصویر تعیین می‌شود باید ارزیابی می‌کرد. زیرا برای استقرار سیستم OIS در دنیای واقعی به دلیل محدودیت‌های قانونی امکان پذیر نبود، ارزیابی باید با استفاده از یک شبیه‌سازی انجام شود. شبیه‌سازی با پیاده‌سازی یک سناریوی واقعی، شامل برنامه‌های واقعی چراغ راهنمایی و رانندگی آماده شد. برنامه شبیه‌سازی خود نیز توسط یک حسگر شبیه‌سازی شده گسترش یافت که اجازه می‌دهد ترافیک قبل از تقاطع راه را دریافت کند مشابه سیستم پردازش تصویر واقعی. کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی نیز به صورت مستقیم در شبیه‌سازی پیاده‌سازی شد. در پایان، شبیه‌سازی حاصل از کنترل ترافیک مبتنی بر OIS با چراغ‌های راهنمایی و رانندگی واقعی مقایسه شد.

در پروژه ORINOKO که مربوط به مدیریت ترافیک است، تمرکز بر روی بهبود برنامه‌های تغییر هفتگی در منطقه مرکز تجارت عادل شهر نورمبرگ قرار گرفت. در اینجا، الگوریتم اولیه و الگوریتم جدید برای انجام روند تبدیل بین دو برنامه پیاده‌سازی و ارزیابی شد. علاوه بر این، بهترین زمان‌های تغییر را با استفاده از تکرار قدرتمند بر روی سیمویشن روز کامل و برنامه‌های تغییر موجود محاسبه شد.

با تفکیک انواع خودروها، SUMO همچنین امکان شبیه‌سازی اولویت‌بخشی خودروهای اضطراری مبتنی بر V2X در تقاطع‌ها را فراهم می‌کند [۳۵]. رویکردهای دیگری نیز برای کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی توسط اطرافیان مورد بررسی قرار گرفت، به عنوان مثال، [۳۶]، یا [۳۷].

همانطور که قبلاً اشاره شد، بررسی‌های اولیه با پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترل چراغ راهنمایی و رانندگی در هسته شبیه‌سازی انجام شد. در طول سالهای گذشته، مشخص شد که این رویکرد دشوار است از لحاظ نگهداری. استفاده از TraCI به نظر می‌رسد رویکردی قابل تحمل‌تر است.

ارزیابی مبتنی بر شبیه‌سازی از نظام‌های نظارت ترافیک عمدتاً برای پیش‌بینی این است که آیا و به چه میزان فناوری نظارت توسعه یافته قادر است به نیازهای ارائه شده با نرخ تشخیص شناخته شده و یا تجهیز شده برسد. چنین بررسی‌هایی معمولاً خروجی سیستم نظارت را که با مقادیری از شبیه‌سازی غذا می‌شود با خروجی مادری شبیه‌سازی مقایسه می‌کنند. یک مثال بعداً در بخش IV.A در مورد پروژه "TrafficOnline" آورده خواهد شد.

ارزیابی مستقیم سخت افزار سیستم‌های نظارت ترافیک، به عنوان مثال پردازش تصاویر از عکس‌های منطقه شبیه‌سازی شده، نادر است زیرا مدل‌های شبیه‌سازی خودروها و محیط برای تأثیر مفیدی در چنین سیستم‌هایی خیلی خشن هستند. با این حال، شبیه‌سازی می‌تواند برای محاسبه تراجع خودرویی استفاده شود که در ادامه می‌تواند بهبود یابد تا با ورودی مورد نیاز سیستم ارزیابی مطابقت یابد. یک مثال از چنین بررسی‌ای، ارزیابی حسگرهای فوتوسپیکترومتر گزارش شده در [۳۸] است.

علاوه بر ارزیابی سیستم‌های نظارت توسعه یافته، امکان ادغام اندازه‌گیری‌های مختلف ترافیک در شبیه‌سازی نیز ارزیابی می‌شود، به عنوان مثال بخش IV.C در مورد "VABENE".

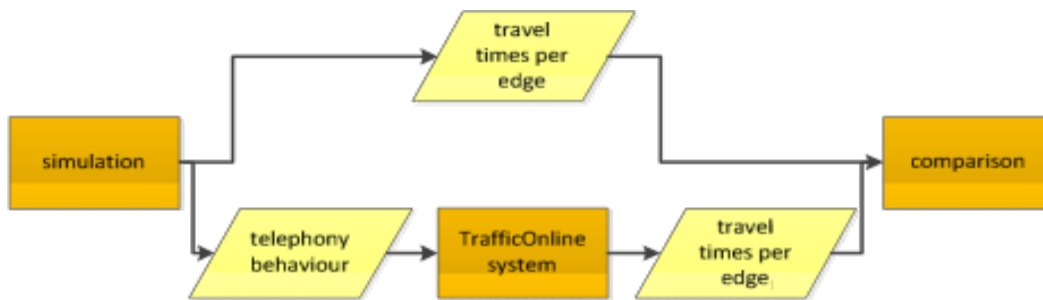
پروژه‌های اخیر و فعلی

SUMO در پروژه‌های پژوهشی گذشته توسط DLR و دیگر شرکا استفاده شده است. در ادامه، برخی از پروژه‌های اخیر توضیح داده شده‌اند.

۱. TrafficOnline

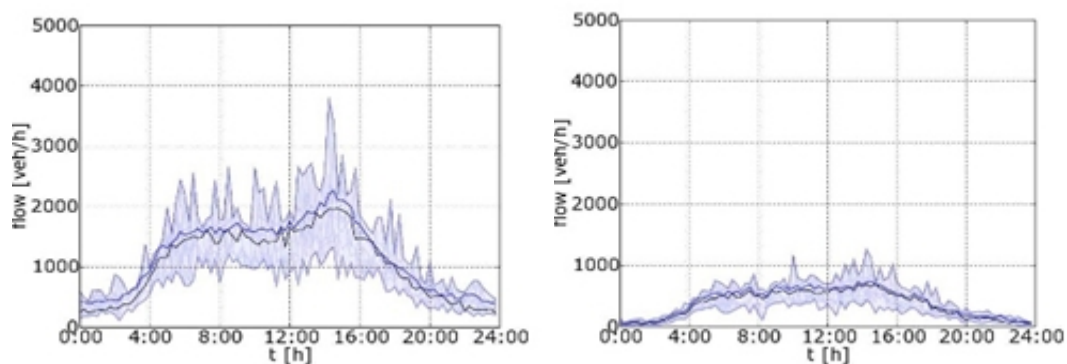
در پروژه TrafficOnline، یک سیستم برای تعیین زمان سفر با استفاده از داده‌های تلفنی GSM طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی شد. SUMO برای اعتبارسنجی عملکرد و پایداری این سیستم استفاده شد. در زیر، فقط بخش شبیه‌سازی توضیح داده می‌شود و نه خود سیستم TrafficOnline و نه نتایج ارزیابی.

برنامه کاربردی برای استفاده از شبیه‌سازی به شرح زیر بود. سناریوهای واقعی در شبیه‌سازی ایجاد می‌شدند. هنگام اجرا، شبیه‌سازی مسئولیت نوشتن اطلاعات زمان سفر برای هر لبه و همچنین مقادیر رفتار تلفنی شبیه‌سازی شده را به عهده داشت. سیستم TrafficOnline تنها اطلاعات فوق را دریافت کرده و زمان‌های سفر در شبکه جاده‌ای زیرین را محاسبه می‌کرد. سپس این زمان‌ها با زمان‌های محاسبه شده توسط شبیه‌سازی مقایسه می‌شدند. فرایند کلی در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. فرآیند کلی اعتبارسنجی **TrafficOnline**.

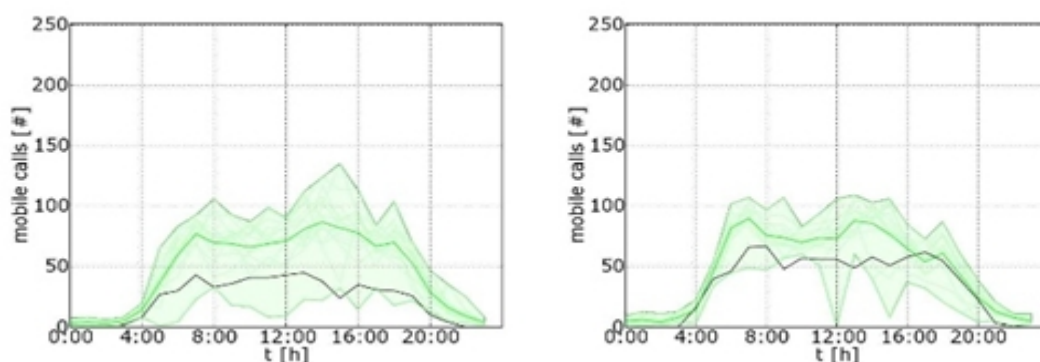
ارزیابی با استفاده از سناریوهای قرار داده شده در و اطراف برلین، آلمان صورت گرفت که شامل موقعیت‌های شهری و بزرگراهی بود. شبکه‌های جاده‌ای از پایگاه داده NavTeq وارد شدند. به دلیل محدودیت‌های شبکه‌های جاده‌ای دیجیتالی که در بخش II.A توضیح داده شده است، اصلاحات دستی ضروری بودند.



شکل ۸. اعتبارسنجی جریان‌های ترافیک در **TrafficOnline**.

از حلقه‌های القایی برای مدلسازی ترافیک استفاده شد. شکل ۸ دو نمونه از اعتبارسنجی شبیه‌سازی ترافیک را نشان می‌دهد که با مقایسه اندازه‌گیری‌های حلقه القایی شبیه‌سازی شده (سیاه) و واقعی (آبی)، که آبی تیره مقدار میانگین را نشان می‌دهد، انجام شده است. برای اعتبارسنجی پایداری سیستم **TrafficOnline**، تغییرات سناریوها اعمال شده است، با اضافه کردن خطوط قطار سریع در کنار یک بزرگراه یا پیاده‌سازی خطوط اتوبوس اضافی به عنوان مثال. علاوه بر این، تغییرات سناریو با تغییر تقاضای شبیه‌سازی شده به میزان $\pm 20\%$ ایجاد شده است.

برای اعتبارسنجی سیستم **TrafficOnline**، ابتدا یک مدل از رفتار تلفنی پیاده‌سازی شد. مدل تلفنی شامل احتمال شروع یک تماس و مدت زمان تماس شروع شده بود که هر دوی آن‌ها از داده‌های واقعی به دست آمده بود. برای شبیه‌سازی کارکرد **GSM** به طور مناسب، توپولوژی سلول‌های **GSM** واقعی بر روی شبکه‌های جاده‌ای مدلسازی شده قرار داده شد. لازم به ذکر است که ویژگی‌های پویای شبکه **GSM** مانند تغییرات اندازه سلول‌ها یا تاخیر در عبور از مرز سلول در نظر گرفته نشده است. شکل ۹ نتایج اعتبارسنجی تعداد تماس تلفنی شبیه‌سازی شده (سیاه) در مقابل تعداد تماس‌های موجود در داده‌های واقعی (سبز، سبز تیره نماینده تعداد میانگین تماس) برای دو سلول **GSM** انتخاب شده روزی را نشان می‌دهد.



شکل ۹. اعتبارسنجی رفتار تلفنی در **TrafficOnline**.

۲. iTETRIS

علاقه به ارتباطات $V2X$ در حال افزایش است، اما راهاندازی این فناوری هنوز هزینه‌بر است و پیاده‌سازی بی‌نظم سیستم‌های کنترل ترافیک جدید در جهان واقعی حتی ممکن است خطرناک باشد. برای مطالعات تحقیقی که در آن‌ها بهره‌های یک سیستم قبل از پیاده‌سازی آن اندازه‌گیری می‌شود، یک چارچوب شبیه‌سازی لازم است که تعامل بین خودروها و زیرساخت را شبیه‌سازی کند، همانطور که در بخش III.A توضیح داده شده است. هدف پروژه iTETRIS توسعه چنین چارچوبی بود که با استفاده از یک سیستم متن‌باز به نام "iCS" یا سیستم کنترل iTETRIS، ترکیب سیمولاتور ارتباطی ns3 و SUMO صورت گیرد و باید در داخل پروژه توسعه یابد. بر خلاف راهکارهای قدیمی دیگر مانند iTETRIS، TraNS به منظور ارائه یک محصول پایدار بود که پس از پایان پروژه پشتیبانی و توسعه ادامه می‌یافت.

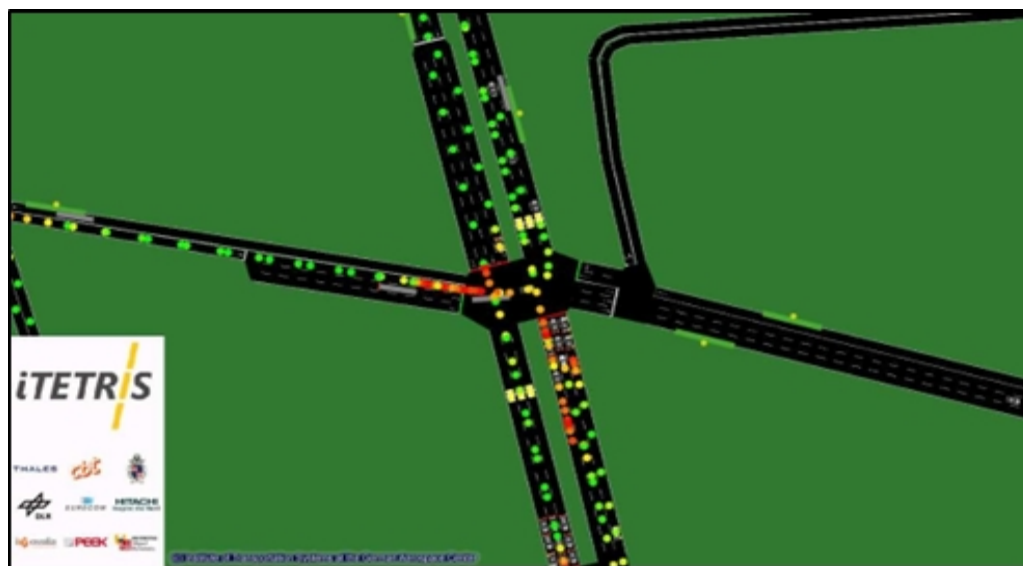
علاوه بر اجرای سیستم شبیه‌سازی $V2X$ که در بخش III.A به آن پرداخته شد، کار در iTETRIS شامل انواع زیادی از وظایف آماده‌سازی و - پس از تکمیل پیاده‌سازی iCS - ارزیابی برنامه‌های مدیریت ترافیک و نیز پروتکل‌های مسیریابی پیام بود.

آماده‌سازی معمولاً شامل بررسی مشکلات ترافیک واقعی و مدلسازی آنها در یک محیط شبیه‌سازی بود. شهر بولونیا که در iTETRIS یکی از شرکای پروژه بود، سناریوهای شبیه‌سازی ترافیک را برای بخش‌های مختلف شهر تهیه و ارائه کرد، به طور عمده به عنوان ورودی‌ها برای شبیه‌سازی‌های Vissim و VISUM، که هر دو محصولات تجاری شرکت PTV AG هستند، استفاده شد. این سناریوها با استفاده از ابزارهای مجموعه SUMO به فرمت SUMO تبدیل شدند. علاوه بر شبکه‌های جاده‌ای و تقاضا در ساعت پیک بین ساعت ۸:۰۰ تا ۹:۰۰ صبح، شامل بخشی از تعریف‌های ترافیکی، حمل و نقل عمومی و سایر اطلاعات زیرساخت بودند.

یکی از نتایج پروژه، مجموعه‌ای از توضیحات جامع درباره برنامه‌های مدیریت ترافیک مبتنی بر $V2X$ است، که شامل تلاش‌های مختلف برای نظارت بر ترافیک، مسیریابی و کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی است. در ادامه، یکی از این برنامه‌ها، مدیریت خط اتوبوس، توضیح داده شده است که فرایند طراحی کامل برنامه را نشان می‌دهد؛ از شناسایی مشکل، طراحی یک برنامه مدیریتی که سعی در حل آن دارد، و به پایان رساندن آن با استفاده از سیستم شبیه‌سازی. گزارش مفصل‌تر درباره این برنامه به [۳۹] مراجعه شود.

حمل و نقل عمومی در شهر بولونیا نقش مهمی را بازی می‌کند و مقامات سعی می‌کنند با اختصاص دادن خطوط و حتی خیابان‌ها به اتوبوس‌های عمومی، آن را جذاب نگه دارند. از سوی دیگر، شهر با ترافیک رویدادی - مانند بازدیدکنندگان بازی‌های فوتبال یا مرکز تجارت عادل - به شکل ماشین‌های خصوصی اضافی مواجه است. یکی از ایده‌های پیشنهاد شده در iTETRIS بود که در صورت وجود تقاضای اضافی به دلیل چنین رویدادی، خطوط اتوبوس برای ترافیک خصوصی باز شود. هدف از این برنامه شامل دو زیرسیستم بود. اولین زیرسیستم

مسئول تعیین وضعیت جاده بود. زیرسیستم دوم از این اطلاعات استفاده می کرد تا تصمیم بگیرد آیا خطوط اتوبوس باید برای خودروهای سواری باز شود و باید خودروهای مجهز را برای استفاده از خطوط اتوبوس ها مطلع کن



تصویر ۱۰. جمع آوری اطلاعات سرعت توسط **RSU** ها. هر نقطه یک

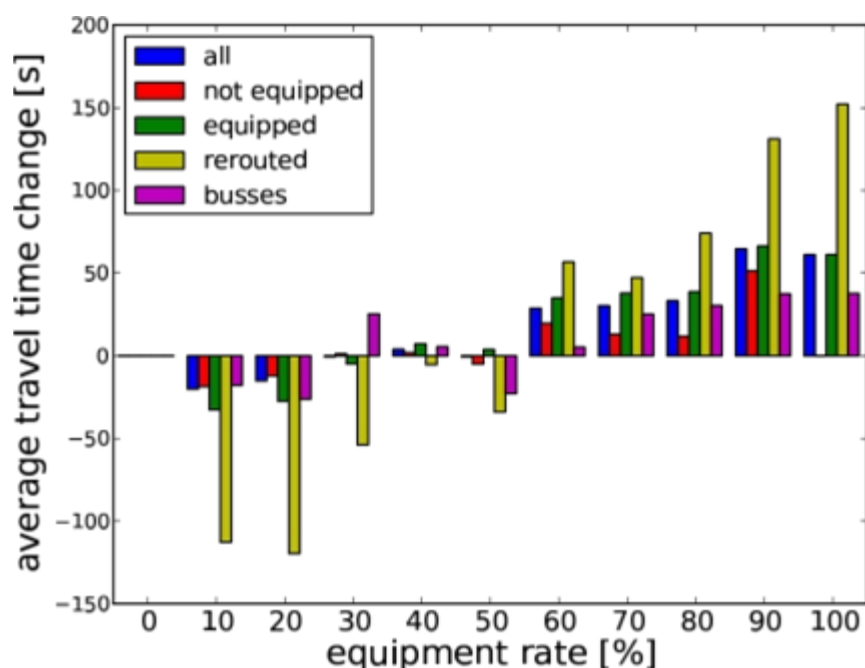
نقطه داده را نمایش می دهد و رنگ سرعت را نشان می دهد

(سبز به معنای سریع و قرمز به معنای آهسته).

به منظور استفاده از تکنیک های استاندارد، نظارت بر ترافیک با جمع آوری و میانگین گیری اطلاعات سرعت موجود در پیام های همکاری آگاهی (**CAMS**) در واحدهای جاده ای (**RSUs**) در تقاطع های اصلی اعمال شد (نگاه کنید به شکل ۱۰). به محض اینکه میانگین سرعت زیر یک آستانه می افتد، برنامه، با فرض وجود تراکم ترافیک بالا، خطوط اختصاصی اتوبوس را برای خودروهای سواری رایگان می کند. سپس **RSU** اطلاعاتی درباره خطوط اختصاصی اتوبوس رایگان به خودروهای در دسترس ارسال می کند.

ارزیابی ها نشان می دهد که میانگین سرعت به عنوان یک شاخص برای افزایش تقاضای ترافیک قابل استفاده است. با این حال، به دلیل استفاده نادرست از این اندازه گیری، بررسی ها و اعتبارسنجی های بیشتری باید انجام

شود. در مورد اندازه‌گیری مزایای استفاده از خطوط اختصاصی اتوبوس‌ها برای خودروهای شخصی، برنامه به‌هیچ‌وجه مزایای خود را ثابت نکرد. در نرخ نفوذ بالاتر، زمان مسافرت میانگین همه حالت‌های حمل‌ونقل تمایزی - اتوبوس‌ها، خودروهایی که به دستگاه‌های V₂X مجهز نیستند، خودروهای مجهز، و همچنین خودروهایی که مسیرشان تغییر یافته - بالاتر از زمان مسافرت میانگین مربوطه بدون برنامه می‌رود. دلیل اصلی این امر این است که خودروهایی که از خطوط اختصاصی اتوبوس استفاده می‌کنند، عمدتاً باعث کاهش سرعت اتوبوس‌ها می‌شوند یا توسط اتوبوس‌ها مسدود می‌شوند.



شکل ۱۱. تغییرات میانگین زمان سفر بر اساس

کلاس خودرو در طول نرخ تجهیزات.

نتایج نشان می‌دهند که یک پیاده‌سازی ساده و بدون در نظر گرفتن رفتار ترافیک، با افزایش درصد نفوذ، بهبودی نداشته و ضعیف می‌شود. این تأثیر در مطالعاتی درباره برنامه‌های مدیریت ترافیک مبتنی بر V₂X نیز مشاهده شده است. همچنین نشان می‌دهد که طراحی مناسب و ارزیابی دقیق برنامه‌های توسعه‌یافته لازم است.

رویدادهای بزرگ یا فاجعه‌ها می‌توانند به دلیل ایجاد ترافیک و مشکلات در سیستم‌های حمل و نقل، خطر اضافی برای افرادی که در منطقه زندگی می‌کنند، ایجاد کنند. مقامات عمومی مسئولیت اتخاذ اقدامات آمادگی را برای جلوگیری از بدترین حالت برعهده دارند. هدف VABENE این است که یک سامانه را پیاده‌سازی کند که مقامات عمومی را در تصمیم‌گیری در مورد کدام اقدام باید انجام شود، پشتیبانی کند. این سامانه جانشین برگزارکننده‌های استفاده شده در دیدار پاپ در آلمان در سال ۲۰۰۵ و در جام جهانی فوتبال در سال ۲۰۰۶ است.

یکی از تمرکزهای VABENE بر شبیه‌سازی ترافیک شهرهای بزرگ است. سامانه وضعیت ترافیک فعلی تمام شبکه ترافیکی را نشان می‌دهد که به مدیر ترافیک کمک می‌کند تا درک کند که هنگامی که وضعیت ترافیک بحرانی خواهد شد. برای شبیه‌سازی ترافیک مناطق بزرگی مانند مونیخ و منطقه اطراف مونیخ با سرعت چندانگان زمان واقعی، یک مدل ترافیک میانی پیاده‌سازی شده است که هنوز برای عموم منتشر نشده است و فقط برای اهداف داخلی در دسترس است.

مانند پروژه TrafficOnline (بخش A)، شبکه‌های جاده از پایگاه داده NavTeq و به صورت دستی در صورت نیاز تنظیم شده‌اند. تقاضای ترافیک پایه از ماتریس O/D تهیه شده توسط مقامات ترافیک محاسبه شده است.

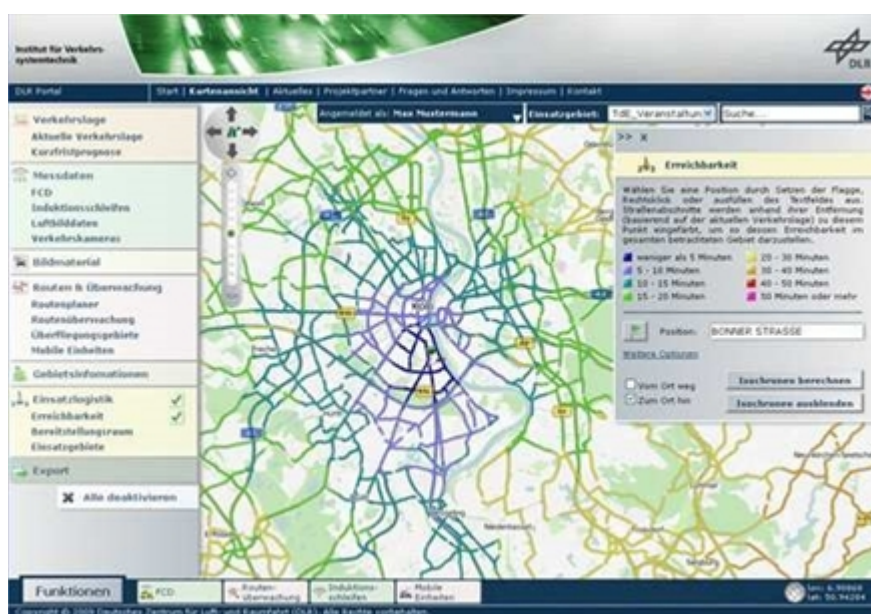
شبیه‌سازی هر ۱۰ دقیقه تازه شروع می‌شود، حالت ذخیره شده قبلی شبکه جاده را بارگیری می‌کند و وضعیت برای نیم ساعت آینده محاسبه می‌کند. در حالی که اجرا می‌شود، وضعیت شبیه‌سازی با استفاده از اندازه‌گیری‌های ترافیک از منابع مختلف مانند حلقه‌های القایی، داده‌های خودروهای شناور و (در صورت وجود) سامانه نظارت ترافیکی هوایی، به‌روزرسانی می‌شود. این کالیبره‌سازی با مقایسه شمارش خودروهای شبیه‌سازی شده با شمارش خودروهای اندازه‌گیری شده در تمام لبه‌های شبکه که در حال حاضر اندازه‌گیری در دسترس است، انجام می‌شود. بسته به این مقایسه، خودروها به صورت زود هنگام از شبیه‌سازی حذف می‌شوند یا خودروهای جدید وارد می‌شوند. همچنین، سرعت حداکثر برای هر لبه به میانگین سرعت اندازه‌گیری شده تنظیم می‌شود.

یک قسمت حیاتی از این روش کالیبراسیون انتخاب مسیر برای خودروهای وارد شده است. این کار با ساخت یک توزیع احتمالی از مسیرهای ممکن برای هر یک از لبه‌های شبکه از تقاضای ترافیک پایه و سپس نمونه‌برداری از این توزیع انجام می‌شود.

دقت پیش‌بینی ترافیک بنابراین به طور حیاتی وابسته به اینکه تقاضای ترافیک پایه چقدر دقیق باشد. برای کاهش این مشکل، در حال حاضر به بررسی استفاده از اندازه‌گیری‌های ترافیک تاریخی برای کالیبراسیون

شبیه‌سازی در جایی که اندازه‌گیری‌های فعلی هنوز در دسترس نیستند، می‌پردازیم. با این حال، این رویکرد به خطر ایجاد توسع‌ات ترافیکی غیرعادی پیش‌بینی شده از اندازه‌گیری‌های اخیر همراه است.

همچنین، وضعیت فعلی ترافیک و پیش‌بینی وضعیت آینده به مقامات در یک رابط مدیریت مبتنی بر مرورگر ارائه می‌شود. رابط مدیریت امکان بررسی منابع اطلاعات جمع‌آوری شده، از جمله حلقه‌های القایی، تصاویر مبهم و سنتی، و همچنین نظارت بر مسیرها یا ارزیابی قابلیت دسترسی شبکه را فراهم می‌کند، به شکلی که در شکل ۱۲ قابل مشاهده است.



شکل ۱۲. عکسی از پورتال "EmerT" که در VABENE

استفاده می‌شود و نشان‌دهنده ایزوکرون زمان سفر می‌باشد.

در شبیه‌سازی‌های ترافیک میکروسکوپی، ارزیابی تأثیرات بزرگتر تغییرات در رفتار خودرو یا راننده مانند معرفی خودروهای خودکار یا الکتروموبیلیتی نیز امکان‌پذیر است. در پروژه CityMobil اتحادیه اروپا، این موضوع با کمک SUMO مورد بررسی قرار گرفت و صحنه‌های مختلفی از خودروهای (تا حدودی) خودکار یا حمل و نقل سریع شخصی در مقیاس‌های مختلف، از یک منطقه پارکینگ تا شهرهای کامل، تنظیم شدند.

در مقیاس کوچک، مزایای یک سیستم اتوبوس خودران مورد ارزیابی قرار گرفت. در این سناریو، اتوبوس‌ها از مسافران در انتظار مطلع می‌شوند و مسیرهای خود را با توجه به این تقاضا تغییر می‌دهند. در مقیاس بزرگ، تأثیر خودروهای پلاگینگ (درست پیچیدن) نیز بررسی شد، با استفاده از مدل شهری به اندازه متوسط با ۱۰۰'۰۰۰ نفر جمعیت. هر دو شبیه‌سازی نشان دادند که خودکارسازی حمل و نقل اثرات مثبتی دارد.

در پروژه **iTETRIS، SUMO** با اضافه کردن یک مدل برای صدا و یک مدل برای آلودگی و مصرف سوخت گسترش یافت. در این پروژه، این گسترش برای ارزیابی تأثیرات اکولوژیکی برنامه‌های توسعه یافته **V2X** لازم بود.

هر دو مدل بر اساس توضیحات موجود طراحی شده‌اند. در ابتدا، ۷ مدل برای صدا و ۱۵ مدل برای آلودگی و مصرف سوخت مورد ارزیابی قرار گرفتند. پارامترهای مورد نیاز و خروجی آنها با مقادیر موجود در شبیه‌سازی و همچنین خروجی مورد نظر مقایسه شدند. در نهایت، مدل **HARMONOISE [۴۰]** به عنوان مدل صدا انتخاب شد. آلودگی و مصرف سوخت نیز با استفاده از مدل پیوسته‌ای پیاده‌سازی شده است که براساس مقادیر ذخیره شده در پایگاه داده **HBEFA [۴۱]** تعریف شده است.

پیاده‌سازی مدل آلودگی در **SUMO** امکان جمع‌آوری آلودگی و مصرف سوخت خودرو در طول سفر کامل و ذخیره این مقادیر در یک فایل را فراهم می‌کند. همچنین، امکان ذخیره آلودگی جمع‌آوری شده برای لاین‌ها یا لبه‌ها برای فواصل زمانی تجمیع تعیین شده وجود دارد. خروجی صدای موجود تنها میزان صدای تولید شده در لاین‌ها یا لبه‌ها در بازه‌های زمانی تعریف شده را جمع‌آوری می‌کند و امکان جمع‌آوری صدای هر خودرو به صورت جداگانه وجود ندارد. علاوه بر این، امکان دریافت صدا، آلودگی تولید شده و مصرف سوخت یک خودرو در هر گام زمانی از طریق **TraCI** و همچنین دریافت خروجی جمع‌آوری شده آلودگی، مصرف و میزان صدا برای یک لاین یا جاده وجود دارد.

علاوه بر اندازه‌گیری سطح آلودگی یا صدا برای سناریوهای خاص، محاسبه آلودگی همچنین برای بررسی مفاهیم جدید مسیریابی خودرو و وابستگی‌های بین طرح‌های چراغ راه‌نوردی و آلودگی استفاده شد.

توسعه‌های اخیر

۱. مدل‌سازی گسیل آلاینده‌ها و صدا

در پروژه **itETRIS، SUMO** با افزودن مدلی برای صدا و مدلی برای گسیل آلاینده‌ها گسترش یافت. این امر در داخل پروژه برای ارزیابی تأثیرات اکولوژیکی برنامه‌های **V2X** توسعه یافته لازم بود.

هر دو مدل بر اساس توصیفات موجود طراحی شده و ارزیابی شدند. در ابتدا، هفت مدل برای گسیل صدا و پانزده مدل برای گسیل آلاینده‌ها و مصرف سوخت مورد بررسی قرار گرفتند. پارامترهای مورد نیاز و خروجی‌های آنها با مقادیر موجود در شبیه‌سازی و خروجی مورد نظر مقایسه شدند. در نهایت، مدل **[۴۰] HARMONOISE** برای صدا انتخاب شد. همچنین، مدل‌سازی گسیل آلاینده‌ها و مصرف سوخت با استفاده از یک مدل پیوسته مبتنی بر مقادیر ذخیره شده در پایگاه داده **[۴۱] HBEFA** انجام شد.

پیاده‌سازی مدل گسیل آلاینده‌ها در **SUMO** امکان جمع‌آوری میزان آلاینده‌ها و مصرف سوخت خودرو در طول سفر خودرو و ذخیره این مقادیر در یک فایل را فراهم می‌کند. همچنین، امکان نوشتن مقادیر جمع‌آوری شده آلاینده‌ها برای لاین‌ها یا لبه‌ها در بازه‌های زمانی متغیر وجود دارد. خروجی موجود تنها شامل صدای تولید شده در لاین‌ها یا لبه‌ها در بازه‌های زمانی مشخص است و امکان جمع‌آوری جداگانه مقادیر صدا برای هر خودرو وجود ندارد. همچنین، از طریق **TraCI**، امکان دریافت صدا، آلاینده‌های منتشر شده و مصرف سوخت هر خودرو در هر مرحله زمانی وجود دارد، همچنین امکان دریافت مقادیر جمع‌آوری شده آلاینده‌ها، مصرف و سطح صدا برای یک لاین یا جاده نیز وجود دارد.

علاوه بر اندازه‌گیری سطح آلاینده‌ها یا صدا برای سناریوهای خاص، محاسبه آلاینده‌ها نیز برای بررسی مفاهیم جدید مسیریابی خودرو و وابستگی‌ها بین طرح‌های چراغ راهنوردی و آلودگی استفاده شده است.

۲. شبیه‌سازی ترافیک بین‌شهری بر اساس فرد

با توجه به توسعه شهری پیشرو و افزایش نگرانی‌های زیست محیطی، انتظار می‌رود که اهمیت روزافزونی در ترافیک بین‌شهری برافزا شود. جهت سازگاری با این روند، **SUMO** با امکاناتی برای شبیه‌سازی ترافیک بین‌شهری گسترش یافت. در ادامه به طور خلاصه به مفاهیم اضافه شده اشاره خواهیم کرد.

مرکز مفهومی ترافیک بین شهری شخصی است. این شخص نیاز دارد که یک سری سفر به طور متوالی انجام دهد و هر سفر ممکن است با استفاده از حمل و نقل عمومی، ماشین شخصی یا پیاده روی انجام شود. سفرها ممکن است شامل تأخیرات مربوط به ترافیکی باشد، مانند انتظار در ترافیک، انتظار برای اتوبوس یا انتظار برای انتقال مسافر اضافی. لازم به ذکر است که تأخیرات اولیه بر ترافیک های بعدی فرد شبیه سازی شده تأثیر می گذارد. این مفهوم در یک گسترش از ورودی مسیر SUMO بیان می شود. اکنون می توان فرد را به عنوان لیستی از سفرها، توقف ها و پیاده روی ها مشخص کرد. سفر می تواند نمایانگر هر نوع حمل و نقلی باشد، شامل هر دو حمل و نقل خصوصی و عمومی. این سفر با ارائه لبه شروعی، لبه پایانی و مشخصات مجاز برای خودروها انجام می شود. توقف ها مربوط به فعالیت های غیرمرتبط با ترافیک مانند کار کردن یا خرید کالاهای مورد نیاز است. پیاده روی، سفری که پیاده انجام می شود را مدل سازی می کند، اما می تواند نمایانگر حمل و نقل دیگری نیز باشد که با ترافیک جاده ای تداخل ندارد. یک گسترش دیگر، مربوط به خودروها است. به علاوه از مسیر آنها، لیستی از توقف ها و یک صفت خط می توان تخصیص داد. هر توقف شامل موقعیت و یک شروع کننده است که ممکن است زمان ثابت، زمان انتظار یا شناسه یک فرد برای کنار گذاشتن خودرو باشد. صفت خط می تواند برای گروه بندی چندین خودرو به عنوان یک مسیر حمل و نقل عمومی استفاده شود.

این چند گسترش کفایت می کند تا سفرهای فردی مذکور را تجربه کند. آنها در پروژه TAPAS برای شبیه سازی ترافیک بین شهری در شهر برلین استفاده می شوند. بر اساس نتایج اولیه، عملکرد شبیه سازی تقریباً تحت تأثیر بار مربوط به مدیریت اشخاص قرار نمی گیرد. در آینده، به موارد زیر پرداخت خواهد شد:

- بازمسیری آنلاین افراد. در حال حاضر، مسیریابی در سفرها باید قبل از شروع شبیه سازی انجام شود. بنابراین، امکان جبران دسته بندی نشده با پیاده روی به جای انتظار اتوبوس بعدی وجود ندارد.

- یکپارچگی هوشمند دوچرخه. بستگی به زیرساخت جاده ای، ترافیک دوچرخه ممکن است با ترافیک جاده تداخل یا عدم تداخل داشته باشد.

- وارد کردن ماژول های برنامه زمان بندی عمومی.

توسعه فعلی

همانطور که نشان داده شد، این مجموعه از وظایف، یک گستره وسیعی از قابلیت‌ها را پوشش می‌دهد و بیشتر آنها هنوز در حال تحقیق هستند. در گذشته، برنامه‌های از مجموعه SUMO به نیازهای پروژه‌های تحقیقاتی در حال بررسی تطبیق داده شدند و در عین حال سعی شد که قابلیت‌های موجود کار کنند. این زمینه توسعه برای آینده نزدیک حفظ خواهد شد و تغییرات اصلی در قابلیت‌ها بر اساس سؤالات تحقیقاتی مورد بررسی صورت خواهد گرفت. با این حال، مجموعه‌ای از موضوعات کار "استراتژیک" موجود است و در بخش‌های فرعی زیر ارائه خواهند شد. اصلی‌ترین هدف این موضوعات افزایش صحت شبیه‌سازی و تعداد شرایطی است که شبیه‌سازی قادر به تکثیر آنها باشد و همچنین استقرار شبیه‌سازی به عنوان ابزار اصلی برای ارزیابی مدل‌ها و الگوریتم‌های دانشگاهی برای هر دو شبیه‌سازی ترافیک و نرم‌افزارهای مدیریت ترافیک باشد.

۱. رابط کاری و تغییر مسیر خودرو

یکی از وظایف اولیه‌ای که SUMO برای آن توسعه یافت، مقایسه مدل‌های جریان ترافیک بود، به خصوص مدل‌های ریزنمایی حرکت خودروها و تغییر مسیر آنها. این نیاز به پیاده‌سازی دقیق مدل‌ها برای ارزیابی است. در پروژه iTETRIS، با پیاده‌سازی یک رابط برای به‌کارگیری مدل‌های دیگری به جای مدل Krauß مورد استفاده برای محاسبه حرکت طولی خودروها، گام‌های اولیه‌ای در این زمینه برداشته شد. برخی از پیاده‌سازی‌های اولیه مدل‌های دیگر وجود دارد، اگرچه همه آنها قادر به صحیح برخورد با ترافیک شهری چند خطی نیستند. قابلیت‌هایی که در حال حاضر با مدل‌های حرکت خودرو قابل انجام است، برای مدل‌های تغییر مسیر نیز پیاده‌سازی خواهند شد.

۲. بهبود مدل‌ها

با اینکه ارزیابی مدل‌های رفتار رانندگان دانشگاهی یکی از موضوعات تحقیقاتی هدف است، بیشتر مدل‌ها تمرکز بر توصیف رفتار خاصی مانند ترافیک‌های ناگهانی دارند، که آنها را غیرمناسب برای استفاده در سناریوهای پیچیده با تنوع زیادی می‌کند. به طور خلاصه، گام‌های بعدی توسعه SUMO فراتر از مدل‌های ریزنمایی حرکت خودروهای استقرار یافته خواهد رفت. به جای آن، یک مدل خودمانی توسعه می‌یابد که عمدتاً بر روی تنوع آن هدفمند است.

SUMO تنها پلتفرم شبیه‌سازی ترافیک متن باز موجود نیست. برخی از شبیه‌سازهای دیگر مانند MATsim، مجموعه خود را از ابزارهای مربوط به ایجاد تقاضا، تخصیص ترافیک، و غیره ارائه می‌دهند. برنامه ریزی شده است که با افزایش قابلیت‌های SUMO برای تبادل داده‌ها، این ابزارها قابل استفاده در ترکیب با SUMO باشند. علاوه بر اتصال به بسته‌های دیگر شبیه‌سازی ترافیک، SUMO برای تعامل با شبیه‌سازهای رانندگی یا جهان نیز گسترش می‌یابد. در پروژه "DRL، SUMO، SimWorld Urban" به شبیه‌ساز راننده DLR متصل شده است، که اجازه می‌دهد به طور آزمایشی در امتداد یک منطقه شهری با ابعاد کامل و پرجمعیت رانندگی کنید.

خلاصه

ما یک نمای کلی از بسته شبیه‌سازی ترافیک میکروسکوپی SUMO را ارائه داده‌ایم، که برنامه‌های شامل و کاربردهای رایج را همراه با چندین مورد استفاده معمول و مراحل توسعه بعدی ارائه داده است. تعداد پروژه‌ها و مقیاس‌های مختلف (از کنترل چراغ‌های ترافیک تا شبیه‌سازی شهر کامل) قابلیت‌های مجموعه شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. همراه با ابزارهای واردات شبکه و تقاضا و ویژگی‌های اخیر اضافه شده مانند مدل‌سازی آلاینده‌ها و رابط قدرتمند TraCI، SUMO هدف دارد که یکی از محبوب‌ترین پلتفرم‌های شبیه‌سازی، نه تنها در زمینه ارتباطات وسایل نقلیه باقی بماند.

1. Erdmann, and D. Krajzewicz, M. Behrisch, L. Bieker, J. An Overview,” in “SUMO – Simulation of Urban MObility: Advances SIMUL ٢٠١١, The Third International Conference on in System Simulation, ٢٠١١
2. Homepage [Online], DLR and contributors, SUMO ٢٠١٢ <http://sumo.sourceforge.net/>, accessed July ٠٣,
3. [Online], PTV AG, Vissim homepage ٢٠١٢ <http://www.ptvvision.com/en-uk/products/vision-traffic-suite/ptv-vissim/overview/>, accessed July ٠٣, ٢٠١٢
4. OpenDRIVE homepage OpenDRIVE consortium, July ٠٣, ٢٠١٢ [Online], <http://www.opendrive.org/>, accessed
5. [Online], PTV AG, VISUM homepage ٢٠١٢ <http://www.ptvvision.com/de/produkte/vision-traffic-suite/ptv-visum/>, accessed July ٠٣, ٢٠١٢
6. <http://www.matsim.org/>, MATSim homepage [Online], accessed July ٠٣, ٢٠١٢
7. [Online], OpenStreetMap homepage ٢٠١٢ <http://www.openstreetmap.org/>, accessed July ٠٣, ٢٠١٢

J. Ringel, and P. Wagner, D. Krajzewicz, G. Hertkorn, .8
Simulation; Part 1: “Preparation of Digital Maps for Traffic
the 3rd Approach and Algorithms,” in Proceedings of
EUROSIS– Industrial Simulation Conference 2005, pp. 285–290.
ETI. 3rd Industrial Simulation Conference 2005, Berlin
(Germany). ISBN 90-77381-18-X

Dikaiakos, L. G. Papaleondiou and M. D. .9
“TrafficModeler: A Graphical Tool for Programming
Microscopic Traffic Simulators through High-Level
in Proceedings of the 69th IEEE Vehicular Abstractions,”
.Spring 2009, Spain, 2009 Technology Conference, VTC

Modeling of Traffic Flow: S. Krauß, “Microscopic .10
Dynamics,” PhD Investigation of Collision Free Vehicle
.thesis, 1998

P. Wagner, “Calibration E. Brockfeld, R. Kühne, and .11
Models,” in and Validation of Microscopic Traffic Flow
Transportation Research Board [ed.]: TRB 2004 Annual
Meeting, pp. 62–70, TRB Annual Meeting, Washington, DC (USA)
.2004

“Testing and E. Brockfeld and P. Wagner, .12
in Benchmarking of Microscopic Traffic Flow Models,”
Proceedings of the 10th World Conference on Transport
pp. 775–776, WCTR04 – 10th World Conference on Research,
.Istanbul (Turkey) 2004 Transport Research,

P. Wagner, “Calibration E. Brockfeld, R. Kühne, and .13
”,Models and Validation of Microscopic Traffic Flow

- .Transportation Research Records, 1934, pp. 179–187, 2005.
- “Realistische Mikrosimulation M. Treiber and D. Helbing, .14
einfachen Modell,” von Strassenverkehr mit einem
.Symposium Simulationstechnik (ASIM), 2002.
- Brakemeier, “Testbed for B. Kerner, S. Klenov, and A. .15
simulation approach wireless vehicle communication: A
Proceedings of the based on three-phase traffic theory,” in
.pp. 180–185, 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV’08),
des R. Wiedemann, „Simulation .16
IfV, Straßenverkehrsflusses,” in Heft 8 der Schriftenreihe des
.Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, 1974.
- Simulation with SUMO – D. Krajzewicz, “Traffic .17
Barceló, “Fundamentals of Simulation of Urban Mobility,” in J.
Series in Operations Traffic Simulation,” International
269–294, Research and Management Science. Springer, pp.
.ISBN 978-14419-6141-9. ISSN 0884-8289, 2010.
- M. Raya, H. Hellbrück, S. A. Wegener, M. Piórkowski, .18
Interface for Coupling Fischer, and J.-P. Hubaux, “TraCI: An
Proceedings of the Road Traffic and Network Simulators,” in
11th communications and networking simulation
.symposium, 2008.
- TraCI-J Homepage [Online], Politecnico di Torino, .19
[http://sourceforge.net/apps/mediawiki/traci-j/index.php?](http://sourceforge.net/apps/mediawiki/traci-j/index.php?Main_Page)
.Main_Page, accessed July 09, 2012 title=
and F. Dressler, “On the C. Sommer, Z. Yao, R. German, .20
traffic need for bidirectional coupling of road

microsimulation and network simulation,” in Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models, pp.

.2008 41–48,

<http://www.nsnam.org/>, nsn Homepage [Online], .21
.accessed January 26, 2011

Lugo, P. Papadimitratos, M. M. Piórkowski, M. Raya, A. .22
Realistic Joint Traffic Grossglauser, and J.-P. Hubaux, “TraNS:
SIGMOBILE Mobile and Network Simulator for VANETs,” ACM
Computing and Communications

.Review, pp. 31–33, 2008

<http://www.ict-itetris.eu/> – iTETRIS Homepage [Online], .23
.2012 1010–community/, accessed July 09,

<http://www.omnetpp.org/>, OMNET++ Homepage [Online], .24
.accessed July 09, 2012

Radusch, and C. Meinel, D. Rieck, B. Schuenemann, I. .25
Distributed V2X “Efficient Traffic Simulator Coupling in a
Proceedings of Simulation Environment,” in SIMUTools '10:
the 3rd International ICST Conference on Simulation
ICST Tools and Techniques, Torremolinos, Malaga, Spain, 2010.
(Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and
Telecommunications Engineering), ICST, Brussels, Belgium, pp.
.ISBN: 978-963-9799-87-5 1–9,

“Infrastructure-Assisted D. Borsetti and J. Gozalvez, .26
Networks,” in GeoRouting for Cooperative Vehicular
Proceedings of the 2nd IEEE (*) Vehicular Networking

.Conference (VNC 2010), 2010, New Jersey (USA)

Kloiber, F. de Ponte-Müller, and M. A. Leal, M. Röckl, B. .27

Opportunistic Data T. Strang, "Information-Centric
Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks," in
International IEEE Conference on Intelligent Transportation
(ITSC), 2010, Madeira Island (Portugal) Systems

Russo, and A. Vitetta, "A E. Cascetta, A. Nuzzolo, F. .28

overcoming path modified logit route choice model
traffic theory: overlapping problems," in Transportation and
Proceedings of the 13th International Symposium on
Transportation and Traffic Theory. Pergamon Press, Lyon,
.1996 France,

traffic assignment – C. Gawron, "Simulation-based .29
networks," Ph.D. computing user equilibria in large street
Dissertation, University of Köln, Germany, 1998

and Y.-P. Wang, M. Behrisch, D. Krajzewicz, .30
assignment "Comparing performance and quality of traffic
in techniques for microscopic road traffic simulations,"
Proceedings of DTA2008. DTA2008 International Symposium on
.Dynamic Traffic Assignment, Leuven (Belgien), 2008

P. Wagner, and Y.-P. Wang, M. Behrisch, D. Krajzewicz, .31
the Performance of "Comparison of Methods for Increasing
DTA2008 a DUA Computation," in Proceedings of DTA2008.
International Symposium on Dynamic Traffic Assignment,
.Leuven (Belgien), 2008

and HD traffic: technology R.-P. Schäfer, “IQ routes navigation concept,” insights about tomtom's time-dynamic of the in Proceedings of the the vth joint meeting European software engineering conference and the ACM symposium on The foundations of software SIGSOFT ACM, New York, NY, USA, 171– engineering (ESEC/FSE '09). .172. DOI=10.1145/1595696.1595698, 2009

and P. Wagner, D. Krajzewicz, D. Teta Boyom, autonomous “Evaluation of the Performance of city-wide, Route Choice based on Vehicle-to-vehicle-Communicataion,” .TRB 2008 (87. Annual Meeting), 2008, Washington DC, USA

J. Mikat, J. Ringel, C. Rössel, D. Krajzewicz, E. Brockfeld, Woesler, “Simulation of W. Tuchscheerer, P. Wagner, and R. using the open modern Traffic Lights Control Systems the 3rd source Traffic Simulation SUMO,” in Proceedings of

Industrial Simulation Conference 2005, pp. 299–302, EUROSIS-ETI, 3rd Industrial Simulation Conference 2005, Berlin (Germany). .ISBN 90-77381-18-X.2005

Vehicle prioritization using L. Bieker, “Emergency Communication,” Young Vehicleto-Infrastructure Copenhagen, Researchers Seminar 2011 (YRS2011), 2011, .Denmark

I. Trencansky, H. D. Greenwood, B. Burdiliak, distributed Armbruster, and C. Dannegger, “GreenWave 4th traffic intersection control,” in Proceedings of The International Conference on Autonomous Agents and

.Systems – Volume 2, pp. 1413–1414, 2009 Multiagent

“Application of Markov Decision Processes to the Control of a Traffic Intersection,” O. H. Minoarivelo, 37
Barcelona, 2009 postgraduate diploma, University of

Fourspring, Z. Ninkov, D. J. Kerekes, M. Presnar, K. 38
Vasquez, J. Patel, R. Pogorzala, A. Raisanen, A. Rice, J.
and MacIntyre, and S. Brown, “Sensor Modeling
Demonstration of a Multi-object Spectrometer for
Performance-driven Sensing,” in Proceedings of Algorithms
Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and
Imagery XV, SPIE Vol. 7334, Defense and Ultraspectral
Florida, 2009, DOI: Security Symposium, Orlando,
.10.1117/12.819265

“Evaluation of opening V2X Bus Lanes for private Traffic triggered via L. Bieker and D. Krajzewicz, 39
.Communication,” (FISTS 2011), 2011, Vienna, Austria

van Maercke, “Harmonoise WP R. Nota, R. Barelds, and D. 40
and railway noise 3 Engineering method for road traffic
Report after validation and fine-tuning,” Technical
,Deliverable 18

.HARMONOISE, 2005

[Online], <http://www.hbefa.net/>, INFRAS. HBEFA web site 41
.accessed July 09, 2012

.Brockfeld, R. Nippold, and J D. Krajzewicz, L. Bieker, E. 42

Ringel, "Ökologische Einflüsse ausgewählter
Verkehrsmanagementansätze," In Heureka '11, 2011, Stuttgart,
.Germany

"Maßnahmensensitive R. Cyganski and A. Justen, .43
Nachfragemodellierung in mikroskopischen
Personenverkehrsmodellen," Deutsche
Gesellschaft, Schriftenreihe B, Verkehrswissenschaftliche
.2007

"Travel demand G. Hertkorn and P. Wagner, .44
International modelling based on time use data," in 10th
.conference on Travel Behaviour Research, August 2004