SUMO - Simulation of Urban MObility

# ارائه کتبی درس شبیه‌سازی کامپیوتری

چکیده

SUMO یک نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک متن‌باز است که شامل برنامه شبیه‌سازی وابسته به آن و ابزارهای پشتیبانی است و عمدتاً برای وارد کردن شبکه و مدل‌سازی تقاضا استفاده می‌شود. SUMO به بررسی انواع متنوعی از موضوعات تحقیقاتی، عمدتاً در زمینه مدیریت ترافیک و ارتباطات خودرویی کمک می‌کند. ما وضعیت کنونی نرم‌افزار را شرح می‌دهیم، کاربردهای اصلی آن را براساس موضوعات تحقیقاتی و مثال‌ها توضیح می‌دهیم، و همچنین توسعه‌ها و گسترش‌هایی که در آینده خواهد داشت را بررسی می‌کنیم.

# مقدمه

SUMO ("شبیه‌سازی حرکت شهری") [1][2] یک پلتفرم شبیه‌سازی جریان ترافیک بر پایه میکروسکوپی، بین حالت و چندحالته، فضایی پیوسته و زمانی گسسته است. اجرای SUMO در سال ۲۰۰۱ آغاز شد و نسخه اول متن‌باز آن در سال ۲۰۰۲ منتشر شد. دو دلیل برای ارائه کار به عنوان متن‌باز تحت مجوز عمومی گنو [GPL] وجود داشت. اولین دلیل، دلخواه بود که با یک ابزار رایگان، جامعه شبیه‌سازی ترافیک را با الگوریتم‌های خودشان پشتیبانی کند. شبیه‌سازی‌های ترافیک متن‌باز دیگری موجود بود، اما به علت پیاده‌سازی در قالب یک پایان‌نامه دانشجویی، پس از آن پشتیبانی نشدند. ضعف عمده - علاوه بر دوباره‌کاری - عدم وجود قابلیت مقایسه تقریباً مدل‌ها یا الگوریتم‌های پیاده سازی شده بود و تصور می‌شود یک پلتفرم شبیه‌سازی مشترک در اینجا مفید باشد. دومین دلیل برای انتشار متن باز این نرم‌افزار شبیه‌سازی، به دست آوردن حمایت از سایر نهادها بود.

طی ده سال گذشته، SUMO به یک بسته نرم‌افزاری کامل برای مدل‌سازی ترافیک تبدیل شده است که شامل وسایلی همچون برنامه وارد‌کننده شبکه جاده قادر به خواندن فرمت‌های منبع مختلف، ابزارها و اسکریپت‌هایی برای تولید تقاضا و مسیریابی با استفاده از منابع ورودی متنوع (ماتریس منبع تقاضا و مقصد، آمار ترافیک و غیره)، یک شبیه‌سازی با کارایی بالا که برای ایستگاه‌های ترافیکی انفرادی و شهرهای کامل قابل استفاده است، کنترل از راه دور توسط یک رابط "کنترل از راه دور" (TraCI) برای تطبیق آنلاین شبیه‌سازی و تعداد زیادی از ابزارها و اسکریپت‌های اضافی است. بخش عمده‌ای از توسعه توسط مؤسسه سیستم‌های حمل و نقل در مرکز هوا و فضا آلمان (DLR) انجام می‌شود. اطرافیان خارجی توسعه‌های مختلفی را به بسته شبیه‌سازی 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 60٪ 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 مکان‌ها و زمان‌های معین از یک سو، و حرکت وسیله نقلیه در خیابان از سوی دیگر، بر ترافیک و یکدیگر تأثیر می‌گذارد: 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 1999). چنین بسته‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی ترافیک در مجموعه‌ای از مصنوعات مدل‌سازی‌شده و همچنین در الگوی استفاده متفاوت هستند: برخی به عنوان برنامه‌های کاربردی استفاده‌کننده از ویندوز تصور می‌شوند در حالی که برخی دیگر که بیشتر ابزاری برای محققان ترافیک هستند، ابزارها یا برنامه‌های 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. شبیه‌سازی‌هایی از این نوع، وسایل نقلیه منفرد را به‌عنوان قطعات اتمی در نظر می‌گیرند، نه کل جریان ترافیک (ماکروسکوپی) یا بخش‌های 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 1992, Brockfeld et al 2001) یا حتی ممکن است مدل های کاملاً پیوسته باشند.

از دیدگاه یک محقق، هنگام استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی موجود، ممکن است مشکلات متعددی به دلیل در دسترس بودن آن‌ها به عنوان جعبه سیاه نرم‌افزاری آماده برای استفاده، به‌ویژه زمانی که محصولات تجاری در نظر گرفته می‌شوند، 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. شبکه های 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 هیوریستیکی 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 شبیه سازی یک شبکه جاده ای 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.

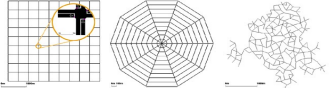
جریان ترافیک به صورت میکروسکوپی شبیه سازی شده است. به این معنی که هر وسیله نقلیه ای که در شبکه شبیه سازی شده حرکت می کند به صورت جداگانه مدل سازی شده و دارای مکان و سرعت مشخصی است. در هر مرحله زمانی که مدت زمان آن 1 ثانیه است، این مقادیر بسته به وسیله نقلیه جلویی و شبکه خیابانی که وسیله نقلیه در حال 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 جاده‌ای

شبکه‌های جاده‌ای SUMO شبکه‌های واقعی را به صورت گراف نمایش می‌دهند که در آن گره‌ها تقاطع‌ها هستند و جاده‌ها توسط لبه‌ها نمایش داده می‌شوند. تقاطع‌ها شامل موقعیت، شکل و قوانین راهرویی هستند که ممکن است توسط چراغ‌های راهنمایی و رانندگی تغییر کند. لبه‌ها ارتباطات یک طرفه بین دو گره هستند و شامل تعداد ثابتی از پیست‌ها هستند. هر پیست شامل هندسه و اطلاعاتی درباره کلاس‌های وسایل نقلیه مجاز بر روی آن و سرعت مجاز بیشینه است. بنابراین، تغییرات در تعداد پیست‌ها در طول یک جاده با استفاده از چندین لبه نمایش داده می‌شوند. نمایی مانند این از شبکه‌های جاده‌ای بسیار رایج است؛ اگرچه روش‌های دیگری مانند فرمت شبکه Vissim یا فرمت OpenDRIVE وجود دارد. علاوه بر این دیدگاه اساسی از یک شبکه جاده‌ای، شبکه جاده‌ای SUMO شامل طرح چراغ‌های راهنمایی و رانندگی و اتصالات بین پیست‌ها در تقاطعات است که توصیف می‌کند کدام پیست‌ها می‌توانند برای دستیابی به پیست بعدی استفاده شوند.

شبکه جاده‌ای SUMO می‌تواند با استفاده از برنامه‌ای به نام "netgenerate" تولید شود یا با وارد کردن یک نقشه جاده رقمی با استفاده از "netconvert" وارد شود. netgenerate سه نوع مختلفی از شبکه‌های جاده‌ای انتزاعی می سازد: شبکه‌های شبیه "مانهاتن" شبکه‌های شبکه‌ای مانند مداری "شبکه‌های عنکبوتی" و شبکه‌های تصادفی. هر یک از الگوریتم‌های تولید دارای یک مجموعه گزینه هستند که اجازه تنظیم ویژگی‌های شبکه را می‌دهند.

شکل 1 نمونه‌هایی از شبکه‌های تولید شده را نشان می‌دهد.

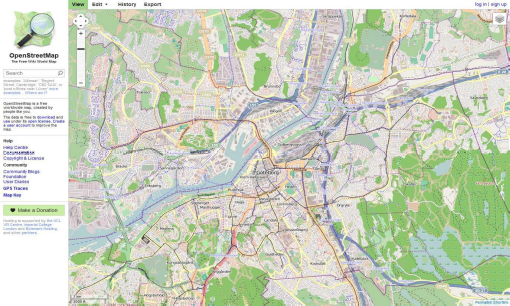


**شکل 1. نمونه‌هایی از شبکه‌های جاده‌ای انتزاعی ساخته شده با استفاده**

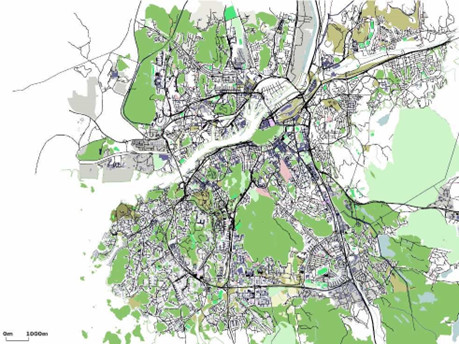
**از "netgenerate"؛ از چپ به راست: شبکه شبکه‌ای ("مانهاتن")،**

**شبکه عنکبوتی و شبکه تصادفی.**

واردکننده شبکه جاده اپلیکیشن netconvert شبکه‌ها را از شبیه‌سازهای ترافیک دیگر مانند VISUM، 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 2 و 3 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.



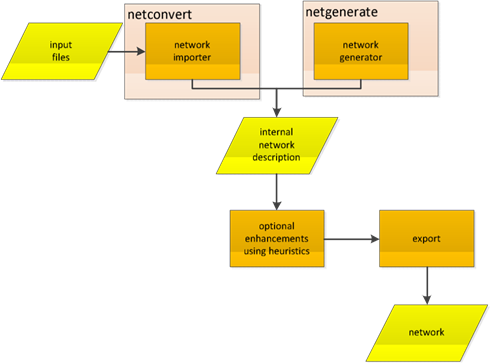
**شکل 2. شبکه اصلی OpenStreetMap در گوتنبرگ.**



**شکل 3. 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 کدام‌یک 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 می کند 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 پیاپی 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 4، 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 [8] قابل مشاهده است. با این حال، بیشتر الگوریتم‌های توصیف شده در [8] 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 4. روند مشترک آماده‌سازی شبکه در netconvert و netgenerate.**

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 می تواند با استفاده از ویژگی های حرکت و ویژگی های ورود و خروج با جزئیات دقیق توصیف شود، مانند خط استفاده شده، سرعت و یا موقعیت دقیق روی یک یال. هر خودرو می تواند نوعی را که ویژگی های فیزیکی و متغیرهای مدل حرکت استفاده شده را توصیف می کند، تعیین کند. همچنین هر خودرو می تواند به یکی از کلاس های آلایش آلاینده یا نویز 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 مبدأ / 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 24 ساعته بنامرآورند. کمک بسیار بیشتر ولی فقط در برخی از موارد در دسترس است، ماتریس‌هایی با مقیاس 1 ساعت هستند. مجموعه SUMO شامل "od2trips" 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.

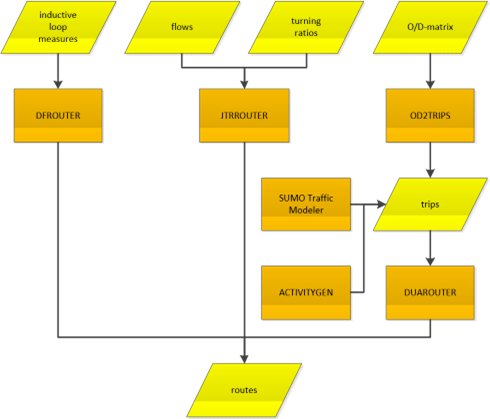
از نتیجه سفرهای حاصل از od2trips شامل یک خروجی و یک پایان جاده همراه با زمان حرکت استفاده می‌شود؛ اما شبیه‌سازی برای عبور کامل لیستی از لبه‌ها نیاز دارد. چنین مسیرهایی معمولاً با اجرای یک فرآیند تخصیص کاربر پویا (DUA) محاسبه می‌شوند. این یک فرآیند تکراری است که از روش مسیریابی مانند محاسبه کوتاه‌ترین 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 حلقه های 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" نوشتهٔ Leontios G. Papaleontiou [9] 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 5 امکنات تنظیم تقاضا برای شبیه‌سازی ترافیک با استفاده از ابزارهای موجود در بسته SUMO را خلاصه می‌کند.



**شکل 5. روش‌های پشتیبانی شده برای تولید تقاضا**

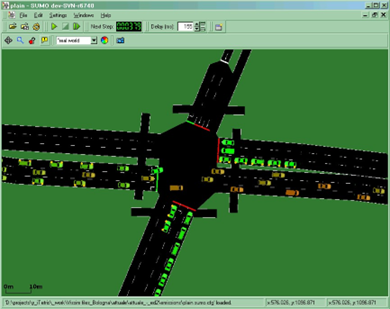
ج. شبیه‌سازی

برنامه "sumo" شبیه‌سازی گسسته زمان انجام می‌دهد. طول گام پیش‌فرض 1 ثانیه است، اما می‌توان آن را تا 1 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 پیش فرض 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 پیاده سازی 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 مجموعه ای 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 برنامه های ترافیکی آماده، تغییر تحصیلات دنبال کننده مسیر، و غیره. شکل 6 یک تقاطع تک خروجی شبیه‌سازی شده در sumo-gui را نشان می‌دهد. sumo-gui همه ویژگی های نسخه خط فرمان sumo را ارائه می دهد.



**شکل ۶. تصویر نمایه واسط کاربری گرافیکی که خودروها**

**را بر اساس آلایندگی CO2 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 آلایندگی صدا و مدل آلایش‌های 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، جاده ها و تقاطع هایی را که وسایل نقلیه شبیه سازی شده در امتداد یا در سراسر آن حرکت می کنند، توصیف می کند. 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 لبه ها یک طرفه هستند. به طور خاص، شبکه SUMO حاوی اطلاعات زیر است:

هر خیابان (لبه) به عنوان مجموعه ای از خطوط، از جمله موقعیت، شکل و محدودیت سرعت هر خط، منطقه چراغ راهنمایی که توسط تقاطع ها نشان داده می‌شود، تقاطع ها، از جمله مقررات حق تقدم آنها، اتصالات بین خطوط در اتصالات (گره ها). همچنین، بسته به فرمت های ورودی استفاده شده و گزینه‌های پردازش مجموعه، می توانید 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 فایل های توضیحات SUMO XML همراه با netconvert استفاده کنید. همچنین می‌توانید نقشه‌های موجود را از فرمت‌های مختلف با استفاده از netconvert تبدیل کنید یا نقشه‌های راه هندسی ساده و انتزاعی را با netgenerate ایجاد کنید. برای اصلاح یک فایل .net.xml موجود، می‌توانید آن را با netconvert همراه با فایل‌های پچ 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 گزینهٔ اضافی راه‌اندازی شود که شمارهٔ 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 عهدهٔ 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 اصلأ 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 واقع‌گرایانهٔ 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 ns2 یا ns3 [۲۱] 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.

TraNS [۲۲] یک میان‌افزار بسیار محبوب برای شبیه‌سازی V2X بود که این نیازها را برآورده می‌کرد. این میان‌افزار بر پایه SUMO و ns2 ساخته شده بود. افزونه‌های TraNS برای ns2 مسئول همگام‌سازی شبیه‌سازی‌ها بودند و برنامه همچنین باید در محیط ns2 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 نسخهٔ منسوخ شدهٔ SUMO کار می‌کند.

جایگزینی مدرن برای TraNS در پروژه iTETRIS [۲۳] پیاده‌سازی شد. سیستم iTETRIS SUMO را به ns3 جانشین ns2 می‌کند. ns3 انتخاب شد زیرا مشاهده شد که ns2 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 V2X به عنوان برنامه‌های جداگانه و زبان غیر وابسته مدل می‌شوند. این تقسیم‌بندی واضح از مسئولیت‌ها امکان پیاده‌سازی آسان برنامه‌های خود را به زبان برنامه‌نویسی موردعلاقهٔ کاربر می‌دهد.

چهارچوب Veins [۲۰] SUMO 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 الهام‌گرفته از HLA آن نه تنها امکان تعامل بین SUMO و سایر شبیه‌سازهای ارتباطی را فراهم می‌کند. بلکه قادر است SUMO و Vissim، یک بستهٔ 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 میکروسکوبی 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 V2X 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 استفاده‌کننده از این یال وابسته است، محاسبه مسیرها از طریق شبکه تحت بار یک مرحله بحرانی در آماده‌سازی شبیه‌سازی‌های گستردهٔ 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 میکروسکوبی 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 تجزیه‌شدن 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: c-logit [28] و الگوریتم تخصیص کاربر دینامیک Gawron [29]. 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 [30] گزارش شده است. یک امکان دیگر برای کاهش تلاش محاسباتی در [31] 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 ([32]) 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 [33].

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 می تواند 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" [34] 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 پیاده سازی 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 می دهد 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 عادله 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 سیموییشن 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 [35]. رویکردهای دیگری نیز برای کنترل چراغ‌های راهنمایی و رانندگی توسط اطرافیان مورد بررسی قرار گرفت، به عنوان مثال، [36]، یا [37].

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.

۴. ارزیابی سیستم‌های نظارت ترافیک

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 فوتوسپکترومتر گزارش شده در [38] 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".

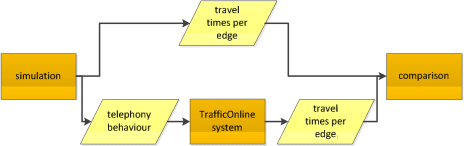
# پروژه‌های اخیر و فعلی

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

1. TrafficOnline

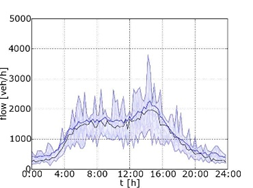
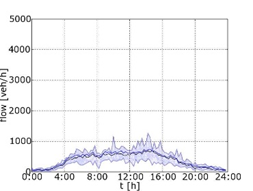
در پروژه TrafficOnline، یک سیستم برای تعیین زمان سفر با استفاده از داده‌های تلفنی GSM طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی شد. SUMO برای اعتبارسنجی عملکرد و پایداری این سیستم استفاده شد. در زیر، فقط بخش شبیه‌سازی توضیح داده می‌شود و نه خود سیستم TrafficOnline و نه نتایج ارزیابی.

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.**

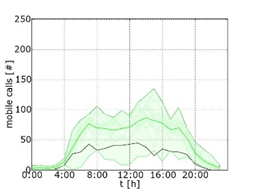
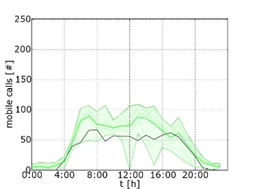
ارزیابی با استفاده از سناریوهای قرار داده شده در و اطراف برلین، آلمان صورت گرفت که شامل موقعیت‌های شهری و بزرگراهی بود. شبکه‌های جاده‌ای از پایگاه داده NavTeq وارد شدند. به دلیل محدودیت‌های شبکه‌های جاده‌ای دیجیتالی که در بخش II.A توضیح داده شده است، اصلاحات دستی ضروری بودند.



**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 +/- 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.**

2. 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 TraNS ، iTETRIS 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 8:00 تا 9:00 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 [39] 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 می‌کرد تا تصمیم بگیرد آیا خطوط اتوبوس باید برای خودروهای سواری باز شود و باید خودروهای مجهز را برای استفاده از خطوط اتوبوس‌ها مطلع کن



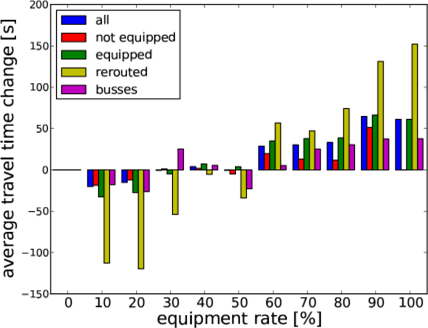
**تصویر ۱۰. جمع‌آوری اطلاعات سرعت توسط RSUها. هر نقطه یک**

**نقطه داده را نمایش می‌دهد و رنگ سرعت را نشان می‌دهد**

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

به منظور استفاده از تکنیک‌های استاندارد، نظارت بر ترافیک با جمع‌آوری و میانگین‌گیری اطلاعات سرعت موجود در پیام‌های همکاری آگاهی (CAMs) در واحدهای جاده‌ای (RSUs) در تقاطع‌های اصلی اعمال شد (نگاه کنید به شکل 10). به‌محض اینکه میانگین سرعت زیر یک آستانه می‌افتد، برنامه، با فرض وجود تراکم ترافیک بالا، خطوط اختصاصی اتوبوس را برای خودروهای سواری رایگان می‌کند. سپس RSU اطلاعاتی درباره خطوط اختصاصی اتوبوس رایگان به خودروهای در دسترس ارسال می‌کند.

ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که میانگین سرعت به‌عنوان یک شاخص برای افزایش تقاضای ترافیک قابل استفاده است. با این حال، به دلیل استفاده نادرست از این اندازه‌گیری، بررسی‌ها و اعتبارسنجی‌های 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.

3. VABENE

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 چندگانه 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 زودهنگام 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 واردشده 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 جمع آوری 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 میکروسکوپیک، 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 [40] 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 [41] 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

1. 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 HARMONOISE [40] 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 HBEFA [41] 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.

2. 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 بین‌شهری 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 پیاده‌روی 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 ترافیک‌های بعدی فرد شبیه‌سازی شده تأثیر می‌گذارد. این مفهوم در یک گسترش از ورودی مسیر SUMO بیان می‌شود. اکنون می‌توان فرد را به عنوان لیستی از سفرها، توقف‌ها و پیاده‌روی‌ها مشخص کرد. سفر می‌تواند 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 می‌شود. توقف‌ها مربوط به فعالیت‌های غیرمرتبط با ترافیک مانند کار کردن یا خرید کالاهای مورد نیاز است. پیاده‌روی، سفری که پیاده انجام می‌شود را مدل‌سازی می‌کند، اما می‌تواند نمایانگر حمل و نقل دیگری نیز باشد که با ترافیک جاده‌ای تداخل ندارد. یک گسترش دیگر، مربوط به خودروها است. به علاوه از مسیر آنها، لیستی از توقف‌ها و یک صفت خط می‌توان 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 می‌تواند برای گروه‌بندی چندین خودرو به عنوان یک مسیر حمل و نقل عمومی استفاده شود.

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

• بازمسیری آنلاین افراد. در حال حاضر، مسیریابی در سفرها باید قبل از شروع شبیه‌سازی انجام شود. بنابراین، امکان جبران دسته‌بندی نشده با پیاده‌روی به جای انتظار اتوبوس بعدی وجود ندارد.

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

• وارد کردن ماژول‌های برنامه زمان‌بندی 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.

1. 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.

2. 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.

3. همکاری‌پذیری

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 "SimWorld Urban" DLR، SUMO به شبیه‌ساز راننده DLR متصل شده است، که اجازه می‌دهد به طور ازمایشی 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.

# منابع

1. M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz, “SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview,” in SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation, 2011.
2. DLR and contributors, SUMO Homepage [Online], http://sumo.sourceforge.net/, accessed July 03, 2012.
3. PTV AG, Vissim homepage [Online], http://www.ptvvision.com/en-uk/products/vision-traffic-suite/ptvvissim/overview/, accessed July 03, 2012.
4. OpenDRIVE consortium, OpenDRIVE homepage [Online], http://www.opendrive.org/, accessed July 03, 2012.
5. PTV AG, VISUM homepage [Online], http://www.ptvvision.com/de/produkte/vision-traffic-suite/ptv-visum/, accessed July 03, 2012.
6. MATSim homepage [Online], http://www.matsim.org/, accessed July 03, 2012.
7. OpenStreetMap homepage [Online], http://www.openstreetmap.org/, accessed July 03, 2012.
8. D. Krajzewicz, G. Hertkorn, J. Ringel, and P. Wagner, “Preparation of Digital Maps for Traffic Simulation; Part 1: Approach and Algorithms,” in Proceedings of the 3rd Industrial Simulation Conference 2005, pp. 285–290. EUROSIS-ETI. 3rd Industrial Simulation Conference 2005, Berlin (Germany). ISBN 90-77381-18-X.
9. L. G. Papaleondiou and M. D. Dikaiakos, “TrafficModeler: A Graphical Tool for Programming Microscopic Traffic Simulators through High-Level Abstractions,” in Proceedings of the 69th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2009, Spain, 2009.
10. S. Krauß, “Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics,” PhD thesis, 1998.
11. E. Brockfeld, R. Kühne, and P. Wagner, “Calibration and Validation of Microscopic Traffic Flow Models,” in Transportation Research Board [ed.]: TRB 2004 Annual Meeting, pp. 62–70, TRB Annual Meeting, Washington, DC (USA) 2004.
12. E. Brockfeld and P. Wagner, “Testing and Benchmarking of Microscopic Traffic Flow Models,” in Proceedings of the 10th World Conference on Transport Research, pp. 775-776, WCTR04 - 10th World Conference on Transport Research, Istanbul (Turkey) 2004.
13. E. Brockfeld, R. Kühne, and P. Wagner, “Calibration and Validation of Microscopic Traffic Flow Models,”

Transportation Research Records, 1934, pp. 179–187, 2005.

1. M. Treiber and D. Helbing, “Realistische Mikrosimulation von Strassenverkehr mit einem einfachen Modell,” Symposium Simulationstechnik (ASIM), 2002.
2. B. Kerner, S. Klenov, and A. Brakemeier, “Testbed for wireless vehicle communication: A simulation approach based on three-phase traffic theory,” in Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV’08), pp. 180–185, 2008.
3. R. Wiedemann, „Simulation des Straßenverkehrsflußes,“ in Heft 8 der Schriftenreihe des IfV, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, 1974.
4. D. Krajzewicz, “Traffic Simulation with SUMO - Simulation of Urban Mobility,” in J. Barceló, “Fundamentals of Traffic Simulation,” International Series in Operations Research and Management Science. Springer, pp. 269–294, ISBN 978-14419-6141-9. ISSN 0884-8289, 2010.
5. A. Wegener, M. Piórkowski, M. Raya, H. Hellbrück, S. Fischer, and J.-P. Hubaux, “TraCI: An Interface for Coupling Road Traffic and Network Simulators,” in Proceedings of the 11th communications and networking simulation symposium, 2008.
6. Politecnico di Torino, TraCI4J Homepage [Online], http://sourceforge.net/apps/mediawiki/traci4j/index.php?title= Main\_Page, accessed July 09, 2012.
7. C. Sommer, Z. Yao, R. German, and F. Dressler, “On the need for bidirectional coupling of road traffic microsimulation and network simulation,” in Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models, pp. 41–48, 2008.
8. ns3 Homepage [Online], http://www.nsnam.org/, accessed January 26, 2011.
9. M. Piórkowski, M. Raya, A. Lugo, P. Papadimitratos, M. Grossglauser, and J.-P. Hubaux, “TraNS: Realistic Joint Traffic and Network Simulator for VANETs,” ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications

Review, pp. 31-33, 2008.

1. iTETRIS Homepage [Online], http://www.ict-itetris.eu/10-1010-community/, accessed July 09, 2012.
2. OMNET++ Homepage [Online], http://www.omnetpp.org/, accessed July 09, 2012.
3. D. Rieck, B. Schuenemann, I. Radusch, and C. Meinel, “Efficient Traffic Simulator Coupling in a Distributed V2X Simulation Environment,” in SIMUTools '10: Proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, Torremolinos, Malaga, Spain, 2010. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), ICST, Brussels, Belgium, pp. 1-9, ISBN: 978-963-9799-87-5.
4. D. Borsetti and J. Gozalvez, “Infrastructure-Assisted GeoRouting for Cooperative Vehicular Networks,” in Proceedings of the 2nd IEEE (\*) Vehicular Networking Conference (VNC 2010), 2010, New Jersey (USA).
5. M. A. Leal, M. Röckl, B. Kloiber, F. de Ponte-Müller, and T. Strang, “Information-Centric Opportunistic Data Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks,” in International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010, Madeira Island (Portugal).
6. E. Cascetta, A. Nuzzolo, F. Russo, and A. Vitetta, “A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems,” in Transportation and traffic theory: Proceedings of the 13th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. Pergamon Press, Lyon, France, 1996.
7. C. Gawron, “Simulation-based traffic assignment – computing user equilibria in large street networks,” Ph.D. Dissertation, University of Köln, Germany, 1998
8. M. Behrisch, D. Krajzewicz, and Y.-P. Wang, “Comparing performance and quality of traffic assignment techniques for microscopic road traffic simulations,” in Proceedings of DTA2008. DTA2008 International Symposium on Dynamic Traffic Assignment, Leuven (Belgien), 2008.
9. M. Behrisch, D. Krajzewicz, P. Wagner, and Y.-P. Wang, “Comparison of Methods for Increasing the Performance of a DUA Computation,” in Proceedings of DTA2008. DTA2008 International Symposium on Dynamic Traffic Assignment, Leuven (Belgien), 2008.
10. R.-P. Schäfer, “IQ routes and HD traffic: technology insights about tomtom's time-dynamic navigation concept,” in Proceedings of the the 7th joint meeting of the European software engineering conference and the ACM SIGSOFT symposium on The foundations of software engineering (ESEC/FSE '09). ACM, New York, NY, USA, 171-172. DOI=10.1145/1595696.1595698, 2009.
11. D. Krajzewicz, D. Teta Boyom, and P. Wagner, “Evaluation of the Performance of city-wide, autonomous Route Choice based on Vehicle-to-vehicle-Communictaion,” TRB 2008 (87. Annual Meeting), 2008, Washington DC, USA.
12. D. Krajzewicz, E. Brockfeld, J. Mikat, J. Ringel, C. Rössel, W. Tuchscheerer, P. Wagner, and R. Woesler, “Simulation of modern Traffic Lights Control Systems using the open source Traffic Simulation SUMO,” in Proceedings of the 3rd

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

1. L. Bieker, “Emergency Vehicle prioritization using Vehicleto-Infrastructure Communication,” Young Researchers Seminar 2011 (YRS2011), 2011, Copenhagen, Denmark.
2. D. Greenwood, B. Burdiliak, I. Trencansky, H. Armbruster, and C. Dannegger, “GreenWave distributed traffic intersection control,” in Proceedings of The 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 2, pp. 1413–1414, 2009.
3. O. H. Minoarivelo, “Application of Markov Decision Processes to the Control of a Traffic Intersection,” postgraduate diploma, University of Barcelona, 2009
4. J. Kerekes, M. Presnar, K. Fourspring, Z. Ninkov, D. Pogorzala, A. Raisanen, A. Rice, J. Vasquez, J. Patel, R. MacIntyre, and S. Brown, “Sensor Modeling and Demonstration of a Multi-object Spectrometer for Performance-driven Sensing,” in Proceedings of Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XV, SPIE Vol. 7334, Defense and Security Symposium, Orlando, Florida, 2009, DOI: 10.1117/12.819265.
5. L. Bieker and D. Krajzewicz, “Evaluation of opening Bus Lanes for private Traffic triggered via V2X Communication,” (FISTS 2011), 2011, Vienna, Austria.
6. R. Nota, R. Barelds, and D. van Maercke, “Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning,” Technical Report Deliverable 18,

HARMONOISE, 2005.

1. INFRAS. HBEFA web site [Online], http://www.hbefa.net/, accessed July 09, 2012.
2. D. Krajzewicz, L. Bieker, E. Brockfeld, R. Nippold, and J.

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

1. R. Cyganski and A. Justen, “Maßnahmensensitive Nachfragemodellierung in mikroskopischen Personenverkehrsmodellen,“ Deutsche Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft, Schriftenreihe B, 2007.
2. G. Hertkorn and P. Wagner, “Travel demand modelling based on time use data,” in 10th International conference on Travel Behaviour Research, August 2004.