

بکارگیری الگوریتم‌های تطبیق نقشه به منظور استخراج اطلاعات ترافیکی از

خطوط سیر حاصل از GPS با نرخ نمونه‌برداری پایین

وحید شکری، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

رحیم علی‌عباسپور (مسئول مکاتبات)، استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

E-mail: abaspour@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

از میان روش‌های مختلف جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی، GPS به علت هزینه پایین‌تر، دسترسی و فراوانی بیشتر، از محبوبیت خاصی برخوردار است. عامل اصلی اطمینان از پارامترهای ترافیکی محاسبه‌شده از خطوط سیر GPS، اطلاع از مکان صحیح خودرو بر روی قطعات جاده است. این عمل کلیدی توسط الگوریتم‌های تطبیق نقشه صورت می‌گیرد. درصد بالایی از خطوط سیر GPS تولید شده از GPS تلفن همراه، خودروهای مجهز به GPS، ناوگان حمل‌ونقل عمومی و شبکه‌های اجتماعی با نرخ نمونه‌برداری پایین دو تا شش دقیقه تولید می‌شوند. بنابراین تعیین یک الگوریتم تطبیق نقشه مناسب برای کاهش خطای داده‌های مذکور ضروری بنظر می‌رسد. در این مقاله هدف، معرفی، مقایسه و تحلیل نتایج تطبیق داده‌های خطوط سیر GPS با دو الگوریتم ST-matching و IVMM برای داده‌های با نرخ پایین و سپس تهیه نقشه سرعت ترافیکی از داده‌های تطبیق شده است. از ویژگی‌های بارز الگوریتم ST-matching در نظر گرفتن همزمان توپولوژی و ویژگی‌های مکانی ویژگی زمانی است. در روش IVMM نه تنها از اطلاعات مکانی و زمانی بلکه از یک استراتژی رأی مینا به منظور مدل‌کردن وزن تأثیرات متقابل بین نقاط GPS بهره‌گرفته می‌شود. به منظور تست و ارزیابی این دو الگوریتم از داده‌های ناوگان حمل‌ونقل عمومی اتوبوس‌رانی شهر تهران با نرخ نمونه‌برداری دو دقیقه استفاده شده است. الگوریتم ST-matching برای تطبیق هر نقطه نمونه برداری فقط یک نقطه قبل از آن را در نظر می‌گیرد و برای نقطه اول نقطه ماقبل وجود ندارد. بنابراین الگوریتم به نقطه شروع وابستگی زیادی دارد. الگوریتم IVMM با مدل‌سازی تأثیرات متقابل نقاط نمونه‌برداری نتایج مؤثرتر و مستحکم‌تری را ارائه می‌دهد. تابع وزن فاصله نقش مهمی در الگوریتم IVMM ایفا می‌کند. با افزایش مقدار پارامتر بتا در این تابع دقت تطبیق نقشه نیز افزایش می‌یابد. دقت به دست آمده از روش IVMM مقدار 88% و روش ST-matching مقدار 73% است. نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد الگوریتم IVMM در مقایسه با ST-matching به طور قابل توجهی بهتر عمل می‌نماید. هم چنین در مواجهه با گردش‌های U شکل IVMM نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اطلاعات ترافیکی، تطبیق نقشه، خطوط سیر GPS، IVMM، ST-matching.

1. مقدمه

سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند تبدیل شده است. با ظهور داده‌های بزرگ، نیاز به استفاده از سیستم اطلاعات مکانی برای حمل‌ونقل نیز به طرز چشمگیری افزایش یافته است. علاوه بر اطلاعات ترافیک، الگوهای تحرک انسان‌ها، تجربیات راننده و عوامل دیگر می‌تواند با تحلیل خطوط سیر GPS به دست آید.

از آنجاکه اکثر دستگاه‌های GPS مورد اشاره دقت پایینی داشته و با توجه به نرخ نمونه‌برداری پایین در حد دو دقیقه و همچنین DOP^۵ پائین (به‌خصوص در مناطق شهری، بلوک ساختمان‌های بلند به‌طور جدی سیگنال GPS و در نتیجه دقت تعیین موقعیت را تحت الشعاع قرار می‌دهد) داده‌های خام به‌دست آمده، معمولاً شامل نقاط نمونه ناکافی خطا دار است [Yuan et al.

2010] بنا بر گزارش USFAA (مدیریت فدرال هوانوردی ایالات متحده) در مورد تجزیه و تحلیل عملکرد در سال ۲۰۱۴ خطای منتشر شده عمودی حدود ۴/۶ متر و افقی ۳/۳ متر در سطح اطمینان ۹۵٪ مربوط به گیرنده‌های GPS با کیفیت بالا است. باین حال، در دنیای واقعی، بسیاری از عوامل غیرقابل کنترل مانند شرایط جوی، کیفیت گیرنده و آسمان خراشها، می‌توانند دقت واقعی GPS را تحت تأثیر می‌گذارد [Li, Kulik and

Ramamohanaro, 2015] طبق نقشه روند هماهنگی و تطبیق مجموعه‌ای از موقعیت‌های مشاهده شده توسط کاربر با شبکه جاده بر روی یک نقشه دیجیتال است. اکثر الگوریتم‌های تطبیق نقشه بر مبنای مجموعه داده‌های خطوط سیر با نرخ بالا هستند. از آنجاکه اخذ و نگهداری داده‌های با نرخ بالا نیازمند فضای ذخیره‌سازی و انرژی مصرفی بیشتر است، کاربران معمولاً در برداشت داده‌های GPS، فرکانس نمونه‌برداری را کاهش می‌دهند و در نتیجه مجموعه داده‌های بسیاری با نرخ پایین تولید می‌شود. [Wang et al. 2014]. با توجه به گسترش کاربردها و قابلیت‌های تلفن‌های هوشمند مجهز به GPS و تجهیز ناوگان حمل‌ونقل عمومی از جمله اتوبوس‌ها به GPS، در عمل داده‌های خطوط سیر GPS با نرخ پایین (تقریباً یک نقطه در هر ۲ تا ۵

جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی به‌منظور تحلیل و پیش‌بینی ترافیک امری مهم در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است. روشهای زیادی برای جمع‌آوری اطلاعات از جمله دوربین‌های کنترل ترافیک، حسگرهای کنار جاده، دستگاه‌های GPS^۱ و شتاب‌سنج در وسایل نقلیه و چراغ‌های راهنمایی وجود دارد [Aung and Naing, 2014] در چند دهه گذشته، تلاش‌های زیادی به‌منظور یافتن روشی دقیق، کارآمد و ارزان برای نظارت مستقیم بر ترافیک شهری صورت گرفته است. روش‌های سنتی بر سنجش نفوذی^۲ تکیه می‌کنند و اساساً شامل یک دستگاه ثبت داده و حسگر هستند که بر روی جاده نصب می‌شوند [Leduc, 2008]. برای مثال می‌توان به حلقه مغناطیسی آشکارسازها و یا دوربین‌های ترافیک در کنار جاده‌ها که به‌طور فعال مراجع ترافیک را تشخیص می‌دهند، اشاره داشت. نصب و استقرار چنین دستگاه‌هایی هزینه‌های نگهداری هنگفتی دارد و تنها می‌تواند مشاهدات محدودی در موقعیت‌های پراکنده ارائه نماید. همچنین اندازه‌گیری سرعت نقطه‌ای خودرو در مکان‌های خاص نمی‌تواند به‌خوبی تأخیر سفر در طول کل معبر را نشان دهد و معرف نویزهای ناشی از ترافیک‌های سنگین باشد [Zhou, Jiang and Li, 2015]. دوربین‌ها و حسگرهای ثابت علاوه بر هزینه بالای نصب و نگهداری تنها برخی خیابان‌های اصلی را پوشش می‌دهند [Tao et al., 2012].

برای غلبه بر چنین اشکالاتی، در این تحقیق از GPS و کاوشگران ترافیک^۳ با هزینه پایین‌تر و دسترسی بیشتر برای به دست آوردن نقشه ترافیک استفاده می‌شود. خطوط سیر GPS^۴ از منابع مختلفی از جمله GPS تلفن همراه، خودروهای مجهز به GPS، ناوگان حمل‌ونقل عمومی و شبکه‌های اجتماعی تولید می‌شوند و به‌عنوان منبع غنی اطلاعات ترافیکی به شمار می‌روند [Aung and Naing, 2014]. سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS به ابزاری مهم برای جمع‌آوری اطلاعات ترافیک بلادرنگ در حوزه

بکارگیری الگوریتم های تطبیق نقشه به منظور استخراج اطلاعات ترافیکی از خطوط سیر حاصل از GPS ...

تطبیق نقشه ارائه شده است که در سه گروه قرار می‌گیرند: الگوریتم‌هایی که از اطلاعات هندسی برای تعیین موقعیت استفاده می‌کنند، الگوریتم‌هایی که از روش‌های توپولوژیکی کمک می‌گیرند و الگوریتم‌هایی که از روش‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کنند [Syed and Cannon, 2004] (الگوریتم-های هندسی از جمله الگوریتم تطبیق نقطه با نقطه، تطبیق نقطه با منحنی و تطبیق منحنی با منحنی تنها از اطلاعات هندسی برای تطبیق نقشه استفاده می‌کنند. به‌طور کلی الگوریتم‌های هندسی تنها با توجه به شکل لینک‌های جاده عمل می‌کنند و اتصال بین شبکه را در نظر نمی‌گیرند و به دلیل حساسیت بالا به داده‌های پرت و خطاهای بارز، چندان مطلوب نیستند [Greenfield, 2002] . [Brakatsoulas et al. 2005] و نیاز به روش‌هایی است که عمل تطابق را با توجه به نقطه قبلی و داده‌های ثبت شده GPS مانند زمان و هم‌چنین توجه بیشتر به داده‌های نقشه در دسترس انجام دهند. الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های توپولوژیکی با استفاده از هندسه، اتصال و مجاورت لینک‌ها، مبادرت به تطبیق نقشه می‌کنند [Greenfield, 2002] ; [Quddus et al. 2007] و گروه سوم از روش‌هایی دیگری و ترکیب روش‌ها و اطلاعات جانبی GPS مانند سرعت، جهت حرکت استفاده می‌کنند و معمولاً نیازمند زمان بیشتری هستند. برای نمونه از الگوریتم‌های مورد استفاده در این روش می‌توان به الگوریتم‌های مبتنی بر روش‌های یادگیری ماشین مبتنی بر منطق فازی و کالمن فیلتر اشاره نمود [Syed and Cannon, 2001] [Kim and Kim, 2001] [Cannon, 2004] الگوریتم‌های تطبیق نقشه از جنبه‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند برای نمونه بر مبنای نرخ نمونه‌برداری (تراکم داده‌های نمونه‌برداری) الگوریتم‌های موجود به دو دسته روش‌های نرخ نمونه‌برداری متراکم و پایین تقسیم می‌شوند. اکثر الگوریتم‌های عمومی^۶ زمانی که فواصل زمانی نمونه‌برداری بیش از ۱۲۰ ثانیه باشد با کاهش دقت زیادی تا حدود ۵۰٪ روبرو می‌شوند [Yin and Wolfson, 2004].

دقیقه) بسیاری وجود دارد که می‌تواند به‌عنوان منابع داده‌های اطلاعات ترافیکی مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

ناوگان حمل‌ونقل عمومی شهر تهران تعدادی از اتوبوس‌های خطوط عمومی و اتوبوس‌های سامانه تندرو را توسط شرکت کنترل ترافیک مجهز به سیستم GPS نموده است (تهران ۱۳۹۱). بنابراین در این مقاله منطقه مورد مطالعه شامل مناطق ۱ تا ۴ شهرداری است. این مناطق دارای خصوصیتی همچون وسعت بالا و شبکه معابر غنی و متنوع است. داده‌های خطوط سیر توسط GPS اتوبوس‌های هشت خط از این مناطق اخذ شده است که به‌صورت چهار خط رفت و برگشت است. این داده‌ها شامل محدوده مناطق ۱ تا ۴ شهرداری، شبکه معابر، خطوط اتوبوس‌رانی و داده‌های مربوط به خطوط سیر GPS هشت خط اتوبوس با نرخ نمونه‌برداری پایین (دو دقیقه‌ای) و جداول پایگاه داده است. مراحل آماده‌سازی داده، تشکیل شبکه راه (یالها و گره‌ها)، تشکیل جداول توپولوژی و پیاده‌سازی الگوریتم در پایگاه داده PostgreSQL مجهز به افزونه PostGIS و به زبان PL/pgSQL برنامه‌نویسی و محاسبات ماتریسی در نرم‌افزار MATLAB برنامه‌نویسی شده است.

هدف در این مقاله تطبیق داده‌های خطوط سیر GPS با الگوریتم ST-matching و IVVM و مقایسه نتایج حاصل از آن‌ها و سپس تهیه نقشه سرعت ترافیک از داده‌های تطبیق شده است. در این راستا ابتدا در بخش دوم مروری بر مطالعات پیشین، و در بخش روش‌شناسی تحقیق مبانی نظری الگوریتم‌های ST-matching و IVVM، شرح داده می‌شود. در بخش چهارم نتایج بیان می‌گردد و در بخش پنجم به بحث و نتیجه‌گیری در مورد نتایج حاصل از پیاده‌سازی پرداخته می‌شود.

۲. پیشینه پژوهش

در این بخش ضمن مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه، یک تقسیم‌بندی از آن‌ها ارائه می‌شود. الگوریتم‌های متعددی برای

کار گرفته شد، اما برخلاف روش شباهت مکانی در الگوریتم مارشال، لی و هوانگ از درجه تشابه هندسی بین خطوط سیر و مسیرهای نامزد استفاده کردند [Li and Huang, 2010].

براکاتسولاس و همکاران از فاصله فرشه برای اندازه‌گیری تشابه مکانی و پس از آن اجرای یک استراتژی جستجوی افزایشی برای بازیابی مسیرهای همسان استفاده کردند [Brakatsoulas et al. 2005]. علاوه بر فاصله، که به‌عنوان یکی از پارامترهای اصلی تطبیق به کار می‌رود، از پارامترهای دیگری نیز در تحقیقات گذشته استفاده شده است، برای مثال وو و همکاران از فاصله و جهت بردار دو نقطه مسیر همسایه برای مطابقت خطوط سیر بر روی بخش جاده استفاده نمودند [Wu et al. 2007].

نیوسان و کروم یک روش تطبیق نقشه بر مبنای مدل مارکوف پنهان (HMM) معرفی کردند که در آن، فاصله نقاط همسایه مسیر و توپولوژی از قطعات متناظر کاندید جاده خود به‌عنوان پارامتر تطبیق نقشه‌های برای جستجو زیرمسیرهای همسان و تعیین مسیر همسان بهینه جهانی مورد استفاده قرار گرفته است [Newson and Krumm, 2009].

تاکنون اکثر پژوهش‌های تطبیق نقشه تنها با داده‌های GPS با نمونه‌برداری نرخ بالا سروکار داشته و به‌کارگیری آن‌ها برای نمونه‌های داده با نرخ پایین موجب افزایش عدم قطعیت در داده و کاهش کارایی می‌گردد [Lou, Zhang and Zheng, 2009]. با کاهش نرخ نمونه‌برداری جزئیات بین نقاط نیز از دست می‌رود و موجب می‌گردد تا قطعات جاده تطبیق یافته گسسته شوند. بنابراین یک روش تطبیق نقشه دقیق متناسب برای چنین شرایطی مورد نیاز است [Yuan et al. 2010].

۳. روش شناسی تحقیق

۳-۱ مبانی نظری

قبل از ورود به معرفی الگوریتم پیشنهادی، لازم است تا برخی از پارامترهای مورد نیاز برای الگوریتم تشریح گردد که در این بخش به این امر مبادرت خواهد شد.

تطبیق نقشه یک پیش‌پردازش کلیدی در بسیاری از برنامه‌های مبتنی بر مکان مانند ناوبری خودرو، مدیریت ناوگان، سیستم حمل‌ونقل هوشمند، کاربردهای مدیریت ترافیک مانند پیشنهاد مسیر، نظارت بر ترافیک و تحلیل جریان ترافیک که نیازمند مجموعه داده‌های دقیق و کارای خطوط سیر مسیر خودرو هستند، به‌شمار می‌رود [Quddus, Rauschert et al. 2002].

2007; روش‌های تطبیق نقشه با بهره‌برداری از اطلاعات هندسی، توپولوژیکی و آماری و سایر ویژگی‌های داده‌ها و شبکه معابر از جمله سرعت و جهت، نتایج با دقت و قابلیت اطمینان بالاتری را نسبت به داده‌های خطوط سیر خام ارائه می‌دهد [Zheng et al. 2015].

در دهه گذشته الگوریتم‌های زیادی برای داده‌های نمونه‌برداری با نرخ بالا و مترکم ارائه شده‌اند. به‌منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی و محدود کردن حجم موردنیاز برای ذخیره داده‌ها اکثراً اقدام به کاهش فرکانس نمونه‌برداری داده‌ها می‌شود. در نتیجه دقت اطلاعات ترافیکی حاصل کاهش می‌یابد. به‌طور مثال زمانی که فواصل نمونه‌برداری ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر شود، خصوصاً در مناطقی که شبکه معابر مترکم باشد، تشخیص مسیر واقعی طی شده به‌وسیله خودرو بسیار مشکل خواهد بود [Miwa, Kiuchi and Yamomota, 2012].

مارشال و همکاران الگوریتمی برای داده‌های نمونه‌برداری با نرخ بالا با بهره‌گیری از اطلاعات ثبت شده GPS آفلاین ارائه دادند. آن‌ها از فاصله اقلیدسی به‌عنوان معیار شباهت بین نقاط نمونه-برداری و مسیر بهره‌گرفته‌اند و یک استراتژی ابتکاری برای جستجوی مسیرهای همسان ارائه داده‌اند و تنها از اطلاعات طول و عرض جغرافیایی با استفاده از روش تطبیق منحنی به منحنی استفاده نمودند [Marchal, Hackery and Axhausen].

در ادامه کار مارشال، یک الگوریتم بزرگ مقیاس، با فرکانس پایین توسط لی و هوانگ ارائه شده است. با فرکانس نمونه‌گیری پایین، یک خودرو ممکن است در طول فاصله نمونه‌گیری چندین قطعه از جاده را طی کند. بنابراین، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر برای تولید مسیرهای کاندید بین دو نقطه متوالی GPS به

بکارگیری الگوریتم های تطبیق نقشه به منظور استخراج اطلاعات ترافیکی از خطوط سیر حاصل از GPS ...

$$P: e_1 \rightarrow e_2 \rightarrow \dots \rightarrow e_n \quad (2)$$

$$e_1.start = V_i, e_n.end = V_j, e_k.end = e_{k+1}.start, 1 \leq k < n$$

بنا به تعاریف فوق، تطبیق نقشه به صورت زیر تعریف می شود:

- تطبیق نقشه خطوط سیر GPS خام T و شبکه جاده $G(V, E)$ موجود است و هدف یافتن مسیر P از شبکه G به نحوی که T با مسیر واقعی مطابق باشد.

۳-۲ الگوریتم Spatio-Temporal-matching

الگوریتم ST-matching از هر دو نوع اطلاعات هندسی و ساختار توپولوژیکی شبکه و محدودیت های سرعت و زمان خطوط سیر GPS بهره می گیرد. با ترکیب تحلیل های مکانی و زمانی و انتخاب یک گراف کاندیدا، الگوریتم ST-matching سعی دارد تا یک مسیر کلی با بالاترین رتبه را تشخیص دهد.

- GPS log شامل مجموعه ای از نقاط $L = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ که هر نقطه آن دارای طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و برچسب زمانی است.
- خطوط سیر GPS: T به صورت رابطه ۱ شامل مجموعه ای از نقاط متوالی GPS که بازه زمانی آن ها از یک آستانه مشخص ΔT تجاوز نکند.

$$T = p_1, p_2, \dots, p_n, p_i \in L$$

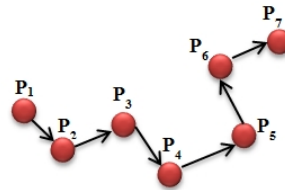
$$0 < p_{i+1}.t - p_i.t < \Delta T, (1 \leq i < n) \quad (1)$$

شکل ۱ نمونه ای از خطوط سیر GPS را نشان می دهد که در آن $\Delta T > 2 \text{ min}$ است.

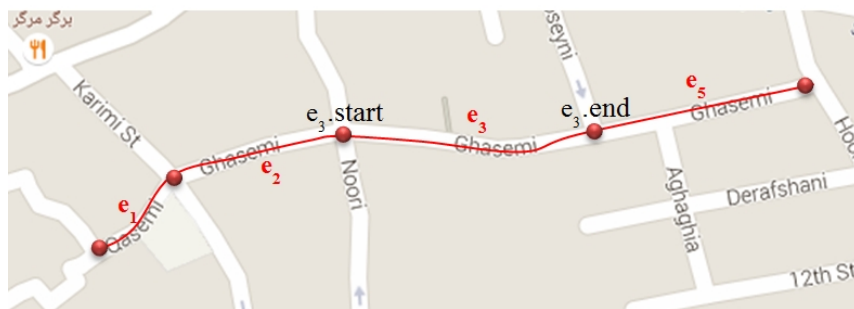
قطعه جاده: e مطابق شکل ۲ یک قسمت مستقیم از جاده که با شناسه مشخص $e.id$ ، سرعت متوسط $e.u$ با طول $e.l$ و نقطه شروع $e.start$ و نقطه پایان $e.end$ و لیست نقاطی که یک بخش از جاده را توصیف می کنند. یک جاده می تواند شامل چندین قطعه باشد.

مسیر: از دو رأس V_i, V_j در شبکه جاده G ، مسیر P مطابق رابطه ۲ شامل مجموعه پیوسته ای از قطعات جاده که با V_i شروع و به V_j ختم می شوند.

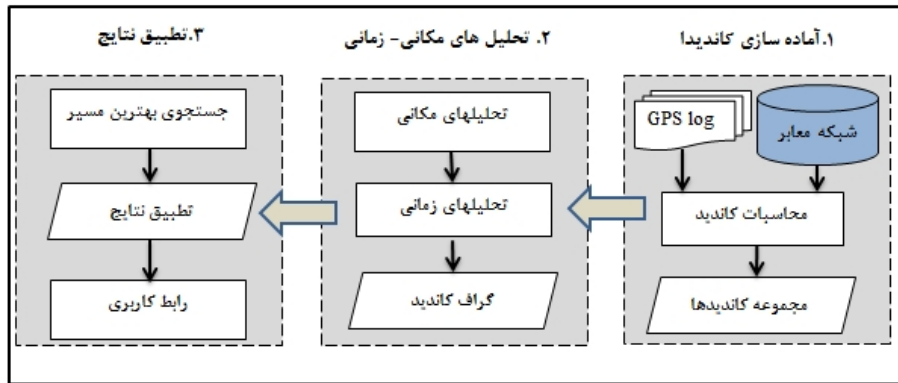
	Latitude	Longitude	Time
p1:	51.5266	35.7936	06:10:12
p2:	51.5179	35.7957	06:12:12
:			
pn:	51.4171	35.7911	06:36:12



شکل ۱. نمونه GPS log و خطوط سیر



شکل ۲. نمونه قطعه جاده



شکل ۳. ساختار الگوریتم ST-matching (Lou, Zhang et al. 2009)

که در آن X_j^i فاصله بین دو نقطه p_i و C_j^i است و توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۲۰ متر بر اساس ارزیابی های تجربی در نظر گرفته شده است.

پارامتر احتمال انتقال: دو نقطه کاندید C_{i-1}^t و C_i^s ب به ترتیب برای دو نقطه همسایه نقطه نمونه برداری P_{i-1} و P_i احتمال انتقال از نقطه C_{i-1}^t به C_i^s ب به صورت شباهت مسیر واقعی از نقطه P_{i-1} به P_i با کوتاه ترین مسیر C_{i-1}^t به C_i^s به صورت رابطه ۴ تعریف می شود:

$$V(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s) = \frac{d_{i-1 \rightarrow i}}{w(i-1, t) \rightarrow (i, s)} \quad (4)$$

که در آن $d_{i-1 \rightarrow i}$ فاصله اقلیدسی بین دو نقطه P_i و P_{i-1} و $w(i-1, t) \rightarrow (i, s)$ طول کوتاه ترین مسیر از C_{i-1}^t به C_i^s است. با ترکیب رابطه ۳ و ۴ تابع تحلیل مکانی به صورت رابطه ۵ به دست می آید.

$$F_s(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s) = N(c_i^s) * V(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s), 2 \leq i \leq n \quad (5)$$

کوتاه ترین مسیرها از C_{i-1}^t به C_i^s به صورت لیستی از قطعات جاده $[e'_1, e'_2, \dots, e'_k]$ هستند در تحلیل زمانی سرعت متوسط کوتاه ترین مسیر از رابطه ۶ محاسبه می گردد:

شکل ۳ ساختار کلی الگوریتم ST-matching را نشان می دهد. در مرحله اول اطلاعات GPS و شبکه معابر وارد پایگاه داده گردیده و نقاط کاندید تعیین می گردند. در مرحله دوم با بهره گیری از تحلیل های مکانی شامل کوتاه ترین مسیر و اطلاعات توپولوژیکی شبکه معابر و تحلیل های زمانی شامل محاسبه سرعت متوسط، گراف کاندید انتخاب می گردد. نقاط این گراف شامل مجموعه نقاط کاندید برای هر مشاهده GPS و یال های آن شامل مجموعه کوتاه ترین مسیرها بین دو نقطه کاندید همسایه است. بر اساس نتایج تحلیل های مکانی و زمانی به نقاط و یال های گراف وزنی اختصاص می یابد. در مرحله سوم گراف کاندید با وزنه ای اختصاص یافته ارزیابی می گردد. سپس خطوط سیر GPS با مسیری که دارای بالاترین وزن در گراف کاندید است، تطبیق می یابد. در این روش میزان شباهت نقطه نمونه برداری GPS P_i با نقطه کاندید C_j^i است که بر اساس فاصله بین این دو نقطه مطابق رابطه ۳ محاسبه می گردد. در واقع، میزان خطای اندازه گیری GPS از طریق توزیع نرمال فاصله بین این دو نقطه محاسبه گردد.

$$N(c_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{(x_j^i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

بکارگیری الگوریتم های تطبیق نقشه به منظور استخراج اطلاعات ترافیکی از خطوط سیر حاصل از GPS ...

است. هدف تعیین مسیر با بالاترین رتبه کلی است که مطابق ترین مسیر با خطوط سیر GPS است و از رابطه ۹ به دست می-آید [Lou, Zhang and Zheng, 2009]:

$$P = \arg \max_{P_c} F(P_c), \forall P_c \in G'_T(V'_T, E'_T) \quad (9)$$

$$F(P_c) = \sum_{i=2}^n F(c_{i-1}^s \rightarrow c_i^s)$$

۴. الگوریتم Interactive Voting Map Matching (IVMM)

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می گردد، در مرحله اول الگوریتم IVMM با انجام یک پرس و جوی وسیع، قطعات جاده کاندید (CRS) و نقاط کاندید (CP) برای هر نقطه نمونه برداری انتخاب می شوند، سپس در مرحله دوم، با انجام تحلیل های مکانی و زمانی گراف کاندید ساخته می شود. در مرحله بعد بر مبنای گراف کاندید ماتریس رتبه استاتیک ساخته می شود. تاثیرات متقابل با به کارگیری ماتریس رتبه وزن دار که به صورت پویا ایجاد می شود، مدل سازی خواهد شد. در آخرین مرحله بر اساس ماتریس رتبه وزن دار، تمام نقاط کاندید به صورت موازی برای بهترین تطبیق مسیر تحت رای گیری قرار می گیرند. سپس با توجه به نتیجه رای گیری یک مسیر بهینه انتخاب می گردد.

$$\bar{v}_{(i-1,t) \rightarrow (i,s)} = \frac{\sum_{u=1}^k l_u}{\Delta t_{i-1 \rightarrow i}} \quad (6)$$

در آن، $l_u = e'_u \cdot l$ طول e'_u و $\Delta t_{i-1 \rightarrow i} = p_i \cdot t - p_{i-1} \cdot t$ بازه زمانی بین دو نقطه نمونه برداری p_i و p_{i-1} است. بنابراین هر قطعه e'_u متناسب با یک مقدار سرعت $e'_u \cdot v$ است. با به کارگیری فاصله کسینوسی میزان شباهت سرعت متوسط واقعی و محدودیت سرعت مسیر از c_{i-1}^t به c_i^s به دست می آید. تابع تحلیل زمانی از ضرب دو بردار طبق رابطه ۷ محاسبه می شود:

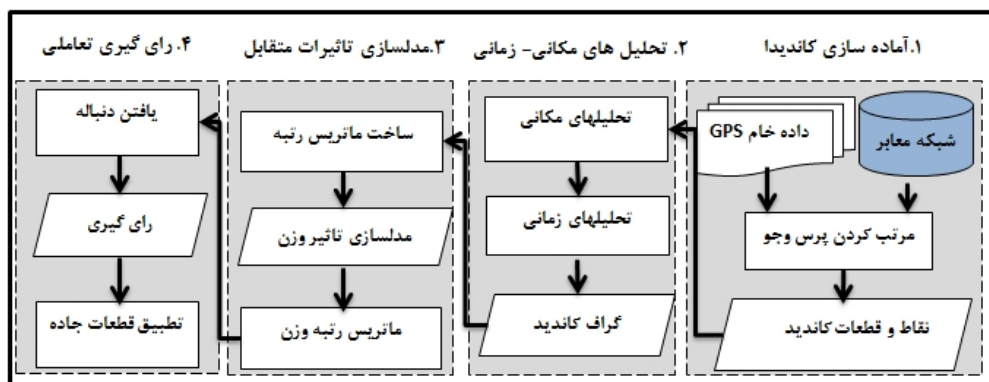
$$F_t(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s) = \frac{\sum_{u=1}^k (e'_u \cdot v \times \bar{v}_{(i-1,t) \rightarrow (i,s)})}{\sqrt{\sum_{u=1}^k (e'_u \cdot v)^2} \times \sqrt{\sum_{u=1}^k \bar{v}_{(i-1,t) \rightarrow (i,s)}^2}} \quad (7)$$

گراف کاندید $G'_T(V'_T, E'_T)$ برای خطوط سیر $T: p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow \dots \rightarrow p_n, V'_T$ مجموعه ای از نقاط کاندید برای هر نقطه نمونه برداری و E'_T مجموعه یال های بیانگر کوتاه ترین مسیر بین هر دو نقطه همسایه کاندید است.

$$F(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s) = F_s(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s) \times F_t(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s), \quad (8)$$

$$(2 \leq i \leq n)$$

مسیر کاندید P_c برای کل خطوط سیر T شامل مسیری در گراف کاندید به صورت $P_c: c_{c_1}^{s_1} \rightarrow c_{c_2}^{s_2} \rightarrow \dots \rightarrow c_{c_n}^{s_n}$



شکل ۴. ساختار الگوریتم IVMM (Yuan, Zheng et al. 2010)

$$W_i = \text{diag}\{W_i^{(1)}, W_i^{(2)}, W_i^{(3)}, \dots, W_i^{(i-1)}, W_i^{(i+1)}, \dots, W_i^{(n)}\} \quad (11)$$

$$W_i = \{w_i^{(2)}, w_i^{(3)}, \dots, w_i^{(n)}\}$$

$$w_i^{(j)} = f(\text{dist}(p_i, p_j)), j = 1, 2, \dots, n$$

فاصله $\text{dist}(p_i, p_j)$ فاصله اقلیدسی بین دو نقطه و f تابع وزن فاصله است که بیانگر تاثیر دو نقطه روی یکدیگر است. بر مبنای ماتریس M ماتریس Φ_i به صورت رابطه ۱۲ تعریف می‌شود.

$$\Phi_i = W_i M = \text{diag}\{\Phi_i^{(2)}, \Phi_i^{(3)}, \dots, \Phi_i^{(n)}\} \quad (12)$$

برای هر نقطه نمونه برداری p_i ماتریس Φ_i از درجه $n-1$ بیانگر شباهت بین قطعات جاده کاندید و مسیر واقعی است. فرآیند ضرب دو ماتریس تضمین می‌کند که اگر دو نقطه نمونه برداری فاصله یکسان تا نقطه سوم داشته باشند، تاثیراتشان نیز یکسان خواهد بود.

۳-۳-۲ رأی‌گیری تعاملی

تأثیر نقاط نمونه برداری متقابل است. زمانی که یک نقطه به نقاط دیگر نسبت داده می‌شود، تمامی نقاط نیز توسط خود آن نقطه نسبت داده می‌شوند. با در نظر گرفتن تعامل بین نقاط کاندید در این روش، الگوریتم رأی‌گیری برای انتخاب کاندید به کار گرفته می‌شود. برای هر نقطه نمونه برداری p_i ماتریس رتبه وزن دار ایجاد می‌شود. برای هر نقطه کاندید C_i^k به دنبال یافتن مسیر بهینه P است به نحوی که از C_i^k عبور کند و از ماتریس رتبه وزن دار Φ_i استفاده نماید. پس از آن C_i^k برای تمامی نقاط کاندید در مسیر P رأی‌گیری می‌نماید. از آنجاکه فرآیند رأی‌گیری برای هر نقطه نمونه برداری مستقل است، می‌تواند به صورت موازی انجام شود. برای هر نقطه کاندید فرآیند یافتن دنباله عبارتست از یافتن مسیر به نحوی که با عبور از نقاط کاندید که بیشترین مجموع رتبه وزن دار را داشته باشد [Yuan et al. 2010]

مجموعه قطعات کاندید CRS_i برای هر نقطه نمونه برداری p_i شامل تمام قطعات جاده در دایره با شعاع r با احتساب فاصله اقلیدسی می‌باشد. اگر تصویر نقطه نمونه برداری بر روی قطعه جاده بین نقطه پایانی اش باشد، تصویر هندسی به عنوان نقطه کاندید انتخاب می‌شود، در غیر این صورت نقطه پایانی که به نقطه نمونه برداری نزدیک تر باشد، انتخاب می‌گردد. پس از این مرحله، همانند الگوریتم ST-matching تحلیل مکانی و زمانی صورت می‌گیرد و نهایتاً گراف کاندید ایجاد می‌شود.

۳-۳-۱ مدل‌سازی تاثیرات متقابل

مرحله بعدی مدل‌سازی تاثیرات متقابل است که خود شامل دو مرحله ساخت ماتریس رتبه استاتیک و مدل‌سازی تأثیر وزن دار به شرح ذیل است.

۳-۳-۱-۱ ساخت ماتریس رتبه استاتیک

بر اساس گراف کاندید ساخته شده در مرحله قبل ماتریس رتبه استاتیک به صورت رابطه ۱۰ ایجاد می‌شود.

$$M = \text{diag}\{M^{(2)}, M^{(3)}, \dots, M^{(n)}\} \quad (10)$$

$$M^{(i)} = (m_{ts}^{(i)})_{a_{i-1} \times a_i} = (F(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s))_{a_{i-1} \times a_i}$$

هر عضو از این ماتریس بیانگر احتمال این است که نقطه کاندید تنها با در نظر گرفتن دو نقطه متوالی به درستی تصویر شده باشد که این امر نشان دهنده تاثیرات متقابل کلیه نقاط ناست.

۳-۳-۱-۲ مدل‌سازی تأثیر وزن دار

به منظور مدل‌سازی تأثیر وزن نقاط کاندید ماتریس وزن فاصله W_i مطابق رابطه ۱۱ با بعد $n-1$ برای هر نقطه p_i تشکیل می‌شود. این ماتریس قطری وزن تأثیر همه نقاط متناسب با فاصله بر نقطه p_i بیان می‌کند.

۴. نتایج

$F(c_{i-1}^t \rightarrow c_i^s)$ از نقاط کاندید نقطه نمونه برداری ۱ به ۲ و

۲ به ۳ از طریق رابطه ۸ دست آمد. برای یافتن دنباله تطبیق شده نهایی جدول ۱ نیمه تمام را در نظر بگیرید؛ از آنجاکه نقطه ای قبل از نقطه اول وجود ندارد، برای نقاط منتخب نقطه GPS شماره ۱ مقادیر $f[c_j^i]$ برابر با N هریک از آن ها لحاظ می شود.

در ادامه برای محاسبه هر یک از $f[c_j^i]$ مقادیر $f[c_{j-1}^i]$ مبنای محاسبات قرار می گیرد. به عنوان مثال برای محاسبه مقدار

$f[c_2^1]$ به صورت زیر عمل می شود:

$$f[c_2^1] = \max \{ f[c_1^1] + F(c_1^1 \rightarrow c_2^1), f[c_1^2] + F(c_1^2 \rightarrow c_2^1), f[c_1^3] + F(c_1^3 \rightarrow c_2^1), \\ f[c_1^4] + F(c_1^4 \rightarrow c_2^1), f[c_1^5] + F(c_1^5 \rightarrow c_2^1) \} = \max \{ 0.023015, 0.008710, \\ 0.0002082, 0.000861, 0.000813 \} = 0.023015$$

به منظور مدل سازی تأثیرات متقابل ابتدا بر مبنای رابطه ۱۰ ماتریس M ساخته شد. در مرحله بعد وزن تأثیر همه نقاط متناسب با فاصله بر هر نقطه نمونه برداری به واسطه مقادیر تابع وزن فاصله f ماتریس Φ_i از رابطه ۱۲ به دست آمد.

محاسبه بیشترین رتبه $f[c_j^i]$ و تعیین دنباله نقاط تطبیق شده نهایی برای سه نقطه متوالی از خطوط سیر GPS به عنوان نمونه در روش ST-matching تشریح می گردد. در ابتدا بر اساس استراتژی گفته شده در بالا و با انتخاب دایره به شعاع ۱۰۰ متر، برای هر یک از نقاط نمونه برداری GPS با شماره های ۱ و ۲ و ۳ نقطه ای منتخب شد ($k=5$) و بر مبنای رابطه ۳ برای هر یک از نقاط مقادیر N_j^i به محاسبه گردید. در مرحله بعد با استفاده از رابطه ۷ مقادیر شاخص مکانی F_s و شاخص زمانی F_t برای نقاط کاندید از c_{i-1}^t به c_i^s محاسبه گردید. مقادیر

پس از تکمیل مقادیر $f[c_j^i]$ به صورت جدول ۲ دنباله ای از نقاط منتخب با بیشترین مقدار $f[]$ به عنوان دنباله تطبیق شده نهایی مشخص می گردد یعنی c_1^1 ، c_2^4 ، c_3^5 . در روش IVMM ، پس از ساخت گراف کاندید همانند روش ST-matching

جدول ۱. مقادیر $f[c_j^i]$ برای سه نقطه نمونه برداری متوالی ۱ و ۲ و ۳

i,j	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	$i=5$
$j=1$	۰/۰۱۵۱۱۶	۰/۰۰۶۶۶۷	۰/۰۰۱۳۷۰	۰/۰۰۰۵۲۴	۰/۰۰۰۵۱۱
$j=2$					
$j=3$					

جدول ۲. مقادیر $f[c_j^i]$ برای سه نقطه نمونه برداری متوالی ۱ و ۲ و ۳

i,j	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	$i=5$
$j=1$	۰/۰۱۵۱۱۶	۰/۰۰۶۶۶۷	۰/۰۰۱۳۷۰	۰/۰۰۰۵۲۴	۰/۰۰۰۵۱۱
$j=2$	۰/۰۲۳۰۱۵	۰/۰۲۳۰۸۳	۰/۰۲۷۹۳۵	۰/۰۳۰۱۹۲	۰/۰۲۳۴۶۸
$j=3$	۰/۰۴۲۳۳۴	۰/۰۳۸۲۰۵	۰/۰۴۱۷۳۴	۰/۰۴۲۳۳۴	۰/۰۴۶۶۲۲

جدول ۳. مقادیر رأی و تابع f برای سه نقطه متوالی نمونه برداری ۱ و ۲ و ۳

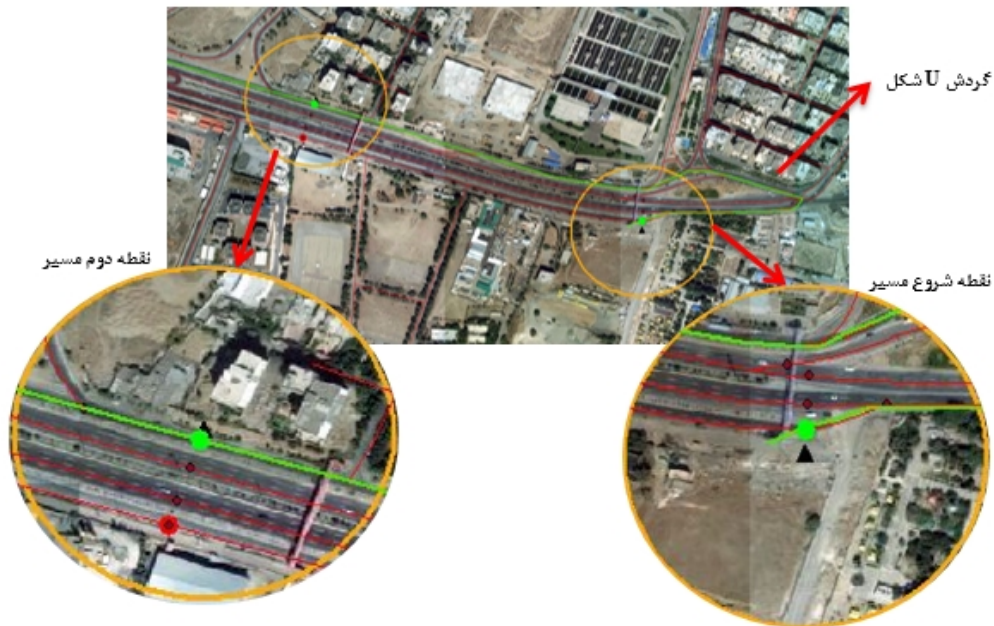
C_1^1	C_1^2	C_1^3	C_1^4	C_1^5	C_2^1	C_2^2	C_2^3	C_2^4	C_2^5	C_3^1	C_3^2	C_3^3	C_3^4	C_3^5	نقاط کاندید
68	2	1	1	1	2	68	1	1	1	4	66	1	1	1	تعداد رأی
0/198	0/194	0/182	0/172	0/183	0/187	0/193	0/190	0/183	0/182	0/177	0/182	0/178	0/174	0/165	مقدار f

گردش‌های U شکل، دورها و میدان‌ها از مسیر واقعی دچار انحراف شده است (نقطه قرمز رنگ در مسیر مخالف قرار دارد)، اما الگوریتم IVMM در میدان‌ها و مسیرهای خم‌دار به درستی عمل تطبیق را انجام داده است (نقطه سبز رنگ بر روی مسیر صحیح قرار دارد). بنابراین در مقایسه بین این دو روش، الگوریتم IVMM نتایج سازگارتر و قابل اعتمادتری را فراهم می‌آورد.

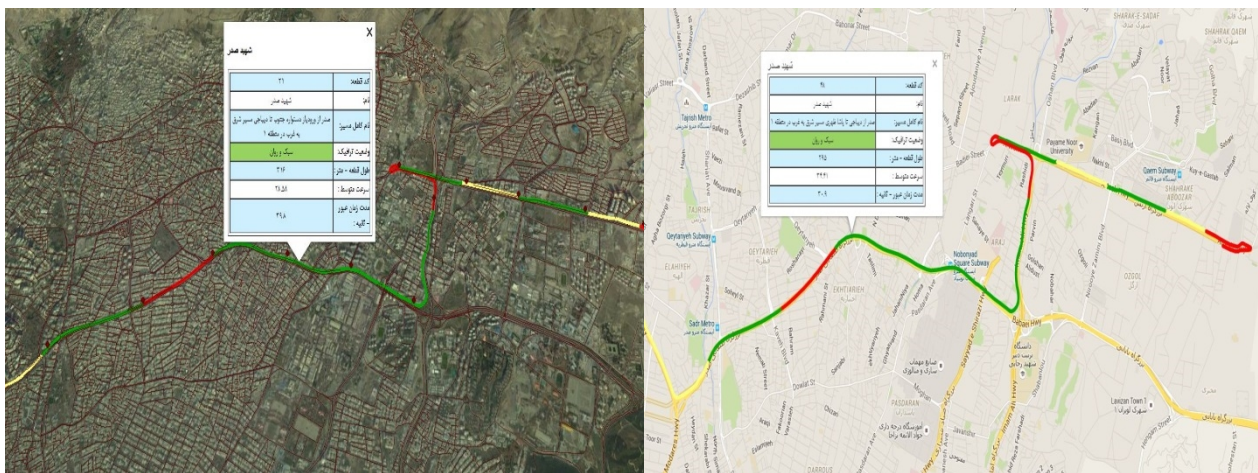
پارامتر سرعت در بین داده‌های ترافیکی اهمیت خاصی دارد، زیرا اقداماتی مانند تعیین محل‌های مناسب نصب علائم راهنمایی و رانندگی، تعیین حداکثر سرعت در مسیرها و مشخص نمودن سرعت طرح برای طرح هندسی معابر بر اساس سرعت است. پس از تطبیق مسیر واقعی و تهیه نقشه تطبیقی، متحرک مشخص خواهد شد. برای ایجاد نقشه سرعت شبکه راه‌ها، سرعت متوسط بین هر دو نقطه متوالی نمونه برداری روی مسیر واقعی فرض و محاسبه می‌شود. برای محاسبه سرعت متوسط بین دو نقطه متوالی، از فاصله شبکه‌ای بین دو نقطه روی مسیر واقعی و زمان ثبت موجود در GPS log دو نقطه نمونه برداری استفاده می‌شود. پس از محاسبه سرعت متوسط با استفاده از سرعت محاسبه شده و طول قطعات جاده، زمان گذر از قطعه راه برآورد می‌شود و نتایج به صورت نقشه شکل ۶ با پس‌زمینه تصویر ماهواره‌ای (سمت چپ) و در بستر Google Map API (سمت راست) به نمایش درمی‌آید. مطابق شکل ۶ با کلیک کردن بر روی هر قطعه از جاده پنجره‌ای شامل نام قطعه، کد قطعه، وضعیت ترافیکی (شامل سبک و روان، متوسط و سنگین)، طول قطعه، سرعت متوسط و مدت زمان عبور از قطعه به نمایش درمی‌آید.

در جدول شماره ۳ نتایج رأی‌گیری برای سه نقطه GPS متوالی به عنوان بخشی از یک مسیر خطوط سیر با ۱۵ نقطه نمونه برداری و ۷۳ نقطه کاندید آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مجموع رأی‌های نقاط کاندید برای هر نقطه نمونه برداری برابر با تعداد کل نقاط کاندید یعنی ۷۳ است. برای نقطه نمونه برداری شماره ۱ کاندید اول با ۶۸ رأی، برای نقطه شماره ۲ کاندید دوم با ۶۸ رأی، برای نقطه شماره ۳ کاندید دوم با ۶۶ رأی انتخاب گردیدند. در مواردی که مقادیر رأی‌ها برای نقاط کاندید یکسان به دست بیاید مقایسه بر مبنای مقادیر تابع f انجام می‌پذیرد. شکل ۵ نتایج تطبیق الگوریتم IVMM در مقایسه با ST-matching را نشان می‌دهد. نقاط مثلث مشکی رنگ نمایانگر نقاط نمونه برداری خطوط سیر GPS، نقاط دایره سبز رنگ نقاط حاصل از نتایج الگوریتم IVMM، نقاط دایره قرمز رنگ نقاط حاصل از نتایج الگوریتم ST-matching، نقاط دایره زرشکی رنگ (با اندازه کوچک‌تر) نمایانگر نقاط کاندید مربوط به هر نقطه نمونه برداری خطوط سیر GPS است. مطابق شکل ۵، مسیر سبز رنگ مسیر درست خط اتوبوس رانی است و مسیرهای قرمز رنگ، شبکه معابر در این محدوده این مناطق است. در نقطه شروع مسیر، در ابتدا نقطه نمونه برداری خطوط سیر GPS (مثلث مشکی) به علت وجود خطاهای بیان شده در بالا به درستی بر روی مسیر واقع نشده است. برای نقطه شروع از بین پنج نقطه کاندید انتخابی، نتیجه هر دو الگوریتم ST-matching و IVMM یک نقطه (یکسان) است که به درستی بر روی مسیر صحیح اتوبوس واقع شده است. طبق شکل ۵ در حرکت از نقطه شروع به نقطه دوم، الگوریتم ST-matching در مواجهه با

بکارگیری الگوریتم های تطبیق نقشه به منظور استخراج اطلاعات ترافیکی از خطوط سیر حاصل از GPS ...



شکل ۵. نتایج الگوریتم IVMM در مقایسه با ST-matching



شکل ۶. نقشه سرعت ترافیک در بستر تصاویر ماهواره‌ای و Google map API

۵. ارزیابی نتایج

عملیات تطبیق از شاخص CMP درصد تطبیق صحیح که از نسبت نقاط درست تطبیق شده به کل نقاط به دست می‌آید، استفاده می‌شود. هم‌چنین تأثیر توابع مختلف فاصله وزن‌دار در کیفیت عملیات تطبیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الگوریتم ST-matching الگوریتمی است که برای داده‌های نمونه‌برداری GPS با نرخ پایین خوب عمل می‌کند، در این مقاله به مقایسه الگوریتم‌های ST-matching و IVMM از نظر کارایی و کیفیت تطبیق پرداخته شد. به‌منظور بررسی کیفیت

۶. نتیجه گیری

سیستم تعیین موقعیت جهانی به ابزاری مهم برای جمع آوری اطلاعات ترافیک درحوزه سیستم‌های حمل و نقل هوشمند تبدیل شده است. خطوط سیر GPS از منابع مختلفی از جمله تلفن‌های همراه هوشمند و PDAها و خودروهای مجهز به GPS، ناوگان حمل و نقل عمومی و شبکه‌های اجتماعی تولید می‌شوند و به عنوان منبع غنی اطلاعات ترافیکی به شمار می‌روند. گسترش این منابع، افزایش مجموعه عظیمی از خطوط سیر GPS که اکثراً با نرخ نمونه برداری پایین در حد دو تا پنج دقیقه و همراه با خطا هستند را به دنبال داشته است. برنامه‌های کاربردی، مانند برنامه‌ریز مسیر، مسیر یاب، تجزیه و تحلیل جریان ترافیک، شبکه‌های اجتماعی مکان‌مبنا، برای دستیابی بهتر به کیفیت بالاتر نیازمند داده‌های خطوط سیر GPS دقیق به نحوی که بر شبکه جاده منطبق باشد، نیاز دارند. بنابراین عملیات تطبیق نقشه که شامل نگاشت اطلاعات خام و خطادار به دست آمده از گیرنده GPS بر یک نقشه رقومی شبکه معابر است، به عنوان یک پیش پردازش اساسی برای بسیاری از کاربردهای ذکر شده به شمار می‌رود. اکثر پژوهش‌های تطبیق نقشه تاکنون تنها با داده‌های GPS با نمونه برداری نرخ بالا سروکار داشته و به کارگیری آن‌ها برای نمونه‌های داده با نرخ پایین موجب افزایش عدم قطعیت در داده و کاهش کارایی می‌گردد. به علاوه با کاهش نرخ نمونه برداری جزییات بین نقاط نیز از دست می‌رود و موجب می‌گردد تا قطعات جاده تطبیق یافته به صورت گسسته باشند. بنابراین یافتن یک روش تطبیق نقشه دقیق، مناسب و قابل اعتماد برای چنین شرایطی مورد نیاز است. برای این منظور در این مقاله هدف معرفی، مقایسه و تحلیل نتایج تطبیق داده‌های خطوط سیر GPS با دو الگوریتم ST-matching و IVMM و سپس تهیه نقشه سرعت ترافیکی از داده‌های تطبیق شده است. برای ارزیابی این دو الگوریتم از داده‌های خطوط سیر GPS با نرخ نمونه برداری دو دقیقه که مربوط به هشت خط اتوبوس در محدوده مناطق یک تا چهار شهرداری تهران استفاده شده است.

الگوریتم IVMM به طور قابل توجهی بهتر از ST-matching عمل می‌کند. برای داده‌های مورد استفاده در این مقاله با نرخ نمونه برداری دو دقیقه روش IVMM دقت ۸۸٪ و روش ST-matching دقت ۷۳٪ را به دست آورده‌اند. الگوریتم IVMM با مدل سازی تأثیرات متقابل نقاط نمونه برداری نتایج مؤثرتر و مستحکم تری را ارائه می‌دهد. تابع وزن فاصله مطابق رابطه ۱۳ که در آن x فاصله اقلیدسی بین دو نقطه نمونه برداری GPS است. تأثیر فاصله x بر روی هر نقطه نمونه برداری با توجه به شبکه معابر Γ محاسبه می‌شود. بنابراین انتخاب تابع f یک مسئله چالش برانگیز خواهد بود. هر تابع f باید سه شرط زیر را دارا باشد.

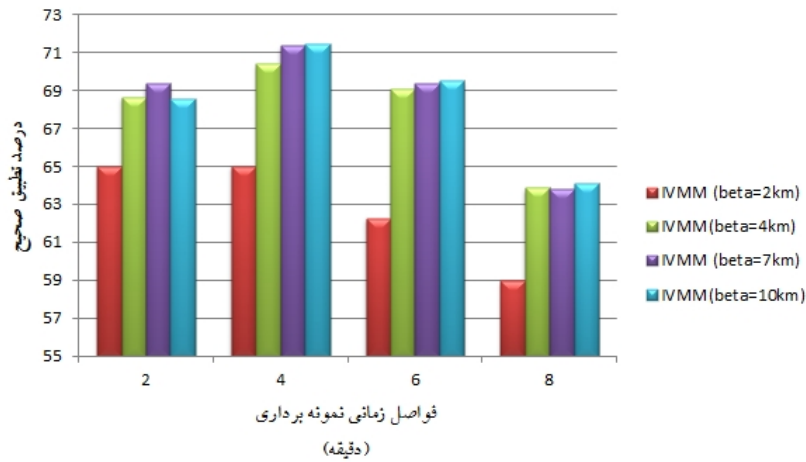
$$\begin{aligned} f_r(0) &= 1 \\ f_r(\infty) &= 0 \\ \forall x > 0 : \quad 0 < f_r(x) < 1 \end{aligned}$$

به طور کلی تابع f باید تابعی نزولی باشد به طوری که با افزایش فاصله بین دو نقطه نمونه برداری تأثیرات آن‌ها بر یکدیگر کاهش یابد. تأثیرات فاصله موقعیت نقاط نمونه برداری از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند زیرا زمانی که دو نقطه بسیار نزدیک باشند تأثیرات زیادی بر یکدیگر دارند و در صورتی که این فاصله از حد معینی تجاوز نماید، تأثیرات این نقاط به طور چشم گیری کاهش می‌یابد بنابراین تابع وزن به صورت رابطه ۱۳ تعریف می‌گردد.

$$f(x) = e^{-\frac{x^2}{\beta^2}} \quad (13)$$

که در آن پارامتر β با توجه به شبکه معابر تعیین می‌شود در ادامه به بررسی تأثیرات این پارامتر بر روی نتایج تطبیق پرداخته می‌شود. همان طور که در نمودار شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار پارامتر β از ۲ کیلومتر تا ۱۰ کیلومتر دقت تطبیق نقشه نیز افزایش می‌یابد. زمانی که مقدار β ۲ کیلومتر است، مقدار تابع وزن فاصله به سرعت کاهش می‌یابد.

بکارگیری الگوریتم های تطبیق نقشه به منظور استخراج اطلاعات ترافیکی از خطوط سیر حاصل از GPS ...



شکل ۷. تأثیرات پارامتر بتا بر روی نتایج الگوریتم IVMM

از نقاط همسایه تأثیر می‌پذیرد و به‌طور مشابه در تطبیق نقشه همسایگان این نقطه، موقعیت این نکته نیز مؤثر خواهد بود) بهره می‌گیرد. به‌علاوه میزان تأثیر متقابل نقاط همسایه توسط پارامتر تابع وزن برحسب فاصله بین نقاط GPS تعیین می‌گردد (نقاطی که در فاصله دورتری وجود دارند، تأثیرگذاری کمتری دارند). در این رویکرد، نه تنها اطلاعات مکانی و زمانی خطوط سیر GPS در نظر گرفته می‌شود، بلکه از یک استراتژی رأی مبنا به‌منظور مدل کردن وزن تأثیرات متقابل بین نقاط GPS بهره گرفته می‌شود.

الگوریتم IVMM به‌طور قابل توجهی بهتر از ST-matching عمل می‌کند. برای داده‌های مورد استفاده در این مقاله با نرخ نمونه‌برداری دو دقیقه روش IVMM دقت ۸۸٪ و روش ST-matching دقت ۷۳٪ داشتند. الگوریتم IVMM با مدل‌سازی تأثیرات متقابل نقاط نمونه‌برداری نتایج مؤثرتر و مستحکم‌تری را ارائه می‌دهد. تابع وزن فاصله نقش مهمی در الگوریتم IVMM ایفا می‌کند. لازم به ذکر است که تأثیر وزن نقاط نمونه برداری نه تنها مرتبط با فاصله است بلکه با توپولوژی شبکه راه‌ها نیز مرتبط است. معمولاً تأثیر توپولوژی دو نقطه نمونه برداری در شبکه راه متراکم بسیار کمتر از شبکه تنک است و دلیل آن بیشتر بودن تعداد مسیرهای ممکن پیمایش بین دو نقطه است.

از ویژگی‌های بارز الگوریتم ST-matching در نظر گرفتن همزمان توپولوژی و ویژگی‌های مکانی ویژگی زمانی است. اما به دلیل آنکه برای تطبیق هر نقطه نمونه برداری فقط یک نقطه قبل از آن را در نظر می‌گیرد و برای نقطه اول نقطه ماقبل وجود ندارد، این الگوریتم به نقطه شروع وابستگی زیادی دارد. تابع شباهت صرفاً با توجه به دو نقطه مجاور کاندید ساخته شده است درحالی‌که موقعیت یک نقطه نمونه‌برداری تحت تأثیر همه نقاط همسایه قبلی و بعدی آن قرار دارد. بنابراین مقادیر یال‌های گراف کاندید محاسبه شده توسط الگوریتم ST-matching تأثیرات نقاط همسایه تطبیق را به‌درستی منعکس نمی‌کند. الگوریتم ST-matching از جمع ساده تمامی مقادیر خطوط سیر به‌منظور ارزیابی شباهت مسیر کاندید با داده‌های نمونه‌برداری استفاده می‌نماید و تأثیرات دوری فاصله بین نقاط را نادیده می‌گیرد. تأثیرات متقابل در این الگوریتم در نظر گرفته نمی‌شود. اگر یک نقطه به‌اشتباه به قطعه‌ای از جاده نسبت داده شود، سایر نقاط بر اساس این نقطه اشتباه تطبیق می‌یابند بنابراین خطاها در این روش تجمعی هستند.

الگوریتم تطبیق نقشه تعاملی رأی مبنا IVMM از موقعیت مکانی یک نقطه GPS و همچنین اطلاعات توپولوژیک شبکه جاده‌ها، تأثیر متقابل بین نقاط GPS (به‌عنوان مثال، نتیجه تطبیق یک نقطه

بلادرنگ بودن آنها اهمیت زیادی دارد، موضوعی چالشی است بنابراین می‌توان با در نظر گرفتن یک پنجره متحرک و شناسایی نقاط همسایه موثر با حفظ دقت، حجم و زمان محاسبات را کاهش داد، که به این امر در پژوهش‌های آتی پرداخته می‌شود.

علی رغم دقت بالای الگوریتم IVMM، در نظر گرفتن تاثیرات تمام نقاط بر یکدیگر، بار محاسباتی زیادی را به سیستم تحمیل می‌کند، در صورتی که تاثیر برخی نقاط دور از نقطه نمونه برداری، بسیار ناچیزی است و این امر در محاسبه پارامترهای ترافیکی که

۷. پی‌نوشت‌ها

1. Global Positioning System
2. Intrusive Sensing
3. Traffic probes
4. GPS trajectory
5. Dilution of Precision
6. Global

۸. مراجع

- Kim, S. and Kim, J. (2001) "Adaptive fuzzy-network-based C-measure map-matching algorithm for car navigation system", *Industrial Electronics, IEEE Transactions*, Vol. 48, No, 2, pp. 432-441.

- Leduc, G. (2008) "Road traffic data: Collection methods and applications", *European Commission, Joint Research Center, Institute of Prospective Technological Studies, JRC 47967*.

- Li, H., Kulik, L. and Ramamohanarao, K. (2015) "Robust inferences of travel paths from GPS trajectories", *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 29, No. 12, pp. 2194-2222.

- Lou, Y., Zhang, Ch. and Zheng, Y. (2009) "Map-matching for low-sampling-rate GPS trajectories", *Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, ACM*. p. 352.

- Marchal, F., Hackney, J. and Axhausen, K. W. (2005) "Efficient map matching of large global positioning system data sets: Tests on speed-monitoring experiment in Zürich",

- دوباش، الف. (۱۳۹۳) «تطبیق مشاهدات جی. پی. اس بر نقشه به صورت برون‌خط»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

- شهرداری تهران. معاونت وسازمان حمل‌ونقل و ترافیک (۱۳۹۱) «گزارش عملکرد حمل و نقل همگانی»، فصل پنجم عملکرد سامانه اتوبوسرانی، تهران.

- Aung, S. S. and Naing, T. T. (2014) "Mining data for traffic detection system using GPS_Enable mobile phone in mobile cloud infrastructure", *International Journal on Cloud Computing: Services and Architecture (IJCCSA)*, Vol. 4, No. 3, p. 12.

- Brakatsoulas, S., Pfoser, D., Salas, R. and Wenk, C. (2005) "On map-matching vehicle tracking data", *Proceedings of the 31st International Conference on Very Large Data-bases, VLDB Endowment*, pp. 853-864.

- Greenfeld, J. S. (2002) "Matching GPS observations to locations on a digital map", *Transportation Research Board 81st Annual Meeting, Washington D.C*, p.13.

probes", Journal of Transportation Technologies. Vol. 2, No. 01, p. 22.

- Wang, D., Wang, Zh., Li, X. and XIAO, Zh. (2014) "A Map Matching Algorithm to Eliminate Miscalculation Based on Low-Sample-Rate Data", 3rd International Conference on Computer Science and Service System, Atlantis Press.

- Wu, D., Zhu, T., Lv, W. and Gao, X. (2007) "A heuristic map-matching algorithm by using vector-based recognition", Computing in the Global Information Technology, 2007. ICCGI 2007, International Multi-Conference on, IEEE. pp. 18-24.

- Yin, H. and Wolfson, O. (2004) "A weight-based map matching method in moving objects databases", Scientific and Statistical Database Management, 2004. Proceedings, 16th International Conference on, Washington, DC, USA, IEEE. pp. 437-438.

- Yuan, J., Zheng, Y., Zhang, C., Xie, X. and Sun, G-Z. (2010) "An interactive-voting based map matching algorithm", Proceedings of the 2010 Eleventh International Conference on Mobile Data Management, IEEE Computer Society. pp. 43-52.

- Zeng, Z., Zhang, T., Li, Q. and Wu, Z. (2015) "Curvedness feature constrained map matching for low-frequency probe vehicle data", International Journal of Geographical Information Science, Vol. 30. No. 4, pp. 1-31.

- Zhou, P., Jiang, S. and Li, M. (2015) "Urban Traffic Monitoring with the Help of Bus Riders", Distributed Computing Systems (ICDCS), 2015 IEEE 35th International Conference on, Columbus, OH, USA, IEEE. p. 21-30.

Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol. 1, No. 1935. pp. 93-100.

- Miwa, T., Kiuchi, D. and Yamamoto, T. (2012) "Development of map matching algorithm for low frequency probe data", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 22, pp. 132-145.

- Newson, P. and Krumm, J. (2009) "Hidden Markov map matching through noise and sparseness", Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference On Advances In Geographic Information Systems, Washington, New York, ACM. pp. 336-343.

- Quddus, M. A., Ochieng, W. and Noland, R. B. (2007) "Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions", Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 15, No. 5, pp. 312-328.

- Rauschert, I., Agrawal, P., Sharma, R., Fuhrmann, S., Brewer, I. and MacEachren, A. (2002) "Designing a human-centered, multimodal GIS interface to support emergency management", Proceedings of the 10th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, McLean, Virginia, USA, ACM. pp. 119-124.

- Syed, S. and Cannon, M. E. (2004) "Fuzzy logic-based map matching algorithm for vehicle navigation system in urban canyons", In Proceedings of the Institute of Navigation (ION) National Technical Meeting, 26-28 January, California, USA.

- Tao, S., Manolopoulos, V., Rodriguez, S. and Rusu, A. (2012) "Real-time urban traffic state estimation with A-GPS mobile phones as

وحید شکری، رحیم علی عباسپور

رحیم علی عباسپور، درجه کارشناسی در رشته مهندسی نقشه‌برداری را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه تهران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی نقشه‌برداری - GIS در سال ۱۳۸۱ را از دانشگاه تهران اخذ نمود. در سال ۱۳۸۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی نقشه‌برداری - GIS از دانشگاه تهران گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان داده کاوی مکانی-زمانی، بهینه‌سازی مکانی، اطلاعات مکانی داوطلبانه، خدمات مکان‌مبنا (LBS) و محاسبات هندسی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران است.



وحید شکری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران، گرایش نقشه‌برداری را در سال ۱۳۹۰ از دانشگاه زنجان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران-گرایش GIS را در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه تهران اخذ نمود. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان اطلاعات مکانی داوطلبانه و محاسبات هندسی است.

