استخراج خودکار هندسه راه از داده‌های خط سیر به روش KDE توسط عامل‌های کاوشگر

رضا محمدی[۱]، مهدی فرنقی*[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
r.mohammadi0645@gmail.com

[۲] استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
farnaghi@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۵، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۵)

چکیده

امروزه داده‌های مردم گستر منبع مهمی به‌منظور ایجاد نقشه‌های رقومی به‌شمار می‌روند. در چند سال اخیر استفاده از این منابع در تهیه نقشه‌های ارزان، به‌هنگام و قابل اطمینان موردتوجه قرار گرفته است. الگوریتم‌های ارائه‌شده درزمینه استخراج راه از داده‌های مردم گستر، به‌منظور استخراج نقشه‌های راه باید برای کل محدوده موردنظر اجرا شوند. این موضوع باعث می‌شود تا الگوریتم استخراج راه برای بخش‌هایی از منطقه که فاقد داده‌های خط سیر هستند نیز اجرا گردند که محاسبات اضافی به سیستم اعمال می‌کنند. در راه‌کار ارائه‌شده با توسعه عامل‌هایی در یک سیستم چندعامله امکان اجرای الگوریتم استخراج راه تنها برای مناطقی که داده‌های خط سیر جمع‌آوری‌شده است، فراهم شد. در این مقاله با الهام از نحوه پایش محیط وب توسط عامل‌های کاوشگر وب، راه‌کار نوینی به‌منظور استخراج نقشه‌های شبکه راه، با در نظر گرفتن داده‌های خط سیر جمع‌آوری‌شده توسط کاربران ارائه شد. بدین منظور عامل‌هایی توسعه داده شد که با استفاده از عملگرهای مورفولوژیکی در فضای رستری داده‌های خط سیر به استخراج راه می‌پردازند. در این پژوهش از روش KDE[۱] جهت تبدیل فضای برداری داده‌های خط سیر[۲] به فضای رستری مورد استفاده قرار گرفت. سپس از عملگرهای مورفولوژی closing، dilation و thinning به ترتیب به‌منظور پر کردن فضای خالی موجود در داده‌ها، افزایش ابعاد تصویر و نازک‌سازی استفاده شد. همچنین عملگر skeleton به‌منظور استخراج مرکز راه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سپس نتایج حاصل از استخراج راه توسط سیستم چند عامله توسعه داده شده با نقشه‌های Google Earth مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان پیشنهاداتی برای کارهای آتی ارائه شد.

واژگان کلیدی: داده‌های مردم گستر، استخراج خودکار راه، عامل، عامل کاوشگر، روش KDE، عملگرهای مورفولوژی

* نویسنده رابط

۱ Kernel Density Estimation
۲ Trajectory data

۱- مقدمه

بسیاری از کاربردها و برنامه‌های موجود به اطلاعات مکانی به‌هنگام، دقیق و با جزئیات کافی، نیاز دارند. ناوبری، توریسم، مدیریت ترافیک، مدیریت ناوگان‌های شهری و بین‌شهری، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند، سرویس‌های نقشه تحت وب و سامانه‌های مکان‌مبنا نمونه‌هایی از این کاربردها هستند [۱-۳]. در بسیاری از کشورها، سازمان‌ها و ارگان‌های رسمی متولیان تولید اطلاعات مکانی می‌باشند. تولید اطلاعات مکانی به روش‌های سنتی هزینه‌های سنگینی را به همراه دارد و درنتیجه کاربران مجبورند با قیمتی بالا اطلاعات مکانی موردنیازشان را تهیه کنند. لذا به‌هنگام رسانی اطلاعات مکانی استاندارد، با توجه به هزینه بالایی که به همراه دارد، معمولاً زمانی صورت می‌گیرد که محیط تغییرات زیادی داشته باشد. این در حالی است که بر اساس پیش‌بینی TomTom [۴]، ۱۵٪ راه‌ها هرساله تغییر می‌کنند. همچنین بعنوان نمونه در نقشه تجاری مرکز شانگهای چین برخی از راه‌ها ذکر نشده و برخی نیز نادرست می‌باشند [۵]. بنابراین ارائه روشی جایگزین به‌منظور تولید و بهنگام‌رسانی اطلاعات مکانی شبکه راه‌ها به‌صورت خودکار ضروری به نظر می‌رسد.

امروزه استفاده از شبکه‌های اجتماعی بین مردم رایج شده است. این شبکه‌ها بر پایه فناوری وب ۲ و در تعامل پیوسته با کاربران ایجاد شده‌اند. این تعامل موجب ایجاد حجم عظیمی از داده‌ها در محیط وب شده‌اند. این داده‌ها می‌توانند منبع مناسبی به‌منظور استخراج اطلاعات مکانی مردم گستر در نظر گرفته شوند. در یک محیط اطلاعات مکانی مردم گستر[۱]، کاربران وظیفه‌ی تولید اطلاعات مکانی را بر عهده دارند [۶]. به عبارتی دیگر، کاربران علاوه بر اینکه می‌توانند از این منابع استفاده کنند، می‌توانند در تولید آن‌ها نیز نقش مؤثری داشته باشند. افراد می‌توانند با استفاده از

گیرنده‌های GPS[۲] فعالیت‌های روزانه خود را ثبت نموده و از این طریق منابع اطلاعاتی شبکه‌های اجتماعی را بهبود بخشند. قیمت پایین این گیرنده‌ها باعث شده تا امروزه اغلب گوشی‌های همراه، تبلت‌ها و خودروها به آن‌ها مجهز شوند. خوشبختانه حجم قابل‌توجهی از داده‌های GPS جمع‌آوری‌شده توسط مردم، موجود است. داده‌های مکانی مردم گستر به خاطر ماهیت پویایی آن‌ها معمولاً به‌هنگام بوده و نسبت به داده‌های مکانی استاندارد بهتر می‌توانند تغییرات دنیای واقعی را نمایش دهند [۷]. این موضوع اهمیت استفاده و به‌کارگیری از این منابع ارزشمند را نشان می‌دهد.

این پژوهش قصد دارد راه‌حل نوینی به‌منظور استخراج نقشه‌های مردم گستر راه بر مبنای عامل‌های کاوشگر ارائه دهد. در این پژوهش، با الهام از نحوه‌ی عملکرد عامل‌های کاوشگر وب[۳] در پایش محیط وب و بهنگام‌رسانی فهرست موتورهای جستجو، عامل‌هایی به‌منظور استخراج راه از داده-های مردم گستر توسعه داده شد که در یک سیستم چند عامله با یکدیگر همکاری می‌کنند. استفاده از عامل‌های کاوشگر باعث می‌شود تا عمل جستجوی داده‌های خط سیر، با در نظر گرفتن داده‌های خط سیر جمع‌آوری‌شده توسط کاربران، به‌خوبی صورت گیرد. وظیفه‌ی اصلی این عامل‌ها واکنش در برابر داده‌های مکانی خط سیر جمع‌آوری‌شده و استخراج نقشه‌های راه بر اساس تغییرات کشف شده است. به‌منظور توسعه این عامل‌ها از الگوریتم KDE و عملگرهای مورفولوژی استفاده شد.

ساختار مقاله در ادامه به این شرح است: در بخش دوم مروری بر تحقیقات پیشین صورت خواهد گرفت. بخش سوم، به مفاهیم اولیه عامل‌ها و عامل‌های کاوشگر خواهد پرداخت. در ادامه این بخش راه‌کار ارائه‌شده به‌منظور استخراج خودکار هندسه راه توسط سیستم چند عامله توسعه داده‌شده و با استفاده از روش KDE و با به‌کارگیری از عملگرهای مورفولوژی به‌طور کامل تشریح شده است. در بخش پنجم نتایج راه استخراج‌شده توسط راه‌کار پیشنهادشده مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. بخش پایانی این مقاله به بحث و نتیجه‌گیری پیرامون نتایج استخراج شده و نیز ارائه پیشنهاداتی برای کارهای آتی می‌پردازد.

۲- مروری بر روش‌های خودکار استخراج راه از داده‌های خط سیر

فعالیت‌های زیادی درزمینه استخراج خودکار راه از داده‌های مردم‌گستر صورت گرفته است. محققین بسیاری [۸-۱۲] ابتدا مجموعه‌ای از داده‌های خط سیر مربوط به یک راه را به‌عنوان مقادیر اولیه الگوریتم k-means در نظر

[۱] Volunteered Geographic Information
[۲] Global Positioning System
[۳] Web Crawler Agents

گرفتند. سپس از الگوریتم k-means به‌منظور کشف موقعیت مجموعه نقاط به‌گونه‌ای که داده‌های خط سیر را به بهترین شکل ممکن توصیف نماید، استفاده نمودند. همچنین [۱۳-۱۷] از روش trace merging به‌عنوان الگوریتم پایه استفاده نمودند. به این صورت که ابتدا یک خط سیر به گراف نقشه اضافه می‌شود. در صورت وجود داده‌های خط سیر مربوط به یک یال، وزن هر یک از این یال‌ها افزایش می‌یابد. درنهایت یال هایی با وزن کمتر از حد آستانه تعریف شده، حذف خواهند شد. علاوه بر این محققین [۱۸-۲۰] به منظور تبدیل فضای برداری داده‌های خط سیر به فضای رستری، ابتدا فضای برداری داده‌های GPS را شبکه‌بندی نموده، سپس توزیع نمونه‌ها در هریک از پیکسل‌ها را شمارش و بر اساس آن یک تصویر ایجاد نمودند. در ادامه با اعمال یک حد آستانه پیکسل‌های مربوط به شبکه راه از سایر پیکسل‌ها جدا شده و درنهایت از روش‌های مختلف پردازش تصویر به‌منظور کشف مرکز راه‌ها استفاده کرده‌اند. این روش به روش KDE شناخته شده است که بعنوان الگوریتم مبنا در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت.

راه‌کارهای ارائه‌شده درزمینه استخراج راه از داده‌های مردم گستر، بدون توجه به وجود و توزیع داده‌های خط سیر، به‌منظور استخراج راه باید الگوریتم استخراج راه برای کل محدوده موردنظر اجرا شود. در راه‌کار ارائه‌شده با توسعه عامل‌هایی در یک سیستم چندعامله امکان اجرای الگوریتم استخراج راه تنها برای مناطقی که داده‌های خط سیر جمع‌آوری‌شده است، وجود دارد. در سیستم چندعامله توسعه داده‌شده با تقسیم وظایف بین عامل‌های مشخص و همچنین ویژگی عامل‌ها در حس محیط و توانایی عکس‌العمل در برابر تغییرات محیط، امکان ارائه راه‌کار نوینی به‌منظور تولید نقشه به‌طور خودکار فراهم‌شده است.

۳- استخراج خودکار راه برمبنای عامل‌های کاوشگر

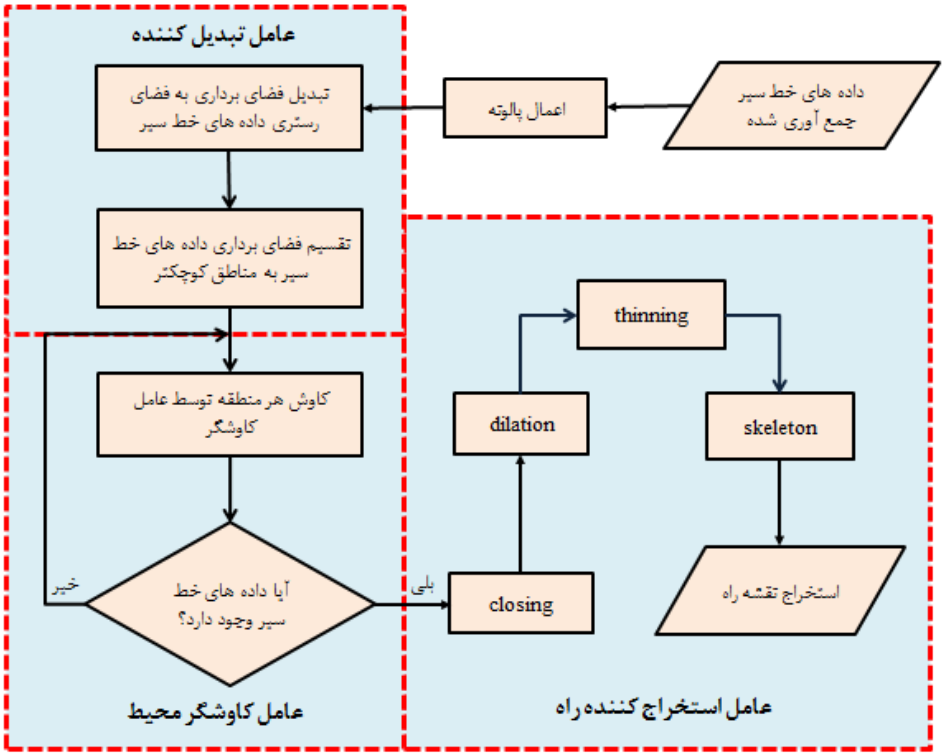
راسل [۲۱] عامل‌ها را سیستم و کدهای کامپیوتری معرفی می‌کند که قابلیت درک محیط و عکس‌العمل در برابر تغییرات آن دو ویژگی مهم آن‌ها است. نوع ویژه‌ای از عامل‌های هوشمند به‌منظور جمع‌آوری سریع و مؤثر صفحات مفید وب وجود دارند که کاوشگرهای وب نامیده می‌شوند. وظیفه کاوشگرهای وب، شناسایی و اندکس گذاری صفحات وب، که با لینک به یکدیگر متصل شده‌اند، به‌منظور پشتیبانی توسط موتورهای جستجو است. یکسری قوانینی وجود دارد که نحوه برقراری ارتباط کاوشگرها با وب سرورها[۱] را تنظیم می‌کند. در برخی از برنامه‌ها و کاربردها لازم است که کاوشگرها به‌طور پیوسته صفحات را برداشت نمایند. لذا یک کاوشگر باید بر اساس تغییرات به وجود آمده در صفحه وب عمل کاوش را به‌طور پیوسته تکرار کند.

راه‌کار ارائه‌شده در این پژوهش توسعه عامل‌های هوشمند به‌منظور استخراج خودکار نقشه راه است. ایده اصلی توسعه عامل‌هایی است که شبیه عامل‌های کاوشگر وب در محیط داده‌های مکانی خط سیر حرکت نموده و از طریق همکاری در یک سیستم چند عامله به استخراج هندسه راه‌ها بپردازند.

در راه‌کار ارائه‌شده، محیطی که عامل در آن فعالیت می‌کند فضای رستری داده‌های مکانی خط سیر است که مقادیر ارزش[۲] پیکسل‌ها در آن نماینده خط سیرهای جمع‌آوری‌شده مردم گستر است. در این راه‌کار، سه دسته عامل با بهره‌گیری از ایده عامل‌های کاوشگر در یک سیستم چندعامله به شرح زیر توسعه داده شد:

- **عامل تبدیل کننده:** این عامل در ابتدا با استفاده از روش KDE فضای برداری داده‌های خط سیر را به فضای رستری تبدیل نموده و سپس فضای رستری داده‌های خط سیر را به زیر مناطقی تقسیم می‌کند.
- **عامل کاوشگر محیط:** هرکدام از این عامل‌های کاوشگر به یک منطقه اختصاص داده می‌شود. سپس در هر یک از این مناطق یک عامل کاوشگر محیط شروع به جستجو نموده و مقادیر ارزش پیکسل‌ها را بررسی می‌کند. به‌محض یافتن مقادیری که بیانگر داده‌های خط سیر باشند، نتیجه را به عامل‌های استخراج‌کننده راه گزارش می‌دهند.
- **عامل‌های استخراج‌کننده راه**: این عامل‌ها، در موقعیت‌هایی که داده‌های خط سیر توسط عامل‌های کاوشگر محیط گزارش داده‌شده است، با استفاده از عملگرهای مورفولوژی به استخراج راه می‌پردازند.

---
۱ Web servers
۲ Digital number



شکل۱- روال کلی استخراج خودکار راه مبتنی بر عامل‌های کاوشگر

شکل۱ روال کلی استخراج خودکار راه با استفاده از راه‌کار عامل‌های کاوشگر را نمایش می‌دهد. فرآیند تولید خودکار راه با اعمال پالونه‌ای[1] به‌منظور کاهش نویز ذاتی داده‌های خط‌سیر شروع می‌شود. سپس تبدیلی از فضای برداری داده‌های خط سیر به فضای رستری صورت می‌گیرد. در ادامه فضای رستری داده‌های خط سیر به مناطقی تقسیم خواهد شد. سپس به هر یک از این مناطق یک عامل کاوشگر محیط اختصاص داده می‌شود. این عامل کاوشگر محیط، به‌منظور کشف داده‌های خط سیر در منطقه مربوط به خود حرکت نموده و به‌محض پیدا نمودن مقادیر ارزش پیکسل‌هایی که بیانگر داده‌های خط سیر باشند، این منطقه را به عامل استخراج‌کننده راه گزارش می‌دهد. سپس به‌منظور استخراج راه، در منطقه گزارش داده‌شده یک عامل استخراج‌کننده راه ایجاد خواهد شد. این عامل با استفاده از عملگرهای مورفولوژی به استخراج راه از داده‌های خط سیر جمع‌آوری‌شده برای این منطقه، می‌پردازد. در ادامه هر یک از مراحل استخراج راه با استفاده از عامل‌های کاوشگر تشریح خواهد شد.

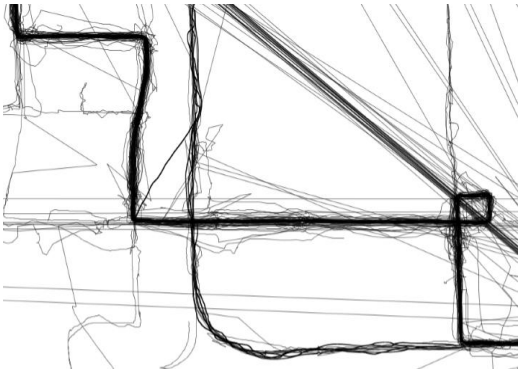
۳-۱- پالایش داده‌ها

نویز ذاتی داده‌های خط سیر جمع‌آوری‌شده با استفاده از GPS در دقت و صحت داده‌های جمع‌آوری‌شده اثر می‌گذارد. در شرایط خاصی این نویز ذاتی داده‌ها می‌تواند منجر به ایجاد راه‌های جعلی گردد. همچنین این داده‌ها دارای اشتباه نیز می‌باشند. به‌عنوان مثال کاربری به‌هنگام جمع‌آوری داده در یک مسیر، گیرنده خود را متوقف نموده و پس از طی مسافتی دوباره شروع به جمع‌آوری داده می‌کند. در این حالت ممکن است برای یک فاصله زیادی هیچ داده‌ای جمع‌آوری نگردد. لذا این داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌عنوان دو سفر جداگانه در نظر گرفته می‌شوند.

علاوه بر آنچه بیان شد داده‌های مردم گستر زمانی می‌توانند بیانگر راه باشند که توسط خودروهای در حال حرکت جمع‌آوری‌شده باشند [۱۷]. لذا وجود داده‌های اضافی می‌تواند باعث اعمال محاسبات اضافی به سیستم شود. منظور از داده‌های اضافی داده‌هایی است که کاربران هنگامی‌که در ترافیک قرارگرفته‌اند، جمع‌آوری می‌کنند. شکل۲ نمایشی از داده‌های خط سیر مردم گستر، که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت را نمایش می‌دهد.

[1] Filter

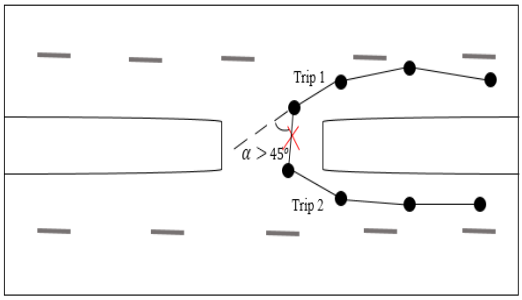
نویز بالای داده‌های جمع‌آوری‌شده، داده‌های اضافی و داده‌های اشتباه کاملاً واضح است. لذا پالایش داده‌ها به‌منظور کاهش نویز ذاتی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.



شکل۲- نمایش خط سیرها در محیط OpenJump

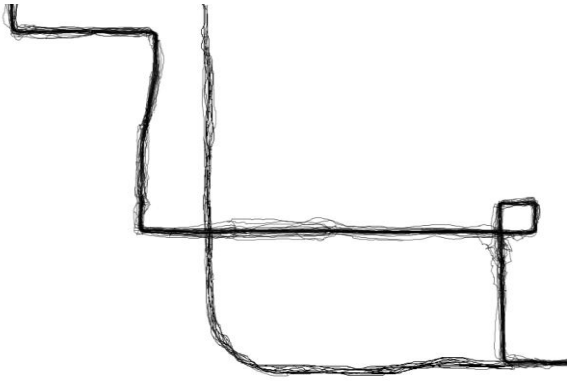
با توجه به مطالب بیان‌شده، به‌منظور کاهش نویز ذاتی داده‌ها و نیز حذف داده‌های اضافی، پالونه‌ای با در نظر گرفتن قوانین زیر اعمال شد:

- **قانون ۱:** داده‌هایی با سرعت کمتر از ۱۰ کیلومتر بر ساعت حذف خواهند شد [۱۷].
- **قانون ۲**: اگر فاصله بین دو نقطه بیشتر از ۳۰۰ متر و یا اینکه تغییر جهت[۱] آن‌ها بیشتر از ۴۵ درجه باشد، دو سفر[۲] از هم جدا در نظر گرفته می‌شوند [۲۲]. شکل۳ این حالت را به‌خوبی نشان می‌دهد.



شکل۳- جداسازی سفرهایی با زاویه بیش از ۴۵ درجه

پس از اعمال قوانین تعریف‌شده، داده‌های اضافی حذف و همچنین نویز داده‌ها تااندازه‌ای کاهش خواهند یافت. شکل۴ داده‌های جمع‌آوری‌شده خط سیر بعد از اعمال پالونه را نمایش می‌دهد. در ادامه داده‌های باقیمانده به‌منظور استخراج راه مورد استفاده قرار خواهند گرفت.



شکل۴- نمایش داده‌های خط سیر بعد از اعمال پالونه

۳-۲- عامل تبدیل‌کننده

در این پژوهش عامل‌ها با استفاده از عملگرهای مورفولوژیکی به استخراج راه از داده‌های خط سیر می‌پردازند. استفاده از عملگرهای مورفولوژی تنها در فضای رستر امکان‌پذیر است. بنابراین به‌منظور استفاده از عملگرهای مورفولوژی جهت استخراج راه لازم است داده‌های خط سیر از فضای برداری به فضای رستر تبدیل شوند بطوریکه مقدار ارزش هر پیکسل نماینده خط سیر عبوری از آن باشد [۱۹]. در راستای ارائه راه‌کاری خودکار به‌منظور استخراج نقشه‌های راه از داده‌های مردم گستر، تبدیل از فضای برداری داده‌های خط سیر به فضای رستری توسط عامل‌های تبدیل کننده صورت خواهد گرفت.

در این پژوهش عامل تبدیل کننده در ابتدا با استفاده از روش KDE فضای برداری داده‌های خط سیر را به فضای رستری تبدیل می‌کند. در این روش، ابتدا منطقه مورد مطالعه با مربع‌های ۱*۱ گسسته سازی شده، سپس نموداری دو بعدی از نتایج بدست آمده از شمارش داده‌های خط سیر در هر مربع، ترسیم می‌شود. خروجی این مرحله یک تصویر خواهد بود. بعد از آن، با اعمال حد آستانه تعریف شده، پیکسل‌های زمینه و هدف از یکدیگر جدا می‌شوند. سپس عامل تبدیل کننده، فضای رستری داده‌های خط سیر را به مناطقی تقسیم می‌کند. این کار به‌منظور جلوگیری از اجرای الگوریتم برای کل داده‌های خط سیر و درنتیجه جلوگیری از محاسبات اضافی توسط سیستم چند عامله، انجام شد. در ادامه عامل‌کاوشگر محیط هر منطقه را به‌منظور تعیین داده‌های خط سیر کاوش می‌کند.

---

۱ Direction
۲ Trip

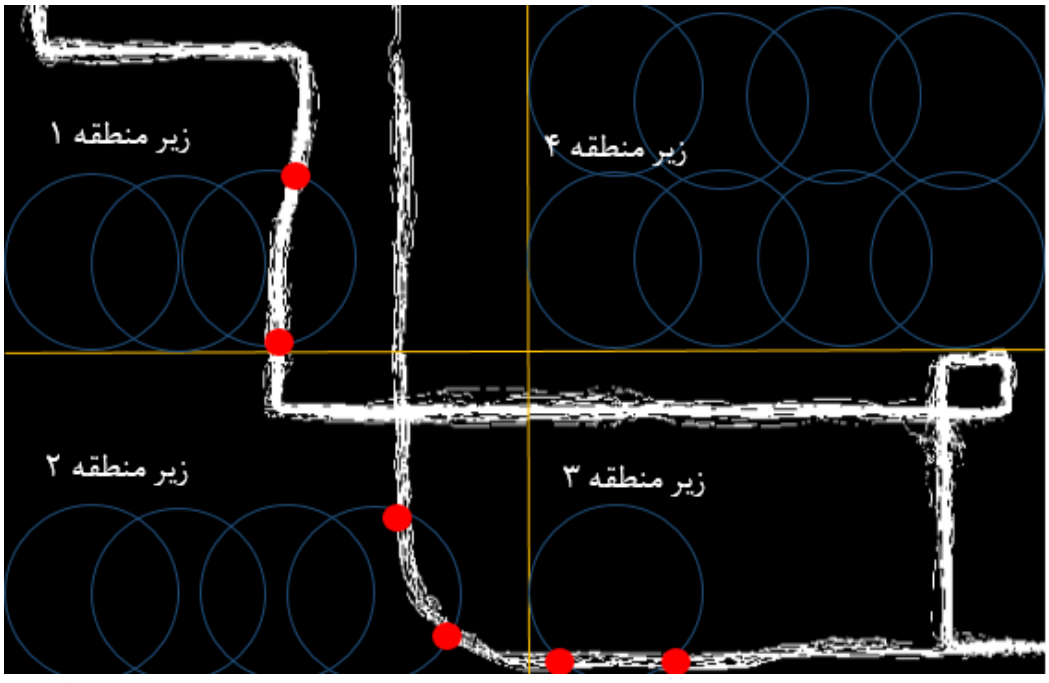
۳-۳- عامل کاوشگر

پس از تقسیم فضای داده‌های خط سیر به مناطق و تخصیص یک عامل کاوشگر محیط به هر منطقه، عامل کاوشگر محیط در فضای رستری داده‌های خط سیر حرکت کرده و به‌محض مشاهده داده‌های خط سیر که بیانگر وجود راه در آن منطقه می‌باشند، موقعیت این داده‌های خط سیر را به عامل استخراج‌کننده راه گزارش می‌دهند. شبه کد الگوریتم ۱ نحوه جستجو عامل کاوشگر در فضای رستری داده‌های خط سیر را بیان می‌کند. عامل کاوشگر در منطقه مربوط به خود شروع به حرکت کرده و در هر گام بافری به مرکزیت خود ترسیم می‌کند. سپس مقادیر پیکسل‌های موجود در فاصله تعیین‌شده را کشف و مقدار ارزش هر پیکسل را بررسی می‌کند. به عبارتی عامل کاوشگر، در هرلحظه وضعیت پیکسل‌هایی که در فاصله مشخصی قرار دارند را بررسی می‌کند. درصورتی‌که مقادیر ارزش این پیکسل‌ها بیانگر وجود خط سیر باشند، متد CreateCrawlerAgentRoadExtractor() یک عامل استخراج‌کننده راه ایجاد می‌کند که این عامل با استفاده از عملگرهای مورفولوژی شروع به استخراج راه از تصویر بدست آمده می‌کند.

الگوریتم۱- عامل کاوشگر

```
1: while (not end of each region) do
2:     for Detect digital number of pixels with 1
3:         CreateCrawlerAgentRoadExtractor()
4:     end for
5: end while
```

شکل۵ نحوه جستجوی عامل کاوشگر در هر منطقه را به‌صورت شماتیک نمایش می‌دهد. عامل‌های کاوشگر به‌منظور پیدا کردن مقادیر ارزش‌های پیکسل‌های موجود در محدوده جستجو، منطقه مربوطه به خود را تا انتها کاوش می‌کنند. ممکن است برای برخی از مناطق (به‌عنوان‌مثال منطقه شماره ۴) پیکسلی که مقدار ارزش آن بیانگر وجود راه باشد (برخی از مناطق فاقد داده‌های خط سیر باشند)، موجود نباشد. در این صورت برای این منطقه عامل استخراج‌کننده راهی ایجاد نخواهد شد. در برخی دیگر از این مناطق ممکن است عامل کاوشگر داده‌های خط سیر را کشف کند (به‌عنوان‌مثال مناطق ۱، ۲ و ۳)، برای این مناطق یک عامل استخراج‌کننده راه فعال خواهد شد.



شکل۵- تقسیم محیط به مناطق کوچک‌تر توسط عامل تبدیل کننده و سپس جستجوی هر منطقه توسط عامل کاوشگر

۳-۴- عامل استخراج‌کننده

در صورت کشف داده‌های خط سیر توسط عامل کاوشگر محیط، یک عامل استخراج‌کننده راه ایجاد خواهد شد. این عامل با استفاده از عملگرهای مورفولوژی شروع به استخراج راه برای منطقه موردنظر می‌نماید.

روابط (۱) – (۴) به ترتیب عملگرهای اصلی مورفولوژی dilation، erosion، opening و closing را تعریف می‌کنند. در این عملگرها المان ساختاری چگونگی و میزان تغییر تصویر توسط این عملگرها را کنترل می‌کند.

$$A \oplus B = \{z \in E \mid (B^s)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad B^s = \{x \in E \mid -x \in B\} \qquad (۱)$$

$$A \ominus B = \{z \in E \mid B_z \subseteq A\} \qquad (۲)$$

$$A \bigcirc B = (A \ominus B) \oplus B \qquad (۳)$$

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \qquad (۴)$$

در روابط (۱) – (۴) ، A تصویر باینری، B المان ساختاری، B^s متقارن B و B_z ترجمه B با استفاده از بردار z است. اپراتور dilation ابعاد تصویر را گسترش می‌دهد درحالی‌که اپراتور erosion ابعاد تصویر را کاهش می‌دهد. اپراتورهای opening و closing از ترکیب اپراتورهای dilation و erosion ایجاد می‌شوند که به ترتیب به‌منظور حذف برآمدگی‌ها (انشعابات) و پر کردن فضاهای خالی و حفره‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۳].

در این پژوهش ابتدا از عملگر closing به‌منظور پر کردن فضاهای خالی[۱] موجود در داده‌های خط سیر ناشی از تبدیل فضای برداری به فضای رستری داده‌ها استفاده شد. سپس از عملگرهای dilation و thinning به ترتیب به‌منظور افزایش ابعاد تصویر و نازک‌سازی پیکسل‌های استخراج ساختمان[۲] راه، استفاده شد. پس از اعمال این عملگرها محدوده راه استخراج خواهد شد. سپس به‌منظور استخراج مرکز راه از عملگر Skeleton استفاده شد.

۴- پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

در این مقاله به منظور توسعه عامل‌ها از زبان برنامه‌نویسی جاوا استفاده شد. همچنین از پایگاه داده متن‌باز PostgreSQL به‌منظور تشکیل پایگاه داده مکانی و از PostGIS به‌عنوان ماژول[۳] مکانی و به‌منظور انجام آنالیزهای مکانی بر روی‌داده‌ها، استفاده شد. پایگاه داده PostgreSQL یک سیستم پایگاه داده متن‌باز رابطه‌ای شیءگرا[۴] تحت مجوز BSD[۵] است. نمونه اولیه این نرم‌افزار توسط دانشگاه برنکلی در سال ۱۹۸۸ تولید شد. بعدها این امکان فراهم شد که به‌منظور انجام آنالیزهای مکانی از ماژول الحاقی PostGIS[۶] استفاده شود. PostGIS برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ انتشار یافت و در طول زمان توانست انطباق خوبی با استاندارد OGC SFS بدست آورد، در حال حاضر PostGIS با مجوز GLP[۷] پایگاه داده مکانی قوی در دنیای اطلاعات مکانی و قابل رقابت با نمونه‌های تجاری مانند Oracle Spatial شناخته می‌شود. علاوه بر این، از نرم‌افزار متن‌باز OpenJump به‌منظور نمایش داده‌ها استفاده شده است. این نرم‌افزار از نرم‌افزارهای خانواده Jump بوده که علاوه بر استانداردهای GML[۸] و WMS[۹] از استاندارد WFS[۱۰] نیز پشتیبانی می‌کند [۲۴].

۱-۴- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورداستفاده در این مقاله، داده‌های پروژه GeoLife GPS مربوط به شهر پکن است. این مجموعه داده[۱۱] توسط ۱۸۲ کاربر در مدت سه سال (آوریل 2007 تا اوت2012) جمع‌آوری‌شده است. نرخ نمونه‌برداری این داده‌ها متفاوت است اما ۹۱,۵٪ داده‌ها از توزیع مناسبی برخوردار هستند [۲۵]. به عبارتی این داده‌ها هر ۱-۵ ثانیه و یا بافاصله ۵-۱۰ متر نمونه‌برداری شده‌اند. داده‌های خط سیر در این مجموعه داده با استفاده از مجموعه‌هایی از نقاط بافاصله زمانی مشخص، نمایش داده شده‌اند که شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و زمان نمونه‌برداری (x,y,z,timestamp) و در سیستم مختصات WGS 84 می‌باشند.

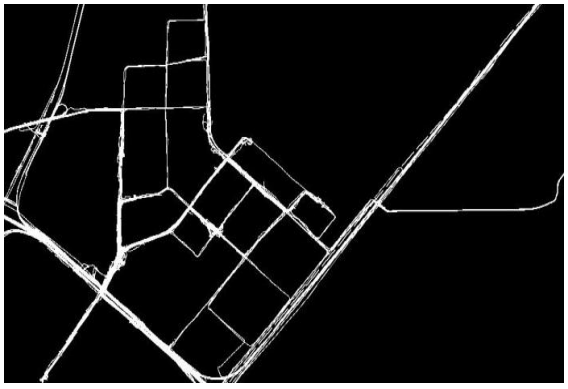
---

۱ Gap
۲ Skeleton

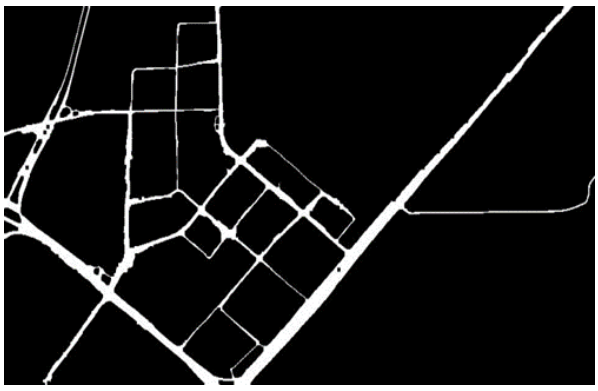
۳ Extension
٤ ORDBMS
٥ Berkeley Software Distribution
٦ Extension
٧ General License Public
٨ Geography Markup Language
٩ Web Map Service
١٠ Web Feature Service
١١ Data set

۴-۲- تحلیل و نمایش نتایج

در این پژوهش به‌منظور کاهش نویز ذاتی داده‌ها، قوانینی تعریف شد. سپس تبدیلی از فضای برداری داده‌های خط سیر به فضای رستری توسط عامل تبدیل کننده صورت گرفت (شکل۶-الف). در ادامه عامل استخراج‌کننده راه با استفاده از عملگرهای مورفولوژی به استخراج راه پرداخت. به این منظور ابتدا از عملگر closing به‌منظور پر کردن فضای خالی داده‌ها ناشی از تبدیل از فضای برداری به فضای رستری استفاده شد (شکل۶-ب). سپس از عملگر dilation به‌منظور افزایش ابعاد تصویر (شکل۶-ج) و همچنین از عملگر thinning به‌منظور نازک‌سازی پیکسل‌های بیانگر ساختمان راه استفاده شد (شکل۶-د). پس از اعمال این عملگر محدوده راه استخراج خواهد شد. سپس به‌منظور استخراج مرکز راه از عملگر Skeleton استفاده شد (شکل۶-ه). عملگر Skeleton از طریق نگه داشتن مرکز ثقل راه‌ها، نقاط مرزها را حذف می‌کند. لذا پس از اعمال این عملگر، راه‌های جعلی به وجود می‌آید. راه‌های جعلی بیانگر راه‌هایی هستند که در نقشه تولیدشده وجود داشته ولی در واقعیت راه نیستند. به عبارتی دیگر راه‌های جعلی راه‌هایی هستند که به‌اشتباه استخراج شده‌اند.

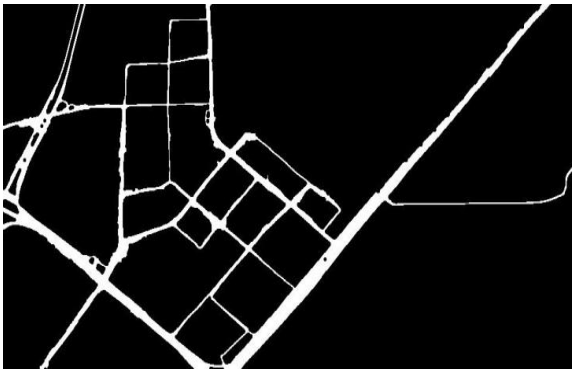


الف

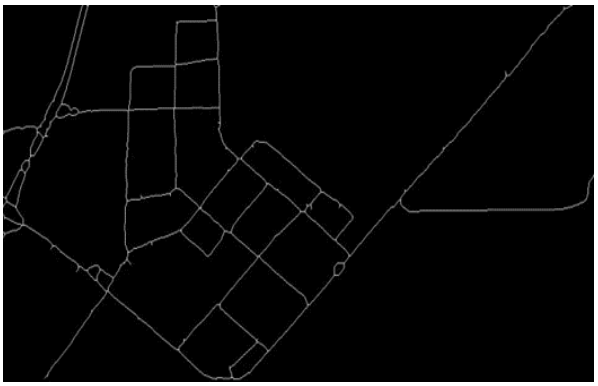


ب

ج



د



ه

شکل۶- راه استخراج‌شده توسط عامل‌های کاوشگر الف- تصویر باینری، ب- اعمال عملگر closing، ج- عملگر dilation د- عملگر thinning، ه- عملگر skeleton

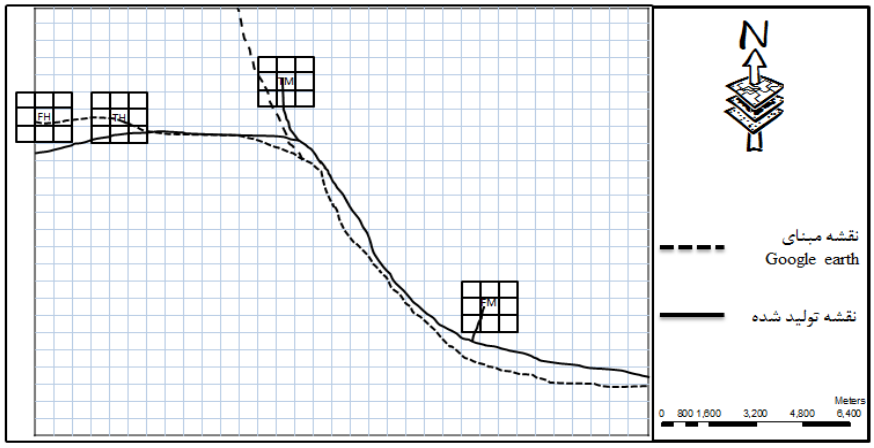
۵- ارزیابی نتایج

به‌منظور ارزیابی عملکرد راه‌کار استفاده شده در این پژوهش روش پیشنهادشده توسط بیگیونی و اریکسون [۲۶] به‌عنوان روش پایه مورد استفاده قرار گرفت. در این ارزیابی نقشه Google earth موجود به‌عنوان نقشه مبنا استفاده شد و داده‌های خط سیر موجود برای ۳۴ راه مورد ارزیابی قرار گرفت.

به‌منظور ارزیابی نقشه تولیدشده در این مقاله نسبت به نقشه مبنا، ابتدا نقشه مبنا از فضای برداری به رستر تبدیل

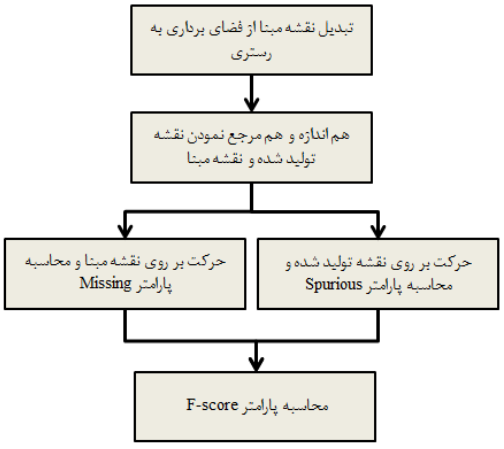
خواهد شد. سپس نقشه تولیدشده و نقشه مبنا، هم‌اندازه (ازنظر تعداد و ابعاد پیکسل‌ها) و هم مرجع خواهند شد. سپس با محاسبه پارامترهای SPURIOUS، MISSING و F_score دقت نقشه تولیدشده نسبت به نقشه مبنا تعیین می‌شود. هریک از پارامترها به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

- **پارامتر MISSING:** نسبتی از تعداد پیکسل‌های مربوط به راه‌های موجود در نقشه مبنا که در نقشه تولیدشده وجود ندارند به‌کل تعداد پیکسل‌های راه‌های موجود در نقشه مبنا
- **پارامتر SPURIOUS:** نسبتی از تعداد پیکسل‌های راه‌های موجود در نقشه تولیدشده که در نقش مبنا وجود ندارند به‌کل تعداد پیکسل‌های راه‌های موجود در نقشه تولیدشده
- **پارامتر F_Score:** میانگینی از دو پارامتر SPURIOUS و MISSING است که به‌منظور ارائه دقت نهایی نقشه تولیدشده محاسبه شد.



شکل۸- نقاط TH، FH، TM و FM

پارامتر MISSING بیانگر تعداد پیکسل‌های راه‌هایی از نقشه مبنا که در نقشه تولیدشده استخراج نشده‌اند و مقدار پارامتر SPURIOUS بیانگر تعداد پیکسل‌های راه‌های تولیدشده جعلی در نقشه تولیدشده است. مقادیر پایین پارامتر SPURIOUS و MISSING و مقدار بالای پارامتر F_score بیانگر دقت بالای نقشه تولیدشده نسبت به نقشه مبنا است. شکل ۷ روال کلی ارزیابی نقشه تولیدشده نسبت به نقشه مبنای OSM را نمایش می‌دهد.



شکل۷- روال کلی روش ارزیابی نقشه تولیدشده نسبت به نقشه مبنا

به‌منظور تعیین پارامترهای SPURIOUS و MISSING، پیکسل‌های راه‌های موجود در نقشه مبنا به‌عنوان H و پیکسل‌های راه‌های موجود در نقشه تولیدشده به‌عنوان M در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور تعیین پارامتر MISSING، برای هر یک از پیکسل‌های H وجود و یا عدم وجود پیکسل‌های M در یک همسایگی با ابعاد پنجره ۳*۳ بررسی خواهد شد. درصورتی‌که در این همسایگی مشخص‌شده حداقل یک پیکسل M کشف شود، این پیکسل به‌عنوان TH و در غیر این صورت این پیکسل به‌عنوان FH در نظر گرفته خواهد شد (شکل۸).

به‌طور مشابه، به‌منظور تعیین پارامتر SPURIOUS، برای هر یک از پیکسل‌های M وجود و یا عدم وجود پیکسل‌های H در یک همسایگی با ابعاد پنجره ۳*۳ بررسی خواهد شد. درصورتی‌که در این همسایگی مشخص‌شده حداقل یک پیکسل H کشف شود، این پیکسل به‌عنوان TM و در غیر این صورت این پیکسل به‌عنوان FM در نظر گرفته خواهد شد (شکل۸).

با شمارش تعداد پیکسل‌های TH، FH، TM و FM پارامترهای SPURIOUS و MISSING به‌صورت فرمول‌های (۵) و (۶) محاسبه می‌شود.

$$spurious = \frac{\#FM}{\#FM + \#TM} \quad (۵)$$

$$\text{missing} = \frac{\#FH}{\#FH + \#TH} \quad (۶)$$

پس از تعیین پارامترهای SPURIOUS و MISSING، دقت نقشه تولیدشده نسبت به نقشه مبنا با استفاده از مقدار F_score به‌صورت فرمول (۷) قابل‌بیان است.

$$F_score = 2 \times \frac{(1-spurious)(1-\text{missing})}{(1-spurious)+(1-\text{missing})} \quad (۷)$$

پس از اجرای روش ارزیابی برای داده‌های خط سیر موجود مربوط به ۳۴ راه، مقادیر پارامترهای F_score، MISSING و SPURIOUS به ترتیب برابر با ۰/۵۷ و ۰/۴۰ و ۰/۳۷ حاصل شد. استفاده از روش‌های مورفولوژی در فضای رستری داده‌های خط سیر منجر به تولید راه‌های جعلی می‌گردد. به‌طورکلی می‌توان گفت ازآنجایی‌که در روش KDE داده‌های خط سیر به فضای رستری منتقل می‌شوند، نقشه تولیدشده نسبت به نقشه مبنا از دقت نسبتاً کمی برخوردار است.

۶- نتیجه‌گیری

راه‌کارهای ارائه‌شده درزمینه‌ی استخراج راه از داده‌های مردم گستر، الگوریتم مبنا هستند. به این مفهوم که به‌منظور استخراج راه باید الگوریتم استخراج راه برای کل محدوده موردنظر اجرا شود. در راه‌کار ارائه‌شده با توسعه عامل‌هایی در یک سیستم چندعامله امکان اجرای الگوریتم استخراج راه تنها برای مناطقی که داده‌های خط سیر جمع‌آوری‌شده است، وجود دارد. به این منظور سیستم چندعامله‌ای توسعه داده‌شده که با تقسیم وظایف بین عامل‌های مشخص و همچنین با در نظر گرفتن ویژگی عامل‌ها در حس محیط و توانایی عکس‌العمل در برابر تغییرات محیط، امکان ارائه راه‌کار نوینی به‌منظور تولید نقشه به‌طور خودکار را فراهم می‌کنند. به دلیل تقسیم محیط به مناطق کوچک‌تر، الگوریتم استخراج راه تنها برای مناطقی با داده‌های خط سیر اجرا خواهد شد. لذا این راه‌حل به سیستم محاسبات اضافی اعمال نمی‌کند و محاسبات تنها در زمانی صورت می‌گیرد که داده‌های خط سیر در محیط وجود داشته باشند.

راه‌حل استخراج نقشه راه بر مبنای عامل‌های کاوشگر، می‌تواند به‌عنوان بستری به‌منظور سایر روش‌های استخراج خودکار راه نیز قرار گیرد که این مورد به‌عنوان مطالعه بیشتر، پیشنهاد می‌شود. همچنین استفاده از پالونه‌ای به‌منظور حذف راه‌های جعلی تولیدشده می‌تواند کمک شایانی به افزایش دقت نقشه تولیدشده نماید.

مراجع

[1] Holzapfel, W., M. Sofsky, and U. Neuschaefer-Rube. (2003). "Road profile recognition for autonomous car navigation and Navstar GPS support." Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, 39(1): p. 2-12.

[2] Wessel, B. (2004). "Road network extraction from SAR imagery supported by context information." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. 35: p. 360-366.

[3] Zhang, C. (2004) ."Towards an operational system for automated updating of road databases by integration of imagery and geodata." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 58(3): p. 166-186.

[4] TOMTOM. TomTom Map Share Technology. accessed 5 Jan 2015; Available from: WWW.TOMTOM.COM/EN_GB/MAPS/MAPUPDATE-SERVICE.

[5] Wang, Y., Liu, X., Wei, H., Forman, G., Chen, C., Zhu, Y. (2013). "Crowdatlas: Self-updating maps for cloud and personal use." in Proceeding of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, Taiwan, 2013.

[6] Goodchild, M.F. (2007). "Citizens as sensors: the world of volunteered geography." GeoJournal, 69(4): p. 211-221.

[۷] محمدی, ن., ملک , محمدرضا, بهبود سازگاری منطقی در محیط های اطلاعات مکانی مردم گستر. ۱۳۹۳, دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

[8] Edelkamp, S. and S. Schrödl (2003). "Route planning and map inference with global positioning traces, in Computer Science in Perspective, Springer. p. 128-151.

[9] S. Schroedl, K. Wagstaff, S. Rogers, P. Langley and C. Wilson (2004) "Mining GPS traces for map refinement." Data mining and knowledge Discovery. 9(1): p. 59-87.

[10] Worrall, S. and E. Nebot (2007). "Automated process for generating digitised maps through GPS data compression." in Australasian Conference on Robotics and Automation, Australian, 2007.

[11] Jang, S., T. Kim, and S. Lee (2010). "Map generation system with lightweight GPS trace data." in Advanced Communication Technology (ICACT), The 12th International Conference on. 2010. IEEE, Denmark, 2010.

[12] Agamennoni, G., J.I. Nieto, and E.M. Nebot (2011). "Robust inference of principal road paths for intelligent transportation systems." Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on. 12(1): p. 298-308.

[13] Guo, T., K. Iwamura, and M. Koga (2007). "Towards high accuracy road maps generation from massive GPS Traces data." in Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS. IEEE International, Spain, 2007

[14] Niehoefer, B., Burda, R., Wietfeld, Ch., Bauer, F., Lueert, O. (2009). "GPS community map generation for enhanced routing methods based on trace-collection by mobile phones." in Advances in Satellite and Space Communications, 2009. SPACOMM 2009. First International Conference on. IEEE, France, 2009.

[15] Fathi, A. and J. Krumm, (2010). "Detecting road intersections from gps traces" in Geographic Information Science. 2010, Springer. p. 56-69.

[16] Chazal, F., Chen, D., Guibas, L., Jiang, X. and Sommer, C. (2011). "Data-driven trajectory smoothing." in Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, USA, 2011.

[17] Li, J., Qin, Q., Xie, C., Zhao, Y. (2012). "Integrated use of spatial and semantic relationships for extracting road networks from floating car data." International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 19: p. 238-247.

[18] Davics, J., A.R. Beresford, and A. Hopper, (2006). "Scalable, distributed, real-time map generation." Pervasive Computing, IEEE. 5(4): p. 47-54.

[19] Chen, C. and Y. Cheng. (2008). "Roads digital map generation with multi-track GPS data." in Education Technology and Training. and 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing. ETT and GRS 2008. International Workshop on USA, 2008.

[20] Biagioni, J. and J. Eriksson (2012). "Map inference in the face of noise and disparity." in Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems , USA, 2012.

[21] S. Russell, and P. Norvig (2010). "Artifitial Intelligence A Modern Approach." New Jersey: Pearson press, New Jersey.

[22] Zhang, D., Li, N., Zhou, Z., Chen, C., Sun, L., Li, S. (2011). "*iBAT:* detecting anomalous taxi trajectories from GPS traces." in Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing, China, 2011.

[23] Gonzalez, R. (2001). “Digital Image Processing.” Vol. Second Edition. 795. USA: Pearson press, United States of America.

[24] GIStech. 2015 [cited 2015 26 Jan]; Available from: WWW.gistech.ir/gis_software_desktop/gis-open-source.

[25] Trajectories, G.G., accessed 5 Jan 2015: p. Available from: http://research.microsoft.com/en-us/downloads/b16d359d-d164-469e-9fd4-daa38f2b2e13./

[26] Zheng, Y. (2011). Geolife GPS trajectory dataset. Retrieved from: https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/geolife-gps-trajectory-dataset-user-guide/