

طراحی و توسعه یک سیستم چندعامله به منظور استخراج خودکار هندسه راه توسط عامل‌های کاوشگر

رضا محمدی^۱، مهدی فرنقی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی
۲- استادیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸

چکیده

نقشه‌های رقومی بهنگام نقش‌سازی در ارائه خدمات باکیفیت در کاربردهای مختلف سیستم‌های خدمات رسانی مرتبط با مکان نظری ناوی بری، توریسم، مدیریت ترافیک و سامانه‌های مکان‌بنا ایفا می‌کنند. امروزه استفاده از داده‌های مردم‌گستر، به منظور تولید نقشه‌های رقومی مورد توجه قرار گرفته است. روش‌های ارائه شده به منظور استخراج نقشه رقومی راه با استفاده از داده‌های مردم‌گستر، عموماً ایستا بوده و به تغییرات پیوسته شبکه راه‌ها که توسط داده‌های خط سیر کاربران گزارش می‌شوند توجه نمی‌کنند. ایستا بودن روش‌های ارائه شده به منظور استخراج خودکار راه باعث می‌شود که بهنگام رسانی نقشه‌های راه مردم‌گستر به‌طور بهینه صورت نگیرد. استفاده از عامل‌ها به‌دلیل قابلیت حس محیط و توانایی عکس‌العمل در برابر تغییرات محیط، تولید نقشه به صورت پویا را امکان‌پذیر می‌کند. این پژوهش قصد دارد روشی پویا به منظور بهنگام رسانی نقشه‌های راه بر مبنای عامل‌های کاوشگر ارائه دهد. در این مقاله با الهام از نحوه پایش پیوسته محیط و ب توسط عامل‌های کاوشگر پویا، روشی پویا به منظور بهنگام رسانی نقشه‌های شبکه راه، با در نظر گرفتن تغییرات محیط که توسط خط سیرهای جمع‌آوری شده کاربران گزارش می‌شوند، ارائه شد. بدین منظور عامل‌های توسعه داده شد که با حرکت بر روی داده‌های خط سیر به استخراج راه می‌پردازن. روش خوشبندی EM به منظور تعیین گره‌های شبکه راه مورد استفاده قرار گرفته و سپس روشی ابتکاری به منظور اتصال گره‌های مرتبط با یکدیگر ارائه شده است. راه کار ارائه شده امکان استخراج راه در فضای سه‌بعدی داده‌های خط سیر را فراهم می‌آورد. در پایان نتایج حاصل از الگوریتم ارائه شده به صورت عددی با نقشه مبنای OSM مورد ارزیابی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: داده‌های مردم‌گستر، خط سیر، استخراج خودکار راه، عامل، عامل کاوشگر.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران - خیابان ولی‌عصر - تقاطع میرداماد - رویروی ساختمان اسکان.

تلفن: ۰۷-۳۸۸۸۷۷۰

۱- مقدمه

هربک از پیکسل‌ها را شمارش و بر اساس آن یک تصویر ایجاد کرده‌اند. در ادامه با اعمال یک حد آستانه پیکسل‌های مربوط به شبکه راه از سایر پیکسل‌ها جدا شده و در نهایت از روش‌های مختلف پردازش تصویر به منظور کشف مرکز راه‌ها استفاده کرده‌اند. کائو و کرام [۱۱] و گائو و همکاران [۱۲] با مدل‌سازی اثر نیروهای داده‌های خط سیر^۳ بر یکدیگر، اقدام به استخراج هندسه و جهت راه نمودند. همچنین، به منظور کاهش نویز داده‌ها، که می‌تواند باعث ایجاد راه‌های کاذب شود، پالایه^۴ ویژه‌ای اعمال نمودند. برخی از محققین [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹] از روش‌های خوشبندی به منظور استخراج راه استفاده نمودند. به این صورت که مجموعه‌ای از نقاط متعلق به خط سیرهای مختلف که به یکراه تعلق دارند، یک خوشه را تشکیل می‌دهند. سپس میانگین موقعیت‌های نقاط تشکیل‌دهنده یک خوشه، به عنوان مقادیر اولیه الگوریتم کا_مینز^۵ در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه از الگوریتم کا_مینز به منظور کشف موقعیت مجموعه نقاط به گونه‌ای که خط سیرها را به بهترین شکل توصیف کنند، استفاده گردید. نهایتاً به منظور استخراج راه مراکز این خوشه‌ها به یکدیگر متصل شدند.

از معایب روش‌های ارائه شده در زمینه استخراج راه از داده‌های مردم‌گستر می‌توان به ایستا^۶ بودن این روش‌ها اشاره نمود. داده‌های مردم‌گستر به صورت پیوسته و پویا جمع‌آوری می‌شوند. این در حالی است که روش‌های ارائه شده، تغییرات پیوسته شبکه راه‌ها که توسط داده‌های مردم‌گستر گزارش می‌شوند را در نظر نمی‌گیرند. به عبارتی دیگر الگوریتم‌های پیشنهادشده قابلیت درک تغییرات محیط (که این تغییرات می‌تواند راهی که اخیراً ساخته شده و

بسیاری از کاربردها نظیر ناوبری، توریسم، مدیریت ترافیک، مدیریت ناوگان‌های شهری و بین‌شهری، سامانه‌های حمل و نقل هوشمند، سرویس‌های نقشه تحت وب و سامانه‌های مکان‌مینا [۱، ۲ و ۳] به داده‌های بهنگام نیاز دارند. لذا ارائه روشی جایگزین به منظور تولید و بهنگام رسانی اطلاعات مکانی شبکه راه‌ها به صورت خودکار ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی امروزه تعداد استفاده کنندگان از شبکه‌های اجتماعی^۱ رو به افزایش است. این شبکه‌ها بر پایه‌ی فناوری وب ۲ و در تعامل پیوسته با کاربران ایجاد شده‌اند. در چنین شرایطی هر کاربر، به عنوان یک سنجنده^۲ عمل کرده، داده‌های مکانی را جمع‌آوری و برای سرور مرکزی ارسال می‌کند [۴]. از این طریق منابع اطلاعات مکانی شبکه‌های اجتماعی به صورت پیوسته تغذیه و غنی‌سازی می‌شود.

داده‌های مردم‌گستر می‌توانند به عنوان تکمیل کننده داده‌های مکانی استاندارد مورداستفاده قرار گیرند [۴]. این داده‌ها حاوی اطلاعاتی فراتر از اطلاعات مکانی موجود در داده‌های استاندارد بوده و می‌توانند به منظور تحلیل رفتاری-مکانی کاربران، که بر روی داده‌های استاندارد امکان پذیر نیست، مورداستفاده قرار گیرند [۵]. همچنین داده‌های مردم‌گستر، به خاطر ماهیت پویایی آن‌ها، معمولاً بهنگام هستند و نسبت به داده‌های مکانی استاندارد بهتر می‌توانند تغییرات دنیای واقعی را نمایش دهند [۵]. این ویژگی‌های مهم، اهمیت استفاده و به کارگیری از این منابع ارزشمند را تبیین می‌کنند.

فعالیت‌های زیادی در زمینه استخراج خودکار راه از داده‌های مردم‌گستر صورت گرفته است. محققین بسیاری [۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰] فضای هندسی داده‌های GPS را شبکه‌بندی نموده، سپس توزیع نمونه‌ها در

^۳ Trajectory data

^۴ Filter

^۵ k-means

^۶ Static

^۱ Social networks

^۲ Sensor

ساختارهای پیچیده شهری نحوی پاسخگوی راهکار ارائه شده به مسائل موجود در استخراج راه از ساختارهای پیچیده شهری را توضیح می‌دهد. بخش چهارم به نحوه توسعه راهکار ارائه شده و تحلیل نتایج و پیشنهادات نیز بخش پایانی این مقاله را شکل داده است.

۲- استخراج راه توسط عاملهای کاوشنگر

همان‌گونه که گفته شد، روش‌های ارائه شده در زمینه استخراج راه از داده‌های خط سیر که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت عموماً ایستا بوده و به تغییرات پیوسته شبکه راهها که توسط داده‌های خط سیر کاربران گزارش می‌شوند، توجه نمی‌کنند. این روش‌ها معمولاً یکبار روی داده‌های خط اجراسده و شبکه‌ی راه را استخراج می‌نمایند. ایستا بودن روش‌های استخراج راه از داده‌های خط سیر منجر به عدم بهنگام‌رسانی نقشه‌های شبکه راه متناسب با تغییرات دنیای واقعی می‌گردد. استفاده از عامل‌ها به عنوان مولفه‌های نرم‌افزاری با قابلیت عکس‌العمل نسبت به تغییرات محیط، به عنوان ابزار بهنگام‌رسانی نقشه‌های راهها، می‌تواند سازوکارهای ایستایی ارائه شده را به ساز و کارهای پویا تبدیل نماید.

راسل [۲۰] عامل‌های را کدهای کامپیوتربی معرفی می‌کند که از قابلیت درک محیط و عکس‌العمل در برابر تغییرات برخوردار می‌باشند. نوع ویژه‌ای از عامل‌های هوشمند که بهمنظور شناسایی و نمایه‌گذاری^۲ صفحات مفید و به توسط موتورهای کاوشنگرها و به تدبیر پیوسته و خودکار بر روی صفحات وب (که بالینک به یکدیگر متصل شده‌اند) حرکت نموده و به کاوش محتوی

یا مسدود شده و مسیری جایگزین برای آن در نظر گرفته شده باشد) را ندارند، بلکه در بازه‌های زمانی بخصوصی، بهمنظور بهنگام‌رسانی نقشه‌ها، باید دوباره اجرا شوند. لذا عدم توجه به ماهیت پویایی داده‌های خط‌سیر باعث می‌شود تا روش‌های ارائه شده در نگاشت تغییرات محیط واقعی با مشکل مواجه گرددند. از طرفی بهنگام‌رسانی پیوسته نقشه‌های راه با دو مشکل حجم بالای محاسبات و نیز ناسازگاری داده‌های خط سیر روبرو است. نحوه مرتفع نمودن این دو مشکل توسط راهکار ارائه شده در بخش‌های بعدی این مقاله تشریح خواهد شد.

در این مقاله با الهام از نحوه پایش پیوسته محیط و به توسط عامل‌های کاوشنگر وب^۱، با توجه به تغییرات پیوسته داده‌های جمع‌آوری شده خط سیر توسط کاربران، روشی پویا بهمنظور بهنگام‌رسانی نقشه‌های شبکه راه، ارائه شده است. بدین منظور عامل‌های توسعه داده شد که با حرکت بر روی داده‌های خط سیر نسبت به تغییرات محیط واکنش نشان داده و بهنگام‌رسانی نقشه شبکه راهها بپردازند. این عامل‌ها با در نظر گرفتن فضای سه‌بعدی داده‌های خط سیر راه حلی کارآمد بهمنظور استخراج راه، پی‌خواهند گرفت. استفاده از عامل‌های کاوشنگر باعث می‌شود تا عمل بهنگام‌رسانی، با در نظر گرفتن تغییرات محیط که توسط خط سیرهای جمع‌آوری شده کاربران گزارش می‌شوند، به خوبی صورت گیرد. این عامل‌ها با در نظر گرفتن فضای سه‌بعدی داده‌های مردم‌گستر عملکرد مناسبی در استخراج راه در جداسدگی و یکی شدنگی مسیر و تقاطع غیر هم‌سطح دارند.

ساختار مقاله در ادامه به این شرح است: در بخش دوم راهکار ارائه شده در این مقاله بهمنظور استخراج راه توسط عامل‌های کاوشنگر به صورت کامل تشریح شده است. بخش سوم با در نظر گرفتن

² Indexing

³ Search engine

¹ Web Crawler-Agent

استخراج خودکار هندسه راه با استفاده از عامل‌های کاوشگر را نمایش می‌دهد. فضای داده‌های مردم‌گستر توسط عامل مدیر به مناطقی تقسیم شده، سپس به هر منطقه یک عامل کاوشگر محیط اختصاص داده خواهد شد. این عامل کاوشگر محیط به طور پویا در منطقه به جستجو می‌پردازد و در صورت پیدا نمودن داده‌هایی که بیانگر تغییرات شبکه‌ی راه باشند، گزارشی از موقعیت آن منطقه در اختیار عامل مدیر قرار می‌دهد. عامل مدیر برای آن منطقه مربوطه، در صورت نیاز یک عامل استخراج‌کننده راه تخصیص خواهد داد. هر مسیر تنها توسط یک عامل استخراج‌کننده استخراج خواهد شد. این عامل بر روی داده‌های خط سیر حرکت کرده و به استخراج راه می‌پردازد. در ادامه وظیفه هر عامل و نحوه عملکرد هر کدام به طور کامل شرح داده خواهد شد.

صفحات وب می‌پردازند.

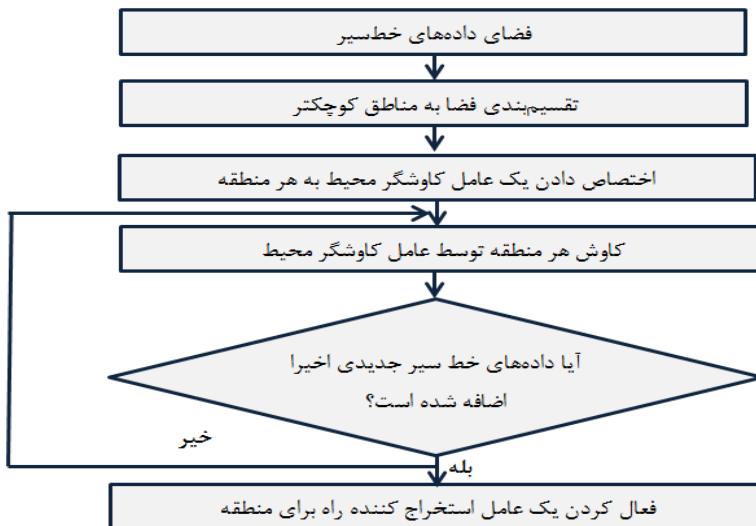
در این پژوهش با الهام از نحوه پویش صفحات وب توسط عامل‌های کاوشگر وب، طراحی و توسعه عامل‌هایی در دستور کار قرار گرفت که می‌تواند با حرکت در محیط داده‌های مکانی خط سیر نسبت به تغییرات محیط واکنش نشان داده و بهینگام رسانی نقشه شبکه راه‌ها بپردازد. بدین‌منظور سیستم چند عاملهای شامل سه دسته عامل طراحی شده است:

- **عامل کاوشگر محیط باهدف کاوش فضای سه‌بعدی داده‌های مکانی خط سیر**

- **عامل استخراج‌کننده راه باهدف استخراج راه از طریق حرکت بر روی داده‌های خط سیر**

- **عامل مدیر باهدف مدیریت رفتار عامل‌های کاوشگر محیط و عامل استخراج‌کننده راه**

در این پژوهش محیط عمل عامل‌ها، فضای داده‌های مردم‌گستر خط سیر است. شکل (۱) روال کلی



شکل ۱: روال کلی استخراج خودکار هندسه راه بر مبنای عامل‌های کاوشگر

تقسیم می‌کند. این کار به منظور تعیین محدوده فعالیت عامل‌های کاوشگر محیط در سیستم چند‌عامله صورت می‌گیرد. برای این‌منظور عامل مدیر سپس مختصات ابعاد هر منطقه را تعیین می‌کند. برای داده‌های خط‌سیر ذخیره شده، زمان ثبت داده‌ها در پایگاه داده وارد شده است. با استفاده از زمان ثبت، امکان تعیین داده‌های خط‌سیر جدید فراهم می‌شود.

۱-۲ - عامل مدیر

عامل مدیر وظیفه مدیریت عامل‌های کاوشگر محیط و عامل‌های استخراج‌کننده راه را بر عهده دارد. این عامل به منظور جلوگیری از اجرای الگوریتم استخراج راه برای کل فضای داده‌های خط سیر، فضای داده‌های خط سیر تحت پوشش خود را به مناطق کوچک‌تری

که میزان استفاده از CPU کمتر از ۷۰ درصد است به صورت بهینه عمل کرده و پردازش‌ها را با سرعتی مناسب اجرا می‌کند. بر این اساس در پیاده‌سازی عامل مدیر کتابخانه^۱ SIGAR به منظور پایش میزان CPU استفاده شده به کار گرفته شد. عامل مدیر با استفاده از این کتابخانه در هر لحظه مقادیر CPU را بررسی نموده و تا زمانی که مقدار CPU کمتر از ۷۰ درصد باشد، در صورت لزوم عامل‌های استخراج کننده راه جدیدی اضافه می‌کند. همچنین در صورتی که مقدار CPU بیشتر از ۷۰ درصد باشد، عامل‌هایی را غیرفعال خواهد نمود. بدین ترتیب عامل مدیر سعی در ایجاد توازن لازم در کل سیستم چند عامله را دارد.

عامل‌های استخراج کننده راه موقعیت خود در محیط را به عامل مدیر گزارش می‌دهد. از آنجایی که هر مسیر تنها توسط یک عامل استخراج کننده استخراج می‌شود لذا از بین عامل‌هایی که به‌طور مشترک کار استخراج راه برای یک مسیر را انجام می‌دهند، یکی توسط عامل مدیر غیرفعال خواهد شد. همچنین در صورت کشف داده‌های خط سیر جدید توسط عامل کاوشنگر محیط، یک عامل استخراج کننده جدید توسط عامل مدیر فعل خواهد شد.

۲-۲- عامل‌های کاوشنگر محیط

پس از تقسیم فضای داده‌های مردم‌گستر به مناطق و تخصیص یک عامل کاوشنگر محیط به هر منطقه، عامل کاوشنگر محیط در فضای سه‌بعدی داده‌های مردم‌گستر حرکت کرده و به‌محض مشاهده تعداد کافی از داده‌های خط سیری که بیانگر تغییرات آن منطقه باشند، نتیجه را به عامل مدیر گزارش می‌دهد. به عبارتی برای خط سیرهای جدید جمع‌آوری شده از یک مسیر که فراوانی کمی دارند و همچنین خط سیرهای قدیمی کار استخراج راه انجام نخواهد گرفت. شکل (۲) نحوه جستجوی عامل

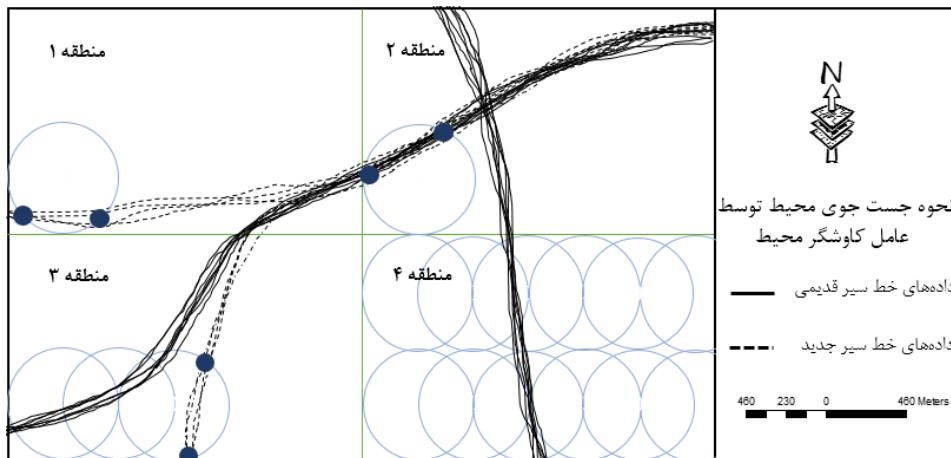
بهمنظور تعیین داده‌های خط سیر جدید، عامل مدیر به هر یک از مناطق یک عامل کاوشنگر محیط اختصاص می‌دهد. عامل کاوشنگر محیط منطقه مربوط به خود را تا انتها کاوش نموده و به‌محض مشاهده تعداد قابل قبول از داده‌های خط سیری که بیانگر تغییرات آن منطقه باشند، موقعیت داده‌های خط سیر جدید را به عامل مدیر گزارش می‌دهد. سپس عامل مدیر در موقعیت کشف شده یک عامل استخراج کننده راه فعال خواهد نمود. در مناطقی که در آن‌ها تغییراتی گزارش نشده، عامل استخراج کننده‌ای فعال نخواهد شد. ابعاد این مناطق در سیستم چند عامله توسعه داده شده قابل تنظیم است.

بهمنظور تعیین تعداد قابل قبول داده‌های خط سیر جدید، عامل مدیر پالونه‌ای که شامل دو پارامتر زمانی و تعداد (تعداد قابل قبولی از داده‌های خط سیر) است را برای داده‌های خط سیر جمع‌آوری شده توسط کاربران بررسی می‌کند. در صورت اضافه شدن تعداد قابل قبولی از داده‌های خط سیر جدید، این داده‌ها به محیط عمل سیستم چند عامله اضافه خواهند شد. در پیاده‌سازی انجام شده مقادیر اولیه داده‌های خط سیر دو هفته اخیر به عنوان پارامتر زمانی و تعداد ۲۰ داده خط سیر به عنوان پارامتر تعداد در نظر گرفته شد. این پارامترها در سیستم چند عامله توسعه داده شده قابل تنظیم می‌باشند و در پیاده‌سازی عملیاتی می‌توان بر اساس نیاز آن‌ها، بهمنظور رسیدن به نتایج بهتر، تغییر داد. از آنجایی که حضور و فعالیت عامل‌های استخراج کننده راه مختلف در محیط به منابع پردازشی بالای نیاز دارند، عامل مدیر سعی در برقراری تعادل میان منابع پردازشی موجود و میزان پردازش هر منطقه دارد. در صورتیکه عامل مدیر تعداد عامل‌های استخراج کننده راه را به صورت نامحدود افزایش دهد، سیستم عملکرد مناسبی نخواهد داشت و این عمل می‌تواند باعث کندی عملکرد سیستم شود. بررسی‌های تجربی انجام شده در این پژوهش بیان‌گر این مهم بود که سخت‌افزاری که سیستم چندعامله روی آن پیاده‌سازی می‌شود تا زمانی

^۱ <https://support.hyperic.com/display/SIGAR/Home>

لذا برای این مناطق هیچ عامل استخراج‌کننده راهی فعال نخواهد شد. در برخی دیگر از این مناطق ممکن است عامل کاوشگر داده‌های خط سیر جدید را کشف کند (به عنوان مثال مناطق ۱، ۲ و ۳)، برای این مناطق یک عامل استخراج‌کننده راه فعال خواهد شد. به منظور فعال نمودن یک عامل استخراج‌کننده، عامل مدیر موقعیت‌های ابعاد منطقه مجاز به منظور فعالیت عامل استخراج‌کننده و نیز موقعیت داده‌های خط سیر جدید کشف شده را به عامل استخراج‌کننده معرفی می‌کند.

کاوشگر محیط در هر منطقه را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. خطوط کامل، داده‌های خط سیر قدیمی که پیش از این به منظور ایجاد نقشه مورد استفاده قرار گرفته است را نمایش می‌دهد و داده‌های خط سیر جدید که بیانگر تغییرات محیط هستند با خط چین نمایش داده شده است. عامل‌های کاوشگر محیط به منظور پیدا کردن داده‌های خط سیر موجود در محدوده جستجو، منطقه مربوطه به خود را تا انتهای کاوش می‌کنند. در برخی از این مناطق داده‌های خط سیر جدیدی وجود ندارد (به عنوان مثال منطقه ۴)،



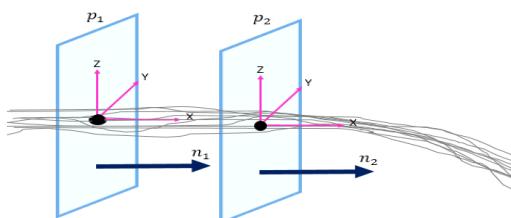
شکل ۲: جستجوی منطقه توسط عامل‌های کاوشگر محیط

به طوریکه عامل استخراج‌کننده با حرکت در راستای گرادیان صفحه می‌تواند بر روی داده‌های خط سیر حرکت کند، تعیین می‌شود. بدین منظور، این صفحه حول محور Z سیستم مختصات محلی تعریف شده برای آن، دوران داده می‌شود. پس از تعیین بهترین حالت صفحه، به منظور تعیین گره‌های^۱ شبکه راه، بر روی نقاط حاصل از تقاطع صفحه با خط سیرها خوشبندی صورت می‌گیرد. سپس عامل استخراج‌کننده در امتداد گرادیان صفحه به جلو حرکت نموده و صفحه جدیدی به منظور تعیین گره‌های گراف شبکه راه ایجاد می‌کند. پس از تشکیل صفحه جدید و شناسایی گره‌های جدید،

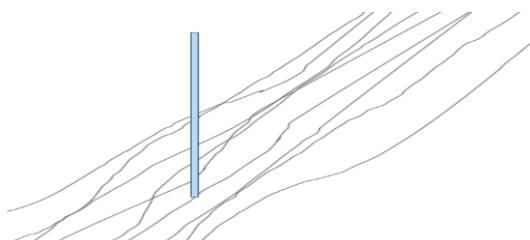
۳-۲- عامل‌های استخراج‌کننده راه

با پیدا شدن خط سیرهای جدید توسط عامل‌های کاوشگر محیط، محدوده این خط سیرها به عامل مدیر گزارش داده می‌شوند. عامل مدیر یک عامل کاوشگر استخراج‌کننده راه در موقعیت گزارش داده شده فعال می‌کند. عامل استخراج‌کننده راه بر روی داده‌های خط سیر حرکت نموده و به استخراج راه می‌پردازد. شکل (۳) راه حل استخراج راه توسط عامل استخراج‌کننده را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. عامل استخراج‌کننده راه جهت‌های مختلفی برای حرکت پیش رو دارد. به منظور استخراج راه، این عامل باید در امتداد داده‌های خط سیر حرکت کند. بدین منظور این عامل در موقعیت خود صفحه‌ای ایجاد نموده سپس بهترین حالت صفحه،

¹ Node



شکل ۳: نحوه ایجاد صفحه و حرکت بر روی داده‌های خط سیر توسط عامل استخراج‌کننده راه



شکل ۴: صفحه ایجادشده توسط عامل استخراج‌کننده در موقعیت خود (پیش از منتقل شده به میانگین نقاط حاصل از تقاطع آن با خط سیرها)

۱-۳-۲- انتخاب جهت حرکت مسیر

بهمنظور مشخص نمودن حرکت عامل استخراج‌کننده بر روی داده‌های خط سیر، این عامل در موقعیت خود یک صفحه ایجاد نموده (خط ۲ شبه کد (۱)) که در آن x_0 و y_0 و z_0 مختصات مرکز صفحه و نیز N_0 بردار نرمال صفحه می‌باشد) و تقاطع این صفحه با خط سیرها تعیین می‌شود (خطوط ۳ شبه کد (۱)). شکل (۴) صفحه ایجادشده توسط عامل استخراج‌کننده را نمایش می‌دهد. این صفحه ممکن است برخی از خط سیرهایی که می‌توانند در استخراج راه شرکت داشته باشند را قطع نکند. بهمنظور حل این مشکل صفحه به میانگین مختصات نقاط حاصل از تقاطع این صفحه با خط سیرها منتقل می‌شود (خطوط ۴ و ۵ شبه کد (۱)). عامل استخراج‌کننده راه موقعیت خود در محیط را به عامل مدیر گزارش می‌دهد (خط ۶ شبه کد (۱)). سپس تقاطع این صفحه با خط سیرها دوباره محاسبه خواهد شد (خط ۷ شبه کد (۱))

بهمنظور تشکیل اتصال^۱ شبکه راه، گره‌های جدید به گره‌های قبلی متصل می‌شوند. درنهایت بهمنظور استخراج شبکه راه، عامل استخراج‌کننده به جلو حرکت نموده و با تکرار مراحل تشکیل صفحه، تعیین گره‌های جدید و اتصال آن‌ها به گره‌های قبلی، به تشکیل اتصالات بیشتر می‌پردازد. شبه کد (۱) نحوه استخراج راه توسط عامل استخراج‌کننده را تشریح می‌کند.

Input: Trajectories of floating cars

Output: Road network

```

1: number of square = 1;
2: P ( $A_0 (x_0, y_0, z_0, N_0)$ ) ← Create square
3: Points ← find all trajectories which has intersected with square
4: Center ← Calculate mean of coordinates (points)
5: Square ← Move square (Center)
6: Road_Extraction_Agent report its location to Manager Agent
7: Points ← find all trajectories which has intersected with square
8: for (i=1:9) do
9:   Rotate Square
10:  Baarda test
11:  Calculate variance of coordinates
12: end for
13: Choose the best square's state
14: Clustering
15: Clusters validation test
16: If (number of squares > 1) then
17:   Create weight matrix
18:   Link relevant clusters
19: end if
20: go forward along the squares gradient for 100 meter
21: number of squares++;
22: go to step 2

```

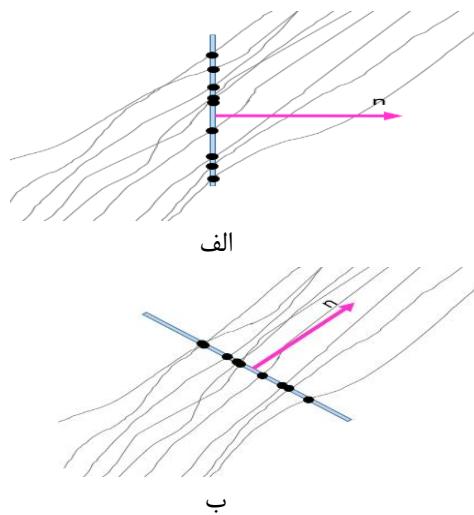
شبه کد ۱: نحوه استخراج راه توسط عامل استخراج‌کننده راه

در ادامه مراحل استخراج راه توسط عامل استخراج‌کننده به صورت کامل تشریح می‌شود.

¹ Edge

تقاطع صفحه با خط سیرها داشته باشد، لذا برای جلوگیری از این مشکل و به منظور اطمینان از عدم حضور مشاهدات اشتباه از آزمون باردا^۱ [۲۲] استفاده می‌شود (خط ۱۰ شبه کد (۱)) و مشاهدات اشتباه حذف می‌شوند. عموماً پیش از آزمون باردا، آزمون فاکتور واریانس ثانویه به منظور بررسی توزیع (صادفی و یا نرمال بودن) داده‌ها صورت می‌گیرد. رد شدن آزمون فاکتور واریانس ثانویه به این مفهوم است که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نموده و لذا می‌توان از این داده‌ها در آزمون باردا استفاده نمود. اما در این مطالعه به پیروی از مطالعات پیشین در زمینه استخراج راه از داده‌های خط سیر (مراجعه شود به [۱۱، ۱۵، ۲۳، ۲۴، ۲۵]) فرض شد که موقعیت داده‌های خط سیر در سطح راه‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند و لذا آزمون باردا بدون در اعمال آزمون فاکتور واریانس روی داده‌ها اعمال شد. پس از حذف نقاط اشتباه، انحراف معیار تک‌تک مؤلفه‌های مختصات هر یک از نقاط باقیمانده از رابطه (۱) و درنتیجه انحراف معیار مختصات نقاط باقیمانده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (خط ۱۱ شبه کد (۱)).

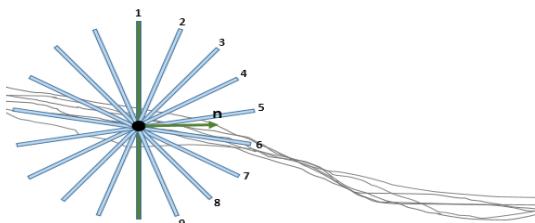
که در آن \bar{g}_i – g_i مقدار اختلاف مؤلفه هر نقطه نسبت به مقدار میانگین است. به این ترتیب حالتی از صفحه که مختصات نقاط حاصل از تقاطع آن با خط سیرها انحراف معیار کمتری داشته باشند، به عنوان بهترین حالت صفحه انتخاب می‌شود. جدول (۱) نمونه‌ای از انحراف معیار مختصات نقاط حاصل از تقاطع حالت‌های مختلف صفحه با داده‌های خط سیر پس از اعمال آزمون باردا و شکل (۶) حالت‌های مختلف هر صفحه پس از دوران تحت زوایای مختلف را نمایش می‌دهد. طبق جدول (۱) و شکل (۶) تعداد نقاط حاصل از تقاطع صفحه با خط سیرها برای حالاتی ۱-۵ و ۹-۷ بیشترین و برای حالت ۶



شکل ۵: الف- صفحه منتقل شده به میانگین تقاطع آن با خط سیرها و ب- بهترین حالت صفحه به طوریکه بردار نرمال آن هم جهت با خط سیرها را نمایش می‌دهد.

شکل (۵-الف) صفحه تشکیل شده توسط عامل استخراج کننده، پس از انتقال به میانگین مختصات نقاط، را نمایش می‌دهد. این صفحه هنوز صفحه ایده‌آل به منظور حرکت عامل استخراج کننده بر روی داده‌های خط سیر نیست. صفحه‌ای که مختصات نقاط حاصل از تقاطع آن با خط سیرها دارای انحراف معیار کمتری هستند، بهترین حالت صفحه (شکل (۵-ب))، به منظور حرکت عامل استخراج کننده بر روی داده‌های خط سیر است. در این حالت بردار نرمال صفحه بر روی داده‌های خط سیر منطبق شده و جهت حرکت عامل استخراج کننده را به خوبی مشخص می‌کند. به منظور تعیین بهترین حالت صفحه، این صفحه حول محور Z با زاویه ۲۰ درجه دوران داده می‌شود (خط ۹ شبه کد (۱)). سپس انحراف معیار مختصات نقاط حاصل از تقاطع صفحه با خط سیرها برای هر حالت صفحه محاسبه شده و حالتی از صفحه که انحراف معیار کمتری دارد به عنوان بهترین حالت صفحه انتخاب می‌شود. پیش از محاسبه انحراف معیار، از آنجایی که بدليل نویز ذاتی داده‌های خط سیر ممکن است یک نقطه تغییر زیادی در مقدار انحراف معیار مختصات نقاط حاصل از

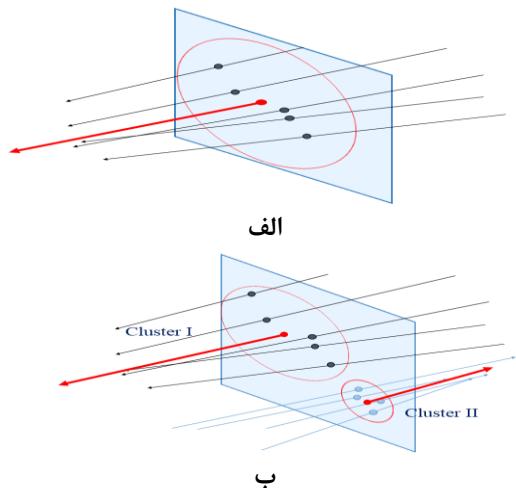
^۱ Baarda test



شکل ۶: حالت‌های مختلف هو صفحه و همچنین
بهترین حالت صفحه

۲-۳-۲- تعیین گره‌های شبکه راه

فرض اولیه روش‌های استخراج راه از داده‌های مردم گستر خط سیر بر این است که با توجه به اینکه ماشین‌ها بر روی سطح خیابان‌ها حرکت می‌کنند، انتظار می‌رود داده‌های جمع‌آوری شده نماینده‌ای از ساختار هندسه راه‌ها باشند. با این فرض می‌توان گفت که داده‌های خط سیر جمع‌آوری شده توزیع خوش‌های دارند، لذا می‌توان از روش‌های خوش‌بندی بهمنظور تعیین مراکز راه استفاده نمود [۲۶]. پس از تعیین صفحه بهینه، بهمنظور تعیین گره‌های شبکه راه، بر روی نقاط حاصل از تقاطع آن با خط سیرها، خوش‌بندی انجام خواهد شد (خط ۱۴ شبه کد ۱).



شکل ۷: الف: تقاطع صفحه با خط سیرها در یک مسیر یک طرفه - خطوط سیر با رنگ سیاه و بردار گرادیان صفحه با رنگ قرمز مشخص شده است؛ ب: تقاطع صفحه با خط سیرها در یک مسیر دوطرفه، جداسدگی و یا یکی شدگی مسیر

کمترین تعداد است. لذا انتظار می‌رود که انحراف معیار مختصات نقاط برای حالت ۶ صفحه نسبت به سایر حالت‌ها عدد کمتری باشد. درنتیجه این حالت صفحه "به اشتباہ" به عنوان بهترین حالت صفحه انتخاب شود. این در حالی است که با توجه به شکل (۶) از آنجایی که عامل استخراج کننده راه با حرکت در راستای گرادیان صفحه نمی‌تواند بر روی داده‌های خط سیر حرکت کند، لذا این حالت نمی‌تواند به عنوان بهترین حالت صفحه در نظر گرفته شود. به منظور جلوگیری از این مشکل، بهترین حالت صفحه تنها از بین حالت‌هایی که در آن بیشترین تعداد نقاط حاصل از تقاطع صفحه با خط سیرها را دارا باشد، انتخاب خواهد شد. که در این صورت حالت ۱ صفحه که انحراف معیار کمتری دارد "به طور صحیح" به عنوان بهترین حالت صفحه انتخاب خواهد شد. پس از تعیین بهترین حالت صفحه، گره‌های شبکه راه تعیین خواهد شد. بخش بعدی این مقاله به نحوه تعیین گره‌های شبکه راه می‌پردازد.

جدول ۱: انحراف معیار مختصات نقاط حاصل از تقاطع
حالت‌های مختلف صفحه با داده‌های خط سیر

شماره حالت صفحه	زاویه دوران (درجه)	تعداد نقاط	انحراف معیار نقاط
۱	۰	۶	۶۶۱۲,۵۱۳۶
۲	۲۰	۶	۶۶۷۳,۸۵۲۹
۳	۴۰	۶	۶۷۵۴,۴۳۷۳
۴	۶۰	۶	۶۸۲۷,۶۲۷۵
۵	۸۰	۶	۷۰۳۱,۳۶۵۸
۶	۱۰۰	۴	۵۷۵۶,۴۸۲۵
۷	۱۲۰	۶	۷۲۶۴,۹۵۳۰
۸	۱۴۰	۶	۶۷۱۸,۵۶۳۳
۹	۱۶۰	۶	۶۶۴۸,۲۴۴۷

به منظور تعیین تعداد و موقعیت خوشها مورد استفاده قرار گرفت.

این الگوریتم شامل دو مرحله تکراری است. در مرحله اول مقدار مورد انتظار تابع لگاریتم درستنامی^۴ با در نظر گرفتن شرایط توزیع نمونه‌های مشاهده شده (α) و مشاهده نشده (β) تحت پارامترهای شباهت داده شده (θ) مطابق با رابطه (۳) تعیین می‌گردد. سپس در مرحله دوم پارامترهایی که شرط رابطه (۴) را برقرار کنند، مشخص خواهد شد [۲۸]. این پارامترها در مرحله اول مورد انتظار تابع لگاریتم درستنامی رسیدن به مقدار مورد انتظار تابع لگاریتم درستنامی تکرار خواهند شد.

$$\text{رابطه (۳)} \quad Q(\theta | \theta^{(t)}) = E_{\beta|\alpha, \theta^{(t)}} [\log L(\theta; \alpha, \beta)]$$

$$\text{رابطه (۴)} \quad \theta^{(t+1)} = \arg \max Q(\theta | \theta^{(t)})$$

که در آن α تعداد نمونه‌های مشاهده شده و β تعداد نمونه‌های مشاهده نشده و θ برداری از پارامترهای مجهول است.

در این مقاله، در مرحله اول مجموعه نقاط حاصل از تقاطع صفحه با خط سیرها به عنوان داده‌های ورودی (داده‌های مشاهده نشده) به الگوریتم معرفی شدند. سپس با معلوم بودن میانگین و کواریانس نقاط مشاهده نشده (β)، برآورده از تابع شباهت θ تعیین شد. در مرحله دوم به منظور بیشنه نمودن این تابع شباهت، رابطه (۴) استفاده شد. سپس بر روی داده‌های مشاهده نشده خوشبندی صورت گرفت. این داده‌های خوشبندی شده به عنوان داده‌های مشاهده شده (α) در نظر گرفته شده و در تکرار دوم برآورد جدیدی از تابع شباهت θ به دست آمد. مراحل تا هنگام رسیدن به مقدار مورد انتظار تابع لگاریتم درستنامی تکرار شد. درنهایت با تکرار مراحل، تعداد و

^۴ log-likelihood : تابعی است که توزیع طبیعی داده‌ها را نشان می‌دهد.

شکل (۷-الف) تقاطع صفحه با داده‌های خط سیرها جمع آوری شده از سطح یک مسیر یک طرفه را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست، در مسیرهای یک طرفه تنها یک خوش وجود خواهد داشت که مرکز آن به عنوان گره شبکه راه تعیین خواهد شد. در مسیرهای دوطرفه، بزرگراه‌ها، جداشده‌گی دو مسیر، تقاطع‌های هم‌سطح و غیر هم‌سطح، این صفحه ممکن است خط سیرهای مربوط به راه دیگر را نیز در برگیرد. در این حالت بیش از یک مرکز خوش وجود خواهد داشت. شکل (۷-ب) تقاطع صفحه با داده‌های خط سیر یک مسیر دوطرفه را نمایش می‌دهد. می‌توان نتیجه گرفت که خوشها در مسیرهای دوطرفه، جداشده‌گی و جمع شده‌گی مسیر، گرهایی از مسیرهای متفاوت هستند. بنابراین هدف از خوشبندی تعیین تعداد و موقعیت مراکز خوشها خواهد بود.

از جمله روش‌های خوشبندی می‌توان به روش‌های کامینز^۱، FCM^۲ و ISODATA^۳ اشاره نمود [۲۷]. از میان روش‌های مطرح در زمینه خوشبندی در این پژوهش از روش EM به منظور تعیین گرهای مسیر استفاده شد.

الگوریتم EM یک روش تکراری و بر مبنای توزیع احتمالی به منظور تعیین بیشترین شباهت^۴ بین پارامترهای یک مدل آماری است [۲۸]. این الگوریتم فرض می‌کند هر خوش دارای یک توزیع به همراه یکسری پارامترهای مشخص است. این الگوریتم در یک فرایند تکراری مقدار احتمالی که هر نقطه به یک خوش بر اساس پارامترهای تعیین شده، متعلق است را تعیین می‌کند و نمونه‌ها به خوش‌هایی با بیشترین احتمال منتبس می‌شوند. در بین روش‌های خوشبندی موجود، EM یکی از روش‌هایی است که نیاز به معرفی مکان اولیه خوشها ندارد، لذا این روش

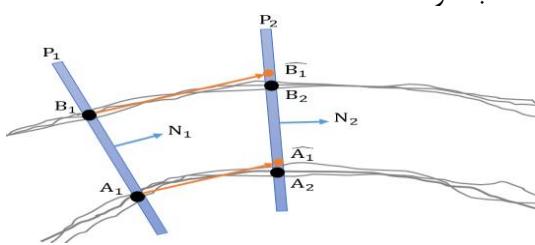
¹ Expectation Maximization

² Fuzzy C-means

³ Maximum Likelihood

۴-۳-۲- اتصال گره‌های جدید به گره‌های قبلی

بعد از تعیین گره‌ها، بهمنظور تشكیل گراف راه، گره‌های تعیین شده به گره‌های استخراج شده در مرحله قبلی متصل خواهند شد. برای این منظور ماتریس وزن با استفاده از سه ویژگی فاصله، اختلاف جهت و جمعیت نمونه‌ها برای هر دو گره متوالی (بهمنظور تشكیل یک اتصال^۱) تشكیل می‌شود (خط ۱۶ شبه کد ۱). با شکل (۸) دو صفحه متوالی را نمایش می‌دهد. با فرض اینکه صفحه P_1 دارای نرمال صفحه (N_1) و دو مرکز گره A_1 و B_1 است، هدف تعیین مناسب‌ترین گره بهمنظور اتصال به گره A_1 است. از بین گره‌های موجود در صفحه P_2 (که گره‌های کاندید برای متصل شدن به گره A_1 از صفحه P_1 هستند) مناسب‌ترین گره بهمنظور اتصال به گره A_1 ، با تشكیل ماتریس وزن، انتخاب خواهد شد.



شکل ۸: اتصال گره‌های متوالی به یکدیگر

در راه کار پیشنهادی این مقاله برای اتصال گره‌ها به گره‌های پیشین، مهم‌ترین ویژگی در تشكیل ماتریس وزن، فاصله است. با حرکت از A_1 در امتداد بردار نرمال صفحه P_1 و در فاصله‌ای که دو صفحه از یکدیگر واقع شده‌اند، نقطه \bar{A}_1 مشخص خواهد شد که برآورده از گره A_2 خواهد بود. فاصله این نقطه با گره‌های A_2 و B_2 محاسبه می‌شود. این فواصل به عنوان یک شاخص بهمنظور تشكیل ماتریس وزن ذخیره خواهد شد.

جهت اتصالات می‌تواند به عنوان یکی دیگر از شاخص‌های تأثیرگذار در تشكیل ماتریس در نظر گرفته شود. بدین منظور گره A_1 را یکبار به

موقعیت خوش‌ها به دست آمد.

پس از تعیین خوش‌ها، بهمنظور جلوگیری از ایجاد خوش‌های کاذب، آزمون اعتبارسنجی خوش‌بندی صورت می‌گیرد (خط ۱۵ شبه کد ۱). این آزمون بیان می‌کند که تنها خوش‌هایی که خط سیرهای تشكیل‌دهنده آن‌ها دارای دو شرط شاخص زمانی و جمعیت باشند، معتبر خواهند بود. شاخص زمان و جمعیت بیان می‌کند که تنها خوش‌هایی که از زمان t تاکنون جمع‌آوری شده‌اند و همچنین جمعیت خط سیرهای تشكیل‌دهنده (گذرنده از) آن‌ها بیشتر از حد آستانه n باشند، خوش‌های معتبر خواهند بود. به عبارتی خط سیرهای جدید جمع‌آوری شده از یک مسیر که فراوانی کمی دارند و همچنین خط سیرهای قدیمی فاقد اعتبارند و بهمنظور استخراج راه استخراج نخواهند شد. این خوش‌های معتبر به عنوان گره‌های مسیر در نظر گرفته می‌شوند. پس از تعیین گره‌های مسیر در موقعیت عامل استخراج کننده، این عامل به حرکت در راستای داده‌های خط سیر بهمنظور تعیین گره‌های بیشتر مسیر می‌پردازد.

۴-۳-۲- انتخاب گره‌های مسیر در موقعیت جدید

بهمنظور تعیین گره‌های بیشتری از مسیر، تعداد صفحات تشكیل شده در خط ۱۶ شبه کد بررسی خواهد شد. اگر تنها یک صفحه تشكیل شده باشد، عامل استخراج کننده راه در راستای گرادیان صفحه به اندازه ۱۰۰ متر به جلو حرکت کرده (خط ۲۰ شبه کد ۱) و ۱۳ مراحل انتخاب جهت حرکت مسیر (خطوط ۳ الی ۱۵ شبه کد ۱)، تعیین گره‌های شبکه راه (خطوط ۱۴ و ۱۵ شبه کد ۱) و اتصال گره‌های جدید به گره‌های قبلی (خطوط ۱۶ الی ۱۹ شبه کد ۱) تکرار خواهد شد.

در صورتی که بیش از یک صفحه توسط عامل استخراج کننده تشكیل شده باشد، ماتریس وزن بهمنظور اتصال گره‌ها به گره‌های قبلی، تشكیل خواهد شد. این موضوع در ادامه به تفضیل توضیح داده خواهد شد.

¹ Edge

عامل استخراج‌کننده، استخراج می‌شود و در صورت همپوشانی مسیر در حال استخراج توسط دو یا چند عامل استخراج‌کننده، یکی از عامل‌ها توسط عامل مدیر غیرفعال خواهد شد. بدین منظور عامل استخراج‌کننده در هر لحظه گزارشی از موقعیت خود، که در حال حرکت بر روی داده‌های خط سیر به منظور استخراج راه برای مسیر خاصی است، به عامل مدیر ارائه می‌دهد (خط ۶ شبه کد ۱). عامل مدیر موقعیت این عامل‌های استخراج‌کننده را بررسی نموده و به محض همپوشانی راه استخراج شده توسط عامل‌های استخراج‌کننده متفاوت، یکی از این عامل‌ها را غیرفعال خواهد نمود. به این ترتیب کار استخراج راه برای این عامل استخراج‌کننده به پایان می‌رسد.

۶-۳-۲- جایگزینی یک مسیر جدید

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، داده‌های مردم‌گستر تغییرات محیط را به خوبی نمایش می‌دهند. یکی از این تغییرات می‌تواند جایگزینی یک مسیر جدید به جای مسیر قبلی شود. شکل (۹) یک حالت جایگزینی مسیر را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. مسیر مشخص شده با خط کامل، مسیر مسدود شده و مسیر مشخص شده با خط چین مسیر جایگزین را نمایش می‌دهد. از آنجایی که عامل‌های کاوشگر محیط، در فضای داده‌های خط سیر حضور دارند و به محض اضافه شدن تعداد قابل قبولی از خط سیرها در محیط، واکنش نشان می‌دهند، لذا در صورت عدم جمع‌آوری خط سیرهای جدید برای یک مسیر، آن مسیر تحت عنوان یک مسیر مسدود شده برچسب زده می‌شود و مسیر جایگزین به نقشه اضافه خواهد شد.

و بار دیگر به B_2 متصل می‌شوند. اتصال مناسب اتصالی با کمترین اختلاف جهت^۱ این اتصال با نرمال صفحه P_1 خواهد بود. این ویژگی به عنوان دو میان ویژگی تشکیل‌دهنده ماتریس وزن در نظر گرفته می‌شود.

سومین ویژگی، اختلاف جمعیت نقاط دو گره متولی است. دو گره متولی A_1 و A_2 در صورتی به یکدیگر متصل می‌شوند که خط سیرهایی که از گره A_1 عبور می‌کنند همان سیرها از گره A_2 نیز عبور کنند [۱۱، ۱۴]. به عبارتی برای دو گره متولی انتظار می‌رود، تعداد نقاط تشکیل‌دهنده گره با یکدیگر اختلاف کمی داشته باشند.

با در نظر گرفتن سه ویژگی بیان شده، ماتریس وزن اتصال بین گره‌های دو صفحه p_k و p_{k+1} را به صورت رابطه (۵) می‌توان تعریف نمود:

$$\text{رابطه (5)}$$

$$W^{(k,k+1)} = \begin{bmatrix} W_{(i=1)(j=1)} & W_{i(j+1)} & \cdots & W_{i(j+n)} \\ W_{(i+1)j} & W_{(i+1)(j+1)} & \cdots & W_{(i+1)(j+n)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{(i+m-1)j} & W_{(i+m)(j+1)} & \cdots & W_{(i+m)(j+n)} \end{bmatrix}$$

که در آن، i شماره گره از صفحه p_k ، j شماره گره کاندید از صفحه p_{k+1} و درایه‌های این ماتریس مقادیر وزن اتصالات به یکدیگر است. به عنوان نمونه $w_{ij} = \text{dist}_{ij} \times d\text{Direction}_{ij} \times d\text{Population}_{ij}$ است که در آن dist_{ij} فاصله برآورد گره A_j از گره A_i ، $d\text{Direction}_{ij}$ اختلاف جهت اتصال تشکیل شده از گره‌های A_i و A_j از نرمال صفحه p_k و $d\text{Population}_{ij}$ اختلاف جمعیت گره‌های A_i (از صفحه p_k) و A_j (از صفحه p_{k+1}) است. درنهایت از بین گره‌های کاندید از صفحه p_{k+1} برای یک گره از صفحه p_k اتصالی با وزن کمتر انتخاب خواهد شد.

۶-۳-۲- شرط توقف عامل استخراج‌کننده راه

همان‌طور که پیش از این بیان شد، هر مسیر توسط یک

^۱ Direction



شکل ۹: مسیر مسدود شده و مسیر جایگزین

عامل‌های کاوشگر، پویایی تولید و بهنگام رسانی نقشه راه را تضمین می‌کند.

۳- استخراج راه در ساختارهای پیچیده شبکه

یکی از مزایای استفاده از راه‌کار عامل_مبنای ارائه شده برای استخراج راه در این مقاله عملکرد مناسب آن در ساختارهای پیچیده شهری است. عامل استخراج کننده راه بهمنظور عملکرد صحیح در ساختارهای مختلف (نظیر چهارراه‌ها، جداشده‌گی، یکی شدگی)، استراتژی‌های متفاوتی را پی می‌گیرند. برای این منظور در ابتدا باید نوع ساختار راه تعیین و سپس با توجه به آن رویکرد مناسبی اتخاذ گردد.

همان‌طور که پیش‌ازین بیان شد، عامل استخراج کننده بهمنظور استخراج راه بر روی داده‌های خط سیر حرکت نموده و در هر موقعیت، بهمنظور تعیین گره‌های مسیر صفحه‌ای ایجاد کرده و سپس از نقاط حاصل از تقاطع صفحه با خط سیرها، گره‌های مسیر تعیین می‌شود. هنگامی که اختلاف تعداد خط سیرهای گذرنده از دو خوشه دو صفحه متواالی عدد بزرگی باشد. وجود نوع ساختار یکی شدگی و جداشده‌گی توسط عامل استخراج کننده بررسی خواهد شد. شکل‌های (۱۰-الف) و (۱۰-ب) به ترتیب یک جداشده‌گی و یکی شدگی مسیر را نمایش می‌دهند. با در نظر رابطه (۷) اختلاف تعداد خط سیرها محاسبه می‌شود.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta n_{BC} = n_C - n_B \\ \Delta n_{BD} = n_D - n_B \end{array} \right. \quad (7)$$

که n_D و n_C به ترتیب تعداد خط سیرهای گذرنده

۴-۲- بهنگام رسانی نقشه راه

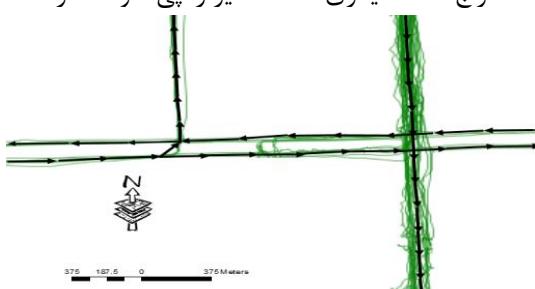
بعد از یکبار تولید نقشه راه، بهمنظور بهنگام رسانی نقشه تولیدشده، عامل‌های کاوشگر محیط، در فضای داده‌های خط سیر حضور دارند و بهمحل اضافه شدن تعداد قابل قبولی از خط سیرها در محیط، برای منطقه موردنظر، عامل استخراج کننده راه، فعل خواهد شد. این عامل پس از حرکت بر روی داده‌های خط سیر و تعیین گره‌های مسیر، در هر گره وجود گره‌های دیگر در اطراف خود را بررسی خواهد نمود. سپس تابع رابطه ۶ برای هر گره بررسی خواهد شد. درصورتی که مقدار این تابع کمتر از حد آستانه k باشد، راه جدید استخراج شده به نقشه راه قبلی اضافه نخواهد شد و عامل استخراج کننده غیرفعال خواهد شد، در غیر این صورت این راه استخراج شده به نقشه قبلی اضافه خواهد شد.

برای این کار عامل استخراج کننده در هر گره، وجود گره‌های دیگر در اطراف خود را بررسی می‌کند. در صورت یافتن گرهی در این فاصله، فاصله اقلیدسی بین آن‌ها، طبق رابطه ۶، بررسی می‌شود.

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad (6)$$

که در آن D فاصله اقلیدسی بین دو خوشه است. با حرکت عامل کاوشگر محیط در فضای داده‌ها و استخراج راه از داده‌های خط سیر جدید و نقشه راه تولیدشده در گام قبلی، نقشه راه در صورت لزوم تصحیح و بهنگام می‌شود. به این ترتیب حضور عامل‌ها و

نمایش می‌دهد. در تقاطع‌های غیر هم‌سطح برای بخشی از مسیری که زیر مسیر دیگری واقع شده است هیچ داده‌ای جمع‌آوری نخواهد شد و با نقص داده موجه خواهیم بود. عامل استخراج‌کننده بر روی داده‌های خط سیر حرکت می‌کند که به‌محض رسیدن به این مناطق قادر به استخراج ادامه مسیر نخواهد بود. لذا در این شرایط این عامل استخراج‌کننده راه توسعه عامل مدیر غیرفعال شده و عامل استخراج‌کننده دیگری ادامه مسیر را پی خواهد گرفت.



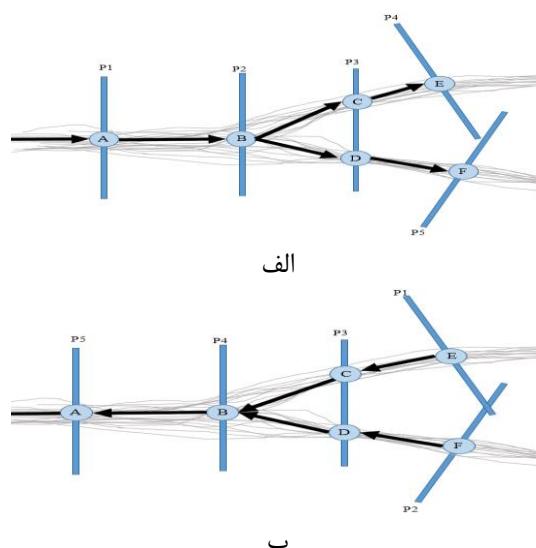
شکل ۱۱: استخراج راه در تقاطع غیر هم‌سطح

۴- پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

در این بخش ابتدا مجموعه داده‌های استفاده شده در این مقاله معرفی و پیش‌پردازشی اعمال شده به‌منظور کاهش حجم و نویز داده‌ها تشریح می‌شود. سپس نقشه شبکه راه استخراج شده با راه‌کار ارائه شده توسعه عامل‌ها نمایش داده خواهد شد.

محیط چند عامله ارائه شده در این پژوهش با استفاده از زبان برنامه‌نویسی جاوا توسعه داده شد. علاوه بر این، به دلیل یکپارچگی بالای جاوا با پایگاه داده متن‌باز PostgreSQL از این نرم‌افزار و از مازول PostGIS به‌منظور ذخیره‌سازی داده‌های مکانی و اجرای پرسش و پاسخ‌های مکانی و توصیفی موردنیاز، استفاده شد. کتابخانه متن‌باز Weka [۲۹] تحت مجوز GPL^۱ توسط دانشگاه وایکاتو^۲ منتشر شده است که دارای مجموعه‌ای از الگوریتم‌هایی درزمینه یادگیری ماشین^۳

از خوش‌های C و D است. بر اساس [۱۴, ۱۱] برای دو خوش‌های متوالی داده‌های خط سیرها گذرنده از خوش‌های اول از خوش‌های دوم نیز عبور می‌کنند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر Δn_{CB} و Δn_{DA} یا هردو مثبت و یا هردو منفی خواهند بود. در صورتی که مقادیر Δn_{CB} و Δn_{DA} منفی باشند، جداسدگی مسیر (شکل (۱۰-الف)) و در صورت مثبت بودن این مقادیر، یکی شدگی مسیر (شکل (۱۰-ب)) را خواهیم داشت. در صورت شناسایی جداسدگی مسیر، عامل استخراج‌کننده راه، مسیری با تعداد خط سیرهای بیشتر را ادامه داده و عامل مدیر یک عامل استخراج‌کننده راه جدید برای شاخه دیگر راه فعال می‌کند و در صورت شناسایی یکی شدگی مسیر عامل استخراج‌کننده راه گذرنده از خوش‌های با تعداد خط سیرهای کمتر، غیرفعال شد و عامل استخراج‌کننده راه گذرنده از خوش‌های با تعداد خط سیرهای بیشتر ادامه مسیر را پی می‌گیرد



شکل ۱۰: الف- جداسدگی مسیر و ب- یکی شدگی مسیر را نمایش می‌دهد.

از آنجایی که در راه‌کار ارائه شده، فضای سه‌بعدی داده‌های مردم‌گستر لحاظ شده است، لذا استخراج راه در تقاطع‌های غیر هم‌سطح نیز به صورت قابل قبولی صورت می‌گیرد. شکل (۱۱) یک تقاطع غیر هم‌سطح را

¹ General Public Licence

² Waikato

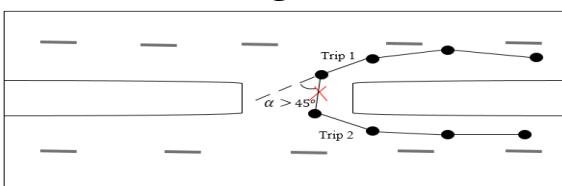
³ Machine Learning

بر این، وجود داده‌های اضافی^۳ می‌تواند باعث اعمال محاسبات اضافی به سیستم شود. نمونه‌ای از داده‌های اضافی داده‌هایی است که کاربران هنگامی که در ترافیک قرار گرفته‌اند، جمع‌آوری می‌کنند.

داده‌های خط سیر زمانی می‌توانند بیانگر راه باشند که توسط خودروهای در حال حرکت جمع‌آوری شده باشند [۲۶]. همچنین از آنجایی که داده‌های جمع‌آوری شده تشکیل‌دهنده یک خط سیر، بر اساس توالی زمانی به یکدیگر متصل می‌شوند، لذا در برخی از موارد یک اتصال غیرمنطقی بین سفرهای^۴ مختلف وجود دارد. بنابراین بهمنظور استفاده از این داده‌ها باید این سفرها از یکدیگر جدا شوند [۳۱]. از آنجایی که هدف ارائه راهکاری باقابلیت کار با داده‌های با حجم بالا است، در ابتدا پالایه‌ای، با در نظر گرفتن قوانین زیر بهمنظور کاهش بار محاسبات اضافی و عملکرد بهتر سیستم، اعمال می‌گردد.

- قانون ۱: داده‌هایی با سرعت کمتر از ۱۰ کیلومتر بر ساعت حذف خواهند شد [۲۶].

- قانون ۲: اگر فاصله بین دونقطه بیشتر از ۳۰۰ متر و یا اینکه تغییر جهت^۵ آن‌ها بیشتر از ۴۵ درجه باشد، داده‌های خط سیر دو سفر مجزا در نظر گرفته می‌شوند [۳۱]. شکل (۱۲) این حالت را به خوبی نمایش می‌دهد. سپس سفرهایی با تعداد نقاط کمتر از خط سیر ۲۰ عدد از مجموعه داده حذف می‌شوند.



شکل ۱۲: جداسازی سفرهایی با زاویه بیش از ۴۵ درجه

^۳ Redundant data

^۴: هر یک از فعالیت‌های داطلب (کاری، ورزشی، تفریحی و ...) یک سفر نامیده می‌شود.

^۵ Direction

است. این کتابخانه به کاربران این اجرازه را می‌دهد تا بتوانند از این الگوریتم‌ها در کد جاوای موردنظر خود استفاده کنند. در این مقاله از این کتابخانه بهمنظور انجام خوشبندی (بخش ۲.۳.۲) استفاده شد.

۴-۱- داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش داده‌ها

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش، داده‌های پروژه GeoLife GPS [۳۰] مربوط به شهر پکن است. این مجموعه داده^۱ توسط ۱۸۲ کاربر در مدت سه سال (آوریل ۲۰۰۷ تا اوت ۲۰۱۲) جمع‌آوری شده است. نزد نمونه‌برداری این داده‌ها متفاوت است اما٪ ۹۱.۵ [۳۰] داده‌ها از توزیع مناسبی برخوردار هستند. به عبارتی این داده‌ها هر ۱-۵ ثانیه و یا با فاصله ۱۰-۵ متر نمونه‌برداری شده‌اند. هر خط سیر در این مجموعه داده با استفاده از مجموعه‌هایی از نقاط با فاصله زمانی مشخص، نمایش داده می‌شود که شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و زمان نمونه‌برداری (x,y,z,timestamp) و در سیستم مختصات سه‌بعدی WGS 84 می‌باشند. از طرفی OSM از وب-مرکاتور^۲ به عنوان سیستم تصویر استفاده می‌کند. تبدیل داده‌های خط‌سیر از سیستم مختصات سه بعدی WGS84 به سیستم تصویر سه بعدی وب-مرکاتور و بر عکس امکان‌پذیر است که در این تبدیل مولفه ارتفاع نیز ترانسفورم می‌شود. علاوه بر داده‌های خط سیر مورد استفاده در این مقاله، داده‌های خط سیری جمع‌آوری شده بصورت سه بعدی، می‌توانند به عنوان ورودی روش ارائه شده در این مقاله در نظر گرفته شوند.

نویز ذاتی GPS در دقیقت و صحت داده‌های جمع‌آوری شده تأثیرگذار است. در شرایط خاصی این نویز می‌تواند منجر به ایجاد راه‌های جعلی گردد. همچنین این داده‌ها دارای اشتباہ نیز می‌باشند. علاوه

^۱ Data set

^۲ Web Mercator

خط سیر جمع آوری شده در چهارراه‌ها استخراج راه در این ساختارها را با مشکل مواجه می‌کند. به طوریکه عملکرد عامل استخراج‌کننده در تعیین گره‌های مسیر در چهارراه‌ها با مشکل مواجه می‌کند. لذا استخراج راه در چهارراه‌ها پس از تعیین چهارراه، نیازمند پس پردازش است. که در این مقاله به این موضوع پرداخته نشده است.

۴-۳- ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی عملکرد راه‌کار استفاده شده در این پژوهش روش پیشنهاد شده توسط [۳۳] به عنوان روش پایه مورد استفاده قرار گرفت. در این ارزیابی نقشه OSM موجود به عنوان نقشه مبنا استفاده شد و داده‌های خط سیر موجود برای ۵۶ راه مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۱۴) نقشه مبنا و نقشه تولید شده را به صورت نمایش می‌دهد.

در روش استفاده شده با محاسبه پارامترهای MISSING، SPURIOUS و F_score تولید شده نسبت به صورت نسبتی از تعداد راه‌های موجود در نقشه مبنا که در نقشه تولید شده وجود ندارند به کل راه‌های موجود در نقشه مبنا و پارامتر SPURIOUS به صورت نسبتی از تعداد راه‌های موجود در نقشه تولید شده که در نقش مبنا وجود ندارند به کل راه‌های موجود در نقشه تولید شده تعریف می‌شوند. مقدار پارامتر MISSING بیانگر تعداد راه‌هایی از نقشه مبنا که در نقشه تولید شده استخراج نشده‌اند و مقدار پارامتر SPURIOUS بیانگر تعداد راه‌هایی از نقشه تولید شده جعلی در نقشه تولید شده است. همچنین پارامتر F_Score که میانگینی از دو پارامتر MISSING و SPURIOUS است، به منظور ارائه دقت نهایی نقشه تولید شده محاسبه شد. مقادیر پایین پارامتر SPURIOUS و MISSING و مقدار بالای پارامتر F_score بیانگر دقت بالای نقشه تولید شده نسبت به نقشه مبنا می‌باشد.

با اعمال پالایه‌های فوق، داده‌های اضافی حذف خواهند شد. همچنین به منظور کاهش نویز داده‌ها روش‌های مختلفی نظیر روش پالایه کالمون و پالایه‌های میانگین و میانه وجود دارد که شرح این روش‌ها خارج از حوصله این مقاله است. یکی از مزایای پالایه میانه حساسیت کمتر آن به داده‌های پرت^۱ است [۳۲]. در این مقاله از پالایه میانه به منظور کاهش نویز داده‌های خط سیر استفاده شد.

پس از اعمال پیش‌پردازش، داده‌های باقیمانده به منظور استخراج راه توسط عامل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه نتایج استخراج راه بر اساس راه‌کار ارائه شده در این پژوهش ارائه شده است.

۴-۲- نمایش نقشه راه

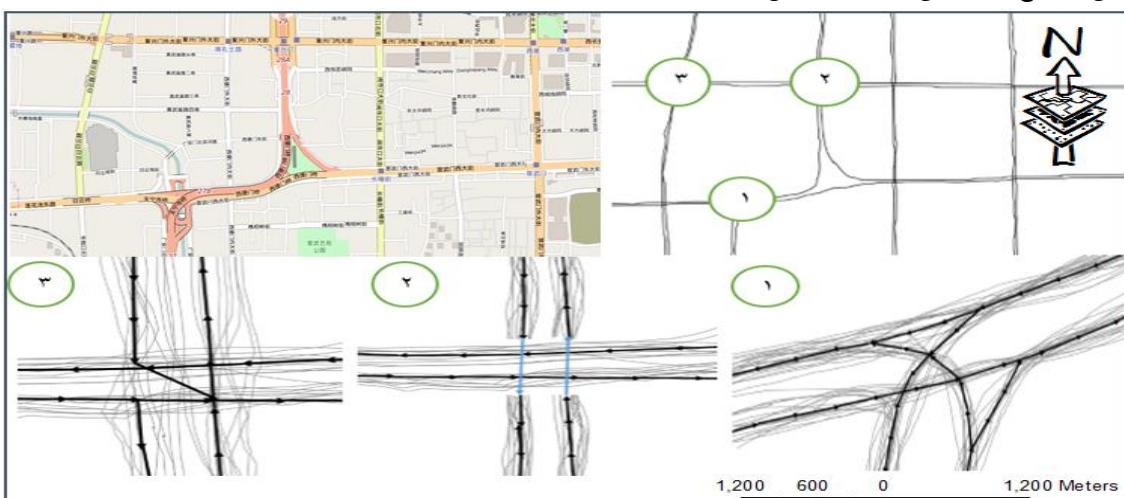
شکل (۱۳) نقشه شبکه راه برای منطقه موردمطالعه را نمایش می‌دهد. در این شکل، بخش مشخص شده ۱ راه استخراج شده در جدادشده و یکی شدگی را نمایش می‌دهد. از آنجایی که هر مسیر توسط یک عامل استخراج می‌شود، لذا استفاده از راه‌کار ارائه شده در استخراج راه در جدادشده و یکی شدگی به خوبی صورت گرفته و از اتصال گره‌های غیر مرتبط جلوگیری می‌شود. بخش مشخص شده ۲ در شکل (۱۳) یک تقاطع غیر هم‌سطح را نمایش می‌دهد. از آنجایی که در راه‌کار ارائه شده ارتفاع داده‌های مردم‌گستر نیز لحاظ شده است، لذا استخراج راه در تقاطع‌های غیر هم‌سطح نیز امکان پذیر است. در تقاطع‌های غیر هم‌سطح برای بخشی از مسیری که زیر مسیر دیگر قرار دارد، هیچ داده‌ای جمع آوری نخواهد شد و حرکت عامل استخراج‌کننده بر روی داده‌های خط سیر به منظور استخراج راه امکان پذیر نخواهد بود. لذا در این نوع ساختارها استخراج راه نیازمند پس پردازشی به منظور استخراج راه است. بخش مشخص شده ۳ در شکل (۱۳) یک چهارراه را نمایش می‌دهد. حجم بالای داده‌های

^۱ Outlier

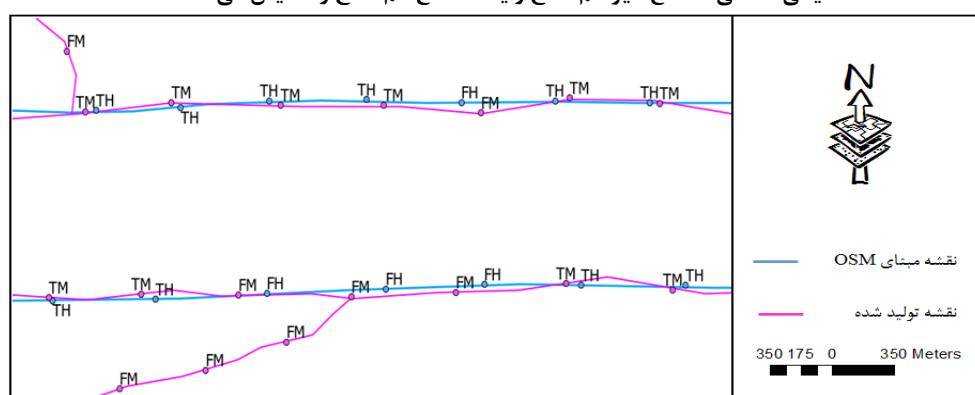
کشف شود، این نقطه به عنوان TH و در غیر این صورت این نقطه به عنوان FH در نظر گرفته خواهد شد (شکل ۱۴).

به طور مشابه، به منظور تعیین پارامتر SPURIOUS با حرکت بر روی نقاط M در نقشه تولید شده، درصورتی که در شعاع مشخص شده حداقل یک نقطه H کشف شود، این نقطه به عنوان TM و در غیر این صورت به عنوان FM در نظر گرفته خواهد شد (شکل ۱۴).

بهمنظور تعیین پارامترهای SPURIOUS و MISSING، راههای موجود در نقشه مبنا و نقشه تولید شده به پاره خطهای مساوی تقسیم و سپس مراکز هر کدام از این پاره خطها تعیین شد. مراکز پاره خطها در نقشه مبنا به عنوان نقطه "H" و "M" مراکز پاره خطها در نقشه تولید شده به عنوان نقاط "M" در نظر گرفته شد. بهمنظور تعیین پارامتر MISSING برای هر یک از نقاط H وجود و یا عدم وجود نقاط M در شعاع مشخص بررسی خواهد شد. درصورتی که در این شعاع مشخص شده حداقل یک نقطه M



شکل ۱۳: نمایش نقشه شبکه راه برای منطقه مورد مطالعه. ساختارهای مشخص شده ۱، ۲ و ۳ به ترتیب یک جداسدگی و یکی شدگی، تقاطع غیر هم سطح و یک تقاطع هم سطح را نمایش می دهد.



شکل ۱۴: نقاط TH و FH و همچنین نقاط TM و FM را نمایش می دهد.

$$spurious = \frac{\# FM}{\# FM + \# TM} \quad \text{رابطه (۸)}$$

با شمارش تعداد نقاط TH، FH، TM و FM پارامترهای MISSING و SPURIOUS بمحضه متصورت رابطه های (۸) و (۹) محاسبه می شود.

مردم‌گستر روبرو است. مشکل حجم بالای محاسبات با تقسیم وظیفه‌ی مشخص میان عامل‌های طراحی شده در یک سیستم چند عامله صورت گرفت. همچنین به‌منظور جلوگیری از ورود داده‌های خط سیر ناسازگار، در سیستم توسعه داده شده عامل مدیر فیلتری که شامل دو پارامتر زمانی و تعداد است را برای داده‌های خط سیر جمع‌آوری شده توسط کاربران بررسی می‌کند.

سازوکار ارائه شده در این مقاله به سیستم محاسبات اضافی اعمال نمی‌کند و محاسبات تنها در زمانی صورت می‌گیرد که تغییر متمايزکننده‌ای در فضای داده‌های خط سیر صورت گیرد. از آنجایی که برای هر مسیر تنها یک عامل استخراج‌کننده راه فعال می‌شود، لذا استخراج راه در جداسهگی‌ها و یکی شدگی‌ها و تقاطع‌های غیر هم‌سطح، به خوبی صورت می‌گیرد.

به علت عدم پشتیبانی سیستم‌های تعیین موقعیت در تقاطع‌های غیر هم‌سطح برای بخشی از مسیر که در زیر مسیر دیگری واقع شده است و درنتیجه عدم جمع‌آوری داده‌های خط سیر برای این بخش، پس پردازشی به‌منظور استخراج راه موردنیاز خواهد بود. علاوه بر این تراکم بالای داده‌های خط سیر جمع‌آوری شده در مرکز چهارراه‌ها به پیچیدگی‌های استخراج راه در آن می‌افزاید، بطوریکه حرکت عامل استخراج‌کننده بر روی داده‌های خط سیر در این ساختارها و تعیین گره‌های مسیر در چهارراه‌ها امکان‌پذیر نیست. لذا استخراج راه در این ساختارها نیازمند مطالعه و ارائه روش‌های مناسب‌تری است. همچنین عدم علاقه‌مندی و مشارکت مردم در به اشتراک‌گذاری موقعیت خود به مسائل جامعه‌شناسی و فرهنگی یک اجتماع بستگی دارد و این خود زمینه‌گسترشده‌ای به‌منظور تحقیق است و به عنوان کارهای آینده پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم پیشنهادی در مقیاس بالا با استفاده از محاسبات توزیع شده امکان‌پذیر است. لازم به ذکر است که

$$\text{missing} = \frac{\# FH}{\# FH + \# TH} \quad (9)$$

پس از تعیین پارامترهای MISSING و SPURIOUS دقیق نقشه تولیدشده نسبت به نقشه مبنا با استفاده از مقدار F_score به صورت رابطه (۱۰) قابل‌بیان است.

$$F_score = 2 \times \frac{(1 - \text{spurious})(1 - \text{missing})}{(1 - \text{spurious}) + (1 - \text{missing})} \quad (10)$$

پس از اجرای روش ارزیابی برای داده‌های خط سیر موجود مربوط به ۵۶ راه، با در نظر گرفتن مقادیر ۹ و ۱۵ به ترتیب به عنوان طول پاره‌خطهای تقسیم‌بندی و F_score با مقادیر پارامترهای شعاعی، مقادیر از ۰,۲۸ و ۰,۳۲ به ترتیب برابر با ۰,۷۰ و ۰,۳۳ حاصل شد. با مقایسه نتایج به دست تولید شده در مقالات [۳۳, ۱۰] به نظر می‌رسد نقشه تولید شده در این مقاله از دقیق قابل قبولی برخوردار است. با این حال به دلیلی عدم دسترسی به داده‌های خط‌سیر استفاده شده در مقالات [۳۳, ۱۰] نتایج حاصل از این بخش با نتایج این مقالات بصورت عددی مورد مقایسه قرار نگرفت.

۵- نتایج و پیشنهادات

ایستا بودن روش‌های ارائه شده به‌منظور استخراج راه از داده‌های مردم‌گستر باعث می‌شود که علیرغم ماهیت پویایی این داده‌ها که بیانگر تغییرات محیط هستند، عمل بهنگام رسانی به صورت گستته و در بازه‌های زمانی قابل توجه صورت گیرد. در این مقاله با الهام از نحوه عملکرد عامل‌های کاوشگر وب در محیط وب، توسعه عامل‌هایی به‌منظور بهنگام رسانی نقشه‌های راه مردم‌گستر در دستور کار قرار گرفت. استفاده از عامل‌ها به عنوان مولفه‌های نرم‌افزاری با قابلیت حس محیط و عکس العمل در برابر تغییرات لحظه‌ای محیط، می‌تواند سازوکار ایستایی ارائه شده را به سازوکارهای پویا تبدیل نماید.

بهنگام رسانی پیوسته نقشه‌های را با توجه به داده‌های خط سیر گزارش شده توسط کاربران، با دو مشکل حجم بالای محاسبات و نیز ناسازگاری داده‌های

پژوهش‌های آتی مورد توجه نویسنده‌گان قرار خواهد گرفت. علاوه بر آنچه بیان شد در پژوهش‌های آتی روشی بهمنظور استخراج اطلاعات کیفی راه‌های استخراج شده موردنرسی قرار خواهد گرفت.

پیاده‌سازی چنین ساختار توزیع شده‌ای نیازمند مطالعات و برنامه‌نویسی ویژه‌ای است و برنامه‌نویسی انجام شده در حال حاضر نمی‌تواند بدون تغییر در بستر توزیع شده اجرا شود. اما به نظر می‌رسد ساختار ارائه شده قابلیت توسعه جهت اجرا در بستر توزیع شده را دارد می‌باشد. موارد بیان شده پیشنهادهایی است که در

مراجع

- [1] W. Holzapfel, M. Sofsky, and U. Neuschaefer-Rube, “Road profile recognition for autonomous car navigation and Navstar GPS support”, Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, Vol. 39, pp. 12, 2003.
- [2] B. Wessel, “Road network extraction from SAR imagery supported by context information”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. 35, pp. 360-36, 2004.
- [3] C. Zhang, “Towards an operational system for automated updating of road databases by integration of imagery and geodata”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 58, pp. 166-186, 2004.
- [4] M.F. Goodchild, “Citizens as sensors: the world of volunteered geography”, GeoJournal, Vol. 69, pp. 211-221, 2007.
- [5] N. Mohammadi, “Improving Logical Consistency in Volunteered Geospatial Information Environments”, Ph.D Thesis, Department of Spatial Information Science and Engineering at K.N.Toosi University of Technology, 2014.
- [6] J. Davics, A.R. Beresford, and A. Hopper, “Scalable, distributed, real-time map generation”, Pervasive Computing, IEEE, Vol. 5, p p. 47-5, 2006.
- [7] C . Chen, and Y. Cheng, “Roads digital map generation with multi-track GPS data”, presented at the Education Technology and Training, USA, 2008.
- [8] W. Shi, S. Shen, and Y. Liu, “Automatic generation of road network map from massive GPS, vehicle trajectories”, presented at the Intelligent Transportation Systems, 12th International IEEE Conference, USA, 2009.
- [9] J. Biagioni, T. Gerlich, T. Merrifield, and J. Eriksson, “Easytracker: automatic transit tracking, mapping, and arrival time prediction using smartphones”, presented at the proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, USA, 2011.
- [10] J. Biagioni, and J. Eriksson, “Map inference in the face of noise and disparity”, presented at the Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems, USA, 2012.
- [11] L. Cao, and J. Krumm, “From GPS traces to a routable road map”, presented at the Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, USA, 2009.
- [12] F. Chazal, D. Chen, L. Guibas, X. Jiang and C. Sommer, “Data-driven trajectory smoothing”, presented at the Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, USA, 2011.
- [13] S. Edelkamp, and S. Schrödl, Route planning and map inference with global positioning traces. USA: Springer press, 2003.
- [14] S. Schroedl, K. Wagstaff, S. Rogers, P. Langley and C. Wilson, “Mining GPS traces

- for map refinement”, Data mining and knowledge Discovery, Vol. 9, pp. 59-87, 2004.
- [15] T. Guo, K. Iwamura, and M. Koga, “Towards high accuracy road maps generation from massive GPS Traces data”, presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium, Spain, 2007.
- [16] S. Worrall, and E. Nebot, “Automated process for generating digitised maps through GPS data compression”, presented at the Australasian Conference on Robotics and Automation, Australian, 2007.
- [17] S. Jang, T. Kim, and S. Lee, “Map generation system with lightweight GPS trace data”, presented at the Advanced Communication Technology (ICACT), The 12th International Conference, Denmark, 2010.
- [18] G. Agamennoni, J.I. Nieto, and E.M. Nebot, “Robust inference of principal road paths for intelligent transportation systems”, Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, Vol. 12(1), pp. 298-308, 2011.
- [19] Y. Wang, Y. Zhu, Z. He, Y. Yue, and Q. Li, “Challenges and opportunities in exploiting large-scale GPS probe data”, HP Laboratories, Vol.21, 2011.
- [20] S. Russell, and P. Norvig, Artificial Intelligence A Modern Approach. New Jersey: pearson press, 2010.
- [21] S. Dhenakaran, and K.T. Sambanthan, “Web crawler-an overview”, International Journal of Computer Science and Communication, Vol. 2, pp. 265-267, 2011.
- [22] P. Vanicek, and E.J. Krakiwsky, Geodesy: the concepts. Netherlands: Elsevier, 2013.
- [23] L. Zhang, F. Thiemann, and M. Sester, “Integration of GPS traces with road map”, presented at the Proceedings of the second international workshop on computational transportation science, USA, 2010.
- [24] Y. Chen, and J. Krumm, “Probabilistic modeling of traffic lanes from GPS traces”, presented at the Proceedings of the 18th SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, USA, 2010.
- [25] F.v. Diggelen, “SYSTEM DESIGN & TEST-GNSS Accuracy-Lies, Damn Lies, and Statistics”, GPS World, Vol. 18, pp. 26-33, 2007.
- [26] J. Li, Q. Qin, C. Xie, and Y. Zhao, “Integrated use of spatial and semantic relationships for extracting road networks from floating car data”, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 19, pp. 238-247, 2012.
- [27] R.O. Duda, P.E. Hart, and D.G. Stork, Pattern classification. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [28] R.M. Neal, and G.E. Hinton, “A view of the EM algorithm that justifies incremental, sparse, and other variants ,in Learning in graphical models”, 1998, Springer. p. 355-368.
- [29] Waikato, W.u.o. accessed 5 Jan 2015; Available from: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/downloading.html>.
- [30] Trajectories, G.G., accessed 5 Jan 2015: p. Available from: <http://research.microsoft.com/en-us/downloads/b16d359d-d164-469e-9fd4-daa38f2b2e13/>.
- [31] D. Zhang, N. Li, Z.-H. Zhou, C. Chen, L. Sun and S. Li, “iBAT: detecting anomalous taxi trajectories from GPS traces”, presented at the Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing, China, 2011.
- [32] Y. Zheng, and X. Zhou, Computing with spatial trajectories. USA: Springer Science & Business Media, 2011.
- [33] J. Biagioni, and J. Eriksson, “Inferring Road Maps from Global Positioning System

Traces: Survey and Comparative Evaluation”, Transportation research record, pp. 61-71, 2012.



Designing and developing a multi-Agent system for automatic extraction of road geometry by the Crawler-Agent

Reza Mohammadi¹, Mehdi Farnaghi*²

1- Ms.c in geospatial information system, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology.
2- Assistant professor in GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology.

Abstract

Up-to-date digital maps play a significant role as required data in various areas such as navigation, tourism, traffic control, urban and interurban fleet management, ITS, web-based map services and location-based services. Nowadays, VGI is known as an important resource to generate digital maps. In the last few years, the use of these resources to produce low cost, up-to-date, and reliable maps have been considered. Previous studies have utilized static methods for automatic road extraction from volunteered trajectory data. However, they have not considered the continuous changes of the road network which are reported dynamically by the volunteered trajectory data of users. So, due to their static nature they are not efficient to update road maps dynamically. Considering the fact that crawler-agents are capable of sensing and reacting changes in the environment it is possible to dynamically update road maps based on the latest changes presented by the trajectory data. The key idea of this research is to design and develop crawler-agents that dynamically search and update road maps from volunteered trajectory data. In this article, inspired by the continues monitoring of the web by web Crawler-Agents, a dynamic method is presented to updating road maps with considering the collected participatory data that has been gathered and recorded by the GPS sensors on the mobile device of users. To do so, various group of agents that move on trajectory data to extract road map are designed and developed. EM clustering is used to estimation of the network nodes. Also, a heuristic method is developed to link the nodes which are related to each other. Furthermore, an efficient approach is presented to extraction of road networks e by applying three dimensional trajectory data in the case of road's challenge structure.

Key words: Agent, Crawler-Agent, Automatic road extraction, Trajectory data, VGI, EM Clustering.

Correspondence Address No. 1346, ValiAsr Street, Mirdamad cross, Geomatics Engineering Faculty, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
Tel :
Email: farnaghi@kntu.ac.ir