

این مقاله در دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی به عنوان مقاله برگزیده انتخاب شده است که پس از تکمیل، داوری مجدد و اخذ پذیرش در این شماره از نشریه به چاپ می‌رسد.

کاهش داده‌های خطوط سیر مکانی-زمانی با به‌کارگیری یک الگوریتم فشرده‌سازی برخط

افسانه نصیری دهج^۱، ساناز عظیمی^۱، رحیم علی عباسپور^{۲*}

- ۱- کارشناس ارشد GIS، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
- ۲- عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی- پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۱۱

چکیده

با توسعه روزافزون دستگاه‌های همراه مجهز به سیستم تعیین موقعیت جهانی مانند گوشی‌های هوشمند همراه، حجم زیادی از اطلاعات مکانی تولید می‌شود. این داده‌ها که بیشتر به صورت دنباله‌ای از نقاط مکانی در طول زمان ذخیره و مدل‌سازی می‌شوند، خط سیر نام دارند. حجم بالای داده‌های خطوط سیر هزینه انتقال، ذخیره‌سازی و پردازش این داده‌ها را بالا برده است. برای برطرف نمودن این مشکلات، تعدادی از الگوریتم‌های فشرده‌سازی، با رویکرد کاهش تعداد نقاط مسیر مطرح شده است. در این مقاله، هفت الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت، داگلاس پوکر، الگوریتم نسبت زمانی بالا-پایین، پنجره متحرک، پنجره متحرک-نسبت زمانی، الگوریتم سرعت مینا بالا-پایین و SQUISH-E (Spatial Quality Simplification Heuristic - Extended) مورد بحث قرار گرفتند و مزایا و معایب هر یک بررسی شد. در این میان الگوریتم SQUISH-E، قادر به برقراری تعادل بین نسبت فشرده‌سازی و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی است در حالی که نرخ فشرده‌سازی بالایی نسبت به سایر روش‌ها دارد. به منظور رفع این مشکل، در این مقاله راهکاری برای متغیر کردن پنجره اولویت الگوریتم SQUISH-E ارائه شد که موجب بهبود نرخ فشرده‌سازی الگوریتم می‌شود. به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی، تمامی الگوریتم‌ها روی شش زیر مسیر با پیچیدگی‌های مختلف پیاده‌سازی شده و با یکدیگر از نظر معیارهایی مانند نرخ فشرده‌سازی، زمان اجرا و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی مقایسه شدند. نتایج به‌دست آمده حاکی از بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی در نرخ فشرده‌سازی، زمان اجرایی و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی می‌باشد. زمان الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم SQUISH-E حدود ۱۳۰ میلی‌ثانیه کاهش و نرخ فشرده‌سازی آن ۰/۰۱۵ افزایش یافته است.

کلید واژه‌ها: خط سیر مکانی-زمانی، فشرده‌سازی، الگوریتم SQUISH-E، پنجره اولویت

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران - خیابان کارگر شمالی، بعد از تقاطع جلال آل احمد، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی

تلفن: ۸۸۰۰۸۴۱

Email : Abaspour@ut.ac.ir

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، با توسعه سریع و استفاده گسترده از دستگاه‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)^۱، سنسورهای RFID، ماهواره‌ها و فناوری‌های ارتباطات بی‌سیم، امکان ردیابی انواع مختلف اشیای متحرک در سراسر جهان و جمع‌آوری داده‌های موقعیت تولید شده توسط اشیای متحرک افزایش چشمگیری داشته است. این ابزارها داده‌های خط سیر مکانی-زمانی را به صورت دنباله‌ای از موقعیت، ویژگی^۲ و زمان که سه ویژگی اساسی داده‌های جغرافیایی و پایگاه داده GIS می‌باشد، ذخیره می‌کنند [۱].

با گذشت زمان و افزایش چشمگیر حجم داده‌های مسیر، مشکلاتی در ذخیره‌سازی، انتقال، پردازش و پرس‌وجو^۳ از این داده‌ها ایجاد شد. از مشکلات اساسی موجود در کاربردهایی که از داده خط سیر استفاده می‌کنند، می‌توان افزایش حجم داده برای کاربران نهایی و افزونگی داده، اشغال حافظه بالا و افزایش مدت زمان دانلود و آپلود برای ارائه‌کنندگان خدمات تلفن‌های همراه^۴ را نام برد [۲]. بنابراین ارائه راهکاری مناسب برای مدیریت موثر این حجم عظیم داده‌ها ضروری است.

برای مقابله با این مشکلات، دو گروه از استراتژی‌های فشرده‌سازی مسیر با هدف کاهش اندازه مسیر پیشنهاد شد [۳]. گروه اول فشرده‌سازی برون خط^۵ است، که بعد از جمع‌آوری داده‌های خط سیر به‌طور کامل، حجم داده‌ها را کاهش می‌دهد. گروه دوم فشرده‌سازی برخط^۶ است، که مستقیماً مسیر را به‌عنوان یک جسم متحرک فشرده می‌کند. فشرده‌سازی داده‌های خط سیر یک روش کارآمد برای کاهش فضای حافظه، بهبود

کارایی انتقال، ذخیره‌سازی و پردازش بدون از دست دادن اطلاعات و یا سازماندهی مجدد داده‌ها بر اساس الگوریتم‌های خاص است [۴].

تا به امروز، تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با مدیریت داده‌های حرکت در پایگاه داده اشیای متحرک و تحلیل‌های آماری مربوط به خط سیر صورت گرفته است. یکی از ساده‌ترین و سریع‌ترین روش‌ها جهت کاهش تعداد نقاط مسیر، الگوریتم فشرده‌سازی نمونه‌برداری یکنواخت^۷ می‌باشد که هر i امین نقطه از مسیر را نگه می‌دارد [۵]. در سال ۱۹۶۱، بلمن یک الگوریتم جدیدی با نام الگوریتم Bellman ارائه کرد که بر اساس برنامه‌نویسی پویا [۶]، فشرده‌سازی مسیر را با برآزش رشته‌ای از پاره‌خط‌ها را به یک منحنی انجام می‌دهد. این الگوریتم تضمین می‌کند که پاره‌خط‌هایی که تعداد مشخصی از نقاط انتخاب شده از منحنی را به هم متصل می‌کنند، نزدیک‌ترین به منحنی اصلی هستند؛ اما زمان پردازش این الگوریتم بسیار زیاد است. الگوریتم ساده‌سازی داگلاس-پوکر^۸ [۷] توسط داگلاس و پوکر در سال ۱۹۷۳ پیشنهاد شد که این الگوریتم بعد زمانی داده‌ها را جهت فشرده‌سازی مسیر در نظر نمی‌گرفت. الگوریتم نسبت زمانی بالا-پایین (TD-TR)^۹ [۸]، الگوریتم داگلاس-پوکر را با در نظر گرفتن بعد زمانی داده‌های مسیر بهبود داد. در [۹] الگوریتم پنجره متحرک^{۱۰} برای فشرده‌سازی داده‌های خط سیر به صورت برخط پیشنهاد شد. این الگوریتم که فشرده‌سازی را با حرکت پنجره‌ای بر روی مجموعه نقاط مسیر انجام می‌دهد، زمان اجرایی بالایی دارد. در [۱۰] محققان الگوریتم STTrace را معرفی کردند که از سرعت و جهت نقاط برای حفظ یا حذف داده‌های مسیر استفاده می‌کند. الگوریتم

¹ Global Positioning System

² Attribute

³ Query

⁴ Mobile Service

⁵ Offline

⁶ Online

⁷ Uniform Sampling Algorithm

⁸ Douglas-Pauker Algorithm

⁹ Top-Down Time Ratio Algorithm

¹⁰ Opening Window Algorithm

زمان فشردده‌سازی و خطای فاصله اقلیدسی هم‌زمانی ارزیابی شد.

ساختار مقاله پیشرو به این شکل است: بخش ۲ به معرفی الگوریتم‌های نمونه‌برداری یکنواخت، داگلاس پوکر، TD-TR، پنجره متحرک، OPW-TR، TD-SB و SQUISH-E و همچنین معیارهایی برای ارزیابی دقت و عملکرد الگوریتم‌های فشردده‌سازی پرداخته است. در بخش ۳ روش پیشنهادی معرفی و تشریح می‌گردد. در بخش ۴ بعد از معرفی داده‌های مورد مطالعه، الگوریتم‌های مورد استفاده در تحقیق روی این داده‌ها پیاده‌سازی شده و نتایج آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. بخش آخر به نتیجه‌گیری مباحث پرداخته است.

۲- مبانی نظری

مطالعات مربوط به الگوریتم‌های کاهش داده خطوط سیر هندسی را به‌طور کلی می‌توان بر اساس نحوه بررسی و ورود داده‌ها در الگوریتم، به دو بخش برون‌خط و برخط طبقه‌بندی کرد. در الگوریتم‌های فشردده‌سازی برون‌خط بعد از جمع‌آوری یک مجموعه کامل از نمونه‌ها، با حذف داده‌های اضافی فشردده‌سازی مجموعه داده‌ها انجام می‌شود. الگوریتم‌های برخط با اضافه شدن هر نقطه، یک تابع احتمالی محاسبه می‌شود که حذف یا حفظ نقطه را مشخص می‌کند. از کاربردهای الگوریتم‌های برخط می‌توان به مدیریت حمل و نقل و نظارت بر ترافیک شهری اشاره کرد. این بخش بررسی جامعی از الگوریتم‌های مورد استفاده در تحقیق (بخش ۲-۱) و همچنین معیارهای مناسب برای مقایسه الگوریتم‌های فشردده‌سازی را ارائه می‌دهد (بخش ۲-۲).

فشردده‌سازی SQUISH^۱ در [۱۱] پیشنهاد شد که این الگوریتم از پنجره اولویت، که تعیین کننده اولویت هر نقطه در این پنجره است، جهت فشردده‌سازی داده‌های مسیر استفاده می‌کند. به دلیل خطای زیاد این الگوریتم در نرخ‌های فشردده‌سازی بالا، الگوریتم بهبود یافته SQUISH-E^۲ [۱۲] معرفی شد. الگوریتم SQUISH-E، فشردده‌سازی را با توجه به خطا و نرخ فشردده‌سازی کنترل می‌کند. خلاصه‌ای از پیچیدگی زمانی، دامنه کاربرد و معیار خطای الگوریتم‌های مورد بررسی در این مقاله در جدول (۱) آمده است. در این تحقیق روند فشردده‌سازی نقاط خط سیر در الگوریتم‌های فشردده‌سازی هندسی نمونه‌برداری یکنواخت، داگلاس پوکر، TD-TR، پنجره متحرک، پنجره متحرک-نسبت زمانی (OPW-TR)^۳، الگوریتم سرعت مینا بالا-پایین (TD-SB)^۴ و SQUISH-E مورد بررسی قرار گرفت و مزایا و معایب هر یک از الگوریتم‌ها بیان شد. نتایج این بررسی بیانگر نرخ و زمان فشردده‌سازی بالای الگوریتم SQUISH-E بود. در الگوریتم SQUISH-E ابتدا اندازه پنجره اولویت توسط کاربر تعیین شده و ثابت بوده ولی با برقراری شرطی، اندازه پنجره افزایش می‌یابد. در این تحقیق الگوریتم فشردده‌سازی جدیدی جهت بهبود روش SQUISH-E پیشنهاد شده است که در الگوریتم پیشنهادی اندازه پنجره اولویت با توجه به فاصله هر نقطه از خط سیر تعیین می‌شود و همچنین از دو معیار فاصله اقلیدسی هم‌زمانی و معیار تغییر جهت برای حذف و یا حفظ نقطه استفاده کرد. هدف اساسی در این تحقیق، حذف داده‌های اضافی خط سیر با حفظ ماهیت هندسی مجموعه داده‌های خط سیر می‌باشد. در پایان عملکرد و کارایی این الگوریتم‌ها بر اساس معیارهای نرخ فشردده‌سازی،

^۱ Spatial Quality Simplification Heuristic

^۲ Spatial Quality Simplification Heuristic - Extended

^۳ Opening Window Time Ratio Algorithm

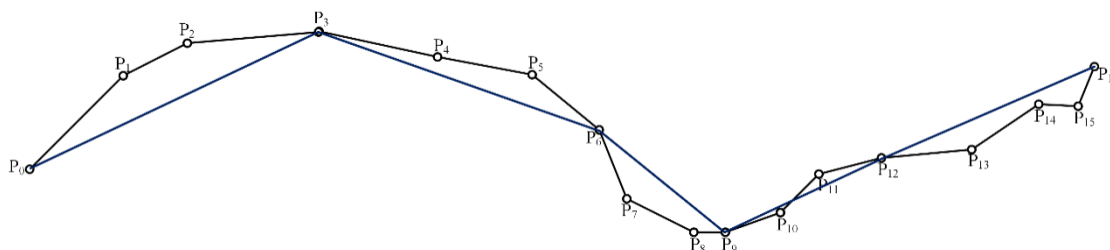
^۴ Top-Down Speed-Based Algorithm

جدول ۱: خلاصه‌ای از الگوریتم‌های فشردسازی مسیر (n تعداد نقاط مسیر اصلی است). [۴]

الگوریتم	بر خط / برون خط	پیچیدگی زمانی	معیار خطا
نمونه‌برداری یکنواخت	بر خط / برون خط	$O(n)$	نرخ فشردسازی
داگلاس-پوکر	برون خط	$O(n \log n)$	خطای مکانی
TD-TR	برون خط	$O(n \log n)$	خطای فاصله اقلیدسی همزمانی
OPW	بر خط	$O(n^2)$	خطای مکانی
OPW-TR	بر خط	$O(n \log n)$	خطای فاصله اقلیدسی همزمانی
TD-SP	بر خط / برون خط	$O(n^2)$	تفاوت سرعت
SQUISH-E	بر خط / برون خط	$O(\log n)$	خطای فاصله اقلیدسی همزمانی، نرخ فشردسازی

ویژگی‌های هندسی مسیر ندارد. از این رو برای کاربردهای خاصی که نیاز به جزئیات بیشتری از مسیر دارند، مفید نمی‌باشد. از این الگوریتم می‌توان برای کاهش تعداد نقاط مسیر اصلی و حفظ فضای ذخیره‌سازی استفاده کرد.

الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت یک روش کاهش داده برون خط و بر خط بوده که سریع و ساده می‌باشد. با این حال، اغلب اوقات خطای مکانی و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی بالایی دارد. از سوی دیگر، عدم تشخیص تغییرات سرعت و جهت در نقاط مشکل دیگر این الگوریتم می‌باشد. پیچیدگی زمانی آن به صورت $O(n)$ (تعداد نقاط مسیر اصلی) است.



شکل ۱: الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت

نقاط توسط خط واصل نقطه ابتدایی و نقطه انتهایی تقریب زده می‌شوند و خطای مکانی سایر نقاط نسبت به خط تقریب زده شده محاسبه می‌گردد. سپس این خط واصل با دو خط واصل کوتاه‌تر به گونه‌ای

۲-۱-۱ الگوریتم‌های فشردسازی

این بخش، به معرفی الگوریتم‌های فشردسازی مورد استفاده تحقیق، پرداخته است.

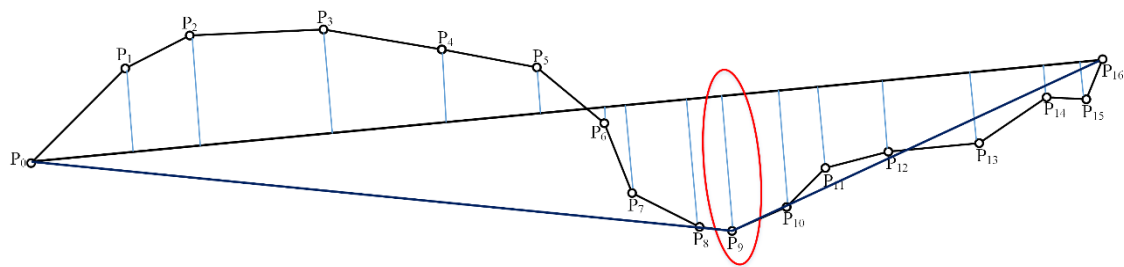
۲-۱-۱-۱ الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت

الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت هر i امین نقطه (برای نمونه پنجمین، دهمین و ...) از مسیر اصلی را نگه می‌دارد [۱۵]. برای مثال در شکل (۱) الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت با حفظ هر سومین نقطه از مسیر اصلی، مسیر را فشرد می‌سازد. ایده اصلی این روش، حفظ نقاط از مسیر اصلی بدون توجه به روابط بین نقاط همسایه می‌باشد. مسیر جدیدی که توسط فرایند نمونه‌برداری یکنواخت تولید می‌شود، یک مسیر تقریبی است که جزئیاتی در مورد

۲-۱-۲ الگوریتم داگلاس-پوکر

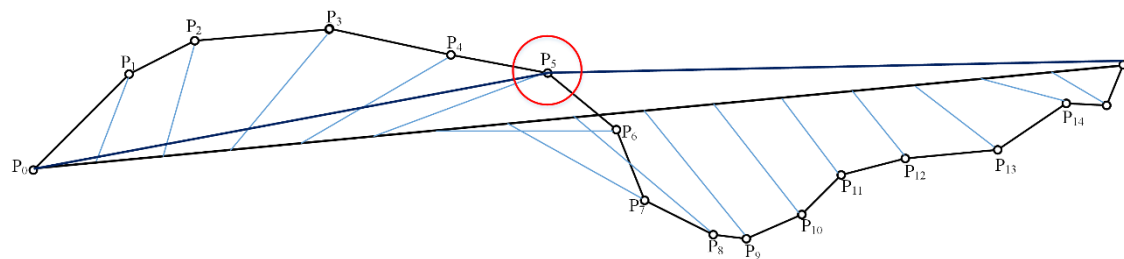
الگوریتم داگلاس-پوکر یکی از معروف‌ترین روش‌های ساده‌سازی خط از دسته‌ی الگوریتم‌های برون خط می‌باشد. در این الگوریتم، ابتدا مجموعه کامل

دستیابی به خطای مکانی کمتر از آستانه موردنظر کاربر می‌باشد و در مقابل نقطه ضعف آن استفاده از خطای مکانی بوده که موجب نادیده گرفتن بعد زمانی در فرایند کاهش داده می‌شود. برای نمونه در شکل (۲) الگوریتم داگلاس-پوکر در مرحله اول نقطه P_9 را با بیشترین فاصله مکانی نسبت به خط واصل P_0P_{16} حفظ می‌کند.



شکل ۲: الگوریتم داگلاس-پوکر

می‌باشد. الگوریتم TD-TR از تکنیک برون خط برای تقریب نقاط در فضای دو بعدی (مکانی-زمانی) استفاده می‌کند، تقریباً سرعت فشرده‌سازی پایینی دارد. برای نمونه شکل (۳) اولین مرحله از الگوریتم TD-TR را نشان می‌دهد که نقطه P_5 را به‌عنوان نقطه با بالاترین خطای فاصله اقلیدسی همزمانی نسبت به خط واصل P_0P_{16} شناسایی می‌کند.



شکل ۳: الگوریتم TD-TR

در نقطه ابتدایی قرار گرفته و به تدریج به سمت نقاط بعدی حرکت می‌کند تا زمانی که فاصله مکانی نقطه‌ای مانند P_j در پنجره متحرک نسبت به پاره خط واصل نقاط ابتدایی و انتهایی پنجره بزرگتر از آستانه مورد نظر (ψ) نشود. در صورت عدم برقراری شرط مذکور، نقطه P_j به مجموعه نقاط خط سیر فشرده شده

جایگزین می‌شود که نقطه انتهای خط اول و نقطه ابتدای خط دوم، همان نقطه‌ای است که بیشترین خطای مکانی را نسبت به خط واصل اولیه دارد. این فرایند تا زمانی ادامه می‌یابد که بیشترین خطای مکانی بین مسیر تقریبی و مسیر اصلی کوچک‌تر از حد آستانه موردنظر کاربر باشد. پیچیدگی زمانی این الگوریتم $O(n^2)$ می‌باشد و می‌تواند به $O(n \log n)$ بهبود پیدا کند. نقطه قوت این الگوریتم

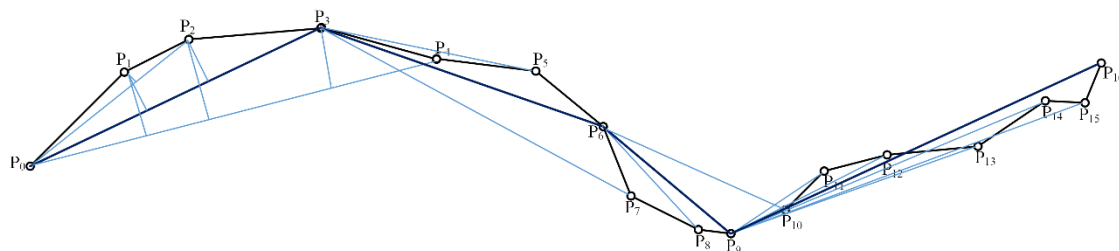
۲-۱-۳ الگوریتم TD-TR

الگوریتم داگلاس-پوکر تنها ویژگی‌های مکانی نقاط خط سیر را در نظر می‌گیرد و بعد زمانی نادیده گرفته می‌شود. الگوریتم TD-TR با استفاده از فاصله اقلیدسی همزمانی به جای فاصله اقلیدسی در فرایند کاهش داده، بر محدودیت الگوریتم داگلاس پوکر غلبه می‌کند. پیچیدگی زمانی این الگوریتم $O(n^2)$

۲-۱-۴ الگوریتم پنجره متحرک

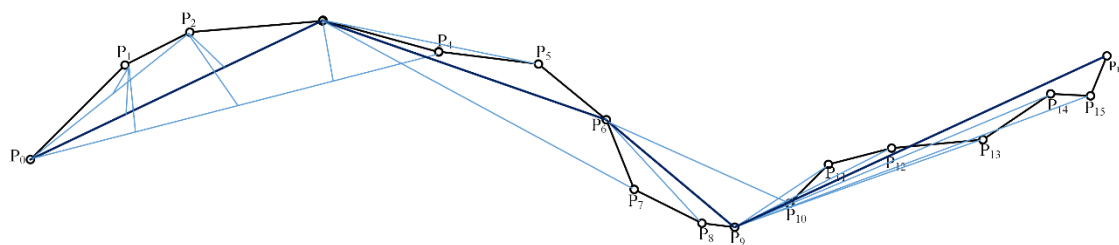
الگوریتم پنجره متحرک مشابه الگوریتم داگلاس-پوکر تعدادی پاره خط برای تقریب خط سیر در نظر می‌گیرد. یکی از ویژگی‌های شاخص پنجره متحرک، حرکت پنجره‌ای روی نقاط خط سیر به‌منظور فشرده‌سازی خط سیر است. ابتدا این پنجره متحرک

خطای مکانی کم‌تر از حد آستانه می‌باشد. در مقابل نقطه ضعف آن نادیده گرفتن اطلاعات ضروری خط مسیر از جمله داده‌های زمانی جهت تقریب خط سیر است [۹]. برای نمونه در شکل (۴) الگوریتم مجموعه نقاط $\{P_0, P_1, \dots, P_{16}\}$ را با مجموعه نقاط $\{P_0, P_3, P_6, P_9, P_{16}\}$ تقریب می‌زند.



شکل ۴: الگوریتم پنجره متحرک

خط سیر دارد. الگوریتم OPW-TR، مشابه الگوریتم پنجره متحرک دارای پیچیدگی زمانی $O(n^2)$ است. برای نمونه در شکل (۵) الگوریتم بر روی مجموعه نقاط اصلی $\{P_0, P_1, \dots, P_{16}\}$ اعمال شد و مجموعه نقاط $\{P_0, P_3, P_6, P_9, P_{16}\}$ را از میان مجموعه نقطه اصلی حفظ کرد [۱۴].



شکل ۵: الگوریتم OPW-TD

جهت حفظ نقاطی که اختلاف سرعت در آن‌ها بیشتر از آستانه مدنظر سرعت باشد در نظر گرفته می‌شود و خط سیر با نقاط دارای سرعت بالا تقریب زده می‌شود. این الگوریتم نشان داد که کاربرد مفهوم آستانه سرعت برای مسیرهای متحرک شیء مناسب است.

۲-۱-۷- الگوریتم SQUISH-E

نسخه جدیدی از SQUISH به نام الگوریتم SQUISH-E، معرفی شد که برخلاف الگوریتم‌های پیشین، خطای قابل قبولی برای فشردگی مسیر

اضافه می‌گردد. نقطه اضافه شده به پنجره متحرک به‌عنوان نقطه اول برای پنجره متحرک بعدی در نظر گرفته می‌شود. این فرآیند تا زمان دستیابی به نقطه انتهایی خط سیر و فشردگی کل خط سیر اصلی تکرار می‌شود. پیچیدگی زمانی این الگوریتم $O(n^2)$ است. نقطه قوت این الگوریتم دستیابی به

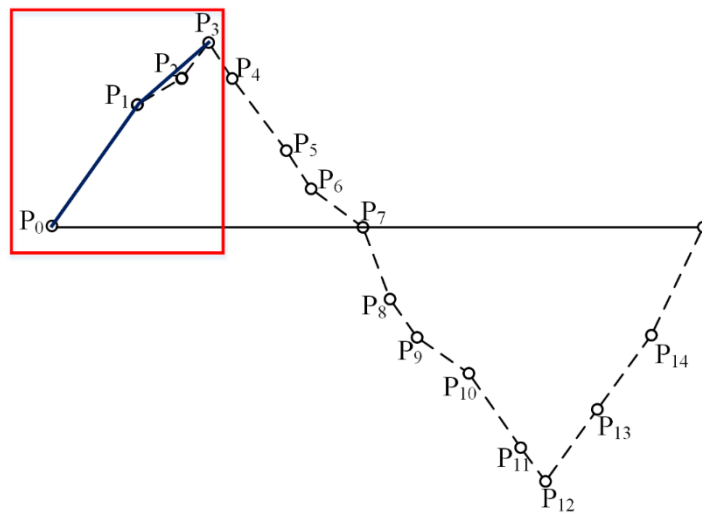
۲-۱-۵- الگوریتم OPW-TR

الگوریتم OPW-TR نسخه بهبود یافته الگوریتم پنجره متحرک است که از خطای فاصله اقلیدسی همزمانی به‌جای خطای مکانی استفاده می‌کند [۱۳]. این الگوریتم در مقایسه با الگوریتم پنجره متحرک، مزیت در نظر گرفتن خطای مکانی-زمانی را در تقریب

۲-۱-۶- الگوریتم TD-SB

[۸] نشان داد که الگوریتم‌های فشردگی فشرده‌سازی فعلی را می‌توان با بهره‌گیری از اطلاعات مکانی-زمانی موجود در سری‌های زمانی بهبود داد. الگوریتم‌های بهبود یافته از تجزیه و تحلیل سرعت‌های مشتق شده در توالی بخش‌های مسیر استفاده می‌کنند. برای نمونه در الگوریتم TD-SB، از تفاوت بین سرعت سفر دو بخش متوالی به‌عنوان معیاری جهت حفظ نقاط میانی استفاده شد. در این الگوریتم یک آستانه سرعت

برابر چهار می‌باشد. در الگوریتم SQUISH-E، مقدار ظرفیت β در صورتی که $i/\lambda \geq \beta$ باشد، افزایش می‌یابد (i تعداد نقاط بازیابی شده از مسیر T است). در این الگوریتم به هر نقطه P_i از مسیر T به صورت اولیه مقدار اولویت بی‌نهایت در صف Q واگذار شده است. اگر P_i اولین نقطه نباشد، P_i به عنوان نزدیک‌ترین جانشین از نقطه قبلی خود P_{i-1} ثبت شده و همچنین P_{i-1} به عنوان نزدیک‌ترین نقطه اسبق به P_i ثبت می‌شود سپس اولویت P_{i-1} با خطای فاصله اقلیدسی همزمانی سنجیده شده تا قابلیت حذف نقطه P_{i-1} را مشخص شود. وقتی پنجره Q کامل شود (شامل β تا نقطه شود)، این الگوریتم، پنجره Q را با حذف نقاطی از پنجره Q که کمترین اولویت را دارند، کاهش می‌دهد.



شکل ۶: الگوریتم SQUISH-E با پنجره اولیه برابر چهار

فشرده شده، که به صورت فاصله اقلیدسی عمودی نقطه از خط محاسبه می‌شود. این فاصله میزان نزدیکی نقاط خط سیر فشرده شده و نقاط خط سیر اولیه را نشان می‌دهد. خطای بین مسیر تقریبی حاصل از فرآیند کاهش داده و مسیر اصلی را می‌توان با مجموع فواصل بین نقاط برآورده شده و نقاط مسیر اولیه محاسبه کرد. این نکته حائز اهمیت است که اندازه‌گیری خطا با استفاده از مجموع و یا میانگین فواصل، نسبت به تعداد نقاط نمونه‌برداری مسیر اصلی

ایجاد می‌کند و برای کاربران امکان فشرده‌سازی مسیر و همزمان با آن کنترل فاکتورهای نرخ فشرده‌سازی و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی را فراهم می‌سازد. به عبارت دیگر، الگوریتم SQUISH-E سعی در کمینه کردن خطای فاصله اقلیدسی همزمانی μ و رسیدن به نسبت فشرده‌سازی λ را دارد. پیچیدگی زمانی الگوریتم SQUISH-E بصورت $O(n \log(n/\lambda))$ است. در این الگوریتم اولویت هر نقطه به صورت یک کران بالا، با در نظر گرفتن خطای SED آن نقطه که قابلیت حذف آن نقطه را مشخص می‌کند، تعریف می‌شود. در الگوریتم SQUISH-E، متغیر β ظرفیت اولویت در پنجره Q را نشان می‌دهد. برای نمونه در شکل (۶) مقدار اولیه برای پنجره اولویت

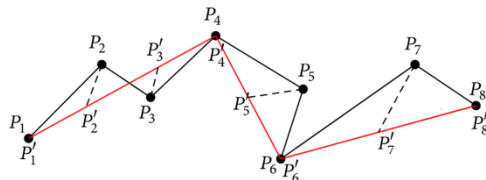
۲-۲- معیارها

هدف اصلی الگوریتم‌های فشرده‌سازی خط سیر، کاهش حجم داده‌ها با حفظ ماهیت هندسی خط سیر است. بنابراین، نیاز به معیارهایی مناسب جهت ارزیابی دقت و بررسی عملکرد الگوریتم‌ها است. در ادامه به بررسی نمونه‌هایی از این معیارها پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- خطای مکانی

خطای مکانی عبارت است از کوتاه‌ترین فاصله بین نقطه مورد نظر روی خط سیر و نقطه متناظر آن بر روی مسیر

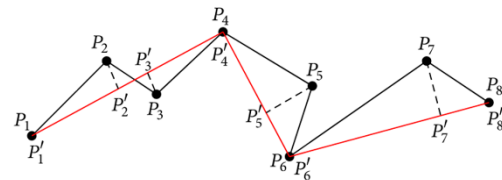
شکل (۷-الف) فرآیند اندازه‌گیری خطا براساس فاصله اقلیدسی عمودی بین مسیر اصلی حاصل از یک شی متحرک و یک مسیر تقریبی تولید شده با استفاده از یکی از الگوریتم‌های فشرده‌سازی مسیر را نشان می‌دهد.



ب. فاصله اقلیدسی همزمانی

بسیار حساس است. خطای مکانی برای هر نقطه روی مسیر اصلی نسبت به موقعیت برآوردی آن $P'_i = (x'_i, y'_i)$ روی مسیر فشرده شده، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\text{رابطه (۱)} \quad (P_i, P'_i) = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2}$$



الف. خطای مکانی

شکل ۷: معیارهای دقت فشرده‌سازی: (الف) خطای مکانی و (ب) خطای فاصله اقلیدسی همزمانی

رابطه (۴) برآورد می‌شود.

$$\text{رابطه (۲)} \quad x'_i = x_{ik} + \frac{t_i - t'_{ik}}{t_{jk+1} - t'_{ik}} \cdot (x'_{ik+1} - x_{ik})$$

$$\text{رابطه (۳)} \quad y'_i = y_{ik} + \frac{t_i - t'_{ik}}{t_{jk+1} - t'_{ik}} \cdot (y'_{ik+1} - y_{ik})$$

$$\text{رابطه (۴)} \quad ED(P, P'_i) = \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2}$$

۲-۲-۳- زمان فشرده‌سازی

معیار دیگری که برای مقایسه عملکرد الگوریتم‌های کاهش داده خط سیر می‌توان استفاده کرد زمان فشرده‌سازی است. این معیار بیانگر مدت زمان لازم برای اجرای تکنیک فشرده‌سازی جهت کاهش داده‌های خط سیر می‌باشد [۱۵]. به عنوان مثال، زمان فشرده‌سازی ۲۴ نشان می‌دهد که زمان فشرده‌سازی مسیر اصلی ۲۴ میلی ثانیه است.

۲-۲-۴- نرخ فشرده‌سازی

نرخ فشرده‌سازی، نسبت اندازه مسیر فشرده شده به اندازه مسیر اصلی را مشخص می‌کند [۱۵]. رابطه (۶) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد. به عنوان مثال نرخ فشرده‌سازی ۰/۵ نشان می‌دهد که ۵۰ درصد نقاط در خط سیر فشرده شده باقی مانده‌اند.

$$\text{رابطه (۶)} \quad \lambda = \frac{|T'|}{|T|}$$

۲-۲-۲- خطای فاصله اقلیدسی همزمانی

برآورد خطای مکانی با استفاده از فاصله اقلیدسی عمودی، فقط ویژگی‌های هندسی مسیر را در نظر می‌گیرد. در سال ۲۰۰۴، مراتینا و دیبای متریک نسبت زمان-فاصله^۱ را تعریف کردند. در این متریک اختلاف بین مسیر اصلی و مسیر فشرده‌شده با استفاده از تفاوت‌های جزء زمان و جزء مکان سنجیده شده است [۱۰ و ۱۴]. مزیت خطای فاصله اقلیدسی همزمانی، استفاده از داده‌های زمانی در محاسبات خطا است. در شکل (۷-ب) نمونه‌ای از الگوریتم کاهش داده‌های مسیر با استفاده از معیار فاصله اقلیدسی همزمانی آمده است.

این معیار خطا به عنوان خطای متریک جهت تقریب اعوجاج مسیر برآورد شده استفاده می‌شود. برای هر $P_i = (x_i, y_i, t_i)$ روی مسیر اصلی، موقعیت برآوردی متناظر آن روی مسیر برآوردی (x'_i, y'_i, t'_i) در صورتی که $t'_{ik} \leq t_i \leq t'_{ik+1}$ باشد، با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه می‌گردد و در نهایت فاصله اقلیدسی همزمانی برای یک نقطه روی مسیر اصلی و نقطه متناظر همزمانی روی مسیر فشرده براساس

¹ Time-distance ratio

۳- روش پیشنهادی

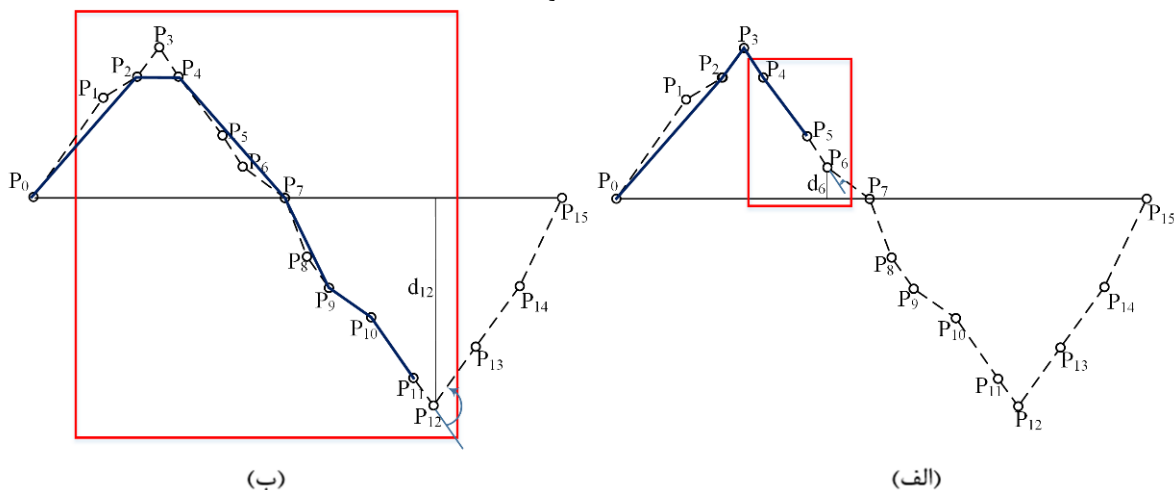
در این تحقیق روشی برای فشرده‌سازی داده‌های خط سیر بر اساس الگوریتم‌های فشرده‌سازی مبتنی بر صف ارائه شده است که از ترکیب دو تابع فاصله و تابع جهت استفاده می‌کند. الگوریتم پیشنهادی برای فشرده‌سازی مسیر یک الگوریتم فشرده‌سازی برخط است که نیاز به تنظیم اولیه میزان پنجره اولویت دارد. این الگوریتم، خط سیر اصلی را با حذف نقاط دارای پایین‌ترین اولویت از پنجره اولویت متحرک و متغیر فشرده می‌سازد. برای این منظور بهترین زیر مجموعه‌ای از نقاط خط سیر اصلی را در پنجره اولویت در نظر می‌گیرد و با استفاده از استراتژی‌های بهینه‌سازی محلی، نقاط غیر ضروری از پنجره را تا زمانی که نقاط داخل پنجره اولویتی بالاتر از حد آستانه مورد نظر داشته باشند، حذف می‌کند.

روش پیشنهادی مشابه الگوریتم SQUISH-E می‌باشد، اما در تعیین اندازه پنجره اولویت و همچنین اولویت هر نقطه متفاوت عمل می‌کند. همانطور که در بخش (۲-۱-۷) ذکر شد، الگوریتم SQUISH-E از پنجره اولویت Q با اندازه اولیه β استفاده می‌کند و اندازه این پنجره را زمانی که شرط $i/\lambda \geq \beta$ برقرار شود، به صورت $\beta + 1$ افزایش می‌دهد. اندازه این پنجره توسط کاربر

تعیین شده و به ویژگی‌های هندسی خط سیر وابسته نیست. در این تحقیق، الگوریتم پیشنهادی سعی در تعیین پنجره اولویت هر نقطه با توجه به معیار پیچیدگی خط دارد. معیار پیچیدگی با استفاده از فاصله عمودی نقاط خط سیر از خط واصل نقاط ابتدایی و انتهایی مشخص می‌شود. از این رو در الگوریتم پیشنهادی، ابتدا خط سیر به صورت خط واصل بین نقطه ابتدا و انتهای مسیر تقریب زده می‌شود و فاصله قائم هر نقطه از خط برآوردی به‌عنوان پارامتر دوری نقطه از خط سیر و یا میزان پیچیدگی خط، مطابق رابطه (۷) تعریف می‌شود.

$$d = \frac{\left| \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_n & y_n & 1 \\ x_p & y_p & 1 \end{pmatrix} \right|}{\sqrt{(x_n - x_1)^2 + (y_n - y_1)^2}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

بین فاصله هر نقطه تا خط مفروض و اندازه پنجره یک رابطه خطی به صورت: $F(\beta) = a \cdot d + b$ تعریف می‌شود، بعد از تعیین ضرایب a و b، با توجه به فاصله نقطه از خط، اندازه پنجره اولویت برای هر نقطه محاسبه می‌گردد. به عنوان مثال در شکل (۸) با توجه به فاصله دوری d_6 و d_{12} برای نقاط P_6 و P_{12} که توسط رابطه (۷) محاسبه شد، اندازه پنجره برای این دو نقطه طبق رابطه $F(\beta) = 0.75d + 2$ به ترتیب ۷ و ۳ به دست آمد.



شکل ۸: (الف) پنجره اولویت در روش پیشنهادی برای نقطه P_7 و (ب) پنجره اولویت در روش پیشنهادی برای نقطه P_{13} (خط سیر فشرده شده به رنگ آبی و خط سیر اصلی به رنگ سیاه می‌باشد).

نمود بیشتری پیدا می‌کند و باعث می‌شود الگوریتم آن نقطه را با احتمال بیشتری حفظ کند. در حالی که برای نقاط با فاصله عمودی کمتر نسبت به خط واصل نقطه ابتدایی و انتهایی، پنجره اولویت کوچکتری تعیین می‌شود و در نتیجه آن، نقطه مورد نظر با تعداد نقاط کمتری در فرایند فشردن الگوریتم پیشنهادی مقایسه شده و زمان فشردن خط کاهش می‌یابد. همچنین احتمال حذف این نقاط افزایش می‌یابد. بدین صورت نرخ فشردن الگوریتم با حفظ نقاط مهم کاهش یافته و از طرف دیگر زمان اجرایی برنامه نیز کم می‌شود.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی

در این بخش داده‌های مورد استفاده در تحقیق (بخش ۴-۱) و نتایج حاصل از مقایسه الگوریتم‌های فشردن مذکور تشریح می‌گردند (بخش ۴-۲).

۴-۱- داده‌های مورد مطالعه

خط سیر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به مجموعه داده GeoLife است. مجموعه داده‌های GeoLife توسط ۱۸۲ کاربر در بازه زمان پنج ساله از آوریل ۲۰۰۷ تا آگوست ۲۰۱۲ در شهر پکن جمع‌آوری شده‌اند. هر مسیر GPS از این مجموعه داده، به صورت توالی نقاط همراه با اطلاعاتی از جمله طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقاط می‌باشد. این مجموعه داده شامل ۱۷۶۲۱ مسیر با طول کلی ۱۲۹۲۹۵۱ کیلومتر است. این مسیرها توسط دستگاه‌های مختلف GPS و تلفن‌های همراه دارای GPS با تنوع نرخ نمونه‌برداری ثبت شده‌اند. در این تحقیق، مسیری با طول تقریباً ۲۸۴۷ متر شامل ۶۰۰ نقطه از مجموعه داده GeoLife انتخاب شد. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی بر روی خطوط با پیچیدگی متفاوت، خط سیر مورد استفاده به شش زیر مسیر تقسیم شد. برای این منظور با گرفتن صد نقطه ابتدایی مسیر اصلی، زیر مسیر شماره یک تولید شد. به همین ترتیب زیر مسیرهای شماره دو تا شش با در نظر گرفتن

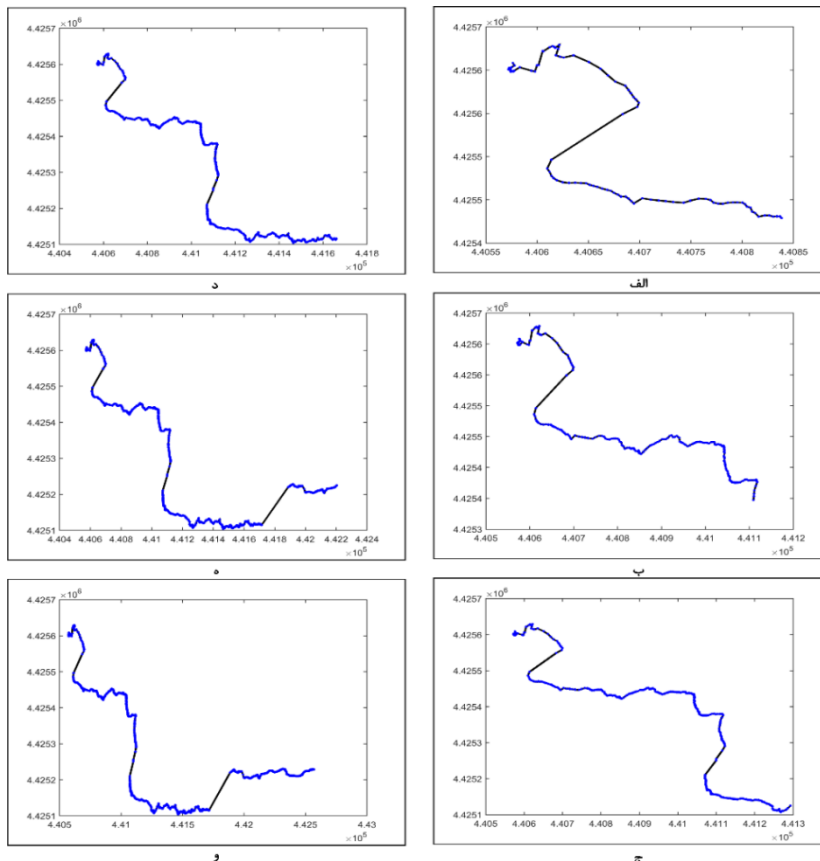
بعد از تعیین پنجره اولویت، اولویت هر نقطه در این پنجره بر اساس ترکیب دو خطای فاصله اقلیدسی همزمانی آن نقطه و خطای تغییر جهت خط سیر اصلی در آن نقطه نسبت به نقطه ماقبل آن، تعریف می‌شود. جهت مشخص کردن نقطه دارای کمترین اولویت، استراتژی بهینه‌سازی محلی دو هدفه به کار گرفته شد. روش مجموع وزن دار^۱ یکی از روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی دو هدفه است که در روش پیشنهادی جهت یافتن کم‌ترین مقادیر خطای SED و خطای جهت مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، مسئله بهینه‌سازی دو هدفه با مجموع وزن دار اهداف به مسئله بهینه‌سازی تک هدفه تبدیل شد [۱۶]. در روش پیشنهادی، وزن مربوط به خطای SED و خطای جهت برابر یک در نظر گرفته شد و در روش مجموع وزن دار، نرمالایز کردن دو خطا جهت هم مقیاس نمودن آن‌ها انجام شد و سپس مقادیر نرمال این دو خطا با هم جمع شدند. به این ترتیب، اولویت هر نقطه در پنجره متحرک با مقدار تجمیعی که نماینده خطای SED و خطای جهتی در آن نقطه است، محاسبه شد. با در نظر گرفتن همزمان دو هدف کمینه کردن خطای فاصله اقلیدسی همزمانی و خطای تغییر جهت، روش پیشنهادی موفق به حذف نقاط اضافی و حفظ خطای فاصله اقلیدسی همزمانی در یک محدوده قابل قبول شد.

هدف اصلی الگوریتم پیشنهادی، کاهش داده‌های خط سیر با بار محاسباتی کمتر و حفظ نقاط مهم در پیچیدگی خط است. از این رو الگوریتم پیشنهادی از فاصله عمودی به عنوان معیار پیچیدگی خط استفاده می‌کند. با استفاده از این معیار برای نقاط با فاصله عمودی بیشتر نسبت به خط واصل نقطه ابتدایی و انتهایی، پنجره اولویت بزرگتری در نظر گرفته می‌شود. سپس با بزرگتر شدن پنجره، تغییرات تفاوت جهت و خطای SED برای هر نقطه

^۱ Weighted sum method

که چند الگوریتم مورد استفاده این تحقیق، نیاز به محاسبه سرعت نقاط دارند، روی داده‌های مورد نظر، تبدیل مختصات از سیستم مختصات جغرافیایی به سیستم مختصات دکارتی صورت گرفت.

۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ نقطه ابتدایی از مسیر اصلی تهیه شدند. شکل (۹) این زیرمسیرها را نشان می‌دهد. داده‌های انتخابی توسط GPS در سیستم مختصات جغرافیایی WGS 84 جمع‌آوری شدند. از آنجا



شکل ۹: خط سیر مورد استفاده تحقیق. الف: زیرمسیری شامل ۱۰۰ نقطه اول، ب: زیرمسیری شامل ۲۰۰ نقطه اول، ج: زیرمسیری شامل ۳۰۰ نقطه اول، د: زیرمسیری شامل ۴۰۰ نقطه اول، ه: زیرمسیری شامل ۵۰۰ نقطه اول و و: زیرمسیری شامل ۶۰۰ نقطه اول مسیر اصلی

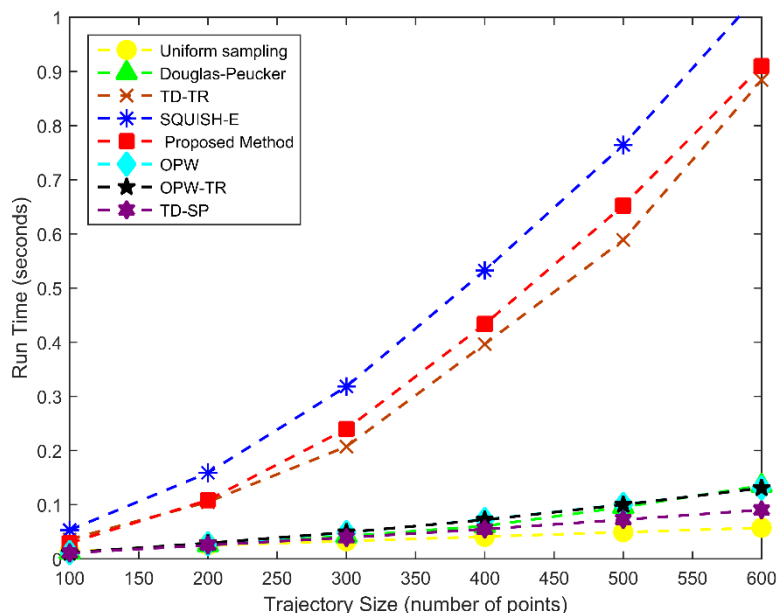
۴-۲- ارزیابی نتایج و بحث

به منظور مقایسه روش‌های کاهش داده خط سیر، الگوریتم‌های ذکر شده بر روی شش زیر مسیر معرفی شده در بخش (۴-۱) پیاده‌سازی شده‌اند. سپس عملکرد این الگوریتم‌ها از نظر معیارهای زمان فشرده‌سازی، نرخ فشرده‌سازی و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی ارزیابی و مورد بحث قرار گرفت. اولین معیار ارزیابی در این تحقیق زمان اجرایی الگوریتم‌ها است. شکل (۱۰) زمان اجرایی هر

الگوریتم‌ها را در هریک از زیرمسیرها نشان می‌دهد. در این شکل محور افقی بیانگر اندازه زیر مسیر و محور قائم مدت زمان اجرای الگوریتم است. همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت سریع‌ترین الگوریتم بوده است و در مدت زمان کوتاهی نسبت به سایر الگوریتم‌ها، در تمامی زیر مسیرها نقاط خط سیر را کاهش می‌دهد. در حالی که الگوریتم SQUISH-E در تمامی زیر مسیرها به دلیل پیچیدگی الگوریتم و در نظر گرفتن فاصله اقلیدسی همزمانی در

موفق به حذف نقاط اضافه مسیر شده است. علت این مسئله را می‌توان استفاده از پنجره اولویت متغیر و معیار تغییر جهت دانست.

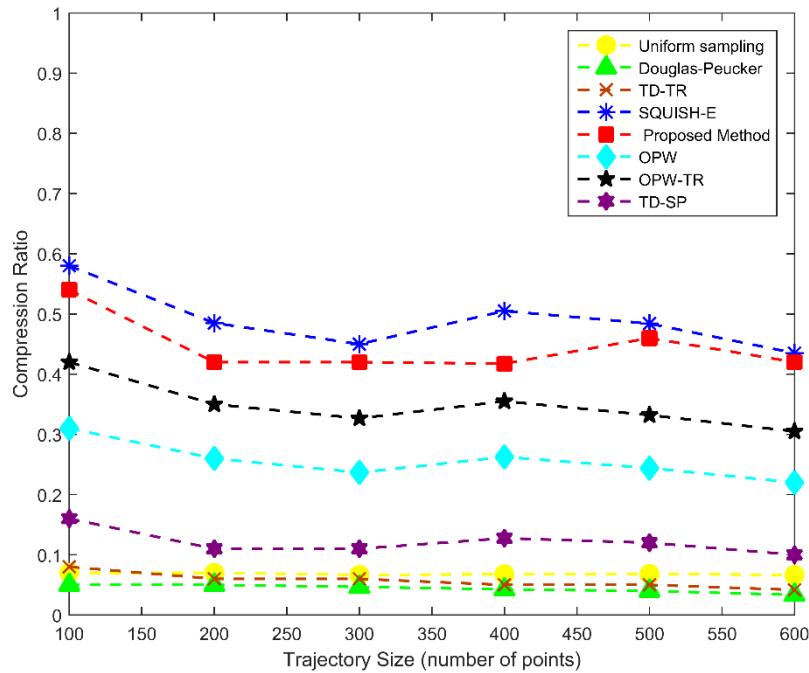
رویکرد کاهش نقاط خط سیر، نسبت به سایر الگوریتم‌ها از زمان اجرایی بالایی برخوردار بوده است. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی در مدت زمان کوتاه‌تری نسبت به الگوریتم SQUISH-E،



شکل ۱۰: زمان اجرایی هر الگوریتم نسبت به تعداد نقاط مسیر

ذخیره می‌کند. همچنین الگوریتم‌های TD-TR، OPW، TD-SP و OPW-TR مسیر با همین تعداد نقاط را با نرخ فشردگی ۰/۳۰۵، ۰/۲۲، ۰/۴۲ و ۰/۱ فشردگی می‌سازد. الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم SQUISH-E نرخ فشردگی پایین‌تری دارد، نرخ فشردگی الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم SQUISH-E برای زیر مسیر شماره شش به ترتیب برابر ۰/۴۲ و ۰/۴۳۵ می‌باشد. نتایج این تحقیق حاکی از این است که الگوریتم پیشنهادی باعث کاهش نرخ فشردگی الگوریتم SQUISH-E شده است.

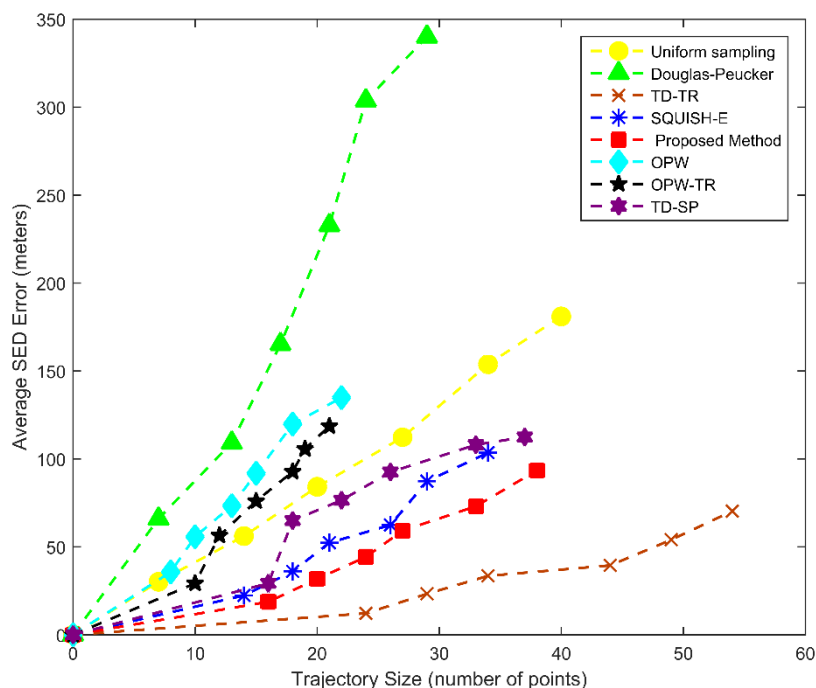
شکل (۱۱) نرخ فشردگی الگوریتم‌های مورد استفاده این تحقیق در هر یک از زیر مسیرها را نشان می‌دهد. در این شکل محور افقی بیانگر اندازه زیر مسیر و محور قائم نرخ فشردگی الگوریتم است. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت i امین نقطه از مسیر اصلی را ذخیره می‌سازد که در این تحقیق i برابر ۱۵ فرض شده است. این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌ها نرخ فشردگی پایین‌تری دارد به طوری که زیر مسیر با تعداد نقاط ۶۰۰ را با نرخ فشردگی ۰/۶۶ فشردگی می‌کند. الگوریتم داگلاس پوکر زیر مسیر استفاده شده در روش قبل را با نرخ ۰/۳۳۳۰



شکل ۱۱: نرخ فشرده‌سازی هر الگوریتم نسبت به تعداد نقاط مسیر

در نظر می‌گیرد و مقدار این خطا را نسبت به الگوریتم پنجره متحرک کاهش می‌دهد. الگوریتم SQUISH-E با توجه به اینکه نقاط شکست در مسیر را ذخیره می‌کند، خطای فاصله اقلیدسی همزمانی کمتری دارد. الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن همزمان دو خطای فاصله اقلیدسی همزمانی و خطای تغییر جهت، موفق به کاهش خطای فاصله اقلیدسی همزمانی نسبت به الگوریتم SQUISH-E شد.

شکل (۱۲) میانگین خطای فاصله اقلیدسی همزمانی نسبت به تعداد نقاط فشرده شده در هر زیر مسیر را نشان می‌دهد. الگوریتم داگلاس-پوکر به علت استفاده از خطای مکانی بیشترین خطای همزمانی و الگوریتم TD-TR کم‌ترین مقدار خطای را نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد، چرا که از متریک خطای فاصله اقلیدسی همزمانی برای فشرده‌سازی مسیر استفاده می‌کند. الگوریتم OPW-TD جهت تقریب خط سیر، متریک خطای فاصله اقلیدسی همزمانی را



شکل ۱۲: خطای فاصله اقلیدسی همزمانی هر الگوریتم نسبت به تعداد نقاط مسیر فشرده

۵- نتیجه گیری

با تولید روزافزون داده‌های خط سیر توسط دستگاه‌های تعیین موقعیت GPS، حجم بالای این داده‌ها موجب مشکلاتی در زمینه پردازش، انتقال، دانلود و ذخیره‌سازی داده می‌شود. از این رو الگوریتم‌های فشرده‌سازی مسیر جهت رفع مشکلات مذکور مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق، هفت الگوریتم فشرده‌سازی هندسی مسیر از جمله الگوریتم نمونه‌برداری یکنواخت، داگلاس پوکر، TD-TR، پنجره متحرک، OPW-TD، TD-SB، SQUISH-E و مورد بحث بررسی قرار گرفتند. مزیت الگوریتم SQUISH-E، برقراری تعادل بین نسبت فشرده‌سازی و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی است در حالی که نرخ فشرده‌سازی بالایی نسبت به سایر روش‌ها دارد. در الگوریتم SQUISH-E اندازه پنجره اولویت، که تعیین کننده اولویت هر نقطه در این پنجره است، ابتدا به صورت ثابت توسط کاربر تعیین می‌شود و سپس با برقراری شرطی اندازه این پنجره افزایش می‌یابد. در این تحقیق الگوریتم جدیدی به منظور بهبود عملکرد

الگوریتم SQUISH-E پیشنهاد شد، که در آن اندازه پنجره اولویت متحرک برای هر نقطه متغیر بوده و برای تعیین اولویت هر نقطه از دو معیار فاصله اقلیدسی همزمانی و تغییر جهت استفاده می‌کند.

در پایان الگوریتم پیشنهادی و هفت الگوریتم مذکور روی خط سیری از مجموعه داده GeoLife در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شدند. به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی بر روی خطوط با پیچیدگی متفاوت، خط سیر مورد استفاده به شش زیر مسیر تقسیم شد. سپس عملکرد و کارایی این الگوریتم‌ها با استفاده از معیارهای نرخ فشرده‌سازی، خطای فاصله اقلیدسی همزمانی و زمان اجرای الگوریتم در هر زیر مسیر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این مقایسه حاکی از بهبود نرخ فشرده‌سازی و خطای فاصله اقلیدسی همزمانی الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم SQUISH-E است و همچنین زمان اجرایی روش پیشنهادی کمتر از الگوریتم SQUISH-E می‌باشد.

با بررسی الگوریتم‌های فشرده‌سازی در این تحقیق،

فرایند غنی‌سازی معنایی خط سیرهای مکانی در مدیریت داده‌ها، کاهش تعداد نقاط با حفظ دقت و همچنین شناسایی و تحلیل مکان‌های توقف در خط سیر نقش مهمی دارد. ترکیب اطلاعات معنایی با الگوریتم پیشنهادی می‌تواند مکان‌های مهم از نظر کاربرد با اطلاعات معنایی را حفظ نموده و موجب بهبود عملکرد این الگوریتم شود. ارزیابی کارایی این الگوریتم در کاربردهای مکانی از جمله مدل‌سازی جریان ترافیک، شناسایی معابر مسدود و غیره از جمله پیشنهادات برای مطالعات آتی در این زمینه می‌باشد.

مشکلات و چالش‌های موجود در فشرده‌سازی مسیر حرکت جسم را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد: (۱) اکثر الگوریتم‌های فشرده‌سازی موجود توجه بیشتری به ویژگی‌های هندسی خط سیر دارند و الگوهای حرکت و ویژگی‌های درونی در مسیرها نادیده گرفته شده است. (۲) اکثر الگوریتم‌های فشرده‌سازی مسیر فعلی نمی‌توانند بعد زمانی و بعد مکانی را به‌طور کامل ترکیب کنند و فقط بعد زمانی را به عنوان بعدی اضافی به بعد مکانی شیء می‌سنجند. (۳) کاربرد عمومی الگوریتم فشرده‌سازی مسیر کم است.

مراجع

- [1] J.-G. Lee, J. Han, and K.-Y. Whang, "Trajectory clustering: a partition-and-group framework," in Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data, 2007, pp. 593-604.
- [2] M. Chen, M. Xu, and P. Franti, "Compression of GPS trajectories," in 2012 Data Compression Conference, 2012, pp. 62-71.
- [3] H. Wang, H. Su, K. Zheng, S. Sadiq, and X. Zhou, "An effectiveness study on trajectory similarity measures," in Proceedings of the Twenty-Fourth Australasian Database Conference-Volume 137, 2013, pp. 13-22.
- [4] P. Sun, S. Xia, G. Yuan, and D. Li, "An Overview of Moving Object Trajectory Compression Algorithms," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2016, 2016.
- [5] W. Tobler, "Numerical Map Generalization, Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers," Discussion Paper 1966.
- [6] R. Bellman, "On the approximation of curves by line segments using dynamic programming," *Communications of the ACM*, vol. 4, p. 284, 1961.
- [7] D. H. Douglas and T. K. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature," *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 10, pp. 112-122, 1973.
- [8] N. Meratnia and R. De By, "A new perspective on trajectory compression techniques," in Proc. ISPRS Commission II and IV, WG II/5, II/6, IV/1 and IV/2 Joint Workshop Spatial, Temporal and Multi-Dimensional Data Modelling and Analysis, 2003.
- [9] E. Keogh, S. Chu, D. Hart, and M. Pazzani, "An online algorithm for segmenting time series," in Data Mining, 2001. ICDM 2001, Proceedings IEEE International Conference on, 2001, pp. 289-296.
- [10] M. Potamias, K. Patroumpas, and T. Sellis, "Sampling trajectory streams with spatiotemporal criteria," in 18th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM'06), 2006, pp. 275-284.
- [11] J. Muckell, J.-H. Hwang, V. Patil, C. T. Lawson, F. Ping, and S. Ravi, "SQUISH: an online approach for GPS trajectory compression," in Proceedings of the 2nd International Conference on Computing for Geospatial Research & Applications, 2011, p. 13.
- [12] J. Muckell, P. W. Olsen Jr, J.-H. Hwang, C. T. Lawson, and S. Ravi, "Compression of trajectory data: a comprehensive evaluation and new approach," *GeoInformatica*, vol. 18,

pp. 435-460, 2014.

- [13] X. Wu and Z. Cao, "Basic conception, function and implementation of temporal GIS," *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, vol. 27, pp. 241-245, 2002.
- [14] N. Meratnia and A. Rolf, "Spatiotemporal compression techniques for moving point objects," in *International Conference on*

Extending Database Technology, 2004, pp. 765-782.

- [15] Y. Zheng and X. Zhou, *Computing with spatial trajectories*: Springer Science & Business Media, 2011.
- [16] K. Deb, "Multi-objective optimization," in *Search methodologies*, ed: Springer, 2014, pp. 403-449.



Data Reduction of Spatio-temporal Trajectories using a Modified Online Compression Algorithm

Afsaneh Nasiri¹, Sanaz Azimi¹, Rahim Ali Abbaspour^{2*}

1- MSc, School of Surveying and Geospatial Information Engineering, College of Engineering, University of Tehran.
2- School of Surveying and Geospatial Information Engineering, College of Engineering, University of Tehran

Abstract

With development of mobile devices equipped with a global positioning system, such as smartphones, large amounts of spatial information are generated. These data, which are often stored and modeled as a sequence of spatial locations over time, are called trajectory. The large amount of trajectory data has increased the cost of transferring, storing and processing such data. To overcome these problems, a number of compression algorithms have been proposed for reducing the size of trajectory data. In this paper, seven algorithms including uniform sampling, Douglas Poker, TD-TR, Opening Window, OPW-TR, TD-SB and SQUISH-E algorithms are being discussed and the advantages and disadvantages of these algorithms are investigated as well. The SQUISH-E algorithm can create a balance between the compression rate and the Synchronized Euclidean Distance error, but has a high compression rate than other compression algorithms. To solve mentioned problem, this paper proposed a method for changing the priority window of the SQUISH-E algorithm, which improves the compression rate of this algorithm. In order to evaluate the performance of the proposed method, all algorithms are implemented on six trajectories of varying complexity and compared with each other in terms of criteria such as compression rate, run-time, and concurrency Euclidean distance errors. The results of implementation of the proposed method indicate the improvement of the proposed algorithm at the compression rate, computation time, and Synchronized Euclidean Distance error. In compare to SQUISH-E algorithm, the computation time and compression rate of proposed algorithm is decreased about 130 millisecond and 0.015, respectively.

Key words: Spatio-temporal Trajectories, Compression, SQUISH-E Algorithm, Priority Window.