

مروری بر فرآیند حرکت اشیاء نقطه‌ای و روش‌های اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر آنها

محمد شریف*^۱، علی اصغر آل‌شیخ^۲

^۱ دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
mvsharif@gmail.com

^۲ استاد گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
alesheikh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

چکیده

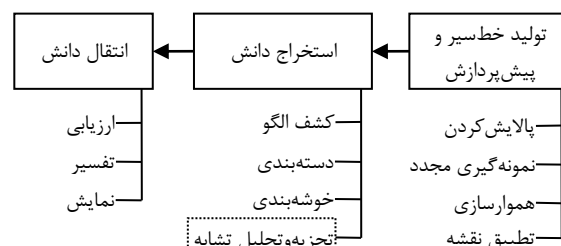
حرکت جزئی از تمامی اکوسیستم‌ها و بیشتر فرآیندهای مکانی-زمانی است. مطالعه حرکت و الگوهای حرکتی به استخراج دانش و کشف ارتباطات معنادار وقایع پویای پیرامون ما کمک شایانی می‌کند. حرکت اشیاء متحرک نقطه‌ای در طول زمان تولید خطوط‌سیری می‌کنند که تجزیه و تحلیل آن‌ها در علوم مختلف بسیار حائز اهمیت است. از میان روش‌های تجزیه و تحلیل خطوط‌سیر، یافتن و اندازه‌گیری تشابه میان آن‌ها در کانون توجهات بوده است. از این رو، در این تحقیق ابتدا به مفهوم حرکت و نحوه شکل‌گیری خطوط‌سیر پرداخته شده است. سپس، فضاها و حرکتی معرفی و نقاط قوت و ضعف هر یک بیان شده‌اند. در ادامه، روش‌های اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر به همراه نقاط مثبت و منفی هر یک توضیح داده شده‌اند. در نهایت، به بررسی جامع تحقیقات گذشته که از روش‌های متنوع اندازه‌گیری تشابه برای کاربردهای گوناگون استفاده کرده‌اند پرداخته شده است. امید است این تحقیق شناخت و درک بهتری از فرآیند حرکت اشیاء نقطه‌ای و فضاها و حرکتی را برای محققان فراهم آورد و آن‌ها را در انتخاب و بکارگیری روش مناسب اندازه‌گیری تشابه یاری کند.

واژگان کلیدی: حرکت، اشیاء نقطه‌ای، خطوط‌سیر، تشابه، اندازه‌گیری، فضای حرکتی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، به‌موجب پیشرفت‌های فراوان در فناوری‌های ناوبری، موقعیت‌یابی و دنبال‌کننده‌ها^۱، همچون سیستم تعیین موقعیت جهانی^۲ (GPS)، گیرنده‌های شناسایی رادیویی^۳ (RFID)، ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده^۴ (BTS)، حسگرها^۵ و دوربین‌های نظارتی ایستا و پویا، حجم بسیاری از داده‌های حرکتی تولید شده است. ایجاد چنین منابع عظیم داده و ذخیره‌سازی آن‌ها در پایگاه‌های داده، ابزارهای جستجوکننده و روش‌های کشف دانش را به چالش کشیده‌اند. در این راستا، به فرآیند بدست آوردن اطلاعات توسط داده کاوی^۶، تبدیل آن‌ها به دانش به‌وسیله تفسیر اطلاعات و ترکیب آن‌ها با اطلاعات موجود، اصطلاحاً کشف دانش در پایگاه‌های داده^۷ (KDD) گفته می‌شود [۱]. حالت خاصی از KDD، کشف دانش جغرافیایی^۸ (GKD) است که این فرآیند با اطلاعات جغرافیایی سروکار دارد. سه مرحله برای کشف دانش جغرافیایی از پایگاه‌های داده حرکتی در شکل ۱ ارائه شده است [۲].



شکل ۱- فرآیند کشف دانش جغرافیایی از پایگاه‌های داده [۲]

از میان روش‌های استخراج دانش می‌توان از تجزیه و تحلیل تشابه جهت مطالعه رفتار حرکتی اشیاء متحرک استفاده کرد [۳-۵]. اشیاء نقطه‌ای در حال حرکت^۹ (MPOs) از موقعیت خود در طول زمان اثری برجای می‌گذارند که اصطلاحاً **خط‌سیر**^{۱۰} مکانی نامیده می‌شود. از مهم‌ترین مباحث مطرح در استخراج دانش از خطوط‌سیر مکانی، استخراج خطوط‌سیر متشابه است. مسئله مهم در مطالعات

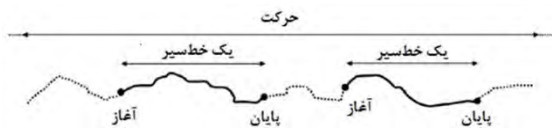
مرتبط با اندازه‌گیری میزان شباهت بین خطوط‌سیر، یافتن معیاری مناسب برای شناخت میزان شباهت است که معمولاً این امر توسط توابع فاصله محقق می‌شود [۶].

اهمیت تجزیه و تحلیل خطوط‌سیر متشابه را با ذکر چند مثال کاربردی در زمینه‌های مختلف بیان می‌شود. در حوزه حمل‌ونقل در شبکه راه‌ها، به دلیل ماهیت محیط، پارامترهای حرکت و محدودیت‌های موقتی و دائمی، تجزیه و تحلیل تشابه متفاوت‌تر از فضاهای دیگر است [۷]. اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر با در نظر گرفتن پارامترهای حرکت می‌تواند به کشف قوانین و الگوهای رفتاری- حرکتی جدید، ارزیابی نظم حرکت (تغییر جهت پی‌درپی)، پیشنهاد مسیر جایگزین/بهینه (از نقطه‌نظر کمترین هزینه و بهترین دسترسی)، مدیریت منابع (وسایل حمل‌ونقل عمومی) و پیش‌بینی ترافیک کمک کند [۸]. به‌عنوان مثالی دیگر، به کمک فناوری دنبال‌کننده [۹]، با تجزیه و تحلیل خطوط‌سیر افراد درون یک ساختمان اداری، مسیرهای عبور مهم، اتاق‌ها، پلکان‌ها و دیگر امکانات زیاد استفاده شده مشخص می‌گردند. نتایج حاصل می‌توانند در شناخت الگوهای رفتاری و تردد افراد و ارائه خدمات بهتر به مراجعین مورد استفاده قرار گیرند. در حوزه گردشگری، با بررسی حرکت گردشگران حین بازدید از مکان‌های تفریحی یا تاریخی و تجزیه و تحلیل مسیرهای عبوری و مکان‌های مشاهده‌شده، نه تنها امکان خدمات‌رسانی بهتر به بازدیدکنندگان میسر می‌شود، بلکه گردشگران جدید می‌توانند از تجربیات و مسیرهای موردعلاقه افراد قبلی بهره ببرند [۱۰، ۱۱]. درنهایت، با بررسی حرکت خطوط-سیر طوفان‌ها و پارامترهای مربوطه در فضای نامحدود اقیانوس‌ها در دوره‌های زمانی مختلف، نه تنها می‌توان شناخت جامعی از رفتار حرکتی آن‌ها بدست آورد، بلکه احتمال و مسیر وقوع طوفان‌های بعدی را نیز می‌شود پیش‌بینی کرد [۱۲].

در این راستا، ادامه این تحقیق از قرار زیر می‌باشد. در قسمت ۲ به مفهوم حرکت اشیاء متحرک نقطه‌ای پرداخته شده و نحوه شکل‌گیری خطوط‌سیر این‌گونه از اشیاء بیان گردیده است. معرفی فضاهای حرکتی موجود و نقاط مثبت و منفی هر یک در قسمت ۳ بیان شده است. در قسمت ۴، روش‌های موجود اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر ذکر شده، نحوه عملکرد این روش‌ها توضیح داده شده و به نقاط قوت و ضعف هر یک اشاره شده است. همچنین،

۱ Trackers
 ۲ Global Positioning System
 ۳ Radio-frequency Identification
 ۴ Base Transceiver Station
 ۵ Sensors
 ۶ Data Mining
 ۷ Knowledge Discovery in Databases
 ۸ Geographic Knowledge Discovery
 ۹ Moving Point Objects
 ۱۰ Trajectory/Lifeline

موقعیت یاب‌ها و دنباله‌ها ثبت می‌شوند. فرمت، دقت و محتوای دنباله‌های حرکت بستگی به وسیله‌ای که آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کند دارد. در شکل ۲، خط نقطه‌چین، مقطعی از دنباله حرکت یک شیء را نشان می‌دهد. خطوط پیوسته پررنگ، دو قطعه‌ای^۴ را نمایش می‌دهند که به‌عنوان خطوط سیر شناخته می‌شوند [۱۸]. معیار انتخاب خطوط-سیر از دنباله حرکت بسیار به کاربرد وابسته است. به‌عنوان مثال، در سناریو گردشگران، به‌منظور تحلیل کلی فعالیت گردشگران در طول سفرشان در شهر، تمام مسیر حرکت به‌عنوان یک خط‌سیر قلمداد می‌شود. از طرف دیگر، برای تحلیل فعالیت آن‌ها در برهه‌ای از زمان، قسمتی از مسیر حرکت نیز جداگانه یک خط‌سیر را تشکیل می‌دهد.



شکل ۲- دو خط‌سیر استخراج‌شده از دنباله حرکت یک شیء [۱۸]

در مراجع علمی خط‌سیر چنین تعریف شده است:

تعریف: "یک خط‌سیر قسمتی از حرکت یک شیء است که توسط بازه زمانی مشخص $[t_{\text{آغاز}}, t_{\text{پایان}}]$ توصیف می‌شود. خط‌سیر، یک تابع پیوسته از بازه زمانی $[t_{\text{آغاز}}, t_{\text{پایان}}]$ در فضا است. موقعیت مکانی-زمانی شیء در آغاز t (متناسباً با $t_{\text{پایان}}$) آغاز (متناسباً با $t_{\text{پایان}}$) خط‌سیر گفته می‌شود" [۱۸].

تعریف: "خط‌سیر یک شیء، یک دنباله (s) با طول n از موقعیت‌های مکانی، برای هر گام زمانی از تاریخچه، با ترکیب $\{(l_0, t_0), (l_1, t_1), \dots, (l_{n-1}, t_{n-1})\}$ است؛ جاییکه l_i مکان شیء در زمان t_i و به‌صورت مختصات مکانی بیان می‌شود. اگر اختلاف بین گام‌های زمانی متوالی ثابت باشد، s به‌صورت $\{(l_0), (l_1), \dots, (l_{n-1})\}$ ساده‌سازی می‌شود" [۱].

کمیت‌های قابل اندازه‌گیری متفاوتی از حرکت وجود دارد که در طول خطوط‌سیر مکانی قابل مشاهده و/یا استخراج هستند. به این کمیت‌ها اصطلاحاً پارامترهای حرکت^۵ گفته می‌شود [۱۲]. دو دسته برای پارامترهای حرکت تعریف می‌شود: (۱) پارامترهای قریب‌الوقوع که در لحظه آشکار هستند، مانند موقعیت، سرعت، شتاب و

مطالعه جامعی از تحقیقات گذشته در کاربردهای گوناگون، که در توسعه و به‌کارگیری روش‌های اندازه‌گیری تشابه مشارکت داشته‌اند ارائه شده است. سرانجام، قسمت ۵ به جمع‌بندی این تحقیق و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده می‌پردازد.

۲- حرکت

حرکت "یک مشخصه از زندگی است، که توسط فرآیندهایی که در طول مقیاس‌های مکانی و زمانی رفتار می‌کنند، استخراج می‌شود" [۱۳]. حرکت یک المان کلیدی در بسیاری از فعالیت‌ها و فرآیندها است. شناخت حرکت، الگوهای حرکتی [۱۴] و محیط‌هایی که در آن‌ها حرکت صورت می‌پذیرد در علوم مختلف همچون هواشناسی، زیست‌شناسی، بازاریابی و حمل‌ونقل مورد توجه بوده است. در حوزه علوم اطلاعات مکانی^۱ (GIScience) نیز بررسی حرکت نقش پررنگی در شناخت فرآیندها (مانند گردبادها، گسترش لکه‌های نفتی) و اشیاء پویا (مانند وسایل نقلیه، انسان و حیوان) داشته است [۱۵]. بیشتر تحقیقات در رابطه با توسعه مدل‌های حرکتی به سمت مدل‌سازی اشیاء نقطه‌ای بوده تا عوارض منطقه‌ای؛ زیرا اولاً کار با داده‌های نقطه‌ای راحت‌تر است و ثانیاً نقاط در حال حرکت در بیشتر مواقع تمام جزئیات یک شیء در حال حرکت، که برای تجزیه و تحلیل الگوی حرکت نیاز است، را ذخیره می‌کنند [۱۶].

حرکت اشیاء نقطه‌ای معمولاً به دو صورت لاگرانژ یا اویلر دنبال می‌شود. مدل حرکت لاگرانژ بر اشیاء در حال حرکت تمرکز دارد، مانند موقعیت‌یابی با GPS نصب‌شده در وسایل نقلیه؛ در حالی که مدل حرکت اویلر بر قسمت‌های ثابتی از فضا تمرکز دارند که حرکت از آن محل صورت می‌گیرد، مانند عبور از مقابل برچسب‌های RFID [۱۷]. در هر دو نوع مدل حرکت، به دلیل اینکه موقعیت (مختصات مکانی) شیء در طول زمان در فضا تغییر می‌کند آن را یک شیء در حال حرکت^۲ می‌نامند؛ که خود می‌تواند شامل اشیاء نقطه‌ای یا فرآیندهای در حال حرکت باشد. به ترتیب زمانی دنباله‌ای از موقعیت‌های ثبت‌شده زمانی-مکانی، دنباله حرکت^۳ گفته می‌شود [۱۸]، که معمولاً توسط

۴ Segment
۵ Movement Parameters

۱ Geospatial Information Science
۲ Moving Object
۳ Movement Track

جهت و (۲) پارامترهای نسبی که در بازه‌های زمانی قابل اندازه‌گیری می‌باشند، مانند سرعت نسبی و زاویه چرخش [۲، ۱۹]. پارامترهای حرکت خود نیز دارای جزئیاتی هستند که اصطلاحاً ویژگی‌های حرکت^۱ گفته می‌شوند، مانند بزرگی و تکرار پارامترهای حرکت. این جزئیات به بررسی دقیق‌تر حرکت اشیاء کمک می‌کنند [۱۵].

اکنون با توجه به مفاهیم بالا می‌توان یک مدل مفهومی از حرکت را نمایش داد (شکل ۳). این مدل از چهار مؤلفه اصلی (الف) وضعیت داخلی، (ب) عوامل خارجی، (پ) ویژگی‌های حرکت و (ت) مسیر حرکت تشکیل شده است. سه مورد اول مربوط به شیء در حال حرکت است و مورد چهارم در ارتباط با محیطی است که حرکت در آن انجام می‌شود [۱۵]. جهت واضح‌تر شدن موضوع، هر مؤلفه با مثالی از حرکت گردشگران در شهر توضیح داده می‌شود. وضعیت داخلی می‌تواند ثابت یا متغیر باشد و به پرسش اینکه "چرا حرکت صورت می‌پذیرد؟" پاسخ می‌دهد. به‌عنوان مثال، نیت و هدف سفر چیست، چه برنامه‌ای در سفر گنجانده شده و آیا امکان این می‌رود که تصمیم بازدید از مکان‌های از قبل تعریف شده تغییر کند یا خیر. در چنین مثالی، وضعیت داخلی می‌تواند تابعی از سن، علاقه و زمان موجود باشد. این در حالی است که عوامل خارجی به محیطی که حرکت در آن انجام می‌گیرد اشاره دارد و می‌توانند ایستاپویا و پیوسته/گسسته باشند. در سناریو گردشگران، شرایط جوی و فاصله و دسترسی به جاذبه‌های گردشگری می‌توانند به‌عنوان عوامل خارجی قلمداد شوند. هر دو دسته عوامل داخلی و خارجی آغازگر فرآیند حرکت هستند و قابلیت پویا بودن را دارا می‌باشند. حرکت یک شیء توأم با ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری و توصیفی است که همان‌گونه که اشاره شد پارامترهای حرکت نامیده می‌شود. ویژگی‌های حرکت به دو سؤال "حرکت به کدام سمت صورت می‌گیرد؟" (مانند جهت حرکت گردشگران) و "حرکت چگونه انجام می‌شود؟" (مانند حرکت انفرادی/گروهی گردشگران یا پیاده/سواره) پاسخ می‌دهند. سرانجام، حرکت هر شیء از مکان خود در طول زمان مسیری بجای می‌گذارد که خط‌سیر نامیده می‌شود. خط-سیر در سناریو گردشگران به معنای مسیر طی‌شده و

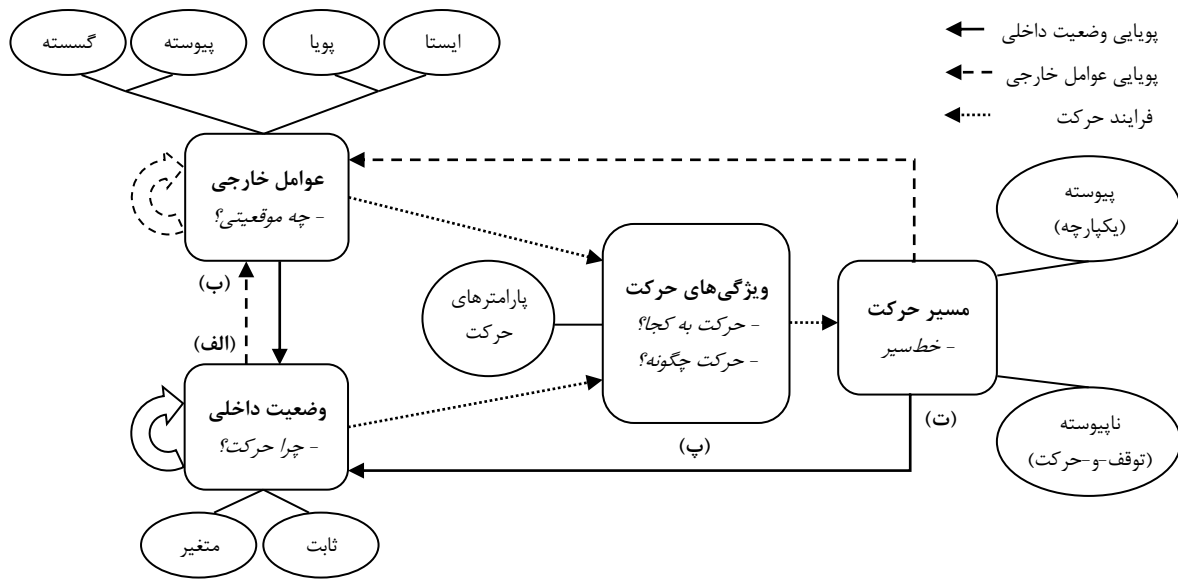
مکان‌های مورد علاقه^۲ (POI) بازدید شده است. این مسیر با توجه به وضعیت داخلی و عوامل خارجی نیز می‌تواند پویا باشد. بسته به نحوه حرکت و عوامل داخلی و خارجی، خطوط‌سیر تولید شده دو حالت پیوسته (یکپارچه) یا گسسته (توقف-حرکت) به خود می‌گیرند. در مثال گردشگران، چنانچه مسیر حرکت از آغاز سفر شهری و بازدید از مکان‌های گوناگون ثبت گردد، خطوط‌سیر پیوسته خواهند بود و اگر در همان سفر، حرکت منقطع و محدود به درون یک موزه/پارک باشد و تا مکان دیگر و ثبت اطلاعات جدید روند حرکت برداشت نشود، خطوط‌سیر گسسته تلقی می‌گردند.

۲-۱- فضای حرکت

مدل‌سازی حرکت هم به معنای مدل‌سازی اشیاء متحرک است و هم مدل‌سازی فضاهایی که اشیاء در آن‌ها حرکت می‌کنند. فضا در علوم مختلف همچون علوم اجتماعی، معماری، فیزیک، ریاضیات و جغرافیا، معانی گوناگونی دارد؛ به‌طوری‌که یک تعریف جامع که دربرگیرنده تمامی جوانب آن باشد را نمی‌توان برای آن متصور شد. از نظر ریاضی، فضا یک قالب (یا ساختار) مفهومی منطقی است که به‌عنوان واسطی برای شناخت سایر فرم‌ها و ساختارها ارائه می‌شود؛ در هندسه مقدماتی، سطح یا فضا به‌عنوان واسطه‌ای برای ساخت اشکال متنوع است [۲۰]. مدل‌های متنوعی از فضا در ریاضیات وجود دارد که هرکدام مربوط به مقیاسی خاص هستند و به جزئیات خاصی خلاصه می‌شوند؛ از جمله، فضاهای اقلیدسی^۳، مینکوسکی^۴ (شبه-اقلیدسی)، ریمان^۵ (شبه-اقلیدسی موضعی)، متریک^۶، نرم‌دار^۷ و توپولوژیکی^۸ [۲۱].

^۲ Point of Interest
^۳ Euclidian space
^۴ Minkowski's space
^۵ Riemannian space
^۶ Metric space
^۷ Normed space
^۸ Topological space

^۱ Movement Features



شکل ۳- مدل مفهومی از حرکت (گسترش داده شده از [۱۳، ۱۵])

موقعیت‌ها به صورت (x, y, t) نمایش داده می‌شود که مربوط به یک نقطه است. عبارت همگون به این فرض برمی‌گردد که فضای R^2 مانعی و تأثیری روی مکان و حرکت اشیاء نقطه‌ای نمی‌گذارد. از فاصله اقلیدسی برای اندازه‌گیری فاصله در این فضا استفاده می‌شود.

(ب) فضای اقلیدسی محدود^۲، یک مورد خاص از فضاهای اقلیدسی همگون است که بیشتر جهت نظارت و مدل‌سازی حرکت در مکان‌های داخلی استفاده می‌شود. کاربردهای نظارتی و امنیتی درون ساختمان یا مطالعات رفتار مشتریان در مغازه‌ها را می‌توان نمونه‌ای از آن دانست. منظور از محدودیت در این‌گونه فضاها، مانعی است که جلو حرکت آزادانه شیء را می‌گیرد. در اینجا بیشتر بجای یافتن الگوی حرکتی خاص، به دنبال بازتولید الگوهای مشخص جهت شناخت بهتر از یک فرآیند چند-شیء^۳ ای پویا هستند.

(پ) آکواریوم مکان-زمان^۴، یک مکعب سه-بعدی با دو محور مکانی (x, y) و یک محور عمودی زمانی t است؛ که محور زمانی می‌تواند هرگونه از زمان (مانند ترتیبی یا پیوسته، خطی یا دوره‌ای) را مدل کند. رایج‌ترین گزینه، زمان خطی پیوسته است. دنباله نقاط در حال حرکت، شکل مسیره‌های مکان-زمان را به خود می‌گیرد که با گذر زمان شکل صعودی می‌گیرند. از کاربردهای این روش در نمایش جغرافیای زمانی است.

فضاهای ریاضی اغلب دارای شکل سلسله مراتبی هستند و یک فضا ممکن است همه یا بخشی از ویژگی‌های فضای والد را به ارث ببرد. در این راستا، فضای توپولوژیکی حاوی تمامی فضاها است. فضای متریک، مجموعه‌ای است که در آن فواصل بین تمام اعضا تعریف شده است. این فواصل با هم، یک متریک بر روی مجموعه نامیده می‌شوند. مشهورترین فضای متریک، فضای اقلیدسی سه-بعدی است. در حقیقت یک متریک، تعمیم متریک اقلیدسی ناشی از خاصیت‌های شناخته شده فاصله اقلیدسی است. متریک اقلیدسی، فاصله بین دو نقطه را در قالب طول خط واصل بین آن‌ها تعریف می‌نماید. فضا در حوزه جغرافیا اغلب زمین در نظر گرفته می‌شود و محدوده، دارایی و قلمرو محسوب می‌گردد. یک دیدگاه، فضای جغرافیایی را یک فضای پویا می‌پندارد که به دلیل تعامل آن با بسیاری از عوامل شکلش در طول زمان تغییر می‌کند [۲۲]. در حوزه علوم اطلاعات مکانی، اکثر مواقع فضا به فضای اقلیدسی (دو/سه-بعدی) خلاصه می‌شود. در معرفی فضاهای حرکت، شش فضا برای حرکت اشیاء نقطه‌ای معرفی شده است [۲۳] (شکل ۴)، که در ادامه به جزئیات آن پرداخته می‌شود.

(الف) فضای اقلیدسی همگون^۱، یک فضای دو-بعدی اقلیدسی (R^2) ، ساده‌ترین فضا برای همراهی کردن اشیاء نقطه‌ای در حال حرکت است. در این فضا، اشیاء نقطه‌ای می‌توانند هر مکان موقتی داشته باشند. در هر زمان t ، این

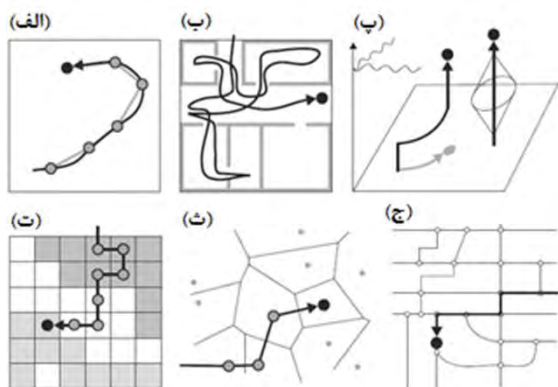
^۲ Constrained Euclidean space

^۳ Multi-object

^۴ Space-time aquarium

^۱ Euclidean homogeneous space

فضای حرکت به موزاییک‌های نامنظم ایجاد می‌شود.
(ج) فضای شبکه^۵، محیطی است که بیشتر حرکت‌های بشر در آن برنامه‌ریزی یا انجام می‌شود. بشر حرکت را با ایجاد زیرساخت‌هایی توجیه و جابجایی را آسان‌تر می‌کند. شبکه راه‌ها و حمل‌ونقل ریلی نمونه‌هایی از این فضاها هستند. مدل‌های فضای شبکه امکان مدل‌سازی از جزئیات رئوس و یال‌های شبکه را فراهم می‌سازد. یال‌ها می‌توانند مستقیم (جاده یک‌طرفه) و دارای محدودیت سرعت، محدودیت ظرفیت و محدودیت عبور و مرور باشند. از طرفی رئوس می‌توانند تعداد توقف‌ها را نمایش دهند.



شکل ۴- شش مدل فضا که اشیاء نقطه‌ای در حال حرکت را همراهی می‌کنند. (الف) فضای اقلیدسی همگون، (ب) فضای اقلیدسی محدود، (پ) آکوارיום مکان-زمان، (ت) فضای میدانی ناهمگون، (ث) فضای موزاییکی بی‌قاعده، (ج) فضای شبکه [۲۳]

هر یک از فضاهای ذکر شده دارای نقاط قوت و ضعف هستند که در جدول ۱ به اختصار به آن‌ها اشاره شده است.

(ت) فضای میدانی ناهمگون^۱، اشیاء در حال حرکت را در فضاهای گسسته مدل‌سازی می‌کنند (برعکس فضاهای قبل که پیوسته بودند). ساختار داده در این نوع فضاها اغلب به صورت سلولی نمایش داده می‌شود. این‌گونه فضاها برای مدل‌سازی عامل‌های متحرکی که با محیط در تعامل هستند مناسب هستند. عامل‌های در حال حرکت می‌توانند قدم بعدی خود را بسته به کاربری همسایه خود انتخاب کنند. از کاربردهای این نوع فضاها می‌توان به مطالعات بوم‌شناسی^۲ بر مبنای حرکت حیوانات، یا شبیه‌سازی حرکت افراد پیاده در فضای گسسته به کمک روش سلول‌های خودکار^۳ اشاره کرد.

(ث) فضای موزاییکی بی‌قاعده^۴، منطقه را به صورت سلول‌های نامنظم در نظر می‌گیرد. سپس حرکت به شکل دنباله‌ای از جابجایی‌ها بین سلول‌ها مدل‌سازی می‌شود. در نتیجه، بجای اشاره به مکان دقیق یک شیء، این سلول‌ها هستند که یک واقعه را ایجاد می‌کنند؛ مثلاً یک شیء وارد سلول شده یا یک شیء برای مدت‌زمان معین در سلول مانده است. به‌عنوان نمونه‌ای از این فضا می‌توان به شبکه مخابراتی اشاره کرد. امروزه تلفن‌های همراه بزرگ‌ترین تولیدکنندگان داده‌های حرکتی فردی هستند، هر چند که دسترسی به آن‌ها به دلایل امنیتی محدود شده است. مسیر حرکت هر فرد، از دنباله‌هایی که BTS از ارتباطات دستگاه تلفن همراه فرد ثبت کرده بدست می‌آید. مناطق آنتن‌دهی تخمینی BTS، از تقسیم‌بندی

جدول ۱- مقایسه مزایا و معایب فضاهای حرکت [۲۳]

نقاط ضعف	نقاط قوت	فضا
خطر در نظر نگرفتن تأثیرات اولیه (یعنی ارتباط و تعامل شیء در حال حرکت و محیط)	ساده، آسان برای به‌کارگیری، مناسب برای داده‌های موقعیتی و دنبال‌کننده‌ها	فضای اقلیدسی همگون
محدود به نمونه‌هایی با اندازه کوچک	مانند بالا، مناسب برای مدل‌سازی عامل-مبنا	فضای اقلیدسی محدود
نامناسب برای الگوهای حرکتی برای سطحی کوچک‌تر از سطح سلول	ساده، آسان برای به‌کارگیری، اجازه تعامل عامل-محیط	آکوارיום مکان-زمان
اختلاف در اندازه و شکل سلول مقایسه بین سطوحی با اندازه متفاوت را محدود می‌کند	اجازه مقایسه، ادغام و دسته‌بندی مسیرهای حرکتی با سطح زیاد را می‌دهد	فضای موزاییکی بی‌قاعده
محدود کردن دامنه معنی‌دار الگوهای حرکت	قابلیت تعمیم فضا، مدل‌سازی دقیق از محدودیت‌های حرکتی ناهمگون مکانی	فضای شبکه

^۱ Heterogeneous field space

^۲ Ecology

^۳ Cellular Automata

^۴ Irregular tessellation

° Network space

۳- روش‌های اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر

تجزیه و تحلیل تشابه به فرآیند یافتن شباهت‌ها در حجم زیادی از داده اشاره دارد و یکی از موضوعات کشف دانش قلمداد می‌گردد. در حقیقت، تجزیه و تحلیل تشابه یک روش پایین-سطح^۱ استخراج دانش است، چراکه خروجی آن می‌تواند در روش‌های داده کاوی ذکر شده (کشف الگو، دسته‌بندی و خوشه‌بندی) مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان مثال، الگوهای حرکتی همچون حرکت گله حیوانات در چراگاه [۲۴]، حرکت وسایل نقلیه در فضای شبکه [۲۵] و حرکت انسان‌ها در فضای درون ساختمان [۲۶] دارای تشابهاتی در یک یا چند پارامتر حرکتی هستند. ارزیابی چنین پارامترهایی به شناخت نحوه تعامل بین اشیاء، الگوبرداری از رفتار اشیاء، مدل‌سازی حرکت بر مبنای تشابه و نهایتاً به پیش‌بینی رفتار اشیاء در حال حرکت منجر می‌شود.

تنوع زیادی در توابع اندازه‌گیری تشابه وجود دارد. این به دلیل وجود تعاریف متفاوت از شباهت و توجه به جنبه خاصی از شباهت همچون شباهت مکانی، زمانی، مکانی-زمانی و نزدیکی بخشی از دو خط‌سیر در مقیاس‌های مختلف [۲۷، ۲۸] است. حین مقایسه خطوط‌سیر معانی متفاوتی برای واژه تشابه می‌توان متصور شد. خطوط‌سیر می‌توانند مشابه فرض شوند اگر دارای شکل مشابه باشند (از نظر کشیدگی یا مقدار متراکم)، تشابهاتی در پارامترهای حرکتی استخراج‌شده به اشتراک گذارند (سرعت میانگین مشابه)، از مکان‌های مشابه عبور کرده باشند، الگوهای مشابهی را نمایان کنند یا بیانگر ترتیب خاص یا روند یکنواختی باشند [۱۶]. بنابراین، روش‌های اندازه‌گیری تشابه به دو گروه (۱) تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی^۲ و (۲) هندسه محاسباتی^۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. در حالت اول، سری‌های زمانی [۲۹] این امکان را فراهم می‌کنند تا روندهای آینده بتوانند پیش‌بینی گردند و فرضیات جدیدی آزموده شوند. اندازه‌گیری‌های تشابه به وسیله سری‌های زمانی، با تغییراتی در یکی از گروه‌های اصلی اندازه‌گیری تشابه زیر انجام می‌پذیرد:

- **فاصله مینکوسکی^۴** (خانواده نُرم- L_p) [۳۰] از ترتیب p ($p \geq 0$)، یک سری از معیارها را جهت محاسبه فاصله بین دو موجودیت^۵ T_1 و T_2 در فضای برداری تعریف می‌کند (رابطه ۱). در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، فاصله مینکوسکی معمولاً از $p=1$ (یعنی فاصله منهتن^۶ (MaD)) یا $p=2$ (یعنی فاصله اقلیدسی^۷ (EuD)) استفاده می‌کند.

$$L_p(T_1, T_2) = \sqrt[p]{\sum_{k=1}^n (T_1^i - T_2^i)^p}, \quad (1)$$

$$|T_1| = |T_2| = n$$

- **پیمایش زمانی پویا^۸** (DTW) برای نخستین بار جهت انطباق الگو در سری‌های زمانی بکار گرفته شد. در حقیقت این روش یک انتقال است که به صورت زمانی یک دنباله‌ای را پیچ‌و تاب می‌دهد تا فاصله بین دو دنباله $T_1[1 \dots n]$ و $T_2[1 \dots m]$ را به حداقل برساند. فاصله پیمایش زمانی پویا از رابطه ۲ محاسبه می‌گردد [۳۱].

$$D_{dtw}(T_1, T_2) = f(n, m)$$

$$f(i, j) = \|T_1^i - T_2^j\| + \min \begin{cases} f(i, j-1) \\ f(i-1, j) \\ f(i-1, j-1) \end{cases} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m$$

- **طولانی‌ترین زیردنباله مشترک^۹** (LCSS) با مفهوم فاصله ویرایش^{۱۰} ایجاد شد. LCSS دو دنباله را مشابه در نظر می‌گیرد "اگر آن‌ها دارای تعداد کافی از جفت‌های زیردنباله غیر همپوشان با ترتیب زمانی باشند" [۳۲]. بنابراین، LCSS این امکان را فراهم می‌آورد که بزرگی زیردنباله‌ها با یک حد آستانه مقیاس‌بندی^{۱۱} شوند تا از چینش دوباره المان‌ها جلوگیری شود. فاصله طولانی‌ترین زیردنباله مشترک از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد [۳۳].

^۴ Minkowski Distance

^۵ Entity

^۶ Manhattan Distance

^۷ Euclidean Distance

^۸ Dynamic Time Warping

^۹ Longest Common Subsequence

^{۱۰} Edit Distance

^{۱۱} Scaling

^۱ Low-level

^۲ Time Series Analysis

^۳ Computational Geometry

- **فاصله بر مبنای ویژگی‌های محلی**^۵ مفهومی جدید در اندازه‌گیری‌های تشابه سری‌های زمانی است. این روش از مفاهیم فیزیکی یک الگو، همچون الگوی بزرگی [۳۷] یا تغییرات شیب [۳۸, ۳۹] در سری‌های زمانی استفاده می‌کند. این اندازه‌گیری‌ها معنای فیزیکی دارند، بیشتر ادراکی هستند و معمولاً نیاز به یک فرآیند محاسباتی ساده دارند.

حالت دوم از روش‌های اندازه‌گیری تشابه، روش‌های هندسی است که برای انطباق و بررسی اشکال هندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش انطباق شکل هندسی جهت اندازه‌گیری تشابه و فاصله بین اشکال، بسیار در داده کاوی بکار گرفته شده است [۴۰, ۴۱]. دو نمونه از روش‌های اندازه‌گیری تشابه هندسی عبارت‌اند از:

- **فاصله فریسه**^۶ (FD) روشی برای اندازه‌گیری تشابه بین دو منحنی است که روی پارامترهای پیوسته دو منحنی $(\alpha, \beta: [0,1] \rightarrow R^2)$ به گونه زیر تعریف می‌شود (رابطه ۵) [۴۰, ۴۲].

$$D_F(A, B) = \inf_{\sigma, \tau} \max_{t \in [0,1]} \|\alpha(\sigma(t)) - \beta(\tau(t))\| \quad (۵)$$

جائیکه $\|\cdot\|$ فاصله اقلیدسی است و $\sigma, \tau: [0,1] \rightarrow [0,1]$ در طول توابع پیوسته و افزایشی متغیر هستند.

- **فاصله هاسدورف**^۷ (HD) برای دو مجموعه از نقاط A و B، بیشینه کمینه فواصل اقلیدسی بین هر نقطه از یک مجموعه تا دیگری تعریف می‌شود. از این رو، فاصله هاسدورف یک‌طرفه از A تا B را می‌توان از رابطه ۶ محاسبه کرد [۴۰].

$$D_H(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (۶)$$

جائیکه $\|\cdot\|$ فاصله اقلیدسی است. فاصله دوطرفه هاسدورف از رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$D_H(A, B) = \max(D_H(A, B), D_H(B, A)) \quad (۷)$$

$$D_{less}(T_1, T_2) = f(n, m) \\ f(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{if } i = 0 \text{ or } j = 0 \\ f(i-1, j-1) + 1 & \text{if } T_1^i = T_2^j \\ \max(f(i, j-1), f(i-1, j)) & \text{if } T_1^i \neq T_2^j \end{cases} \quad (۳) \\ i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m$$

- **فاصله ویرایش (EdD)** برای نخستین بار جهت انطباق الگو در مجموعه اعداد و حروف الفبا معرفی شد. فاصله لوناشتاین^۱ یکی از مشهورترین توابع فاصله ویرایش می‌باشد. فاصله لوناشتاین (یا فاصله ویرایش) از طریق کمترین مقدار عملیات موردنیاز برای تبدیل یک متن به الگو تعریف می‌شود [۳۴]. در این راستا، سه عملیات حذف، اضافه و جایگزینی در فرآیند تبدیل در نظر گرفته می‌شود. فاصله ویرایش بین دو دنباله $T_1[1 \dots n]$ و $T_2[1 \dots m]$ از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد [۳۵].

$$D_{edit}(T_1, T_2) = f(n, m) \\ f(i, j) = \begin{cases} j & \text{if } i = 0 \\ i & \text{if } j = 0 \\ f(i-1, j-1) & \text{if } T_1^i = T_2^j \\ 1 + \min \begin{cases} f(i-1, j-1) & \text{if } j = 0 \\ f(i-1, j) & \text{if } i, j > 0 \\ f(i, j-1) & \text{otherwise} \end{cases} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۴) \\ i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, m$$

روش فاصله ویرایش به همراه جریمه واقعی^۲ (ERP) [۳۰] ترکیبی از فاصله منهتن و فاصله ویرایش است تا از جابجایی زمان محلی در بازیابی سری‌های زمانی مشابه حمایت کند. این روش از حد آستانه استفاده می‌کند و فواصل بیشتر از این مقدار جهت تصحیحات مورد استفاده قرار گرفته می‌شوند. همچنین، تابع فاصله ویرایش روی دنباله واقعی^۳ (EDR) معرفی شده است [۳۶]. این تابع نیز بر مبنای ویرایش فاصله است و بیشتر در زیست‌داده‌ورزی^۴ و تشخیص گفتار استفاده شده است.

^۵ Distances based on local features

^۶ Fréchet Distance

^۷ Hausdorff Distance

^۱ Levenshtein Distance

^۲ Edit distance with Real Penalty

^۳ Edit Distance on Real Sequence

^۴ Bioinformatics

نقاط مثبت و منفی متداول‌ترین این توابع بیان شود. توابع دیگر معمولاً بر مبنای سازوکار این توابع توسعه داده شده‌اند. باین حال، اگرچه بعضی از روش‌ها ابعاد مکانی را در نظر می‌گیرند، تحقیقاتی هم هستند که همزمان بعد زمان را در اندازه‌گیری تشابه بکار گرفته‌اند [۴۵-۴۷].

برای اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر با توجه به کاربرد، انواع فضای حرکت (۶ حالت)، انواع خط‌سیر (پیوسته- / گسسته/نشانه‌دار)، ابعاد (مکانی/مکانی-زمانی) و خروجی‌های مورد انتظار، روش‌های متفاوتی (هندسی- مینا/سری‌های زمانی-مینا) استفاده و توسعه داده شده‌اند. برای بیان روشن‌تر این موضوعات، تحقیقات مرتبط به- صورت خلاصه در جدول ۳ نمایش داده شده است.

در حالت کلی، این دو گروه از روش‌های اندازه‌گیری تشابه ارتباطات زیادی به مطالعات حرکت دارند و بسیاری از اندازه-گیری‌های شباهت‌ها برای داده‌های حرکتی از این روش‌ها الهام گرفته شده‌اند. بدین معنی که خط‌سیر یک شیء در حال حرکت یا می‌تواند به‌صورت دنباله‌ای از مختصات (3D یا 4D) زمانی مدل‌سازی شود، یا به‌صورت مجموعه‌ای از نقاط نمایش-دهنده شکل هندسی ایستا، با نادیده‌گرفتن بعد زمان در نظر گرفته شود. بنابراین، بیشتر روش‌های تجزیه‌وتحلیل تشابه توسعه داده شده برای بررسی سری‌های زمانی یا اشکال هندسی می‌توانند برای داده کاوی حرکتی نیز بکار گرفته شوند. مقایسه‌هایی در زمینه ویژگی‌های توابع اندازه‌گیری تشابه صورت گرفته است [۴۳، ۴۴]. در جدول ۲ سعی شده است

جدول ۲- مقایسه روش‌های اندازه‌گیری تشابه

روش	نقاط مثبت	نقاط منفی
EuD	- روشی ساده و غیر پیچیده است [۳۰] - قادر به توسعه جهت اندازه‌گیری شباهت مکانی-زمانی حرکت است [۴، ۵، ۴۶، ۴۷]	- تنها روی خطوط‌سیر با زمان یا اندازه یکسان کار می‌کند (تمام المان‌ها باید منطبق شوند) [۴۸] - بسیار حساس به نوفه ^۱ ، داده پرت ^۲ و شکاف در مجموعه داده است [۳۰]
DTW	- قادر به نمایش خطوط‌سیری هستند که از پارامترهای حرکت استفاده می‌کنند [۴۹] - قابلیت کشیدگی یا فشردگی را برای خطوط‌سیر ایجاد می‌کنند [۵۰]	- روشی پیچیده و پرهزینه است [۵۱] - نسبتاً حساس به نوفه، جهش و مقیاس در داده است [۳۰، ۴۸]
LCSS	- قادرند که برای اندازه‌گیری تشابه از اشکال مکانی استفاده کنند [۵۱] - نسبت به نوفه مقاوم است [۳۰] اما نیازمند به تعریف حد آستانه مناسب می‌باشد [۴۳] - قادر است به داده‌های پرت و مقیاس رسیدگی کند [۵۲] - نیازی نیست تا تمام المان‌ها منطبق شوند [۴۸] - عملکرد قوی‌تر از EuD دارد [۱۵] - محاسبات تخمینی کارآمدتری نسبت به DTW دارد [۴۸]	- اگرچه نسبت به نوفه مقاوم است اما همیشه دقیق نیست [۳۰] - شکاف متنوع بین زبردنباله‌های مشابه را در نظر نمی‌گیرد، که موجب عدم دقت می‌شود [۳۶]
EdD	- حتی در صورت وجود نوفه، عملکرد قوی‌تر از EuD، DTW و LCSS دارد [۳۰، ۳۶، ۵۳] - برای خطوط‌سیر با زمان و اندازه متغیر کارساز است [۳۰] - قادر به توسعه یافتن جهت اندازه‌گیری شباهت مکانی-زمانی حرکت است [۱۲]	- هزینه محاسباتی بالایی دارد [۱۵] - حساس به نوفه، جهش و مقیاس در داده است [۳۰]
FD	- قادر به توسعه یافتن جهت اندازه‌گیری شباهت مکانی-زمانی حرکت است [۵۰، ۵۴]	- به دلیل وابستگی به شکل و در نظر نگرفتن جنبه زمانی، برای تجزیه‌وتحلیل خط‌سیر نامناسب هستند [۴۵]
HD	- آسان‌تر از FD جهت استخراج اشیاء است [۴۲]	- تنها مسیر حرکت اشیاء را حفظ می‌کند و حرکات پویای آن‌ها را نادیده می‌گیرد [۵۴] - به دلیل وابستگی به شکل و در نظر نگرفتن جنبه زمانی، برای تجزیه‌وتحلیل خط‌سیر نامناسب هستند [۴۵]

سری‌های زمانی

هندسه محاسباتی

^۱ Noise
^۲ Outlier

جدول ۳- مروری بر تحقیقات انجام‌شده در اندازه‌گیری تشابه خطوط‌سیر (گسترش داده شده از [۱۵])

کاربرد	روش		ابعاد	فضای حرکت	نوع خط‌سیر	تحقیقات
	سری‌های زمانی	هندسی				
پستانداران دریایی	LCSS	-	مکانی	اقلیدسی	گسسته	[۳۳]
ردیابی ویدئو	LCSS	-	مکانی-زمانی	اقلیدسی	گسسته	[۴۸]
افراد پیاده	EuD	-	مکانی	اقلیدسی	گسسته	[۵۵]
دست خط	DTW	-	مکانی	اقلیدسی	گسسته	[۴۹]
زبان اشاره استرالیایی + دوربین موشی ^۱	EdD	-	مکانی	اقلیدسی	نشانه‌دار	[۳۰]
زبان اشاره استرالیایی + دوربین موشی	EdD	-	مکانی	اقلیدسی	گسسته	[۳۶]
وسایل نقلیه در شبکه راه	EuD	-	مکانی	اقلیدسی	پیوسته و گسسته	[۵۱]
تاریخچه سکونت‌گاه افراد	EuD	-	مکانی-زمانی	آکواریوم مکان-زمان	گسسته	[۴۷]
-	EuD	-	مکانی-زمانی	-	گسسته	[۵۲]
ناوگان کامیون	EDR, LCSS	-	مکانی-زمانی	اقلیدسی	گسسته	[۴۶]
ناوگان کامیون	AB ^۲	FD	مکانی-زمانی	اقلیدسی	گسسته	[۵]
ترافیک جاده	EuD	-	مکانی-زمانی	آکواریوم مکان-زمان	گسسته	[۵۴]
وسایل نقلیه در شبکه راه	-	FD	مکانی-زمانی	اقلیدسی	گسسته	[۵۰]
-	EuD	-	مکانی-زمانی	-	پیوسته	[۴۵]
تاکسی	LCSS	-	مکانی	شبکه	گسسته	[۵۶]
وسایل نقلیه	GTS ^۳	-	مکانی-زمانی	شبکه	گسسته	[۵۷]
پیک شهری	NWED ^۴	-	مکانی-زمانی	آکواریوم مکان-زمان + شبکه	گسسته	[۱۲]
گردباد	NWED	-	مکانی-زمانی	اقلیدسی	گسسته	[۱۲]
گردباد + مرغ دریایی	-	FD, ETD ^۵ , HD	مکانی-زمانی	اقلیدسی	گسسته	[۵۸]
پیک شهری	LCSS, EdD, DTW	FD	مکانی-زمانی	-	گسسته	[۵۹]

۴- جمع‌بندی و پیشنهادات

بررسی رفتار پویای اشیاء در حال حرکت و فرآیندهای زمانی و مکانی در علوم مکانی موردتوجه زیادی قرار گرفته است. از جمله این روش‌ها می‌توان به اندازه‌گیری و تجزیه-وتحلیل خطوط‌سیر اشاره کرد که در بسیاری از علوم و فعالیت‌ها همچون نظامی، ورزشی، مدیریت بحران، بازاریابی و جامعه‌شناسی کاربرد فراوان دارد.

از این‌رو، در این تحقیق ابتدا به مفهوم حرکت اشیاء، به‌ویژه اشیاء متحرک نقطه‌ای پرداخته شد. اهمیت مطالعه رفتار و خطوط‌سیر این‌گونه از اشیاء بیان شد. فضاهای حرکتی موجود معرفی و نقاط مثبت و منفی هرکدام ذکر گردیدند. یک دسته‌بندی برای روش‌های اندازه‌گیری تشابه

به موجب افزایش دستگاه‌های متحرک و روش‌های متنوع جمع‌آوری داده‌های حرکتی، حجم انبوهی از این‌گونه داده‌ها در پایگاه‌های داده‌های حرکتی ذخیره می‌شوند. ایجاد چنین منابع عظیم داده، ابزارهای جستجوکننده و روش‌های کشف دانش را به چالش کشیده‌اند، به‌نحوی که استخراج اطلاعات مکانی مرتبط به هم، اکتشاف الگو،

^۱ Camera mouse

^۲ Area Based

^۳ Global Temporal Similarity

^۴ Normalized Weighted Edit Distance

^۵ Equal Time Distance

خطوط مسیر مورد بررسی و ارزیابی قرار دهد. همچنین می توان این روش ها را برای فضاهای حرکتی مختلف [۲۳] پیاده سازی نمود و مناسب ترین روش را برای هر فضا معرفی کرد. همچنین می توان مبحث معنا^۱ [۶۰] را در حرکت و تجزیه و تحلیل تشابه وارد کرد؛ چراکه فناوری معنایی به مدیریت بهتر حجم عظیمی از داده و یافتن داده مورد نظر کمک می کند. بکارگیری پارامترهای محیطی و حرکتی توأم در اندازه گیری تشابه و تجزیه و تحلیل خطوط مسیر برای کاربردهای گوناگون می تواند در یک تحقیق مورد ارزیابی قرار گیرند؛ چراکه این گونه پارامترها به نزدیک تر شدن نتایج به واقعیت کمک شایانی می کنند. نهایتاً می توان از نتایج حاصل از اندازه گیری تشابه خطوط مسیر استفاده شود و روشی را برای استخراج الگوهای رفتاری- حرکتی موجود در اشیاء متحرک ارائه کرد.

خطوط مسیر بیان شد، نحوه عملکرد این روش ها توضیح داده شد و نقاط قوت و ضعف هر یک ذکر گردید. در نهایت، مطالعه جامعی از تحقیقات گذشته که از سری های زمانی و روش های هندسی جهت اندازه گیری تشابه برای کاربردهای گوناگون بهره گرفته اند ارائه گردید. به عنوان نتیجه گیری، انتخاب و بکارگیری یک روش اندازه گیری تشابه خطوط مسیر بسیار به کاربرد و پیچیدگی در داده های ورودی بستگی دارد؛ و به صراحت نمی توان یک روش را بهینه قلمداد کرد. اما می توان با استفاده از داده های کمکی همچون پارامترهای حرکت و اطلاعات مربوط به شرایط محیطی به نتایج واقع- بینانه تر و نزدیک به واقعیت دست یافت. مسیری های متنوعی برای تحقیقات آینده در حوزه تجزیه- و تحلیل خطوط مسیر وجود دارند. یک تحقیق می تواند کارایی روش های دیگر سری های زمانی [۲۹] را در اندازه گیری تشابه

مراجع

- [1] Miller, H. J. and Han, J. (2009). "Geographic data mining and knowledge discovery." CRC Press.
- [2] Giannotti, F. and Pedreschi, D. (2008). "Mobility, data mining and privacy: Geographic knowledge discovery." Springer Science & Business Media.
- [3] Etienne, L., Devogele, T., and Bouju, A. (2012). "Spatio-temporal trajectory analysis of mobile objects following the same itinerary." *Advances in Geo-Spatial Information Science*. Vol. 10, PP. 47-57.
- [4] Buchin, K., Buchin, M., van Kreveld, M. and Luo, J. (2011). "Finding long and similar parts of trajectories." *Computational Geometry*. Vol. 44, No. 9, PP. 465-476.
- [5] Pelekis, N., Kopanakis, I., Marketos, G., Ntoutsis, I., Andrienko, G. and Theodoridis, Y. (2007). "Similarity search in trajectory databases." in *14th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning*. PP. 129-140.
- [6] Zheng, Y. (2015). "Trajectory data mining: an overview." *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*. Vol. 6, No. 3, PP. 1-41.
- [7] Tiakas, E., Papadopoulos, A., Nanopoulos, A., Manolopoulos, Y., Stojanovic, D. and Djordjevic-Kajan, S. (2009). "Searching for similar trajectories in spatial networks." *Journal of Systems and Software*. Vol. 82, No. 5, PP. 772-788.
- [8] Yuan, J., Zheng, Y., Zhang, C., Xie, W., Xie, X., Sun, G., et al. (2010). "T-drive: driving directions based on taxi trajectories." in *Proceedings of the 18th SIGSPATIAL International conference on advances in geographic information systems*. PP. 99-108.
- [9] Khoury, H., Chdid, D., Oueis, R., Elhadj, I. and Asmar, D. (2015). "Infrastructureless approach for ubiquitous user location tracking in construction environments." *Automation in Construction*. Vol. 56, PP. 47-66.
- [10] Zheng, Y. and Xie, X. (2011). "Learning travel recommendations from user-generated GPS traces." *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*. Vol. 2, No. 1, PP. 1-29.

^۱ Semantic

- [۱۱] حاذقی اقدم، آ. و آل‌شیخ، ع.ا.، (۱۳۹۳). "استخراج موقعیت‌های مورد علاقه اشخاص با استفاده از خط‌سیر آنان"، نشریه علمی-ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره ششم، شماره ۱، ص ۱۱-۲۰.
- [12] Dodge, S., Laube, P. and Weibel, R. (2012). "Movement similarity assessment using symbolic representation of trajectories." *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 26, No. 9, PP. 1563-1588.
- [13] Nathan, R., Getz, W.M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., et al., (2008). "A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research." *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 105, No. 49, PP. 19052-19059.
- [14] Dodge, S., Weibel, R. and Lautensch, A.-K. (2008). "Towards a taxonomy of movement patterns." *Information Visualization*. Vol. 7, No. 3, PP. 240-252.
- [15] Dodge, S. (2011). "Exploring Movement Using Similarity Analysis," PhD Dissertation, University of Zurich.
- [16] Laube, P. (2014). "Computational Movement Analysis." Springer.
- [17] Brimicombe, A. (2009). "GIS, environmental modeling and engineering." CRC Press.
- [18] Spaccapietra, S., Parent, C. and Spinsanti, L. (2013). "Trajectories and Their Representations." in *Mobility data: modeling, management, and understanding*, Renso, C. Spaccapietra, S. and Zima'nyi, E. (Eds.), New York, USA: Cambridge University, p. 394.
- [19] Laube, P., Dennis, T., Forer, P. and Walker, M. (2007). "Movement beyond the snapshot—dynamic analysis of geospatial lifelines." *Computers, Environment and Urban Systems*. Vol. 31, No. 5, PP. 481-501.
- [20] Space. <http://www.encyclopediaofmath.org/index.php?title=Space&oldid=15588>. Access: 2 October 2015.
- [21] Langlois, P. (2013). "Simulation of complex systems in GIS." John Wiley & Sons.
- [22] Mazúr, E. and Urbánek, J. (1983). "Space in geography." *GeoJournal*. Vol. 7, No. 2, PP. 139-143.
- [23] Laube, P. (2009). "Progress in Movement Pattern Analysis." Vol. 3. The Netherlands: IOS Press.
- [24] Laube, P. and Purves, R.S. (2011). "How fast is a cow? Cross-Scale Analysis of Movement Data." *Transactions in GIS*. Vol. 15, No. 3, PP. 401-418.
- [25] Hurter, C., Alligier, R., Gianazza, D., Puechmorel, S., Andrienko, G. and Andrienko, N. (2014). "Wind parameters extraction from aircraft trajectories." *Computers, Environment and Urban Systems*. Vol. 47, PP. 28-43.
- [26] Afyouni, I., Cyril, R. and Christophe, C. (2012). "Spatial models for context-aware indoor navigation systems: A survey." *Journal of Spatial Information Science*. Vol. 1, No. 4, PP. 85-123.
- [27] Soleymani, A., Cachat, J., Robinson, K., Dodge, S., Kalueff, A. and Weibel, R. (2015). "Integrating cross-scale analysis in the spatial and temporal domains for classification of behavioral movement." *Journal of Spatial Information Science*. No. 8, PP. 1-25.
- [28] Ranacher, P. and Tzavella, K. (2014). "How to compare movement? A review of physical movement similarity measures in geographic information science and beyond." *Cartography and Geographic Information Science*. Vol. 41, No. 3, PP. 286-307.
- [29] Fu, T.-c. (2011). "A review on time series data mining." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 24, No. 1, PP. 164-181.
- [30] Chen, L. and Ng, R. (2004). "On the marriage of lp-norms and edit distance." in *Proceedings of the Thirtieth international conference on very large data bases*. Vol. 30, PP. 792-803.
- [31] Berndt, D.J. and Clifford, J. (1994). "Using Dynamic Time Warping to Find Patterns in Time Series." in *KDD workshop*. PP. 359-370.
- [32] Agrawal, R., Lin, K.-I., Sawhney, H.S. and Shim, K. (1995). "Fast similarity search in the presence of noise, scaling, and translation in time-series databases." in *VLDB '95: Proceeding of the 21th International Conference on Very Large Data Bases*. PP. 490-501.

- [33] Vlachos, M., Kollios, G. and Gunopulos, D. (2002). "Discovering similar multidimensional trajectories." in Proceedings 18th International Conference on Data Engineering. PP. 673-684.
- [34] Levenshtein, V.I. (1966). "Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals." in Soviet physics doklady. PP. 707-710.
- [35] Bozkaya, T., Yazdani, N. and Özsoyoğlu, M. (1997). "Matching and indexing sequences of different lengths." in Proceedings of the sixth international conference on Information and knowledge management. PP. 128-135.
- [36] Chen, L., Özsu, M.T. and Oria, V. (2005). "Robust and fast similarity search for moving object trajectories." in Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD international conference on Management of data. PP. 491-502.
- [37] Aßfalg, J., Kriegel, H.-P., Kröger, P., Kunath, P., Pryakhin, A. and Renz, M. (2006). "Similarity search on time series based on threshold queries." in Advances in Database Technology-EDBT 2006. Springer. PP. 276-294.
- [38] Toshniwal, D. and Joshi, R. C. (2005). "Similarity search in time series data using time weighted slopes." Informatica. Vol. 29, No. 1, PP. 79-88.
- [39] Yuelong, Z., Shijin, L., Dingsheng, W. and Xiaohua, Z. (2008). "A novel approach to the similarity analysis of multivariate time series and its application in hydrological data mining." in International Conference on Computer Science and Software Engineering. PP. 730-734.
- [40] Alt, H. and Godau, M. (1995). "Computing the Fréchet distance between two polygonal curves." International Journal of Computational Geometry & Applications. Vol. 5, No. 1&2, PP. 75-91.
- [41] Goodrich, M.T., Mitchell, J.S. and Orletsky, M.W. (1999). "Approximate geometric pattern matching under rigid motions." IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence. No. 4, PP. 371-379.
- [42] Alt, H. (2009). "The computational geometry of comparing shapes." in Efficient Algorithms. Springer. PP. 235-248.
- [۴۳] شاعری، م. و عباسپور، ر.ع.، (۱۳۹۳)، "مقایسه توابع فاصله اندازه‌گیری میزان شباهت در خطوط‌سیر مکانی"، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، شماره چهارم، دوره ۳، ص ۲۰۱-۲۱۱.
- [44] Wang, H., Su, H., Zheng, K., Sadiq, S. and Zhou, X. (2013). "An effectiveness study on trajectory similarity measures." in Proceedings of the Twenty-Fourth Australasian Database Conference. Vol. 137, PP. 13-22.
- [45] Buchin, K., Buchin, M., Gudmundsson, J., Löffler, M. and Luo, J. (2011). "Detecting commuting patterns by clustering subtrajectories." International Journal of Computational Geometry & Applications. Vol. 21, No. 3, PP. 253-282.
- [46] Frentzos, E., Gratsias, K. and Theodoridis, Y. (2007). "Index-based most similar trajectory search." in IEEE 23rd International Conference on Data Engineering, ICDE 2007. PP. 816-825.
- [47] Sinha, G. and Mark, D. M. (2005). "Measuring similarity between geospatial lifelines in studies of environmental health." Journal of Geographical Systems. Vol. 7, No. 1, PP. 115-136.
- [48] Vlachos, M., Gunopulos, D. and Kollios, G. (2002). "Robust similarity measures for mobile object trajectories." in Proceedings 13th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. PP. 721-726.
- [49] Vlachos, M., Gunopulos, D. and Das, G. (2004). "Rotation invariant distance measures for trajectories." in Proceedings of the tenth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. PP. 707-712.
- [50] Ding, H., Trajcevski, G. and Scheuermann, P. (2008). "Efficient similarity join of large sets of moving object trajectories." in 15th International Symposium on Temporal Representation and Reasoning. PP. 79-87.
- [51] Lin, B. and Su, J. (2005). "Shapes based trajectory queries for moving objects." in Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic information systems. PP. 21-30.
- [52] van Kreveld, M. and Luo, J. (2007). "The definition and computation of trajectory and subtrajectory similarity." in Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems. PP. 1-4.

- [53] Ding, H., Trajcevski, G., Scheuermann, P., Wang, X. and Keogh, E. (2008). "Querying and mining of time series data: experimental comparison of representations and distance measures." Proceedings of the VLDB Endowment. Vol. 1, No. 2, PP. 1542-1552.
- [54] Trajcevski, G., Ding, H., Scheuermann, P., Tamassia, R. and Vaccaro, D. (2007). "Dynamics-aware similarity of moving objects trajectories." in Proceedings of the 15th annual ACM international symposium on Advances in geographic information systems. PP. 1-8.
- [55] Yanagisawa, Y. Akahani, J.-i. and Satoh, T. (2003). "Shape-based similarity query for trajectory of mobile objects." in Mobile data management. PP. 63-77.
- [56] Wang, H. and Liu, K. (2012). "User oriented trajectory similarity search." in Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing. PP. 103-110.
- [57] Ma, Y., Qu, C., Liu, T., Yang, N. and Tang, C. (2012). "Searching similar trajectories in real time: an effectiveness and efficiency study." in Web-Age Information Management. Springer. PP. 90-102.
- [58] Buchin, M., Dodge, S. and Speckmann, B. (2014). "Similarity of trajectories taking into account geographic context." Journal of Spatial Information Science. No. 9, PP. 101-124.
- [59] Toohey, K. and Duckham, M. (2015). "Trajectory similarity measures." SIGSPATIAL Special. Vol. 7, PP. 43-50.
- [60] Ilarri, S., Stojanovic, D. and Ray, C. (2015). "Semantic management of moving objects: A vision towards smart mobility." Expert Systems with Applications. Vol. 42, No. 3, PP. 1418-1435.