



Temporal Operators in Representing Fuzzy Spatio-temporal Regions Using Direction-based Method

Majid Saidi Mobarakeh¹, Mohammad Davarpanah Jazi^{2*}

1. Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, msaidim@yahoo.com
2. Department of Computer and Information Technology, Foulad Institute of Technology, FouladShahr, Isfahan, Iran, *Corresponding Author mdjazi@cc.iut.ac.ir

Abstract

Introduction: Uncertainty management in geometric data is an important issue for spatial databases and geographic information systems. Currently, spatial databases can only manage those geographic applications that interact with deterministic data. But in reality, many spatial data do not have definite area and boundary, but many of them have fuzzy surface and boundary. Researchers have provided different definitions of point, line and fuzzy area.

Method: In this research, a method for modeling two-dimensional fuzzy regions based on the concept of direction is proposed. The proposed method, membership function, and temporal operators are formally defined and implemented using SQL Server 2019.

Results: The proposed method has been compared with existing methods including grid, vector-carrier and triangulation in terms of memory complexity, time complexity and accuracy of data storage (creating noise) and its application. The proposed method is better than grid, vector-map and triangular methods in terms of memory complexity. It is also better than vector-map and triangulation methods in terms of time complexity. The accuracy of the proposed method is better than the grid and vector-map methods.

Discussion: The proposed method can implement and query Direction-based fuzzy regions with better performance than other methods.

Keywords: Fuzzy regions, Spatio-temporal databases, Fuzzy temporal operators, Geographic information systems.



انجمن علمی تجارت الکترونیک ایران

سامانه‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند

Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)



واحد ریحان

عملگرهای زمانی در نمایش نواحی مکانی - زمانی فازی به کمک روش مبتنی بر جهت

دوره پنجم، پاییز ۱۴۰۳
شماره دوم، صص: ۵۵-۶۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

مجید سعیدی مبارکه^۱، محمد داورپناه جزی^{۲*}

۱. دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

msaidim@yahoo.com

۲. دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، موسسه آموزش عالی صنعتی فولاد، فولادشهر، اصفهان، ایران، (نویسنده مسئول)

mdjazi@cc.iut.ac.ir

چکیده: مدیریت عدم قطعیت در داده‌های هندسی مسئله‌ای مهم برای پایگاه‌های داده مکانی-زمانی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است. در حال حاضر، پایگاه‌های داده مکانی تنها می‌توانند آن دسته از برنامه‌های کاربردی جغرافیایی را مدیریت کنند که با داده‌های قطعی تعامل دارند. اما در واقعیت بسیاری از داده‌های مکانی دارای مساحت و مرز قطعی نیستند، بلکه بسیاری از آنان سطح و مرز فازی دارند. پژوهشگران تعاریف مختلفی از نقطه، خط و ناحیه فازی ارائه کرده‌اند. در این پژوهش روشی برای مدل‌سازی نواحی فازی دوبعدی بر اساس مفهوم جهت پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی، تابع عضویت، و عملگرهای زمانی به‌طور رسمی تعریف و با استفاده از SQL Server 2019 پیاده‌سازی شده‌اند. روش پیشنهادی با روش‌های موجود شامل توری، نقشه-بردار و مثلثی‌سازی از نظر پیچیدگی حافظه، پیچیدگی زمانی و دقت ذخیره‌سازی داده‌ها (ایجاد نویز) و کاربرد آن مقایسه شده است. روش پیشنهادی در پیچیدگی حافظه بهتر از روش‌های توری، نقشه-بردار و مثلثی است. همچنین در پیچیدگی زمانی بهتر از روش‌های نقشه-بردار و مثلثی است. دقت روش پیشنهادی از روش‌های توری و نقشه-بردار بهتر است.

واژه‌های کلیدی: نواحی فازی، پایگاه‌های داده مکانی-زمانی، عملگرهای زمانی فازی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی.

۱. مقدمه

در پایگاه‌های داده مکانی^۱ برای ذخیره اطلاعات هندسی از نقطه، خط و ناحیه استفاده می‌شود. بسیاری از داده‌های مکانی فازی هستند و بنابراین یکی از جنبه‌های ضروری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی^۲ مدیریت اطلاعات فازی است. مفهوم ابهام و عدم قطعیت در [۱] مورد بحث قرار گرفته و نویسنده مثال‌هایی مانند مرز نامشخص بین دریا و ساحل را بیان می‌کند. زیرا نقاطی وجود دارد که دقیقاً نمی‌توان گفت جزو ساحل است یا دریا. یک ناحیه مکانی، فازی است اگر نقاطی وجود داشته باشد که نتوان آن‌ها را به طور قطعی به آن ناحیه یا مکمل آن اختصاص داد [۲].

شایع‌ترین علت عدم قطعیت در داده‌های مکانی-زمانی، مبهم بودن ذاتی برخی از اطلاعات مانند مرزهای یک رودخانه یا استفاده از اصطلاحات زبانی (مثلاً "ابری" یا "نیمه ابری") به جای ارائه درجات عددی است [۳].

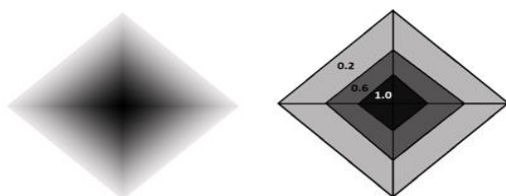
سه نوع عدم قطعیت برای نواحی مکانی وجود دارد. الف) وجود ناحیه (عدم قطعیت وجودی)، ب) سطح تحت پوشش ناحیه (عدم قطعیت سطحی) به عنوان مثال سطح یک رودخانه ج) مرزهای ناحیه (عدم قطعیت هندسی) به عنوان مثال مرز یک کشور [۴]. نویسنده در [۵] چهار نوع ناحیه مکانی به صورت سطح قطعی-مرز قطعی، سطح قطعی-مرز فازی، سطح فازی-مرز قطعی و سطح فازی-مرز فازی را معرفی می‌کند. در پژوهش حاضر به نواحی مکانی سطح فازی-مرز قطعی پرداخته می‌شود. یعنی نواحی مکانی‌ای که از نظر هندسی (مرزها) قطعی اما در سطح تحت پوشش فازی هستند.

رسیدگی به عدم قطعیت در داده‌های مکانی موضوعی است که تمرکز تحقیقات نظری بوده و هست اما تعداد کمی از محققان به پیاده‌سازی آن پرداخته‌اند. بنابراین، در حال حاضر مدیریت عدم قطعیت در پایگاه‌های داده مکانی ناکافی است [۱] و پیاده‌سازی انواع داده مکانی فازی وجود ندارد [۲]. بنابراین سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و پایگاه‌های داده مکانی فقط می‌توانند نواحی قطعی را ذخیره‌سازی و مدیریت کنند [۶]. یکی از دلایل این است که در عدم قطعیت سطحی، هر یک از نقاط نامتناهی داخل شیء می‌تواند درجه عضویت متفاوتی از سایر نقاط داشته باشد و بنابراین ذخیره‌سازی و مدیریت این نقاط نامتناهی سخت و پیچیده است [۲].

۲. پیشینه پژوهش

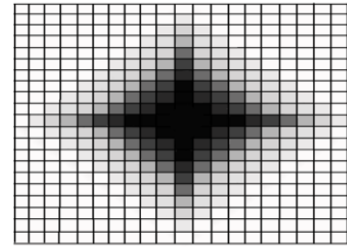
پژوهشگران در تعریف ناحیه فازی اختلاف نظر دارند اما تعریف مشابهی از نقطه و خط فازی ارائه کرده‌اند. [۷] نواحی فازی را برای نمایش اشیاء طبیعی با مرزهای نامشخص ارائه کرده‌است.

محققان در [۸، ۹، ۱۰] از منطق فازی برای استدلال مکانی و زمانی استفاده کردند. مقالات [۱۱، ۱۲] به نمایش مرزهای فازی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند. نویسنده در [۱۳] مفهوم نواحی فازی را توصیف می‌کند و نمونه‌هایی از توابع عضویت را ارائه می‌دهد. در [۱۴] برای استفاده از اصطلاحات زبان محاوره در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، یک پرس‌وجوی فازی ارائه شده‌است. در [۱۵]، پژوهشگران یک مدل رابطه‌ای فازی برای اطلاعات مکانی پیشنهاد کرده‌اند. در [۱۶] نقاط، خطوط و نواحی فازی تعریف رسمی شده‌است. در [۱۷] یک مدل هسته-مرز برای نواحی فازی ارائه شده و فرض می‌کند که درجه عضویت از هسته به مرز کاهش می‌یابد. در [۱۸] داده‌های جغرافیایی فازی در یک معماری شیء‌گرای فازی تعریف می‌شوند. پژوهشگران در [۱۹] زیرنواحی فازی را برای مشخص کردن مرزها و سطح نواحی فازی تعریف کرده‌اند. روش نقشه-بردار^۳ در [۲، ۲۰، ۲۱-۲۳] پیشنهاد شده‌است. در این روش هر ناحیه فازی از تعداد محدودی زیرنواحی قطعی مجزا تشکیل شده‌است که هر زیرناحیه دارای درجه عضویت متفاوتی با دیگر زیرناحیه‌ها هست. بنابراین طبق شکل (۱) در این روش پیاده‌سازی نواحی فازی بر اساس انواع داده مکانی قطعی است.

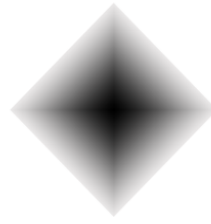


شکل ۱: الف) یک ناحیه فازی، ب) نمایش ناحیه فازی در روش نقشه-بردار

نویسندگان در [۲۴-۲۶] اشیاء مکانی فازی را در توری ۴هایی با رزولوشن محدود نشان دادند. در این روش طبق شکل (۲) ذخیره مناطق فازی ساده خواهد بود زیرا تعداد درجات عضویت نقاط داخل ناحیه به تعداد سلول‌های توری محدود می‌شود. بنابراین نیازی به محاسبه درجه عضویت برای بی‌نهایت نقطه داخل ناحیه نیست. در این روش درجه عضویت تمام نقاط یک سلول به مقدار ثابتی تخمین زده می‌شود.



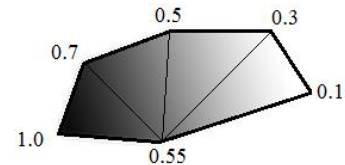
(ب)



(الف)

شکل ۲: الف) یک ناحیه فازی، ب) نمایش ناحیه فازی در روش توری

نویسندگان در [۲۷] از روش مثلثی‌سازی ۵ برای ذخیره نواحی فازی استفاده کرده‌اند. هر چندضلعی را می‌توان از طریق چندین مثلث غیرهمپوشان نشان داد. طبق شکل (۳) با اضافه کردن مفهوم فازی، روش مثلثی‌سازی را ارائه کرده‌اند و بر این اساس معادله‌ای برای محاسبه درجه عضویت هر نقطه از یک مثلث بر اساس فاصله از رئوس تعریف کرده‌اند.



شکل ۳: استفاده از روش مثلثی‌سازی برای نمایش یک ناحیه فازی

سه روش نقشه- بردار، توری و مثلثی تنها روش‌های موجود برای ذخیره‌سازی داده‌های نواحی فازی هستند و مطالعات دیگر عموماً نظری و در سطح کاربرد به موضوع نواحی فازی پرداخته‌اند. از این جمله می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد.

در [۲۸] XML به‌عنوان تکنیکی برای تعریف داده‌های مکانی-زمانی فازی در سطح کاربرد توصیف شده‌است. زیرا از نظر هزینه حافظه و زمان پرس‌وجو مناسب است. نویسندگان یک درخت داده جغرافیایی فازی برای نمایش داده‌های مکانی-زمانی در XML ارائه کردند. درخت داده‌های مکانی-زمانی فازی در [۲۹، ۳۰] با اصلاح زبان XML مورد بررسی قرار گرفته و یک مدل داده‌های مکانی-زمانی فازی مبتنی بر XML ارائه شده‌است.

نویسندگان از داده‌های هواشناسی برای نشان دادن مناسب بودن مدل استفاده کردند. نویسندگان [۳۱] یک روش برای توصیف کلاس‌های اشیاء مکانی غیرقطعی در UML تعریف کرده‌اند. در [۳۲، ۳۳]، با توسعه UML پایه، یک مدل UML مکانی-زمانی فازی و دستورات عمل‌هایی برای تبدیل آن به یک مدل XML مکانی-زمانی فازی پیشنهاد شده‌است. در [۳۴] نویسندگان یک روش مبتنی بر نمودار کلاس UML برای مدل‌سازی اشیاء مکانی-زمانی فازی ارائه کردند. آن‌ها یک تعریف رسمی برای رویداد-فرآیند مکانی-زمانی فازی ارائه و مدل داده‌های UML را برای توصیف داده‌های مکانی و زمانی فازی گسترش داده‌اند. نویسندگان در [۳۵] یک الگوی نمودار کلاس UML پیشرفته را

برای نمایش روابط مکانی-زمانی فازی توسعه داده و آن را در یک مثال هواشناسی بررسی کرده‌اند. در [۳۶] نمایش عدم قطعیت داده‌های مکانی-زمانی با نمادها و رنگ‌ها بررسی شده‌است و در [۳۷] محققان زمانی به نام OWL را برای مدل‌سازی داده‌های مکانی-زمانی فازی ارائه کرده‌اند.

همان‌طور که گفته شد، نقشه- بردار، توری و مثلثی‌سازی روش‌های ذخیره‌سازی داده‌های مکانی فازی هستند. به همین ترتیب، این پژوهش نیز روشی را برای ذخیره‌سازی داده‌های نواحی فازی ارائه خواهد کرد که به یک سوال ساده اما چالش برانگیز پاسخ می‌دهد: چگونه یک منطقه فازی دوبعدی را در یک پایگاه داده رابطه‌ای ذخیره و پرس‌وجو کنیم؟ علاوه بر آن، می‌بایست تابع محاسبه درجه عضویت و عملگرهای زمانی نیز تعریف شوند. تازگی این مطالعه بخاطر مفهوم جهت است. طبق شکل‌های (۸-۴) بسیاری از پدیده‌های فازی جهت‌دار هستند، درحالی‌که در روش‌های قبلی مفهوم جهت به‌عنوان مبنایی برای ذخیره‌سازی نواحی فازی در نظر گرفته نشده‌است. استفاده از این مفهوم می‌تواند روش بهتری برای مدل‌سازی نواحی فازی معرفی کند. انگیزه این مطالعه بهبود عملکرد مدل‌سازی و پرس‌وجوی نواحی فازی از نظر پیچیدگی حافظه، پیچیدگی زمانی، دقت (ایجاد نویز) و قابلیت کاربرد با استفاده از مفهوم جهت است. این روش می‌تواند برای توسعه یک سیستم مدیریت پایگاه داده مکانی-زمانی فازی استفاده شود.

۳. روش مبتنی بر جهت برای نمایش ناحیه فازی

با مطالعه پدیده‌های فازی، مشخص می‌شود که بسیاری از آن‌ها جهت‌دار هستند (و البته برخی از آن‌ها نیستند). این بدان معنی است که توزیع درجات عضویت بین نقاط از جهتی مشخص (جهت باد و آب، میدان مغناطیسی و الکتریکی و غیره) پیروی می‌کند. برای مثال شکل (۴-۸) برخی از پدیده‌های جهت‌دار فازی را نشان می‌دهد [۴۲-۳۸]. روش‌های موجود مانند توری، نقشه- بردار و مثلثی‌سازی و همین‌طور تعاریف رسمی ارائه‌شده در پژوهش‌های [۴۳-۴۹] مفهوم جهت را برای مدل‌سازی و تعریف نواحی فازی و توابع عضویت در نظر نگرفته‌اند. مفهوم جهت را می‌توان به‌خوبی برای مدل‌سازی و پرس‌وجوی نواحی فازی و تعریف تابع عضویت استفاده کرد.

در مقابل، برخی از پدیده‌های فازی بدون جهت هستند. برای مثال قسمت‌های مختلف یک رودخانه را در نظر بگیرید. اگر A عمیق‌ترین نقطه رودخانه و نقطه C به A نزدیک و نقطه B دور از A باشد، نقطه B می‌تواند عمیق‌تر از نقطه C باشد. این بدان معناست که نقاط نزدیک‌تر به عمیق‌ترین نقطه لزوماً عمیق‌تر نیستند. روش پیشنهادی برای پدیده‌های فازی غیرجهت‌دار کاربردی ندارد.

۱.۳. منطقه فازی

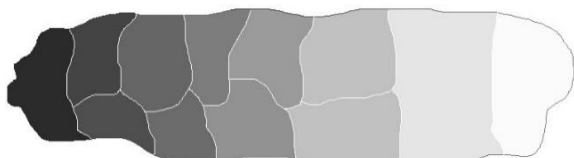
نویسندگان در [۴۳-۴۹] به تعریف رسمی ناحیه فازی پرداخته‌اند. در این پژوهش، ناحیه فازی بر اساس مفهوم پیشنهادی جهت توصیف رسمی می‌شود. برای معرفی روش پیشنهادی یک مثال ساده بررسی خواهد شد. ناحیه فازی شکل (۹) آلودگی هوا در منطقه‌ای را نشان می‌دهد که آلودگی از چپ به راست با جریان باد پخش می‌شود. برای مقایسه بهتر روش‌های موجود و روش پیشنهادی، منطقه ذکر شده به روش‌های توری، نقشه- بردار و مثلثی‌سازی در شکل‌های (۹-۱۲) مدل‌سازی شده‌است.



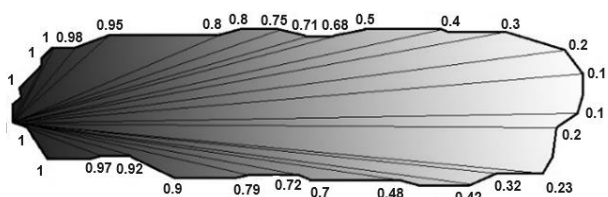
شکل ۹: منطقه‌ای با آلودگی هوا



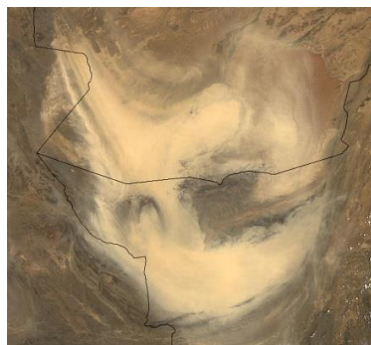
شکل ۱۰: نمایش ناحیه فازی شکل ۹ با روش توری



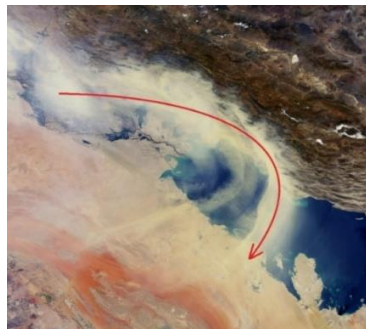
شکل ۱۱: نمایش ناحیه فازی شکل ۹ با روش نقشه- بردار



شکل ۱۲: نمایش ناحیه فازی شکل ۹ با روش مثلثی‌سازی



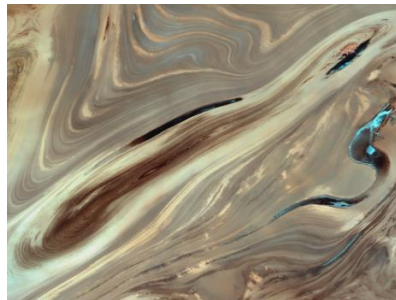
شکل ۴: طوفان شن از ایران به افغانستان [۳۸]



شکل ۵: طوفان شن از عراق به ایران [۳۹]



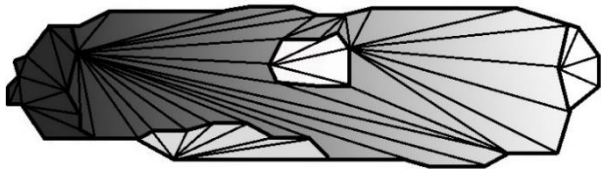
شکل ۶: آتش‌سوزی جنگل‌های کانادا، ۲۰۰۳ [۴۰]



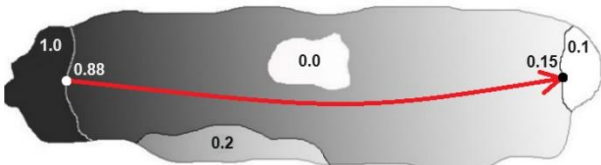
شکل ۷: جنس خاک در دشت کویر ایران [۴۱]



شکل ۸: شفق قطبی برفراز استرالیا [۴۲]



شکل ۱۷: نمایش ناحیه فازی شکل ۱۴ به روش مثلثی سازی



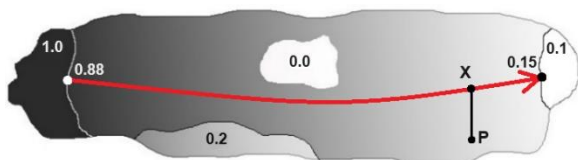
شکل ۱۸: نمایش ناحیه فازی شکل ۱۴ به روش مبتنی بر جهت

برای یافتن درجه عضویت یک نقطه از ناحیه، اگر نقطه در داخل یک چندضلعی با درجه عضویت ثابت باشد، درجه عضویت آن برابر با درجه عضویت آن چندضلعی است. در غیر این صورت مطابق شکل (۱۹) برای یافتن درجه عضویت نقطه P، ابتدا نقطه X روی کمان با کمترین فاصله اقلیدسی از P محاسبه می‌شود. سپس طول کمان از ابتدا تا X و از ابتدا تا انتها محاسبه و با توجه به درجات عضویت نقاط ابتدا و انتها می‌توان درجه عضویت X را محاسبه کرد. مثلاً در شکل (۱۹) درجات عضویت نقاط ابتدا و انتها ۰,۸۸ و ۰,۱۵ است. طول کمان ۵,۰ و طول کمان از ابتدا تا X برابر ۴,۰ است. درجه عضویت X (و بنابراین P) از طریق معادله زیر ۰,۲۹۶ خواهد بود:

$$D = \frac{\text{Circular String Length from beginning to } X}{\text{Total Circular String Length}}$$

$$MValue_p = MValue_x$$

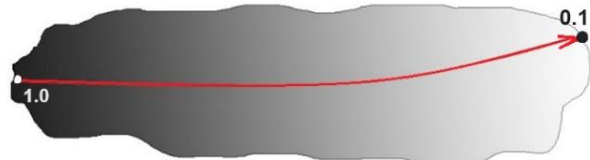
$$= MValue_{start} + (D * (MValue_{end} - MValue_{start}))$$



شکل ۱۹: محاسبه درجه عضویت نقطه p

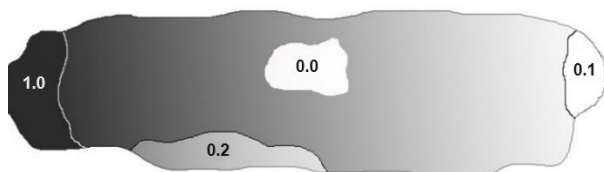
لازم نیست ابتدا و انتهای یک کمان را روی مرزهای چندضلعی قرار دهیم. طبق شکل (۲۰) نقطه ابتدا و انتها می‌تواند در داخل یا حتی خارج از چندضلعی قرار گیرد. برای این موارد نیز محاسبه درجه عضویت یک نقطه با استفاده از تابع گفته شده امکان پذیر است.

در شکل (۱۳) ناحیه فازی شکل (۹) با روش پیشنهادی مبتنی بر جهت نشان داده شده است. جهت در یک ناحیه فازی به وسیله کمان^۶ تعریف می‌شود که درجه عضویت نقاط ابتدا و انتهای کمان باید مشخص باشد. مسائل پردازش تصویر مانند تشخیص جهت و تخمین درجات عضویت نقاط ابتدا و انتهای کمان موضوع این پژوهش نیست.



شکل ۱۳: نمایش ناحیه فازی شکل ۹ با روش مبتنی بر جهت

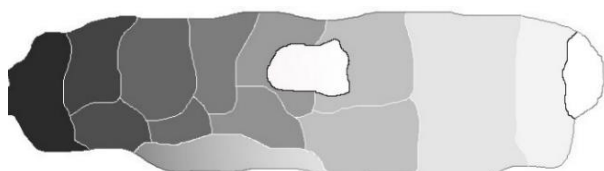
به دلیل ویژگی های طبیعی (مانند کوه، جنگل، و غیره) نواحی فازی می‌توانند شامل زیرنواحی با درجات عضویت ثابت باشند. به عنوان مثال در شکل (۱۴) درجه عضویت چندضلعی سیاه سمت چپ که نشان دهنده کارخانه آلاینده (آلوده ترین منطقه) است برابر با ۱,۰ و درجه عضویت چندضلعی سمت راست (دورترین منطقه از کارخانه) برابر با ۰,۱ است. درجه عضویت مناطق سفید و خاکستری به ترتیب برابر با ۰,۲ و ۰,۰ است. نمایش ناحیه فازی به روش توری، نقشه- بردار و مثلثی سازی در شکل های (۱۷-۱۵) دیده می‌شود. در شکل (۱۸) ناحیه فازی شکل (۱۴) به روش پیشنهادی مبتنی بر جهت نشان داده شده است.



شکل ۱۴: یک ناحیه فازی

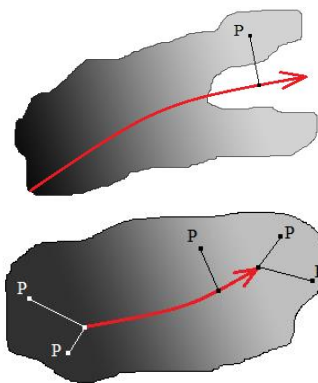


شکل ۱۵: نمایش ناحیه فازی شکل ۱۴ به روش توری



شکل ۱۶: نمایش ناحیه فازی شکل ۱۴ به روش نقشه- بردار

در ادامه توصیف رسمی ناحیه فازی و تابع عضویت مبتنی بر جهت ارائه شده است. همچنین روش پیشنهادی با استفاده از SQL Server 2019 با نمودار پایگاه داده شکل (۲۱) پیاده سازی شده است. مثلاً ذخیره داده های ناحیه فازی شکل (۲۲) در زمان فازی شکل (۲۳) در شکل (۲۴) نشان داده شده است.



شکل ۲۰: دو سر کمان می تواند داخل یا خارج از ناحیه باشد.

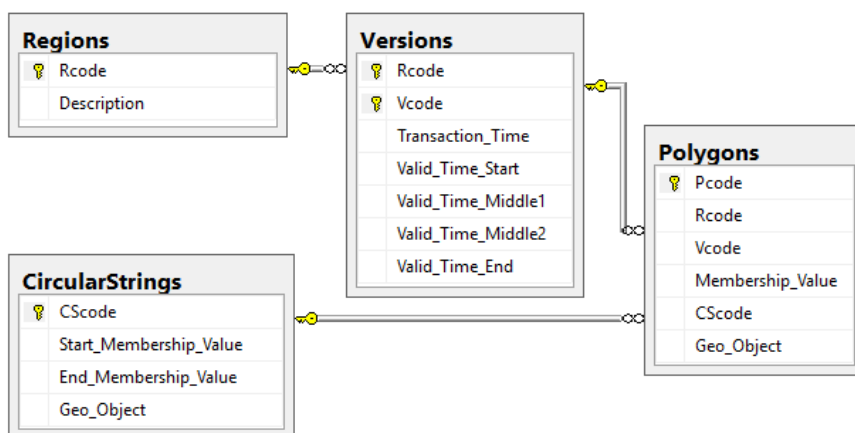
```

is_inside (Point, Area) → (True, False)
is_on_the (Point, CircularString) → (True, False)
Euclidean_Distance (Point, Point) → R
CircularString_Length (CircularString, Point) → R // Returns the Circular String length from beginning to a specified point

Point = {(x,y)|x ∈ R and y ∈ R}
Area = {(Point1, Point2, ..., Pointn) | n ≥ 3 and ∀ 1 ≤ i ≤ n ⇒ Pointi ∈ Point
and ∄ 1 ≤ i, j ≤ n ⇒ i ≠ j and Pointi = Pointj}
CircularString = {(Pointstart, MiddlePoint1, MiddlePoint2, ..., MiddlePoint2k+1, PointEnd, MValuestart, MValueEnd) |
0 ≤ MValueEnd < MValuestart ≤ 1 and 0 ≤ k
and Pointstart, PointEnd ∈ Point and ∀ 1 ≤ i ⇒ MiddlePointi ∈ Point}
Polygon = {(PolygonArea, MValue, CirStr) |
PolygonArea ∈ Area, CirStr ∈ CircularString, 0 ≤ MValue ≤ 1
if (MValue == NULL) ⇒ CirStr ≠ NULL
if (CirStr == NULL) ⇒ MValue ≠ NULL}
Region = {(Polygon1, Polygon2, ..., Polygonn) |
∀ 1 ≤ i ≤ n ⇒ Polygoni ∈ Polygon
∀ 1 ≤ i ≠ j ≤ n: if (Polygoni.MValue ≠ NULL and Polygonj.MValue ≠ NULL)
⇒ Polygoni.PolygonArea ∩ Polygonj.PolygonArea = ∅
if (Polygoni.CirStr ≠ NULL and Polygonj.CirStr ≠ NULL)
⇒ Polygoni.PolygonArea ∩ Polygonj.PolygonArea = ∅}

Membership_Value (Point p, Region r)
{
if (∄ pg ∈ Polygon | pg ∈ r and is_inside(p, pg.PolygonArea)) Then
Return "Point is not in the Region."
if (∃ pg ∈ Polygon | pg ∈ r and is_inside(p, pg.PolygonArea and pg.MValue ≠ NULL))
Return pg.MValue
Else {
CSP = {P ∈ Points | is_on_the(P, pg.CirStr)} //CircularString_Points
∃ NP ∈ CSP | ∀ t ∈ CSP ⇒ Euclidean_Distance (p, NP) ≤ Euclidean_Distance (p, t) //Nearest_Point
D =  $\frac{\text{CircularString\_Length}(pg.CirStr, NP)}{\text{CircularString\_Length}(pg.CirStr, pg.CirStr.Point_{End})}$ 
Return pg.CirStr.MValuestart + (D * (pg.CirStr.MValueEnd - pg.CirStr.MValuestart))
}
}

```



شکل ۲۱: نمودار جداول پایگاه داده برای ذخیره‌سازی داده‌های مکانی-زمانی فازی

۲.۴. عملگر Temporal_Analysis

برای تحلیل زمانی ورژن‌های مختلف یک ناحیه فازي به کار می‌رود. به عنوان مثال نتیجه این عملگر برای یک ناحیه فازي مانند شکل (۳۲) می‌تواند باشد.

RCode	VCode	Title	MValue
1	1	الان	0.5
1	1	به تازگی	0.00793

شکل ۳۲: نتیجه عملگر Temporal_Analysis

۳.۴. عملگر Get_Version

برای یافتن نسخه‌ای از یک ناحیه که حداقل با درجه عضویت MV متعلق به واژه Term باشد استفاده می‌شود.

Function Get_Version (@Rcode int, @Term nvarchar(10), @MV float)

۵. ارزیابی

روش پیشنهادی با روش‌های دیگر از نظر پیچیدگی حافظه، پیچیدگی زمانی، دقت ذخیره‌سازی (ایجاد نویز) و قابلیت کاربرد مقایسه، و نتایج در جدول ۱ ارائه شده‌است.

۱.۵. پیچیدگی حافظه

در روش توری، حافظه مصرفی به رزلوشن انتخابی بستگی دارد. طبق شکل (۳۳) برای افزایش دقت ذخیره‌سازی و کاهش تقریب، رزلوشن بالاتری باید انتخاب شود که منجر به مصرف بیشتر حافظه می‌شود. بنابراین که پیچیدگی حافظه روش توری O((Cells) است. اتلاف حافظه از دیگر اشکالات روش توری است. طبق شکل (۳۴) بسیاری از سلول‌های توری بی‌استفاده‌اند و اگر پیاده‌سازی توسط ماتریس‌ها انجام شود فضای زیادی از حافظه تلف می‌شود.

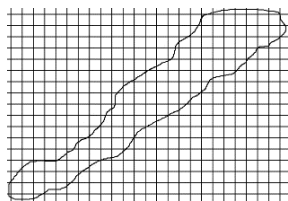


(الف)



(ب)

شکل ۳۳: نمایش ناحیه فازي با رزلوشن الف (کم)، ب (زیاد)



شکل ۳۴: اتلاف حافظه در روش توری

طبق شکل (۳۵) در روش نقشه-بردار حافظه مورد استفاده به تعداد بخش‌ها بستگی دارد. برای افزایش دقت ذخیره‌سازی داده‌ها و



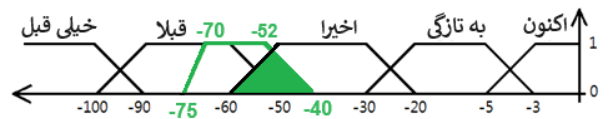
شکل ۲۷: نشست زمان فازي یک ناحیه روی نمودار واژگان فازي

۱.۴. محاسبه درجه عضویت یک زمان فازي

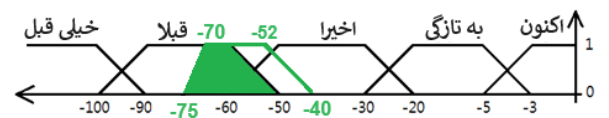
برای تشخیص اینکه یک زمان فازي با چه درجه عضویتی به یک واژه فازي تعلق دارد روش‌های محاسبه مساحت سطح همپوشان و محاسبه بیشترین درجه عضویت در سطح همپوشان قابل استفاده است.

۱.۱.۴. روش محاسبه مساحت سطح همپوشان

در این روش مساحت سطح همپوشان زمان فازي ناحیه با واژه فازي مورد نظر را به دست آورده و با تقسیم آن بر مساحت کل آن واژه، درجه عضویت زمان به واژه فازي مورد نظر به دست می‌آید. به عنوان مثال در شکل (۲۸) مساحت واژه "اخیرا" برابر ۳۰ و مساحت سطح مشترک برابر ۹ می‌باشد. پس ناحیه فازي با درجه عضویت $9/30 = 0.3$ متعلق به واژه "اخیرا" است. به همین ترتیب، در شکل (۲۹) ناحیه فازي مورد نظر با درجه عضویت $0.437 = 9/40$ متعلق به واژه "قبلا" است.



شکل ۲۸: ناحیه فازي با درجه عضویت ۰,۳ متعلق به "اخیرا" است.



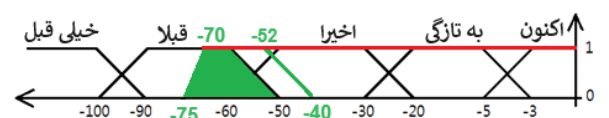
شکل ۲۹: ناحیه فازي با درجه عضویت ۰,۴۳۷ متعلق به "قبلا" است.

۲.۱.۴. محاسبه بیشترین درجه عضویت سطح همپوشان

در این روش باید در سطح همپوشان، نقطه‌ای با بیشترین درجه عضویت یافت شود. درجه عضویت این نقطه، درجه عضویت ناحیه فازي به واژه مورد نظر است. طبق شکل (۳۰) و (۳۱)، زمان فازي با درجه عضویت ۰,۹ به "اخیرا" و با درجه عضویت ۱ به "قبلا" تعلق دارد.



شکل ۳۰: ناحیه فازي با درجه عضویت ۰,۹ متعلق به "اخیرا" است.



شکل ۳۱: ناحیه فازي با درجه عضویت ۱ متعلق به "قبلا" است.

کاهش تقریب، بخش‌های بیشتری باید انتخاب‌شود که منجر به استفاده بیشتر از حافظه می‌شود. از آنجاکه برای ذخیره‌سازی یک بخش، باید رئوس آن ذخیره‌شوند، می‌توان گفت که پیچیدگی حافظه $O(\text{Vertices})$ است.



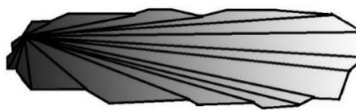
(الف)



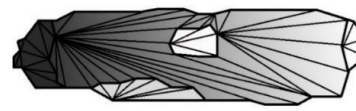
(ب)

شکل ۳۵: الف) ذخیره‌سازی ناحیه فازی با ۴ بخش، رئوس کمتر، ب) ذخیره‌سازی ناحیه فازی با ۱۲ بخش، رئوس بیشتر

طبق شکل (۳۶) در روش مثلثی‌سازی حافظه مورد استفاده بسته به تعداد مثلث‌هایی است که باید برای ناحیه تعریف‌شوند. تعداد مثلث‌ها بستگی به هموار یا غیرهموار بودن ناحیه دارد. در روش مثلثی‌سازی پیچیدگی حافظه $O(\text{Triangles})$ خواهد بود.



(الف)



(ب)

شکل ۳۶: الف) ناحیه فازی هموار منجر به مثلث‌های کمتری می‌شود، ب) ناحیه فازی غیرهموار منجر به مثلث‌های بیشتر می‌شود.

در روش مبتنی بر جهت، حافظه مورد استفاده به تعداد چندضلعی‌ها و رئوس آن‌ها و تعداد کمان‌ها و نقاط آن‌ها بستگی دارد. بنابراین اگر ناحیه‌ای دارای g چندضلعی باشد و چندضلعی‌ای با حداکثر تعداد رئوس دارای v رأس باشد و ناحیه دارای c کمان باشد و کمان با حداکثر تعداد نقاط دارای p نقطه باشد آنگاه پیچیدگی حافظه برابر با $O(gv + cp)$ است.

۲.۵. پیچیدگی زمانی

در روش توری، برای یافتن درجه عضویت نقطه‌ای از ناحیه، باید سلول حاوی نقطه پیدا شود. درجه عضویت نقطه برابر با درجه عضویت تقریب زده‌شده برای آن سلول است. بنابراین در روش توری، پیچیدگی زمانی برای یافتن درجه عضویت یک نقطه $O(1)$ است.

در روش نقشه-بردار برای یافتن درجه عضویت نقطه‌ای از ناحیه، بخش حاوی آن نقطه باید یافت‌شود. درجه عضویت نقطه با درجه عضویت تقریب زده شده برای آن بخش برابر است. پیچیدگی

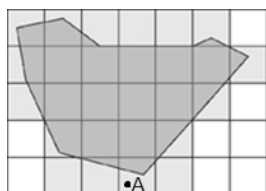
زمانی برای تعیین اینکه آیا یک نقطه در یک بخش با v رأس قرار دارد یا خیر $O(v)$ است. فرض کنید که یک ناحیه دارای s بخش است و بخشی با حداکثر تعداد رئوس دارای v رأس است. بنابراین پیچیدگی زمانی برای یافتن درجه عضویت یک نقطه $O(sv)$ است.

در روش مثلثی‌سازی برای یافتن درجه عضویت نقطه‌ای از ناحیه، ابتدا باید مثلث حاوی آن نقطه یافت‌شود. در مرحله بعد، درجه عضویت نقطه بر اساس معادله ارائه‌شده در [۳۶] محاسبه می‌شود که پیچیدگی زمانی $O(1)$ دارد. در نتیجه پیچیدگی زمانی برای یافتن درجه عضویت یک نقطه (تعداد مثلث‌ها) O است.

در روش مبتنی بر جهت برای یافتن درجه عضویت یک نقطه از ناحیه، ابتدا باید چندضلعی حاوی نقطه یافت‌شود. سپس اگر چندضلعی دارای درجه عضویت ثابت باشد، درجه عضویت نقطه برابر با درجه عضویت آن چندضلعی است. در غیر این صورت، مراحل یاد شده در تعریف رسمی باید برای محاسبه درجه عضویت بوسیله کمان دنبال شود که پیچیدگی $O(1)$ دارد. بنابراین در روش پیشنهادی اگر ناحیه‌ای دارای g چندضلعی و چندضلعی‌ای با حداکثر تعداد رئوس دارای v رأس باشد، پیچیدگی زمانی یافتن درجه عضویت یک نقطه $O(gv)$ است.

۳.۵. دقت ذخیره‌سازی داده‌ها (ایجاد نویز)

در روش توری از آنجاکه درجه عضویت همه نقاط یک سلول باید به یک مقدار یکسان تقریب زده‌شود، نویز ذاتی وجود دارد. علاوه بر این طبق شکل (۳۷)، نقاط غیرعرضه‌وار ناحیه می‌شوند. بنابراین این روش از نظر دقت بسیار ضعیف است مگر اینکه رزولوشن بالایی در نظر گرفته‌شود. بدیهی است که با افزایش رزولوشن، پیچیدگی حافظه بدتر می‌شود.



شکل ۳۷: ورود نقطه غیرعضو به ناحیه

روش نقشه-بردار دارای نویز ذاتی است زیرا درجات عضویت همه نقاط یک بخش باید به مقدار یکسانی تقریب زده‌شود. این روش از نظر دقت ذخیره‌سازی داده‌ها مناسب نیست مگر اینکه بخش‌های بیشتری در نظر گرفته‌شود. بدیهی است که با افزایش تعداد بخش‌ها مشکل پیچیدگی حافظه بدتر می‌شود. در روش مثلثی‌سازی، دقت ذخیره‌سازی داده‌ها مناسب است زیرا درجه عضویت تمام نقاط یک مثلث نباید به یک مقدار یکسان تقریب زده‌شود. در روش مبتنی بر جهت، به دلیل تعریف چندضلعی‌ها و کمان‌ها در یک ناحیه، تقریب کمی وجود دارد.

۴.۵. کاربرد

نواحی فازی جهت‌دار قابل استفاده است. طبق شکل‌های (۴-۸) بسیاری از پدیده‌های فازی جهت‌دار هستند.

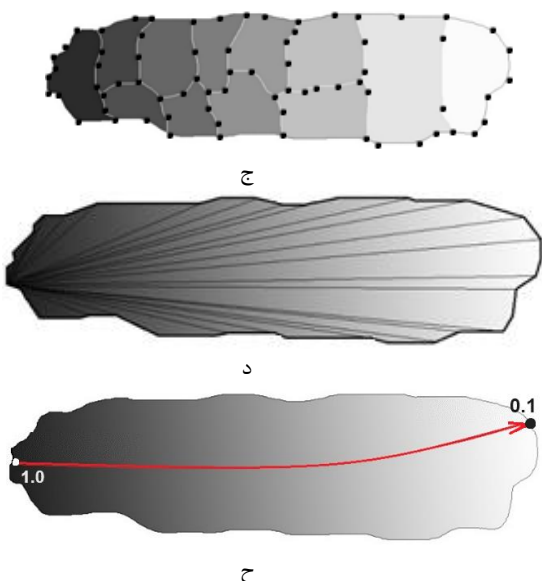
روش‌های توری، نقشه-بردار و مثلثی‌سازی برای نمایش انواع مناطق فازی قابل استفاده هستند، درحالی‌که روش مبتنی بر جهت فقط در

جدول ۱: مقایسه روش پیشنهادی مبتنی بر جهت با سایر روش‌ها

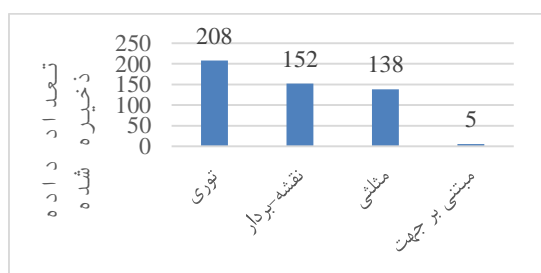
روش	کاربرد	دقت ذخیره-سازی داده‌ها	پیچیدگی زمان	پیچیدگی حافظه
توری	بدون محدودیت	کم	$O(1)$	$O(\text{Cells})$
نقشه-بردار	بدون محدودیت	کم	$O(\text{Sections} \text{Vertices})$	$O(\text{Vertices})$
مثلثی‌سازی	بدون محدودیت	زیاد	$O(\text{Triangles})$	$O(\text{Triangles})$
مبتنی بر جهت	نواحی جهت‌دار	قابل قبول	$O(\text{Polygons} \text{Vertices})$	$O(\text{Polygons} \text{Vertices} + \text{CircularStrings} \text{Points})$

۶. مقایسه کمی

در این بخش یک آزمایش کمی برای مقایسه حافظه و زمان مصرفی انجام شده است. مدل‌سازی ناحیه فازی شکل ۳۸ الف با روش‌های توری، نقشه-بردار، مثلثی و روش پیشنهادی به ترتیب در شکل‌های ۳۸ ب، ۳۸ ج، ۳۸ د و ۳۸ ح دیده می‌شود. در روش توری، ماتریسی با ابعاد 8×26 ایجاد شده است. بنابراین تعداد ۲۰۸ درجه عضویت باید ذخیره‌سازی شود. در روش نقشه-بردار تعداد ۱۲ بخش تشکیل شده است. تعداد رئوس این بخش‌ها از چپ به راست ۱۵، ۱۱، ۹، ۹، ۹، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۰، ۱۳، ۱۰، ۱۴، ۱۰ است. بنابراین ۱۴۰ رأس به همراه ۱۲ درجه عضویت مجموعاً ۱۵۲ داده باید ذخیره‌سازی شود. در روش مثلثی تعداد ۲۳ مثلث مجموعاً شامل ۶۹ رأس تشکیل شده است. بنابراین ۶۹ رأس به همراه ۶۹ درجه عضویت، در کل ۱۳۸ داده باید ذخیره‌سازی شود. در روش پیشنهادی باید مسیر مدور نشان‌دهنده جهت ذخیره‌سازی شود. هر مسیر مدور از سه نقطه و دو درجه عضویت متعلق به نقاط ابتدایی و انتهایی تشکیل شده است. بنابراین تعداد ۵ داده باید ذخیره‌سازی شود. نتایج در شکل ۳۹ دیده می‌شود. گرچه در این آزمایش رزلوشن انتخاب شده برای روش توری، نقشه-بردار و مثلثی پایین است، که خود به دقت پایین می‌انجامد، تفاوت بسیاری بین روش پیشنهادی و این روش‌ها دیده می‌شود. رزلوشن بیشتر به مصرف حافظه و تفاوت بیشتر می‌انجامد.



شکل (۳۸): الف) یک ناحیه فازی جهت‌دار (ب) مدل‌سازی به روش توری (ج) مدل‌سازی به روش نقشه-بردار (د) مدل‌سازی به روش مثلثی (ح) مدل‌سازی مبتنی بر جهت

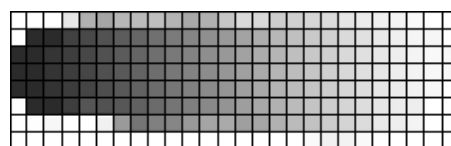


شکل (۳۹): مقایسه حافظه مصرفی روش‌ها

در روش توری برای محاسبه درجه عضویت یک نقطه، سلول حاوی آن نقطه باید یافت شود لذا پیچیدگی زمانی در روش توری $O(1)$ است. در روش نقشه-بردار برای محاسبه درجه عضویت یک نقطه، بخش حاوی آن نقطه باید یافت شود. پیچیدگی زمانی برای یافتن این که آیا نقطه‌ای متعلق به بخشی با v رأس است، $O(v)$ می‌باشد. در شکل ۳۸ ج، تعداد رئوس بخش‌ها از چپ به راست ۱۵، ۱۱، ۹، ۹، ۹، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۰، ۱۳، ۱۰، ۱۴، ۱۰ می‌باشد. بنابراین



الف



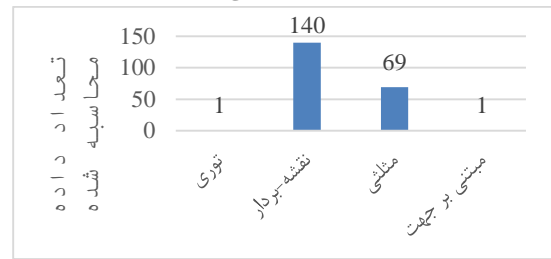
ب

۵- مفهوم جهت معرفی شده در این پژوهش را می توان در نمایه سازی فضایی به کاربرد.

References

- [1] Clementini E (2004) "Modeling Spatial Objects Affected by Uncertainty". In *Spatio-Temporal Databases Flexible querying and reasoning*, pp.211-236, Springer, Berlin, Germany.
- [2] Schneider M (2014) "Spatial Plateau Algebra for implementing fuzzy spatial objects in databases and GIS: Spatial plateau data types and operations". *Applied Soft Computing*. Vol.16, pp.148-170.
- [3] Sozer A, Yazici A, Oguztuzun H, Tas O (2008) "Modeling and querying fuzzy spatio-temporal databases". *Information Sciences*. Vol.178, pp.3665-3682.
- [4] Molenaar M (2000) "Three Conceptual Uncertainty Levels for Spatial Objects. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*". Vol.33, Part B4, pp.670-677.
- [5] Dragicevic S (2004) "Fuzzy Sets for Representing the Spatial and Temporal Dimensions in GIS Databases". In *Spatio-Temporal Databases Flexible querying and reasoning*, pp.11-27, Springer, Berlin, Germany.
- [6] Dilo A, By R.A, Stein A (2007) "A system of types and operators for handling vague spatial objects". *Geographical Information Science*. Vol.21, No.4, pp.397-426.
- [7] P.A. Burrough, *Natural Objects with Indeterminate Boundaries*, Burrough and Frank, 1996, pp. 3-28.
- [8] S. Dutta, "Qualitative spatial reasoning: a semi-quantitative approach using fuzzy logic", 1st Int. Symp. on the Design and Implementation of Large Spatial Databases, LNCS 409, Springer-Verlag, 1989, pp. 345-364.
- [9] S. Dutta, "Topological constraints: a representational framework for approximate spatial and temporal reasoning", 2nd Int. Symp on Advances in Spatial Databases, LNCS 525, Springer-Verlag, 1991, pp. 161-180.
- [10] V.J. Kollias, A. Voliotis, "Fuzzy reasoning in the development of geographical information systems", *International Journal of Geographical Information Systems* 5 (2) (1991)209-223.
- [11] G. Edwards, "Characterizing and maintaining polygons with fuzzy boundaries in GIS". 6th Int. Symp on Spatial Data Handling, 1994, pp. 223-239.
- [12] F. Wang, G.B. Hall, "Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS", *International Journal of Geographical Information Systems* 10 (5) (1996) 573-590.
- [13] E.L. Usery, *A Conceptual Framework and Fuzzy Set Implementation for Geographic Features*, Burrough and Frank, 1996, pp. 71-85.
- [14] F. Wang, "Towards a natural language user interface: an approach of fuzzy query", *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(2), 1994, 143-162.
- [15] F. Wang, G.B. Hall, "Fuzzy information representation and processing in conventional GIS", *geographical Information Systems*, 4 (3) (1990) 261-283.
- [16] J.J.Buckley, E. Eslami, "Fuzzy plane geometry II: circles and polygons", *Fuzzy Sets and Systems*, 87(1997), pp. 79-85.
- [17] F.B. Zhan, "Approximate analysis of binary topological relations between geographic regions with

در بدترین حالت ۱۴۰ رأس باید برای یافتن بخش حاوی نقطه مورد نظر بررسی شود. در روش مثلثی برای محاسبه درجه عضویت یک نقطه، مثلث حاوی آن نقطه باید یافت شود. در شکل ۳۸، د.۳۸، مثلث وجود دارد. بنابراین در بدترین حالت 3×23 برابر ۶۹ رأس باید محاسبه شود. در روش پیشنهادی یافتن درجه عضویت یک نقطه از طریق توصیف رسمی ذکرشده، با پیچیدگی زمانی $O(1)$ انجام خواهد شد. گرچه رزولوشن انتخاب شده برای روش نقشه بردار و مثلثی پایین است، که خود به دقت پایین می انجامد، تفاوت زیادی بین روش پیشنهادی و این روش ها دیده می شود. رزولوشن بیشتر به مصرف حافظه و تفاوت بیشتر خواهد می انجامد.



شکل (۴۰): مقایسه پیچیدگی زمانی روش ها

۷. نتیجه گیری

در این پژوهش روشی مبتنی بر جهت برای نمایش و پرس و جوی داده های مکانی-زمانی فازی معرفی شد. روش پیشنهادی به طور رسمی تعریف و با استفاده از SQL Server 2019 پیاده سازی و با سه روش موجود از نظر پیچیدگی حافظه، پیچیدگی زمانی، دقت ذخیره سازی داده ها (ایجاد نویز) و قابلیت کاربرد مقایسه شد. روش پیشنهادی از نظر پیچیدگی حافظه از روش های توری، نقشه بردار و مثلثی سازی بهتر بود. همچنین از نظر پیچیدگی زمانی از روش های نقشه بردار و مثلثی سازی عملکرد بهتری داشت. روش پیشنهادی از نظر دقت از روش های توری و نقشه برداری بهتر بود. روش مبتنی بر جهت صرفاً برای داده های مکانی فازی جهت دار کاربرد دارد.

۸. کارهای آتی

- در ادامه می توان ابعاد زیر را به موضوع اضافه و بررسی کرد:
- ۱- در پژوهش حاضر برای هر چندضلعی صرفاً یک کمان متصور شدیم اما این روش را می توان برای چندضلعی هایی با بیش از یک کمان ارتقا داد.
 - ۲- در این پژوهش به موضوعات پردازش تصویر پرداخته نشد؛ موضوعاتی مانند تشخیص جهت کمان و تخمین درجات عضویت نقاط ابتدا و انتهای آن نیز در آینده قابل مطالعه است.
 - ۳- یک سیستم مدیریت پایگاه داده مکانی - زمانی فازی بر پایه این روش می تواند در آینده ایجاد شود.
 - ۴- ایجاد یک دیتاست برای آزمایش عملکرد این روش در محیط واقعی می تواند مزایای روش پیشنهادی را نشان دهد.

- [33] Chen X, Yan L, Li W, Ma Z, "Reengineering Fuzzy Spatio-temporal UML Data Model into Fuzzy Spatio-temporal XML Model", IEEE Access, Vol.5, pp. 17975-17987, IEEE, 2017.
- [34] Xu Ch, et al. (2017) "Fuzzy Spatio-temporal Object Modeling Based on UML Class Diagram". pp. 2727 – 2736.
- [35] Xu Ch, Li W, Li Y (2017) "A UML-based representation of fuzzy spatio-temporal relations", 13th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp. 1090-1098.
- [36] Slusarski M, Jurkiewicz M (2020) "Visualization of Spatial Uncertainty". Geo-Information, 9(1), 16.
- [37] Cheng H, Yan L, (2019) "Fuzzy spatio-temporal ontologies and formal construction", computational intelligence, Vol 35, Issue 1, pp. 204-239.
- [38] http://www.esa.int/Our_Activities/ObservingEarth/
- [39] <http://visibl.nasa.gov/view.php?id=71352>
- [40] <http://climate.uvic.ca/climate-ics/bcfires.html>
- [41] https://en.wikipedia.org/wiki/Dasht-e_Kavir
- [42] <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article1288284/astronauts.html>
- [43] Erwig M, Schneider M (1997) "Vague Regions". 5th International Symposium on Advances in Spatial Databases, LNCS, Vol.1262, pp. 298-320.
- [44] Schneider M (2008) "Fuzzy Spatial Data Types for Spatial Uncertainty Management in Databases". In Handbook of Research on Fuzzy Information Processing in Databases, Information Science Reference, London, pp. 490-515.
- [45] Schneider M (2004) "Fuzzy Spatial Data Types and Predicates: Their Definition and Integration into Query Languages". In spatio-temporal databases flexible querying and reasoning, pp. 265-293, Springer, Berlin, Germany.
- [46] Buckley J.J, Eslami E (1997) "Fuzzy Plane Geometry I: Points and Lines". Fuzzy Set and Systems. Vol.86, pp. 179-187.
- [47] Ghosh D, Chakraborty D (2012) "Analytical fuzzy plane geometry I". Fuzzy Sets and Systems. Vol.209, pp. 66-83.
- [48] Tossebro E, Nygard M (2008) "Representing Uncertainty in Spatial Databases", High Performance Computing & Simulation Conference, Nicosia, Cyprus, pp. 141-152.
- [49] Ghosh D, Chakraborty D (2014) "Analytical fuzzy plane geometry II". Fuzzy Sets and Systems. Vol.243, pp. 84-109.
- indeterminate boundaries", Soft Computing, 2, 1998, pp. 28-34.
- [18] A. Morris, F.E. Petry, *Design of Fuzzy Querying in Object-oriented Spatial Data and Geographic Information Systems*, 1998, pp. 165-169.
- [19] S. Du, Q. Qin, Q. Wang, B. Li, "Fuzzy description of topological relations", 1st Int. Conf. on Advances in Natural Computation, LNCS3612, Springer-Verlag, 2005, pp. 1261-1273.
- [20] M. J. Somodevilla, F. Petry, "Fuzzy Minimum Bounding Rectangles", In de Caluwe et al. [15], 2004, pp. 237-263.
- [21] Molenaar M (2000) T. Cheng. "Fuzzy spatial objects and their dynamics". Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol.55, pp. 164-175.
- [22] Pauly A, Schneider M (2010) "VASA: An algebra for vague spatial data in databases". Information Systems. Vol.35, pp. 111-138.
- [23] A. C. Carniel, Schneider M (2018) "Spatial Plateau Algebra: An Executable Type System for Fuzzy Spatial Data Types". IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp. 1-8.
- [24] Altman D (1994) "Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in spatial analysis". Geographical Information Systems. Vol.8, No.3, pp. 271-289.
- [25] Schneider M (2003) "Design and implementation of finite resolution crisp and fuzzy spatial objects". Data and Knowledge Engineering. Vol.44, pp. 81-108.
- [26] Verstraete J, Tre G.D, Hallez A (2006) "Bitmap based structures for the modeling of fuzzy entities". Control and Cybernetics. Vol.35, No.1, pp. 147-164.
- [27] Verstraete J, Tre G.D, Caluwe R, Hallez A (2005) "Field Based Methods for the Modeling of Fuzzy Spatial Data". *Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems*, pp. 41-69. Springer.
- [28] Ma Z, Bai L, Yan L, "Fuzzy spatio-temporal data modeling and operations using XML, in Modelling fuzzy spatio-temporal in XML". Springer Nature, Switzerland. 2020.
- [29] Bai L, Li Y, Liu J. (2017) "FSPTwigFast: Holistic twig query on fuzzy spatio-temporal XML data". Appl Intell 47, pp. 1224-1239.
- [30] Xu Ch, Li Y, Li W, Fu Z. (2018) "Fuzzy spatio-temporal data modeling based on XML schema". Filomat. 32. pp. 1663-1677.
- [31] Pinet F, Runz C, "Representing Diagrams of Imperfect Geographic Objects", *Geographic Data Imperfection: From Theory to Applications*, Wiley, 2019.
- [32] Wang Y, Bai L, "Fuzzy Spatio-temporal Data Modeling Based on UML", IEEE Access, Vol.7, pp. 45405-45416, IEEE, 2019.

پی‌نوشت

⁴ Grid⁵ Extended Triangle Irregular Network⁶ Circular String¹ Spatial Database² Geographic Information System³ Vector-Map