نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی ، دوره هفتم ، شماره ۲ ، خرداد ماه ۱۳۹۵

تغییر هستی‌شناسی در ساختارهای سازمانی پردازش اطلاعات مکانی و توسعه عملکردی توپولوژی بر اساس ساختارهای داده‌ای پیچیده

دکتر محمدرضا ملک[1]، هوشنگ عیوضی[2*]

[1]دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
mrmalek@kntu.ac.ir

[2]دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
[2]مربی گروه مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی اراک
eivazy@arakut.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۴)

چکیده

با افزایش حوزه نفوذ GIS کاربردی در سازمانها و شرکتهای مختلف مدیریت شهری، استفاده از اشیایی با ساختار مکانی پیچیده بیش از پیش متداول می شود. با این وجود هستی شناسی قالب بر ساختار اشیا خصوصا در بخش مدیریت شهری، هنوز وارد بررسی روابط بین اشیا و بویژه روابط توپولوژیک آنها نشده است. این در حالی است که توپولوژی، بویژه در بخش عملیاتی GIS شهری کاربردهای فراوانی داشته و مبانی تئوریک و نرم افزاری ایجاد شده پاسخگوی این نیازها نمی باشد.

بر این اساس، در این مقاله ابتدا اشیای پیچیده و بعضی مصداقهای عملی آن در مباحث مدیریت شهری به کمک تعاریف متداول ریاضی بیان شده، سپس روشی جدید برای محاسبه توپولوژی اشیای پیچیده بر پایه منطق درجه اول متکی بر روش نه اشتراکی ایگن هوفر در نظریه مجموعه نقاط ارایه می گردد.

بر اساس این روش، ابتدا گزاره های منطقی درجه اول توصیفی که از بابت ساختار هندسی اشیا قابل حصول هستند استخراج شده، سپس طی یک فرایند استنتاجی شامل حذف و معرفی، ویژگیهای کامل بودن، تمامیت و عدم افزونگی در آنها ایجاد می گردد. از این رو گزاره های منطقی حاصل به ماتریس های توپولوژیک اعمال شده و آنها را فیلتر می کنند. از سوی دیگر فیلتر ثانویه به ماتریس های باقیمانده در یک آزمون گرافیکی اعمال می شود.

در ادامه روشهایی مورد بررسی قرار می گیرند که هدف از آنها بکارگیری عملی توپولوژی بدست آمده در ساختار نرم افزارهای تجاری است. در این خصوص ضمن ارایه پیشنهادی جهت ذخیره سازی توپولوژی در پایگاه داده، روشی منعطف جهت شکل دهی قواعد توپولوژیک متناسب با نیاز کاربر و قابل پیاده سازی بدون اجبار به نگارش و استنتاج قواعد جدید توپولوژیک مطرح می شود. در پایان به برخی کاستی ها و نیازمندیهای اساسی از جمله الگوریتم استخراج عملیاتی توپولوژی از هندسه اشیا و روش احتمالی شکل دهی آن اشاره می شود.

واژگان کلیدی: توپولوژی، اشیای پیچیده، منطق توصیفی، مدیریت خدمات شهری، پایگاه دانش

---

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

با گسترش حوزه نفوذ سامانه های جی آی اس به بخشهای مختلف مدیریتی و خدماتی، به طور پیوسته کاربردهای جدیدی به حوزه نیازها و البته قابلیتهای سامانه های جی آی اس افزوده می شود. این قابلیتها جدا از بکارگیری موثر توابع مکانی و عملیات محاسبات مکانی، گرایش های خاصی را نیز بوجود می آورند که گاهی در حوزه های شناخته شده قبلی سیستمهای جی آی اس قرار نمی گیرند. [۱][۲]

از بین مسایل مختلفی که طی چند سال گذشته به شکل جدی مورد بررسی کارشناسان حوزه فناوری اطلاعات مکانی قرار گرفته، موضوع توپولوژی اشیا می‌باشد. گذشته از مباحث تئوریک توپولوژی که از دیرباز در حوزه ریاضیات مورد بررسی قرار گرفته، طی سالهای اخیر شاخه های تئوریک خاصی از آن در موضوعات نظری پردازش اطلاعات مکانی ایجاد شده است. [۳]

شناخت اشیا و موضوعات مکانی از منظر انتولوژیهای مختلف از یک سو، حجم بسیار وسیع تولید اطلاعات مکانی از سوی دیگر و نیز عامل زمان و سرعت پردازش اطلاعات چاشنی این مطالعات شده، روند آنرا سرعت بخشیده است. [۳]

همزمان، بررسی دقیق تر محیط پیرامون در شاخه های مختلف علمی و یا مهندسی موجب ابداع انتولوژی های پیچیده تر فراخور سطح رو به رشد توقع در این شاخه ها شده است. برای مثال اگر در گذشته دیدی عمومی در شاخه مهندسی هیدرولوژی به تفکیک عوارض اصلی آبی می‌پرداخت، امروزه شامل نوعی تحول در تفکر مفهومی هیدرولوژی و به تبع آن رفتاری و کاربردی در آن هستیم. به بیان دیگر تعاریف ساده از عوارض جای خود را به شکل گیری کلاسهای پیچیده شامل اشیایی که تمایل به بروز رفتارهای هوشمندانه دارند، داده اند و از سوی دیگر نه فقط ساختار بلکه عملکرد اشیا و کلاسها حتی بیش از خود ساختار اهمیت پیدا کرده است.[۵]

از این رو با روند رو به رشد در توسعه هستی شناسی تخصصی، به شکل فزاینده ای هر روز شاهد شکل گیری کلاسهای جدید از اشیا و موضوعات پیرامون خود هستیم. نکته خاص در مورد این اشیا و موضوعات این است که با نوع شناخت ساده گذشته توافقی نداشته و لزوم تحول در شکل دهی تعاریف گذشته را بیش از پیش آشکار می کنند.

حال اگر بحث مذکور را در کنار حجم رو به گسترش تولید داده و لزوم نگرش های کاربردی و نیز سرعت قرار دهیم خواهیم دید که توصیفهای کلاسیک و البته دقیق گذشته از اشیا نه امروزه ممکن است و البته نه درست! به همین جهت بهتر است فراخور نیاز امروز به دنبال توصیف گرهایی شاید نا دقیق ولی سریع و کاربردی باشیم که بتوان به سرعت آنرا متناسب نیازهای روز جامعه تغییر داده و منطبق بر ساختار برنامه های محاسبه گر و پردازش مکانی کنیم.

بدون تردید توپولوژی موضوعی است که خود در گذشته کاربرد خود را تا حدودی به اثبات رسانیده و به صور مناسب مورد بررسی قرار گرفته است[۵][۶] ولی باید دید که چطور می توان آنرا نیز مطابق با نیاز امروز، عملیاتی و منطبق بر ساختارهای داده ای جدید نمود.

برای مثال اگر در گذشته ساختار سامانه پردازش اطلاعات مکانی سازمان شهرداریها را دو بعدی در نظر می‌گرفتند و آنهم شامل فقط سه ساختار نقطه ای مثل درخت یا مبلمان شهری، خطی مثل ردیف جدول و سطحی مثل فضای سبز در نظر می گرفتند، آیا امروز نیز حوزه شناخت شهرداری به همین سه قالب محدود شده و آیا توپولوژی ساده تعریف شده در فضای دو بعدی جوابگوی محاسبات و توصیفات کاربردی شهری خواهد بود؟ اگر چنین نیست، چطور می توان تعریف توپولوژی را در این حوزه ها متناسب با هستی شناسی جدید سازمانها و ساختار داده ای آنها توسعه داد؟این موضوعی است که در این مقاله به بررسی آن خواهیم پرداخت.

۲- نمونه هایی از تغییر در هستی شناسی حوزه خدمات شهری

در حالیکه پایگاه داده توپوگرافی ملی سازمان نقشه برداری کشور بر اساس یک هستی شناسی عمومی، شامل ۱۶۳ کلاس با تعاریف میان رشته ای می شد، سعی بر آن بود که در تعریف پایگاه داده های شهری که آن زمان قراربود زیرساخت داده ای شهری را در آینده ایجاد نماید، از تعاریف تخصصی تری استفاده شود.[۷] با این وجود کارشناسان با توجه به سردرگمی اولیه در اهداف و نیز ناآشنایی با هویت کاربردی داده های زیرساخت شهری، نتوانستند تعاریف عمیقی از زیرساختهای مکانی شهری ارایه دهند.

اما شناخت عمیق تری که امروزه در حوزه خدمات شهری صورت گرفته است منجر به شناسایی عوارضی به مراتب پیچیده تر از عوارض اولیه شده است. در سازمان شهرداری ها برای مثال، اشیایی تعریف می شود که ماهیت آن با آنچه پیشتر مطرح بود متفاوت است. جدول یک تعدادی از این عوارض را به تفکیک ابعاد فضا نمایش می دهد.

جدول۱- تعدادی از عوارض پیچیده شهری

عارضه	نوع پیچیدگی	دلیل
دسته منهول	چند نقطه ای	مشخصه جزیی منهولها در یک بخش از خیابان برای واحد خدمات شهرداری اهمیتی ندارد
درختان در جنگل مصنوعی	چند نقطه ای	نوع و سن و سال درختان در یک منطقه درختکاری شده تقریبا یکی است از این رو مراقبت های مشابهی می طلبد
ترک های کف خیابان	چند خطی مرکب	این ترک ها وابسته به طول و توجیهشان به خیابان و از طرفی بنا به عمق و درزشان گروه بندی می شوند
تابلوهای تکراری	چند نقطه ای با هندسه بارز	تابلوهای راهنمایی که به نوعی بیانگر یک حقیقت هستند بصورت اضافه در بخشهایی از شهر نصب شده و رفتار خاصی را می طلبند
میدانهای ترافیکی	حلقه بسته	برخی از میدانهایی که عملکردی شبیه دوربرگردان در انتهای خیابانها را دارند
خیابانهای یک طرفه	انواع حلقه ها	بواسطه تعریف جهت محدود در خیابانها، بسیاری از معابر عملکردی شبیه حلقه پیدا می کنند
شبکه جمع آوری آبهای سطحی	چند خطی مرکب	بواسطه عملکرد هیدرولوژیک شبکه، سطحهای مختلف آن صرفا درجه پیدا می کنند
فضای سبز مرکب	سطح سوراخدار	فضای پارکها شامل عوارضی مثل پیاده رو و حوض و ... می شوند که از فضای سبز کلی کسر می شود
قطعات مختلف یک معبر	چند سطحی	هر معبر از بخشهایی مثل چندین سواره رو تشکیل شده که باوجود یکسان بودن ماهیت از نظر هندسی جدا از هم هستند
یک آپارتمان و پارکینگ آن	چند حجمی	در فضای سه بعدی موقعیت قرار گیری آپارتمان و پارکینگ متعلق به آن در بخشهای مختلفی از فضا قرار گرفته است هر چند از نظر مالکیتی حکم واحدی دارد
یک واحد مسکونی و داکت تاسیساتی	حجم سوراخدار	فضای داخلی یک داکت تاسیساتی مشاع که از فضای یک واحد مسکونی غیر مرتبط عبور می کند متعلق به فضای آن واحد نیست

۲-۱- کاربرد عملیاتی توپولوژی در مدیریت خدمات شهری

بکارگیری عملی توپولوژی را می توان در بخشهای مختلف حوزه خدمات شهری تقسیم بندی کرد.

حوزه داده: از بخش های اصلی مدیریت شهری است. این موضوع بیشتر بدان سبب است که داده ها در یک محیط شهری بصورت پیوسته در حال تغییرند و از این رو می بایست بصورت مرتب بروز شوند. از آنجا که یک مدیریت شهری موثر مبتنی بر کسب اطلاعات درست، دقیق و بروز است، فرایند کسب داده های بروز به هر روش ممکن بسیار مهم است.

کنترل صحت داده های برداشت شده: با تعریف قواعد در خصوص روشهای منطقی مجاورت داده های مربوط به المانهای تاسیسات شهری می توان یک یا چند مرحله از کنترل و ارزیابی داده ها را تعریف کرد.

مدیریت عملیات برداشت اطلاعات: جمع آوری اطلاعات شهری بنا به وسعت یک شهر و تعداد و حجم المانهای مرتبط با تاسیسات شهری، فرایندی زمانبر و گاها پیچیده بوده که بکار گیری اصول توپولوژیک می تواند به شکلی موثر عملیات جمع آوری را هدایت و مدیریت کند. برای مثال وابسته به اهمیت عوارض خاص موجود در شهر، برداشت المانهای مجاور آنها را می توان مقدم یا موخر کرد. همین طور مجاورت های حساس می تواند نگرانیهای مدیران پروژه را از بابت نکات لازم جهت انجام عملیات جمع اوری اطلاعات، برآورده نماید. برای مثال جمع آوری اطلاعات در حاشیه مراکز نظامی یا تاسیسات خطرناک شهری مثل فشار شکن ها و از ان دست.

انجام فرایند بروز رسانی اطلاعات: با توجه به اینکه بسیاری از المانهای شهری ماهیتی وابسته به سایر المانها دارند، فرایند بروز رسانی آنها نیز در رابطه با عوارض اصلی شکل می گیرد. برای مثال از آنجا که توسعه یک فیدر فشار ضعیف معمولا در انتهای شبکه های قبلی صورت می‌گیرد، داشتن فهرست بعضی از اشیای جدید نصب شده می تواند کارشناسان را بر اساس توپولوژی منطقی ناشی از ساختار شبکه برق به سمت مناطق احتمالی تحت تاثیر و تغییر یافته شبکه هدایت کند.

شبیه سازی اطلاعات مورد نیاز شهری بر اساس منطق مجاورت: در یک شهر اطلاعات زیادی وجود دارد که

نمی‌توان آنها را بصورت مستقیم تهیه و تولید نمود. برای مثال اطلاعات کیفیت هوا یا مقاومت مکانیکی خاک در سطح شهر را به سختی بتوان با جمع آوری اطلاعات تهیه نمود. حال آنکه می توان با تکیه بر قواعد توپولوژیک و متکی به نقاط کنترل این اطلاعات را در سطح شهر شبیه سازی کرد.

بهر شکل از این دست می توان به مواردی نظیر: مدیریت و ساماندهی اطلاعات جمع آوری شده در خصوص حوادث و اتفاقات متناسب با خدمات شهری بر اساس مکان، پردازش و آنالیز شامل مواردی همچون پیدا کردن مجاورت های غلط بین المانهای شهری، پیدا کردن مشکلات ناشی از مجاورت غلط بین المانهای شهری، پیش بینی مشکلات ناشی از مجاورت در المانهای شهری، پیدا کردن رابطه بین مشکلات شهری و تاسیسات زیر بنایی شهری، آنالیز و محاسبات شبکه. نیز در بخش گزارش و خروجی می توان به مواردی نظیر کارتوگرافی پویای بخشهای مختلف تاسیسات شهری متناسب با همسایگی ها و تهیه گزارش های مناسب با مکان و همسایگی برای کاربران متحرک اشاره کرد.

۳- تعریف اشیای پیچیده

می توان در یک محیط دو بعدی شهری سه نوع عارضه پیچیده تعریف کرد. این عوارض شامل نقاط، خطوط و سطوح پیچیده می باشند. در این بخش ابتدا به معرفی این عوارض پرداخته، در قسمت بعد حالات مختلف توپولوژیک آنها بررسی خواهد شد.

برای مثال در خصوص نقطه می توان عارضه چند نقطه ای را در نظر گرفت. [۸] این عارضه از نظر هندسی شامل چند نقطه بوده ولی از نظر ماهیتی صرفا یک عارضه واحد است. برای آنکه بتوان آنرا تعریف کرد از تعریف نقطه ساده شروع می کنیم.

$$Point = \{P \subset R_2 \mid P \text{ is finite}\} \mid P \mid = 1 \qquad (۱)$$
$$\partial p = \emptyset \text{ and } p = p$$

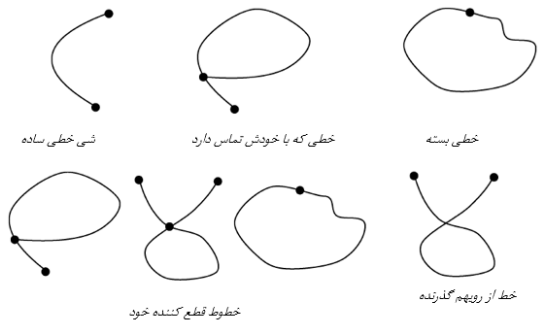
براین اساس یک چند نقطه ای پیچیده اجتماعی از تک نقاط ساده خواهد بود.

$$P = \{p_1, \ldots, p_n\} \qquad (۲)$$
$$\partial P = \varnothing$$

$$P^o = \cup_{i=1}^{n} p_i^o \qquad (۳)$$

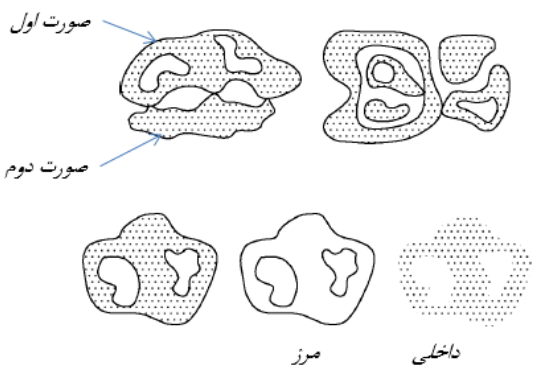
$$P^- = \mathbb{R}^2 - (\partial P \cup P^o) = \mathbb{R}^2 - P^o \qquad (۴)$$

بر اساس رابطه، داخلی چند نقطه ای حاصل اجتماع داخلی چند نقطه خواهد بود. مرز چند نقطه ای نیز تهی خواهد بود و از این رو تفاوتی بین بستار و داخلی چند نقطه ای وجود نخواهد داشت.



شکل۱- حالتهایی از اشیای پیچیده خطی

به روشی مشابه می توان اشیای خطی و سطحی پیچیده را نیز بر اساس تعریف اشیای خطی و سطحی ساده بیان نمود.[۳] شکل زیر نمونه هایی از اشیای سطحی پیچده را نمایش می دهد.



شکل۲- مثالهایی از اشیای پیچیده سطحی شامل سطوح سوراخدار و مرکب

بیان ریاضی یک سطح پیچیده سوراخدار بصورت زیر خواهد بود.

$$F = F_0 - \bigcup_{i=1}^{n} F_i^{\circ} \qquad (۵)$$

در رابطه بالا، Fi ها بیانگر صورت های تشکیل دهنده سطح اصلی و سوراخهای آن می باشند.

۴- چگونگی تشکیل روابط توپولوژیک در اشیای پیچیده

در روش ماتریس ۹ اشتراکی ایگن هوفر، به ترتیب حالت های مختلف توپولوژیک داخلی، مرز و خارجی دو شی با یکدیگر بررسی می شوند. برای مثال ماتریس زیر بیانگر حالت تقاطع دو شی سطحی ساده می باشد. برای مثال عدد ۱ به عنوان مولفه سطر دوم از ستون سوم بیان می کند که مرز شی اول با خارجی شی سوم تقاطع دارد.

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix}$$

با بررسی روابط بین اشیای پیچیده مشخص می شود تعداد حالتهای ممکن بین آنها به مراتب بیشتر از حالتهای ممکن در اشیا ساده است. [۱۱] برای مثال تعداد حالتهای ممکن بین دو سطح سوراخدار با m و n سوراخ در ماتریس نه اشتراکی برابر $2^{(n + m + 2)}$ می‌باشد. با اعمال قواعد توپولوژیک این حالتها به میزان زیر کاهش پیدا می کند. $(nm + m + n + 1)$ می توان نشان داد که تعداد حالتهای ممکن بین دو شی سطحی مرکب با m و n صورت برابر $8^{m\times n}$ است. [۱۲] بدیهی است تعداد حالتهای ممکن چندان زیاد است که می بایست به روش دیگری سعی در بررسی و تدوین آنها نمود. به بیان دیگر با توجه به اینکه تعداد حالتهای حاصل از ماتریس ۹ اشتراکی زیاد بوده و بررسی عملی تک تک آنها بسیار دشوار می نماید، می بایست روشی مناسب به منظور پیدا کردن روابط ممکن، واقعی و منطقی ناشی از آنها شکل داد.

روشی که اینجا مورد استفاده قرار می گیرد یک روش دو مرحله ای است. [۱۳] در مرحله اول به کمک یک سری قیود منطقی، اعتبار، صحت و معنی دار بودن حالتهای ناشی از ماتریس ۹ اشتراکی مورد بررسی قرار می گیرد. با کمک این مرحله می توان بسیاری از ۵۱۲ حالت ممکن را که قیود منطقی مذکور را قبول نمی کنند، حذف نمود.[۱۴] در مرحله دوم، برای حالتهای باقیمانده به کمک روشهای ترسیمی، امکان پذیری آن حالتها مورد بررسی قرار می گیرد.

در بخش اول روش مذکور یعنی اعمال قیود منطقی، باید گفت ترتیب اعمال این قیود مهم نیستند چرا که این قیود به شکل نرمال بیان شده و از سوی دیگر با اعمال تدریجی آنها بدون در نظر گرفتن ترتیب، اثرات آنها تجمعی رویهم اضافه می شوند. بدیهی است در این حالت ترتیب اعمال قوانین و قیود منطقی مهم نخواهد بود.

۴-۱- توپولوژی اشیای پیچیده نقطه ای

قیود منطقی که می توان برای چند نقطه ای ها در نظر گرفت به شرح زیرند:

۱- هر اشتراکی با مرز چند نقطه ای نتیجه اش تهی می‌شود. به بیان دیگر سطر و ستون دوم از ماتریس ۹ اشتراکی باید صفر باشد. بیان ریاضی این موضوع به شکل زیر است:

$$\forall C \in \{A^{\circ}, \partial A, A^{-}\} : C \cap \partial B = \emptyset \wedge \forall D \in \{B^{\circ}, \partial B, B^{-}\} : \partial A \cap D = \emptyset \qquad (۷)$$

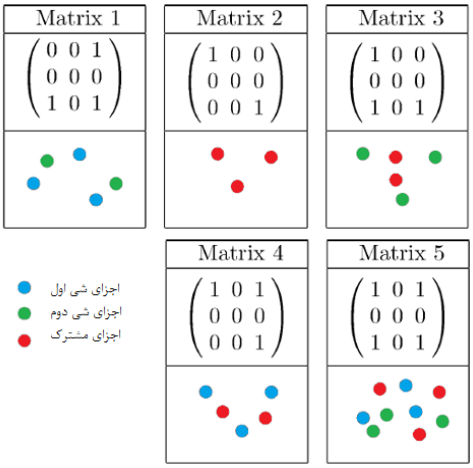
۲- همواره اشتراک خارجی دو چند نقطه ای یا نقطه ای پیچیده غیرتهی خواهد شد به بیان دیگر:

$$A^{-} \cap B^{-} \neq \emptyset \qquad (۸)$$

۳- هر بخش غیر تهی یک چند نقطه ای پیچیده حداقل یکی از بخشهای یک چند نقطه ای دیگر را قطع می کند. یعنی:

$$(\forall C \in \{A^{\circ}, A^{-}\} : C \cap B^{\circ} \neq \emptyset \vee C \cap B^{-} \neq \emptyset) \wedge (\forall D \in \{B^{\circ}, B^{-}\} : A^{\circ} \cap D \neq \emptyset \vee A^{-} \cap D \neq \emptyset) \qquad (۹)$$

با بکارگیری قیود مذکور و اعمال بخش ترسیمی، پنج حالت معنی دار باقیمانده از روابط توپولوژی دو چند نقطه ای پیچیده بصورت زیر می باشد:



شکل۳- حالتهای مختلف روابط توپولوژی در اشیای نقطه ای پیچیده

۴-۲- توپولوژی اشیای پیچیده خطی

پس از بررسی قیود و حذف قیود منطقی اضافه، قیود اصلی باقیمانده در خصوص اشیای خطی پیچیده بصورت زیر می باشند:

۱- خارجی دو شی خطی پیچیده همواره یکدیگر را قطع می کنند. به بیان ریاضی:

$$A- \cap B- \neq \emptyset \qquad (۱۰)$$

۲- داخلی یک شی خطی پیچیده، داخلی، مرز یا خارجی شی خطی پیچیده دیگر را قطع می کند. به عبارت دیگر:

$$(A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset \vee A^\circ \cap \partial B \neq \emptyset \vee A^\circ \cap B- \neq \emptyset) \wedge (A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset \vee \partial A \cap B^\circ \neq \emptyset \vee A- \cap B^\circ \neq \emptyset) \qquad (۱۱)$$

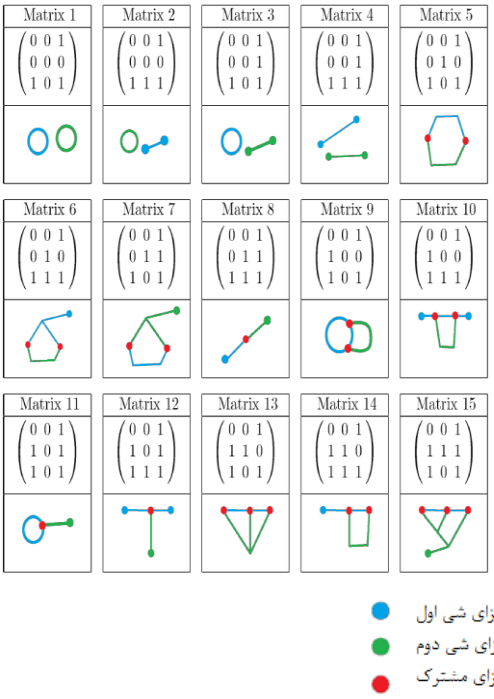
۳- اگر مرز یک شی خطی پیچیده درونی یک شی خطی پیچیده دیگر را قطع کند، خارجی آنها هم حتما درونی آنرا قطع می کند. یعنی:

$$((\partial A \cap B^\circ \neq \emptyset \Rightarrow A- \cap B^\circ \neq \emptyset) \wedge (A^\circ \cap \partial B \neq \emptyset \Rightarrow A^\circ \cap B- \neq \emptyset) \Leftrightarrow ((\partial A \cap B^\circ = \emptyset \vee A- \cap B^\circ \neq \emptyset) \wedge (A^\circ \cap \partial B = \emptyset \vee A^\circ \cap B- \neq \emptyset))) \qquad (۱۲)$$

۴- اگر مرز یک شی خطی پیچیده، خارجی یک شی دیگر را قطع کند، درونی آن نیز حتما خارجی آن شی را قطع خواهد کرد. این موضوع را می توان به شکل زیر نمایش داد:

$$((\partial A \cap B- \neq \emptyset \Rightarrow A^\circ \cap B- \neq \emptyset) \wedge (A- \cap \partial B \neq \emptyset \Rightarrow A- \cap B^\circ \neq \emptyset) \Leftrightarrow ((\partial A \cap B- = \emptyset \vee A^\circ \cap B- \neq \emptyset) \wedge (A- \cap \partial B = \emptyset \vee A- \cap B^\circ \neq \emptyset))) \qquad (۱۳)$$

بر اساس قیود بالا و پس از بررسی گرافیکی حالتهای ممکن از ماتریس نه اشتراکی، ۸۲ حالت با معنی از بین حالتهای مختلف روابط توپولوژیک دو شی خطی پیچیده باقی می ماند. تعدادی از آن حالتها به شکل (۴) می باشد.



شکل۴- نمونه ای روابط توپولوژی در اشیای پیچیده خطی

۴-۳- توپولوژی اشیای پیچیده سطحی

قیود منطقی اشیای سطحی پیچیده در مقایسه با سایر اشیا بیشترند. در ادامه آنها را بررسی می کنیم.

۱- هر یک از بخش های یک سطح پیچیده یعنی داخلی، مرز یا خارجی آن حداقل یکی از بخشهای یک شی سطحی پیچیده دیگر را قطع میکند.

$$(\forall C \in \{A^\circ, \partial A, A-\} : C \cap B^\circ \neq \emptyset \vee C \cap \partial B \neq \emptyset \vee C \cap B- \neq \emptyset) \wedge (\forall D \in \{B^\circ, \partial B, B-\} : A^\circ \cap D \neq \emptyset \vee \partial A \cap D \neq \emptyset \vee A- \cap D \neq \emptyset) \qquad (۱۴)$$

۲- نه داخلی و نه خارجی یک سطح پیچیده نمی‌توانند توسط مرز یک سطح دیگر در بر گرفته شوند. این موضوع به بیان ریاضی به شکل زیر نمایش داده می‌شود:

$$A^\circ \not\subseteq \partial B \wedge A- \not\subseteq \partial B \wedge B^\circ \not\subseteq \partial A \wedge B- \not\subseteq \partial A \Leftrightarrow (A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset \vee A^\circ \cap B- \neq \emptyset) \wedge (A- \cap B^\circ \neq \emptyset \vee A- \cap B- \neq \emptyset) \wedge (A^\circ \cap B^\circ \neq \emptyset \vee A- \cap B^\circ \neq \emptyset) \wedge (A^\circ \cap B- \neq \emptyset \vee A- \cap B- \neq \emptyset) \qquad (۱۵)$$

۳- خارجی دو سطح پیچیده همواره همدیگر را قطع می کنند . یعنی:

$$A- \cap B- \neq \emptyset \qquad (۱۶)$$

۴- مرز دو سطح پیچیده با هم برابرند اگر و فقط اگر داخلی و خارجی آن دو سطح با هم برابر باشند. به عبارت دیگر

$$(\partial A = \partial B \Leftrightarrow A_\circ = B_\circ \wedge A_- = B_-) \Leftrightarrow (c \Leftrightarrow d) \Leftrightarrow ((c \wedge d) \vee (\neg c \wedge \neg d))$$

where

$$c = A_\circ \cap \partial B = \varnothing \wedge \partial A \cap B_\circ = \varnothing \wedge \partial A \cap \partial B \neq \varnothing \wedge \partial A \cap B_- = \varnothing \wedge A_- \cap \partial B = \varnothing$$

and (۱۷)

$$d = A_\circ \cap B_\circ \neq \varnothing \wedge A_\circ \cap \partial B = \varnothing \wedge A_\circ \cap B_- = \varnothing \wedge \partial A \cap B_\circ = \varnothing \wedge A_- \cap B_\circ = \varnothing \wedge \partial A \cap B_- = \varnothing \wedge A_- \cap \partial B = \varnothing \wedge A_- \cap B_- \neq \varnothing$$

۵- اگر مرز یک سطح پیچیده داخلی سطح دیگر را قطع کند، حتما داخلی و خارجی آن نیز، داخلی سطح پیچیده را قطع خواهد کرد. این موضوع را می توان به شکل زیر بیان کرد:

$$\begin{aligned}&((\partial A \cap B_\circ \neq \varnothing \Rightarrow (A_\circ \cap B_\circ \neq \varnothing \wedge A_- \cap B_\circ \neq \varnothing))\\&\wedge (A_\circ \cap \partial B \neq \varnothing \Rightarrow (A_\circ \cap B_\circ \neq \varnothing \wedge A_\circ \cap B_- \neq \varnothing)))\\&\Leftrightarrow ((\partial A \cap B_\circ = \varnothing \vee (A_\circ \cap B_\circ \neq \varnothing \wedge A_- \cap B_\circ \neq \varnothing))\\&\wedge (A_\circ \cap \partial B = \varnothing \vee (A_\circ \cap B_\circ \neq \varnothing \wedge A_\circ \cap B_- \neq \varnothing)))\end{aligned} \tag{۱۸}$$

۶- اگر مرز یک سطح پیچیده خارجی یک سطح دیگر را قطع کند، داخلی و خارجی سطح اول، خارجی سطح دیگر را قطع می کند. به بیان دیگر:

$$\begin{aligned}&((\partial A \cap B_- \neq \varnothing \Rightarrow (A_\circ \cap B_- \neq \varnothing \wedge A_- \cap B_- \neq \varnothing))\\&\wedge (A_- \cap \partial B \neq \varnothing \Rightarrow (A_- \cap B \neq \varnothing \wedge A_- \cap B_- \neq \varnothing)))\\&\Leftrightarrow ((\partial A \cap B_- = \varnothing \vee (A_\circ \cap B_- \neq \varnothing \wedge A_- \cap B_- \neq \varnothing))\\&\wedge (A_- \cap \partial B = \varnothing \vee (A_- \cap B_\circ \neq \varnothing \wedge A_- \cap B_- \neq \varnothing)))\end{aligned} \tag{۱۹}$$

۷- یا مرزهای دو سطح پیچیده یکدیگر را قطع می‌کنند یا مرز یکی خارجی دیگری را قطع می کند. به عبارت دیگر:

$$\partial A \cap \partial B \neq \varnothing \vee \partial A \cap B_- \neq \varnothing \vee A_- \cap \partial B \neq \varnothing \tag{۲۰}$$

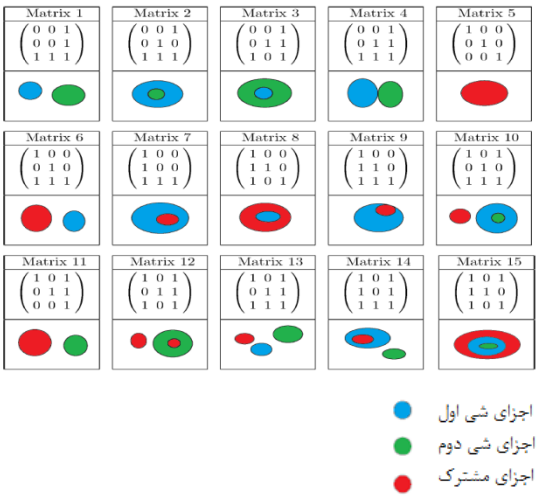
۸- اگر داخلی دو سطح پیچیده یکدیگر را قطع کنند آنگاه داخلی یکی مرز دیگری را قطع می کند یا مرز دو سطح یکدیگر را قطع می کند. یعنی:

$$\begin{aligned}&(A_\circ \cap B_\circ \neq \varnothing \Rightarrow (A_\circ \cap \partial B \neq \varnothing \vee \partial A \cap B_\circ \neq \varnothing \vee \partial A\\&\cap \partial B \neq \varnothing)) \Leftrightarrow (A_\circ \cap B_\circ = \varnothing \vee A_\circ \cap \partial B \neq \varnothing \vee \partial A\\&\cap B_\circ \neq \varnothing \vee \partial A \cap \partial B \neq \varnothing)\end{aligned} \tag{۲۱}$$

۹- اگر داخلی یک سطح پیچیده خارجی سطح دیگری را قطع کند، یا داخلی شی اول مرز شی دوم را قطع می کند یا مرز شی اولی خارجی شی دوم را قطع می‌کند یا مرز هر دو سطح با هم متقاطع خواهند شد. به بیان دیگر یعنی:

$$\begin{aligned}&((A_\circ \cap B_- \neq \varnothing \Rightarrow (A_\circ \cap \partial B \neq \varnothing \vee \partial A \cap B_- \neq \varnothing \vee \partial A\\&\cap \partial B \neq \varnothing)) \wedge (A_- \cap B_\circ \neq \varnothing \Rightarrow (\partial A\\&\cap B_\circ \neq \varnothing \vee A_- \cap \partial B \neq \varnothing \vee \partial A \cap \partial B\\&\neq \varnothing))) \Leftrightarrow ((A_\circ \cap B_- = \varnothing \vee A_\circ \cap \partial B \neq \varnothing \vee \partial A\\&\cap B_- \neq \varnothing \vee \partial A \cap \partial B \neq \varnothing) \wedge (A_- \cap B_\circ = \varnothing \vee \partial A\\&\cap B_\circ \neq \varnothing \vee A_- \cap \partial B \neq \varnothing \vee \partial A \cap \partial B \neq \varnothing))\end{aligned} \tag{۲۲}$$

پس از اعمال قیود منطقی مذکور به تمام ۵۱۲ حالت ممکن و سپس بررسی ترسیمی حالتهای ممکن، ۳۳ حالت در خصوص روابط توپولوژیکی ممکن بین دو سطح پیچیده به شکل زیر باقی می ماند.



شکل ۵- برخی از روابط توپولوژیک بین اشیای سطحی پیچیده

بخشی که ارایه شد مربوط به اشیای همسان بود. به همین ترتیب می توان اشیای غیر همسان را نیز از نظر توپولوژیک با هم بررسی کرد. جدول بعدی، نتایج تعداد حالات ممکن حاصل از توپولوژی اشیای پیچیده را نمایش می دهد.

جدول۲- تعداد حالات مختلف روابط توپولوژیک در اشیای پیچیده

	نقطه پیچیده	خط پیچیده	سطح پیچیده
نقطه پیچیده	۵	۱۴	۷
خط پیچیده	۱۴	۸۲	۴۳
سطح پیچیده	۷	۴۳	۳۳

جدول بعدی، حالات ممکن از توپولوژی اشیای ساده را نمایش می دهد.

جدول۳- تعداد حالتهای مختلف روابط توپولوژیک در اشیای ساده

	نقطه	خط	سطح
نقطه	۲	۳	۳
خط	۳	۳۳	۱۹
سطح	۳	۱۹	۸

مقایسه ساده این دو جدول نشان می دهد که در همه حالتها، تعداد حالات توپولوژیک ناشی از اشیای پیچیده به میزان قابل توجهی افزایش پیدا کرده است.

۵- تجمیع قواعد توپولوژیک

همانطور که در بخشهای اول این مقاله ذکر شد، در حوزه عملیاتی، بخشهای خاصی از توپولوژی اشیای پیچیده بکار گرفته می شود که غالبا با جزییات مطرح شده در قسمت قبلی سازگار نیست. به بیان دیگر اگر چه بیان جزییات روابط توپولوژیک از جهت نظری ضروری و اجباری است ولی در عمل کاربران معمولا با برخی از انواع آن، آنهم بصورت خلاصه شده سروکار دارند. برای مثال در خصوص شبکه های توزیع برق معمولا کارشناسان برق تفاوتی بین Overlap و Meet قایل نمی شوند. همین طور در خصوص وجود یک موتورآب در یک فضای سبز، تفاوتی بین Inside و Cover موجود نیست.

از این منظر، می باید سیستمی تدوین شود که در آن کاربر شخصا در خصوص انواع روابط توپولوژیک مورد نیاز تصمیم گیری کند. همچنین قیود منطقی نیز باید بر اساس میل کاربر انتخاب و تدوین شود. از سوی دیگر با داشتن روابط پایه، کاربر بتواند آنها را تجمیع کند. برای مثال بتواند دو رابطه Cover و Inside را با هم یکی کند.

البته باید توجه داشت حتی مهمتر از کاربر، بحث کاربردهاست. به بیان دیگر حتی زمانیکه صحبت از تمایل کاربر به میان می آید، آنچه بواقع مورد نظر است نه تمایل او بلکه نیاز در یک کاربرد خاص است. به بیان دیگر فهرست داده های مورد نیاز جهت راه اندازی سامانه جی‌آی اس یک سازمان خاص بر اساس فرایند نیازسنجی بدست آمده، ویژگی های ساختار داده مورد نیاز بویژه، توپولوژی مورد نیاز آن ساختار به خوبی شناسایی شده، و از آنجا که این توپولوژی عمدتا ساده تر از همه حالتهای ممکن است، می توان با بکارگیری سیستم مولد خودکار، توپولوژی داده ها را به سادگی تولید نمود.

حال اینکه توپولوژی تا چد حد در بخشهای مختلف یک سیستم جی آی اس مورد نیاز است که البته موضوع دیگری است. برای نمونه چه بسا بسیاری از دشوارترین محاسبات و پردازش های مکانی روی شبکه های تاسیسات را بتوان با بکارگیری یک توپولوژی ساده و مناسب، به سهولت اجرایی کرد. برای توسعه چین سیستمی می توان دو راهکار اصلی را در نظر گرفت.

اول بکارگیری قواعد تجمیع است. یعنی اینکه صرفا یک سری قواعد تجمیع ایجاد کرده و کاربر بدون آنکه نگران ترکیب و تجمیع حالات مختلف توپولوژیک یا قیود منطقی آن باشد، آزادانه از بین این قواعد تجمیع یکی را انتخاب و در ادامه آن قواعد به صورت خودکار اعمال شده، حاصل روابط توپولوژیک نمایش داده شوند.

روش دوم نیز آن است که مثل قبل، حالات مختلف توپولوژیک را در نظر گرفته، برای هر یک قیودی استخراج کرده به تمام حالتهای ممکن اعمال کنیم و برای حالات باقیمانده نیز از روش ترسیمی استفاده کنیم.

بدون تردید بکارگیری روش اول در الویت قرار می‌گیرد. چه آنکه قرار نیست کاری که از ابتدا انجام شد را دوباره انجام دهیم.

۶- ذخیره توپولوژی در پایگاه داده

پیشتر نیز عنوان شد که توپولوژی کاربردهای مختلفی را در حوزه خدمات شهری وارد می کند. تقریبا هر نوع کاربردی شامل کابردهایی که در حوزه داده ها یا محاسبات و آنالیزهای مکانی در فضای دو بعدی و یا یک بعدی شبکه های تاسیسات شهری، و یا در حوزه خروجی و گزارش گیری انجام می شود، به نوعی باید به مقادیر ذخیره شده توپولوژیک دسترسی داشته باشند.

بدیهی است که ذخیره روابط توپولوژیک در قالب فایهای دو دویی علاوه بر این که تولید و استفاده از آنها را محدود می کند، نمی تواند جوابگوی حجم بالای اطلاعات

باشد. از این رو ذخیره سازی این اطلاعات درون یک پایگاه داده ترجیحا مکانی، می تواند هم خروجی خوبی را به کلیه برنامه های کاربردی بدهد و هم مشکلات مذکور را مرتفع نماید.

از آن بیشتر، با توجه به نزدیکی خاصی که بین توپولوژی و منطق از جهات مختلف وجود دارد، با ذخیره آنها در پایگاه داده می توان اساس شکل گیری پایگاه دانش که خود کاربردهای بسیاری در حوزه های مختلف سامانه های جی آی اس را داشته، گذاشت. برای مثال استفاده از عامل های هوشمند چندی است که در بین کارشناسان حوزه جی آی است مورد توجه قرار گرفته است. بدون تردید ایجاد پایگاه دانش به عنوان هسته استنتاج یک عامل هوشمند، مهم ترین فرایندی است که مورد نظر طراحان قرار می گیرد.

در خصوص چگونگی ذخیره سازی روابط توپولوژیک در یک پایگاه داده می توان از Data Definition Language استفاده کرد. برای مثال جهت نمایش رابطه توپولوژیک دو شی می توان از عبارت زیر استفاده کرد:

Tp_lr(3)

در عبارت بالا tp بیانگر topological predicate و lr نشان می دهد که این رابطه بین دو شی Line و Region است. دست آخر شماره ۳ نیز به شماره رابطه توپولوژی در این گروه اشاره دارد.

با استفاده از این روش نه تنها می توان رابطه ها را درون یک پایگاه داده ذخیره کرد، بلکه توسعه پایگاه دانشی به منظور مثلا تجمیع قواعد توپولوژیک را هم در آن می توان در نظر گرفت. برای مثال اگر بخواهیم یک قاعده تجمیع منطقی برای رابطه توپولوژیک inside تعریف کنیم می توان به شکل زیر عمل کرد:

create tpclpred lr_inside(tp_lr(14), tp_lr(16), tp_lr(26), tp_lr(27), tp_lr(29), tp_lr(30));

با این دستور می خواهیم یک تجمیع از قواعد شماره ۳۰و۲۹و۲۷و۲۶و۱۶و۱۴ درست کنیم.

lr inside(A, B) def: tp lr(14)(A, B) ∨ tp lr(16)(A, B) ∨ tp lr(26)(A, B) ∨tp lr(27)(A, B) ∨ tp lr(29)(A, B) ∨ tp lr(30)(A, B)

در سطرهای بالا تعریف جدید خود را از این رابطه بین یک شی خطی A و یک شی سطحی B ارایه می دهیم.

حالا همین رابطه تعریف شده بر اساس قاعده تجمیعی بالا را می توانیم به شکل زیر استفاده کنیم.

SELECT rname, sname FROM rivers, province WHERE route lr_inside area

در پرس و جوی بالا، هدف استخراج نام رودخانه ها و استانی است که رودخانه ها در آنها واقع شده اند.

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

در ابتدای این مقاله عنوان شد طی سالهای اخیر در حیطه کاربردی مکانی مثلا خدمات شهری، لزوم تغییر نگرش به ساختار داده های پایه به شدت احساس شده و حتی مستقل از شکل گیری مبانی تئوریک، این روند به صورت عملی در بدنه کارشناسی شرکتهای خدمات شهری شروع شده است. گذشته از این موضوع، این نیاز در شرکتهای فعال در حوزه داده های مکانی نیز حس شده است. برای مثال هم اکنون تعریف اشیا پیچیده در ساختار داده پایگاه داده های مکانی برخی از شرکتهای تجاری وارد شده است. البته لازم به یادآوری نیست که این موضوع خیلی جلوتر در متن برنامه هایی نظیر ArcGIS وارد شده بود.

بر این اساس، لازم است به نحوی درخور نسبت به توسعه یک زبان پرس و جوی مکانی قدرتمند، با قابلیت های پایه مورد نیاز استنتاج توجه کافی و وافی شود. این موضوع نه تنها طیف گسترده ای از کاربردهای فعلی را حمایت می کند بلکه پایه و اساس شکل گیری بسیاری از کاربردهای جدید مثلا استفاده از محیط های چند عامله را نیز به شکلی جدید و موثر فراهم می کند.

نکته حائز اهیمتی که لزوم این فعالیتها را بیش از پیش نمایش می دهد آن است که چنانچه به سرعت کارشناسان این حوزه وارد عمل نشوند، فعالان در بخشهای عملیاتی و کاربردی، وابسته به نیازهای روزافزون خود شاخه هایی را گسترش می دهند که چه بسا در آینده ای نزدیک، شرکتهای توسعه دهنده نرم افزارهای مرتبط با جی آی اس، ناگزیر از پیروی از خط فکری آنها هر چند نادرست باشند. به بیان دیگر ممکن است الگویی ضعیف یا نادرست در بازار بین المللی ایجاد شود که نتوان آنرا براحتی تغییر داد.

بهرشکل چنانچه تصمیم داشته باشیم که در این حوزه وارد عمل شویم، می توان کار روی بخشهای خاصی را در الویت قرار داد.

فرمول سازی رابطه های توپولوژیک یکی از این موراد است. مثلا می توان با تکیه بر برنامه های کاربردی منطقی یا روش بکارگیری داده در پایگاه های داده، الگویی مناسب تر برای این منظور طراحی کرد. استفاده از روشهای معناشناسی شاید بتواند تا حدودی زمینه سازی مناسبی در این خصوص انجام داده ولی به نظر می رسد حتی بهتر باشد که فراتر از آن تکنیک ها و روش را به کلی تغییر داد.

سفارشی کردن فرمولهای منطقی و روابط توپولوژیک، همانطور که پیشتر نیز اشاره شد از موارد مهم می باشد. این موضوع بویژه در زمینه های کاربردی اهمیت پیدا کرده و البته ارتباطی تنگاتنگ با موضوع قبلی یعنی فرمول سازی رابطه ها و قواعد توپولوژیک دارد.

اما آنچه شاید بنا به نظر شخصی بیش از موارد ذکر شده مهم است، روش استخراج توپولوژی روی داده های واقعی است که کمتر مورد بحث قرار گرفته است. واقعیت این است که استخراج عملیاتی توپولوژی از داده ها فرایند پیچیده ای بوده که معمولا از طریق انجام پردازش های سنگین محاسباتی انجام می شود. از آنهم بدتر اینکه هر نوع رابطه توپولوژی نیاز به یک روش محاسباتی خاص داشته که متفاوت از سایر روابط است. در این خصوص توسعه الگوریتمی که با یک قالب کلی بتواند هر نوع رابطه مورد نیازی را استخراج کند، موضوع پر اهمیتی است.

دست آخر، کار روی خود قواعد توپولوژیک هم موضوع جالبی است. جدا از بکارگیری نرم افزارهای عمومی استنتاجی و منطقی نظیر Prolog ، کارشناسان مشغول به توسعه نرم افزارهایی هستند که به صورت ویژه جهت استنتاج روی روابط منطقی توپولوژیک شکل گرفته اند. نرم افزار SPAL2D نمونه ای از فعالیتهای انجام شده در این خصوص است که البته در ابتدای راه قرار دارد. بدیهی است هر حرکت موثری در این زمینه به سرعت سایر گرایشهای این بخش را نیز تحت تاثیر قرار می دهد.

مراجع

[1] ERWIG, M. AND SCHNEIDER, M“ ,Spatio-temporal predicates ”,IEEE Trans. Knowl. Dat ,pp. Eng. 14, 4, 1–42 ,2002 .

[2] G¨UTING, R. H., B¨OHLEN, M. H., ERWIG, M., JENSEN, C. S., LORENTZOS, N. A., SCHNEIDER, M“ ,A foundation for representing and querying moving objects ”,ACM Trans. Database System ,۲۵ شماره ,۱ جلد ,p. 881–901 ,2000 .

[3] SHEKAR, S. AND CHAWLA, S, Spatial Databases: A Tour. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2003 .

[4] Steven Ramage and Peter Woodsford“ ,The Benefits of Topology in the Database ”,Geocommunity, 2015.

[5] EGENHOFER, M. J. AND FRANZOSA, R. D“ ,Point-set topological spatial relations. Int. J. GeoGeograph ”, Information System ,۵ شماره ,۲ جلد ,pp. 161-174, 1990 .

[6] CUI, Z., COHN, A. G., AND RANDELL, D. A“ ,Qualitative and topological relationships ” در ,3rd International Symposium on Advances in Spatial Databases ,Berlin, Germany, 1993 .

[7] غ. فلاحی, "مطالعه و تحقیق در مورد پایگاه داده های شهری با انجام پروژه راهنما برای بخشی از شهر تهان," مرکز تحقیقات سازمان نقشه برداری کشور, تهران, ۱۳۸۵.

[8] WORBOYS, M. F. AND BOFAKOS, P“ ,A canonical model for a class of areal spatial objects ” در ,In Proceedings of the 3rd International Symposium on Advances in Spatial Databases ,.1993 .

[9] ORENSTEIN, J. A. AND MANOLA, F. A“ ,PROBE Spatial data modeling and query processing in an image database application ”,.Softw. Eng, 1988.

[10] G¨UTING, R. H. AND SCHNEIDER, M“ ,Realm-based spatial data types ”,The ROSE Algebra ,pp. 100-143, 1995 .

[11] EGENHOFER, M. J“ ,Spatial SQL: A query and presentation language ”,IEEE Trans. Knowl ,۶ شماره ,۱ جلد ,pp. 86-94, 1994 .

[12] SCHNEIDER, M“ ,A design of topological predicates for complex crisp and fuzzy regions در ”,Proceedings of the International Conference on Conceptual Modeling ,2001 .

[13] Markus Schneider, Thomas Behr“ ,Topological Relationships Between Complex Objects ”,ACM Transactions on Database Systems ,۳۱ جلد ,pp. 39-81, 2006 .

[14] M. SCHNEIDER“ ,Implementing topological predicates for complex regions در ”,International Symposium on Spatial Data Handling ,2002 .