نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی ، دوره هشتم، شماره ۲، خرداد ماه ۱۳۹۶

استخراج روابط توپولوژی سه بعدی از ابر نقاط کینکت به عنوان یک حسگر در GIS فراگستر

سید محسن موسوی*[۱]، ابوالقاسم صادقی نیارکی[۲]، علی حسینی نوه احمدآبادیان[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
sm_kh13@yahoo.com

[۲] استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
{a.sadeghi, hosseininaveh}@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۵، تاریخ تصویب بهمن ۱۳۹۵)

چکیده

استخراج روابط مکانی بین اشیاء مختلف، حاوی اطلاعاتی اساسی در ارتباط با محیط پیرامون آن‌ها است. ازجمله این روابط مکانی می‌توان به رابطه‌های جهتی مانند ("چپ"، " راست"، " بالا" و " پایین") و یا رابطه‌های مبتنی بر فاصله مانند (" دور" و یا " نزدیک") اشاره کرد. از دیگر روابط مکانی که بیشتر در سیستم اطلاعات مکانی (GIS) موردبررسی قرار می‌گیرند، روابط توپولوژی است که شامل رابطه‌هایی مانند (" درون"، " تقاطع" و یا " بیرون" و غیره) هستند. استخراج روابط توپولوژی بین عوارض به‌دست‌آمده بر مبنای روش‌های مدل‌سازی داده‌ها صورت می‌گیرد. از آنجایی‌که مدل داده‌های مورداستفاده در نسل‌های قدیمی GIS قابلیت پوشش دادن امکانات موجود در تحلیل مکانی توسط ابزارهای مورداستفاده در نسل‌های جدید GIS تحت عنوان GIS فراگستر را ندارند، به بررسی ایجاد امکاناتی برای استخراج این روابط پرداخته‌شده است. با پیشرفت فناوری‌های جدید در اخذ اطلاعات سه‌بعدی از محیط تحولی در صنعت رایانش فراگستر ایجادشده است. ابزارهای مورداستفاده برای به دست آوردن اطلاعات محیط در این نسل غالباً از حسگرهای ارزان‌قیمت تهیه می‌گردد. یکی از موارد حائز اهمیت در ارتباط با این نسل امکان استخراج روابط توپولوژی سه‌بعدی از حسگرهای مورداستفاده برای برقراری تعامل هر چه‌بهتر با محیط است. هدف این مقاله استفاده از روش‌هایی برای ایجاد امکان استخراج روابط توپولوژی توسط حسگرهای مورداستفاده در رایانش فراگستر است. روش مورداستفاده در این مقاله استفاده از الگوریتم bounding box برای استخراج اطلاعات هر شئ در سه بعد عمق، طول و عرض است. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی داده‌های تهیه‌شده توسط حسگر کینکت، بیانگر امکان استخراج اطلاعات توپولوژی از ابزارهای هوشمند مبتنی بر نسل GIS فراگستر است.

واژگان کلیدی: نسل GIS فراگستر، استخراج روابط توپولوژی، bounding box، حسگر کینکت

* نویسنده رابط

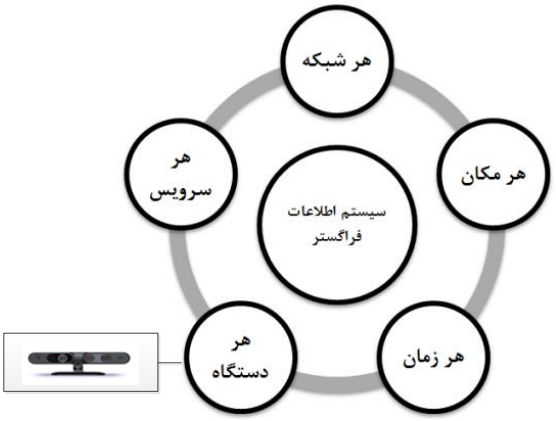
۱- مقدمه

امروزه فناوری اطلاعات (IT[۱]) با تغییر سبک گذشته‌ی خود که منحصر به ایجاد تعامل بین کاربران و محیط در محدوده‌ی کامپیوتر می‌شد، بستر جدیدی برای تعامل هر چه بیشتر افراد با محیط پیرامون خود از طریق قرار دادن کامپیوترهای مختلف در محیط‌های گوناگون مبتنی بر رایانش فراگستر[۲] فراهم کرده است. با روی کار آمدن این سیستم ها، الگوهای کلاسیک مورداستفاده جای خود را به الگوهای مدرن وابسته به فنّاوری‌های پایش از راه دور، شبکه‌های بی‌سیم و غیره داده‌اند تا متناسب با شرایط و نیاز کاربر قابلیت سرویس‌دهی در هر مکان و هر زمانی را داشته باشند.

با پیشرفت فنّاوری‌های جدید در اخذ اطلاعات سه‌بعدی از محیط، تحولی در صنعت رایانش فراگستر ایجادشده است که قابلیت‌های آن را دوچندان می‌کند. یکی از این فنّاوری‌ها استفاده از حسگر هوشمند کینکت است که قابلیت اخذ اطلاعات سه‌بعدی را در هر مکان و هر زمان به کاربر می‌دهد. یکی از ملزومات موردنظر در نسل‌های جدید سیستم اطلاعات مکانی تحت عنوان نسل 3D GIS فراگستر، بهره‌برداری از قابلیت‌های رایانش فراگستر در استخراج روابط توپولوژی برای مدیریت داده‌های مکانی در راستای اجرای کاربردهای مربوط به این حوزه است.

یکی از ویژگی‌های مهم اشیاء مکانی، روابط توپولوژی بین آن‌ها تلقی می‌گردد؛ که ازجمله فرضیات لازم برای انجام آنالیزهای مکانی و پردازش‌های جستار مبنا[۳] به‌حساب می‌آید. ازآنجایی‌که اطلاعات توسط حسگر کینکت در قالب ابر نقاط سه‌بعدی تهیه می‌گردد امکان استخراج روابط مکانی سه‌بعدی ایجاد می‌شود. رویکردهای مرتبط با آنالیزهای مکانی برای اجرای گزاره‌های توپولوژی بر مبنای مدل‌های از پیش تعریف‌شده صورت می‌گیرد که طی فرآیند مدل‌سازی اشیاء انجام می‌شود. مدل داده‌های مورداستفاده در نسل‌های قدیم GIS دارای محدودیت‌هایی هم چون عدم تعامل‌پذیری بالا بین کاربر و محیط، عدم نمایش سه‌بعدی اشیاء به‌دست‌آمده از محیط و هم‌چنین ناسازگاری اشیاء با پیش‌فرض‌های استفاده‌شده هستند. در این مقاله روابط توپولوژی از حسگر کینکت به‌عنوان یک حسگر مورداستفاده در رایانش فراگستر برای افزایش تعامل‌پذیری کاربر با محیط و اخذ اطلاعات سه‌بعدی موردبررسی قرار خواهد گرفت.

نسل جدیدی از سیستم اطلاعات مکانی، نسل 3D GIS فراگستر است که در این نسل قابلیت سرویس‌دهی به هر کاربر، در هر زمان و مکانی با استفاده از هر حسگری فراهم می‌شود. در این نسل با استفاده از فناوری‌های مختلف در قالب حسگرهای گوناگون قابلیت تعامل‌پذیری کاربر با محیط پیرامون افزایش پیدا می‌کند. اجزای مورداستفاده در این نسل در (شکل۱) نمایش داده‌شده است. ازآنجایی‌که برای استخراج روابط توپولوژی در این مقاله از حسگر کینکت استفاده‌شده است، به‌جای قابلیت " هر دستگاه" از حسگر کینکت به‌عنوان یک حسگر انتخابی برای اخذ اطلاعات سه‌بعدی استفاده‌شده است.



شکل۱- اجزای به‌کاررفته در سیستم اطلاعات فراگستر

برای استخراج انواع رابطه‌های مکانی، دسته‌بندی‌های مختلفی صورت می‌گیرد که در هرکدام از این دسته‌بندی‌ها گروه‌های متفاوتی مورداستفاده قرار می‌گیرد. در هرکدام از این گروه‌ها جنبه‌های مختلفی از مکان حائز اهمیت است. روابط مکانی ازنقطه‌نظر جهت، فاصله و توپولوژی قابل‌بررسی و مطالعه می‌باشند. برای نمونه در ارتباط با رابطه‌ی مکانی جهتی می‌توان به این بیان اشاره کرد که " شئ اول در جلوی شئ دوم قرارگرفته است". عبارت " در جلو" بیانگر رابطه‌ی مکانی جهتی است؛ و یا در ارتباط با رابطه‌ی مکانی در حوزه‌ی فاصله می‌توان گفت که: " شئ اول یک متر جلوتر از شئ دوم است". این بیان نیز به‌نوبه‌ی خود حاوی اطلاعاتی از قبیل کمیت فاصله است. در ارتباط با رابطه‌ی مکانی توپولوژی مبنا می‌توان بیان کرد که: " شئ اول با شئ دوم تماس دارد."

---
۱ Information Technology
۲ Ubiquitous computing
۳ Query-based processing

در فضاهای دوبعدی، هستنده های مکانی موردنظر به‌صورت دوبعدی در نظر گرفته می‌شوند و اساساً به‌صورت نقاط و یا مناطق دوبعدی که مبتنی بر رویکردهای بردار مبنا می‌باشند، نمایش داده می‌شوند؛ اما در ارتباط با فضاهای سه‌بعدی نیاز است تا با بهره‌گیری از روش‌های مدل‌سازی سه‌بعدی مبتنی بر پیش‌فرض‌های سه‌بعدی، مدل‌سازی هستنده ها صورت بگیرد. استخراج روابط مکانی از داده‌های سه‌بعدی به‌مراتب پیچیده‌تر از داده‌های دوبعدی است به این دلیل که روابط مرتبط با بعد سوم نیز به مجموع روابط اضافه خواهد شد. در این مقاله با بهره‌گیری از حسگر کینکت ابر نقاط سه‌بعدی از محیط فراهم می‌گردد که امکان استخراج روابط توپولوژی سه‌بعدی را برای کاربر فراهم می‌سازد.

لحاظ کردن قیود مکانی به‌عنوان یک موضوع اصلی، کمک به درک درستی از روابط مکانی در محیط می‌کند. در سال ۲۰۰۰ شخصی به نام Waller در ارتباط با مطالعه‌ی یادگیری کجایی افراد، روابط مکانی را به دو گروه متریک و غیر متریک طبقه‌بندی کرد [۱]. هدف اصلی او از این کار استخراج روابط مشترک بین این دو گروه بود. در روابط متریک که بر پایه‌ی فاصله و زاویه استوار بودند استخراج روابط مکانی وابسته به اطلاعاتی از قبیل مختصات دو شئ و همچنین زاویه‌ی بین آن‌ها محدود می‌شد. درحالی‌که در روابط غیر متریک بیشتر به اطلاعاتی از قبیل همسایگی‌های و جهت‌های بیان‌شده در گروه توپولوژی و گروه جهتی محدود می‌گردید. نتایج به‌دست‌آمده از این تقسیم‌بندی حاکی از اهمیت روش‌های غیر متریک برای درک کجایی کاربر در مکان‌های مختلف بود، ازاین‌رو در سال‌های بعد بر روی روابط غیر متریک بیشتر تمرکز شد.

در سال ۲۰۰۴ شخصی به نام Cockcroft قیود مکانی را به دو گروه قیود ثابت و قیود پویا تقسیم‌بندی کرد [۲]. قیود ثابت به قیودی تعلق می‌گرفت که به مرور زمان تغییر نکرده و ثابت بودند مانند اینکه نمی‌شود بیان کرد صندلی در هوا معلق است. درحالی‌که قیود پویا امکان تغییر کردن ازنقطه‌نظر مکانی را دارند. برای نمونه روابط مکانی مرتبط با فاصله برای دو شئ مختلف در مکان‌های متفاوت ثابت نیست. با توجه به قیود ثابت، این شخص تمایزی بین قیود توپولوژی، معنایی و قوانین تعریف‌شده توسط کاربر ارائه کرده است. در این حالت قیود توپولوژی مرتبط با ویژگی‌های هندسی تعریف می‌شوند برای نمونه اینکه پلی گون باید بسته باشد. در ارتباط با قیود معنایی، متناسب با معنای مفهوم بیان می‌شود. برای نمونه اینکه جاده نمی‌تواند داخل دریاچه قرار بگیرد؛ و در مورد قوانین تعریف‌شده توسط کاربر نیز امکان بررسی قیود مکانی موجود است.

Louwsma در سال ۲۰۰۶ با اضافه کردن تعدادی معیار به قیود بیان‌شده توسط Cockroft، تقسیم‌بندی قیود مکانی را کامل‌تر و جامع‌تر نمود [۳]. ازجمله معیارهای مورد استفاده توسط او، بیان تعداد اشیاء، کلاس‌ها و یا صفات مورد مقایسه برای استخراج روابط مکانی می‌باشد. معیار دیگر نوع رابطه‌ی مکانی مورد بررسی برای استخراج روابط می‌باشد. برای نمونه رابطه‌ی توپولوژی و یا رابطه‌ی فاصله. از طرف دیگر ابعاد موردنظر را نیز به این معیارها اضافه کرد.

متناسب با روش‌های تقسیم‌بندی ارائه شده برای روابط مکانی، با استفاده از حسگر کینکت قابلیت اخذ اطلاعات سه‌بعدی در قالب ابر نقاط از محیط فراهم گردیده است. پس از اخذ اطلاعات با بهره‌گیری از الگوریتم‌های قطعه‌بندی مناسب اشیاء موجود در محیط استخراج‌شده و پس از آن روابط توپولوژی موردبررسی قرار گرفته است.

هدف این مقاله استخراج روابط توپولوژی سه‌بعدی با استفاده از حسگر کینکت به‌عنوان یک حسگر مورد استفاده در رایانش فراگستر، در راستای ایجاد امکاناتی برای تحلیل‌های مکانی در مدل داده‌های فراگستر است. استفاده از یک مدل داده‌های فراگستر نسبت به مدل داده‌های سنتی مورد استفاده در سیستم اطلاعات مکانی نسل‌های قبلی، امکان استخراج روابط مکانی را در هر زمان و مکان با استفاده از هر وسیله در قالب سرویس‌های مختلف را فراهم می‌سازد. در بخش پیشینه‌ی تحقیق مدل داده‌های مختلف مورد استفاده در نسل‌های قبلی و نسل‌های اخیر سیستم اطلاعات مکانی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در بخش چهارم به بیان روش ارائه شده در این مقاله برای استخراج روابط توپولوژی پرداخته شده است؛ و در نهایت در قسمت مرتبط با پیاده‌سازی نتایج به دست آمده از استخراج روابط توپولوژی مورد نظر نمایش داده خواهد شد.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

در توپولوژی ریاضی[۱] دو شاخه‌ی مرتبط با فعالیت‌های سه‌بعدی در GIS، به دو گروه توپولوژی جبری[۲] [۴ و ۵] و

۱ Mathematical topology
۲ Algebraic topology

مجموعه نقاط[۱] [۶،۷ و ۸] تقسیم‌بندی می‌گردد. برای انجام تحلیل‌های مکانی از اطلاعات به دست آمده از روش‌های توپولوژی جبری و توپولوژی مجموعه نقاط در این زمینه استفاده می‌گردد.

در راستای پیاده‌سازی روش‌های جبری و مجموعه نقاط نیاز است تا از روش‌های مدل‌سازی مبتنی بر مدل داده‌های استفاده شده برای داده‌ها استفاده گردد. مدل داده‌های سنتی با در نظر گرفتن تعدادی کلاس و بیان قوانینی بین این کلاس‌ها امکان استخراج روابط مکانی را فراهم می‌سازند. برای بیان بیشتر در این زمینه در ادامه به بررسی جزئیات آن پرداخته شده است.

در ارتباط با مدل داده‌های فراگستر علاوه به مطالب بیان شده برای مدل داده‌های سنتی، قابلیت‌هایی نظیر استفاده از حسگرهای هوشمند برای ارتقای تعامل بین محیط و کاربر در راستای استخراج روابط مکانی و هم‌چنین نمایش سه‌بعدی شئ مورد نظر نیز در نظر گرفته می‌شود. بستر کلی این حسگرهای هوشمند در قالب سرویس‌دهی زمینه آگاهی[۲] در بخش مربوطه به پیشینه‌ی تحقیق مورد بررسی و مطالعه قرار خواهند گرفت.

۲-۱- مدل داده‌های سنتی

در این قسمت از مقاله، به خلاصه‌ای از مدل داده‌های سه‌بعدی برای استخراج روابط توپولوژی پرداخته خواهد شد. اجتماع سلول‌ها[۳] شامل چهار پیش‌فرض به‌صورت گره، لبه، سطح و جسم سه‌بعدی هستند که به ترتیب از صفر-سلول تا سه-سلول را تشکیل می‌دهند. تمامی مدل داده‌های توپولوژی بیان‌شده در این مقاله مبتنی بر اجتماع سلول‌ها ایجاد گشته‌اند. تفاوت این مدل داده‌ها در ابعاد فضای مورد استفاده، ابعاد سلول‌های مورداستفاده (یک‌بعدی، دوبعدی یا سه‌بعدی)، شکل هندسی سلول‌های مورد استفاده (مثلث و یا چندوجهی) و یا اینکه آیا این سلول‌ها به صورت ضمنی و یا صریح مدل‌سازی شده‌اند، خلاصه می‌گردد.

خلاصه‌ای از مدل داده‌های توپولوژیکی در ارتباط با GIS در مقاله‌ی Zlatanova مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۹]. این در حالی است که ملزومات لازم و هم‌چنین مجموعه کاربردهای این مدل داده‌ها توسط Ellul و Haklay در مقاله‌ی [۱۰] پوشش داده شده‌اند.

اولین ساختار داده در سال ۱۹۹۰ توسط Molenaar با عنوان ساختار داده‌ی رسمی[۴] ارائه گردید؛ که مدل مفهومی این ساختار داده شامل ۱۲ قانون برای ارتباط بین اشیاء مورد نظر در نظر گرفته شده بود [۱۱]. ساختار داده‌ی رسمی حاوی سه لایه‌ی اصلی است که عبارت‌اند از عارضه (کلاس موردنظر)، چهار المان اصلی با عنوان‌های نقطه، خط، سطح و حجم و در نهایت از چهار پیش‌فرض[۵] مانند گره، آرک، وجه و لبه؛ که روابط بین این المان‌ها متناسب با استانداردهای تعریف شده متفاوت می‌باشند. برای مثال برای نمایش نقاط منفرد و نقاط متقاطع از گره استفاده شده است؛ و یا اینکه بین دو گره بیش از یک لبه تعریف نمی‌شود؛ و از طرف دیگر برای نمایش ارتباط بین دو المان متفاوت مانند رابطه‌ی وجه-آرک[۶] که بیانگر مرز وجه موردنظر است، از لبه استفاده می‌گردد. در سال ۱۹۹۳ Rikkers ساختار داده‌ی رسمی ارائه شده توسط Molenaar را به ساختار رابطه‌ای[۷] تبدیل کرد [۱۲].

از جمله کاربردهای مورد نظر ساختار داده‌ی رسمی می‌توان به بصری سازی مدل‌های سه‌بعدی شهر توسط Shibasaki و Shaobo در سال ۱۹۹۲ اشاره کرد [۱۳]. در سال ۱۹۹۳ Hoop از ماتریس ۹-اشتراکی برای استخراج روابط موجود در این ساختار داده استفاده کرد [۱۴]؛ و از طرفی در سال ۱۹۹۸، Gruen و Wang با لحاظ کردن اطلاعاتی نظیر بافت در این مدل داده به ذخیره‌سازی اشیاء بازسازی شده پرداختند [۱۵].

یکی دیگر از مدل داده‌های مورد استفاده در این زمینه که تا حدودی بر مشکلات مدل ساختار داده‌ی رسمی غلبه می‌کند، مدل معروف TEN[۸] است [۱۶]. این مدل بر مبنای سیمپلکس‌ها[۹] که به‌عنوان پیش‌فرض در مدل‌سازی استفاده می‌شوند، تعریف می‌گردد. ازاین‌رو پیش‌فرض‌ها در این نوع مدل‌سازی بر مبنای گره، آرک، مثلث و چهارضلعی[۱۰] بنا شده است. در راستای بیان ارتباط بین المان‌های مورد نظر از جداول مرتبط در پیاده‌سازی

۱ Point-set topology
۲ Context-awareness
۳ Cell complex

٤ Formal Data Structure(FDS)
٥ primitives
٦ Face-arc
٧ relational
٨ Tetrahedral Network
٩ simplex
١٠ tetrahedron

رابطه‌ای مدل استفاده می‌شود. برای نمونه جدول مثلثی شامل ارتباط بین چهارضلعی، مثلث و لبه است.

یکی دیگر از مدل‌های مورد استفاده در زمینه‌ی پوشش دادن جستارهای بصری تحت وب در سال ۲۰۰۰ توسط Zlatanova با عنوان مدل مکانی ساده‌شده[۱] بیان شد [۱۷]. پیش‌فرض‌های مورد استفاده در این روش مدل‌سازی از چهار نوع به دو نوع گره و وجه تقلیل یافته است. علت حذف آرک در این مدل‌سازی حفظ یکتایی رابطه‌ی وجه- آرک است. به بیان دیگر رابطه‌ی بین وجه و آرک باید به‌صورت یک به چند باشد نه به‌صورت چند به چند.

مدل منشوری[۲] یکی دیگر از روش‌های مدل‌سازی سه‌بعدی مکانی است که علاوه بر مدل‌های مثلثی از مدل‌های پلی گونی نیز استفاده می‌کند [۱۸]. در این روش مدل‌سازی از فن انبساط[۳] برای نمایش سه‌بعدی اشیاء، استفاده می‌شود؛ که این تکنیک شامل سه حالت مختلف برای انبساط نقاط، منحنی‌ها و سطوح است. طراحی مدل هندسی منشوری بر مبنای مدل SFG[۴] که از استاندارد OGC[۵] تبعیت می‌کند تعریف می‌شود. حالت توسعه‌یافته‌ی مدل منشوری مدل GTP[۶] است [۱۹]. غالباً از این مدل در کاربردهای مدل‌سازی علوم زمینی استفاده می‌شود.

۲-۲- مدل داده‌های فراگستر

دسترسی به اطلاعات و سرویس‌های مکانی در هر مکان و هر زمان، با بهره‌گیری از زیرساخت‌های قابل‌اطمینان و فناوری‌های پردازش کننده، بستری برای سرویس‌دهی در زمینه‌ی GIS فراگستر را فراهم می‌سازد. یکی از مناسب‌ترین محیط‌های مورد نظر برای انجام تحلیل‌های مکانی فراگستر، محیط رایانش فراگستر است. مارک وایزر، نامرئی بودن رایانه‌ها و ابزار محاسباتی را در فضاهای فراگستر مطرح می‌نماید و به گفته‌ی او " عمیق‌ترین فناوری‌ها پنهان‌ترین آن‌ها هستند" [۲۰]. در این‌گونه محیط‌های فراگستر که مملو از حسگرهای هوشمند مختلف می‌باشند می‌توان با استفاده از هوش محاسباتی[۷] در ارتباط با کاربران و اشیاء موجود در محیط، فراتر ازاین‌گونه قابلیت‌ها در سخت‌افزارها روابط مورد نظر را استخراج نمود [۲۱]. ازاین‌رو برای بهره‌گیری از ابزارهای هوشمند در این‌گونه محیط‌های فراگستر نیاز به لحاظ کردن مدل‌های موافق با محیط‌های مورداستفاده است، به‌بیان‌دیگر نیاز است مدل‌های مورد استفاده درگذشته متناسب با قابلیت‌های رایانش فراگستر تغییر نمایند که توانایی‌هایی از قبیل برقراری ارتباط، استنتاج، درک و انجام فعالیت موردنظر در محیط‌های فراگستر را داشته باشند. این مدل‌های جدید در فضاهای رایانش فراگستر تحت عنوان " فضاهای هوشمند[۸]" مطرح می‌گردند.

طبق نظر Ma [۲۱] فضاهای هوشمند، فضاهایی هستند که چندین مرتبه از ادراک، شناخت، آنالیز و استنتاج از حضور کاربر و اشیاء پیرامون را پوشش دهند. ازآنجایی که هدف ما در این قسمت بررسی مدل داده‌های فراگستر برای پشتیبانی از قابلیت‌های فراگستر می‌باشد، نیاز است تا به ملزومات مورد نظر در این زمینه بپردازیم.

ازجمله ملزومات اساسی در رایانش فراگستر برای رسیدن به یک مدل داده‌ی ایده آل توانایی درک کجایی کاربران و اشیاء پیرامون و چیستی شئ های موجود در محیط و همچنین تنوع سرویس‌های موردنظر است [۲۲]. این قابلیت‌ها تحت عنوان زمینه آگاهی در فنّاوری‌های فراگستر مطرح می‌شوند [۲۳ و ۲۴] که زمینه‌ی مورد مطالعه را از جنبه‌های مختلف مانند ملاحظات زمانی، مکانی، محاسباتی و کاربری بررسی می‌کنند.

به‌طور کلی مدل داده‌های فراگستر بدون لحاظ کردن قابلیت زمینه آگاهی به یک مدل داده‌های سنتی، قابل پیاده‌سازی نیست. یکی از مدل داده‌های فراگستر در راستای استخراج روابط توپولوژی و معنایی[۹] از اجزای ساختمان تحت عنوان USIM[۱۰] است [۲۵]. معماری مورد استفاده در این سیستم مبتنی بر ملزومات لازم با لایه‌های مرتبط با زمینه آگاهی ایجاد شده است. هدف اصلی این مدل داده‌ی فراگستر سازگاری این مدل با مدل داده‌های معروف مانند BIM[۱۱] است. از این‌رو امکان اشتراک‌گذاری و به‌روز کردن مدل داده‌ی موردنظر، متناسب با استانداردهای IFC[۱۲] مطرح است.

۱ Simplified Spatial Model(SSM)
۲ Prism model
۳ extrusion
٤ Specification for geographic information
٥ Open Geospatial Consortium
٦ Generalized tri-prism
۷ Computational intelligence

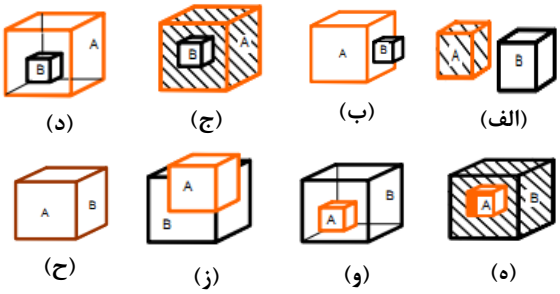
۸ Smart Spaces
۹ semantic
۱۰ Ubiquitous Space Information Model
۱۱ Building Information Model
۱۲ Industry Foundation Classes

مدل داده‌ی فراگستری جهت نمایش اشیاء مختلف در مقاله [۲۶] مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله با بیان پیچیدگی‌ها و گستردگی‌های موجود در جهان سه‌بعدی، مدل داده‌های GIS سنتی را در برقراری تعامل با محیط، ناسازگار و ناقص قلمداد کرده است. از این رو در این مقاله مدلی تحت عنوان" مدل دانش مبنای فراگستر نمایش داده"، (UKRM)[۱] ارائه شده است. ساختار این مدل از نمایش‌های گوناگون مانند نمایش مرزها، نمایش پارامتریک و تابعی و همچنین نمایش هندسی پشتیبانی می‌کند. به بیان دیگر با ارائه‌ی این مدل قابلیت نمایش جهان پیچیده‌ی سه‌بعدی با بیان یک مدل فراگستر توسعه داده‌شده است.

۳- چارچوب‌های مدل‌سازی روابط توپولوژی

از آنجایی که توپولوژی یکی از ویژگی‌های مهم فضای مکانی به شمار می‌رود، روابط مورد نظر نیز در این فضا استخراج می‌شوند. روابط توپولوژی در طی تغییرات توپولوژیکی همچون دوران، تغییر مقیاس و یا جابه‌جایی بدون تغییر باقی می‌مانند و روابط خود را حفظ می‌کنند. دو رویکرد اساسی برای مدل‌سازی روابط توپولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به محاسبه‌ی منطقه‌ی ارتباطی (RCC)[۲] که توسط Randell در سال ۱۹۹۲ صورت گرفت [۲۷] اشاره کرد. از طرف دیگر روش استفاده از مدل ۹- اشتراکی توسط Egenhofer در سال ۱۹۹۱ مطرح گردیده است [۲۸]. بر مبنای سطوح مختلف ارتباطی بین دو منطقه‌ی موردنظر مدل RCC با تعریف هشت رابطه‌ی پوشش‌دهنده که عبارت‌اند از: " عدم اتصال[۳]"، " اتصال از خارج[۴]"، " اشتراک جزئی[۵]"، " مماس بودن[۶]"، " مماس بودن معکوس[۷]"، " عدم مماس بودن[۸]"، " عدم مماس بودن معکوس[۹]" و در نهایت رابطه‌ی " برابری[۱۰]" که هشت رابطه‌ی تعریف شده توسط مدل RCC-8 را تشکیل می‌دهند.

متعاقباً برای مدل‌سازی روابط توپولوژی، Egenhofer با ارائه‌ی یک ماتریس ۳*۳ که مبتنی بر پوشش دادن ۹ حالت مختلف اشتراکی بین مناطق موردنظر است، مدل ۹- اشتراکی را مطرح کرد. در این مدل مناطق داخلی ($^{\circ}$)، مناطق خارجی (—) و مناطق مرزی (∂) مدل‌سازی شده و ارتباط اشتراکی این مناطق با استفاده از حالت باینری صفر و یک در ماتریس موردنظر قرار داده می‌شوند. از این رو با مدل‌سازی مناطق داخلی، خارجی و مرزی امکان استخراج روابط مختلف بین دو شئ مورد نظر استخراج می‌گردد. روابط بیان شده عبارت‌اند از: " انفصال[۱۱]"، " تماس[۱۲]"، " اشتراک[۱۳]"، " درون[۱۴]"، " پوشش با[۱۵]"، "شمول[۱۶]"، " پوشش[۱۷]" و " برابری[۱۸]" که متناسب با مدل‌سازی RCC-8 صورت می‌گیرد. از جمله کاربردهای اخیر این مدل توسط Zlatanova در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۴ برای بررسی تعداد روابط توپولوژیکی میان چهار نوع داده‌ی مختلف از قبیل نقطه، خط، سطح و حجم در فضای سه‌بعدی مورد استفاده قرار گرفته است [۲۹]. به‌عنوان نتیجه ۶۹ رابطه‌ی مکانی که امکان وجود دارند، بین این نوع داده‌ها استخراج گردیده شده است.



شکل۲- استفاده از مدل ۹- اشتراکی برای روابط ممکن بین دو شئ سه‌بعدی؛ الف- رابطه‌ی انفصال؛ ب- رابطه‌ی تماس؛ ج- رابطه‌ی شمول؛ د- رابطه‌ی پوشش؛ ه- رابطه‌ی درونی؛ و- رابطه‌ی پوشش با؛ ز- رابطه‌ی اشتراک؛ ح- رابطه‌ی برابری

۴- روش ارائه‌شده در این مقاله

از آنجایی که هدف این مقاله استخراج روابط توپولوژی از ابر نقاط کینکت به‌عنوان یک حسگر هوشمند در نسل GIS فراگستر است. در ابتدا به دنبال اخذ داده‌های مناسب در قالب عمق و رنگ از حسگر کینکت، امکان برداشت اطلاعات از محیط فراهم گردیده است. سپس با بهره‌گیری

۱ Ubiquitous Knowledgeble Data Representation Model
۲ Region Connection Calculus (RCC)
۳ Disconnected(DC)
۴ externally connected(EC)
۵ partially overlap
۶ tangential proper part(TPP)
۷ tangential proper part inverse(TPP-1)
۸ None- tangential proper part (NTPP)
۹ tangential proper part inverse (NTPP-1)
۱۰ Equal (EC)

۱۱ disjoint
۱۲ meet
۱۳ overlap
۱۴ inside
۱۵ Covered by
۱۶ contain
۱۷ cover
۱۸ equal

از کتاب‌خانه‌ی ابر نقاط[۱] و کد نویسی با زبان جاوا امکان دریافت ابر نقاط به‌دست‌آمده از کینکت در قالب فرمت pcd فراهم شده است.

پس از آن با استفاده از روش‌های مختلف قطعه‌بندی، روش مناسب برای قطعه‌بندی ابر نقاط به‌دست‌آمده متناسب با رابطه‌ی مکانی موردنظر انتخاب شده است؛ و در انتها با محاسبه‌ی اطلاعات به‌دست‌آمده از bounding box برای اشیاء قطعه‌بندی شده در محدوده‌ی عمق، طول و عرض، امکان استخراج روابط توپولوژی صورت گرفته است.

با ایجاد یک واسطه‌ی گرافیکی در زبان جاوا امکان بهره‌گیری از تصاویر عمق و رنگ ایجاد شده توسط حسگر کینکت فراهم شده است. کتاب‌خانه‌ی PCL ساختاری برای نمایش مجموعه‌ای از نقاط سه‌بعدی فراهم می‌سازد که این ساختار بیان‌کننده‌ی مختصات و داده‌هایی از قبیل اطلاعات رادیومتریکی، مقدار شدت و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. PCL شامل یکسری ماژول‌های کتاب‌خانه‌ای c++ است که هرکدام از آن‌ها حاوی اطلاعاتی برای پردازش و نمایش ابر نقاط هستند. با بهره‌گیری از کتاب‌خانه‌ی PCL امکان اخذ اطلاعات سه‌بعدی از حسگر کینکت ایجاد می‌گردد. پس از اخذ ابر نقاط به دلیل بالا بودن حجم نقاط نیاز است تا با استفاده از فیلترهایی حجم نقاط کاهش داده شود تا سرعت پردازش بالا رود. از این رو از فیلتر voxelGrid استفاده شده است.

یکی از ماژول‌های مورد استفاده در این کتاب‌خانه، ماژول قطعه‌بندی است؛ که امکان طبقه‌بندی ابر نقاط در قالب اشیاء مختلف را فراهم می‌سازد. از آن جایی که برای انجام قطعه‌بندی نیاز است تا ابر نقاط فراهم گردد. با بهره‌گیری از کتاب‌خانه‌ی PCL فایلی مبتنی بر ابر نقاط دریافت شده توسط کینکت در قالب pcd ایجاد گردیده است.

در این مقاله از روش قطعه‌بندی اقلیدسی برای خوشه‌بندی اشیاء استفاده‌شده است. اساس این روش قطعه‌بندی بر مبنای تقسیم‌بندی فضایی و در نظر گرفتن یک آستانه به‌عنوان فاصله‌ی بین نقاط هر خوشه است. روش جست‌وجوی ابر نقاط با استفاده از الگوریتم درختی[۲] برنامه‌نویسی شده است. روش ارائه‌شده در این مقاله پس از اخذ اطلاعات ابر نقاط و قطعه‌بندی آن‌ها به اشیاء موردنظر، با بهره‌گیری از الگوریتم bounding box به استخراج محدوده‌ی هر شئ در عمق، طول و عرض می‌پردازد؛ و درنهایت روابط توپولوژی را استخراج می‌کند.

این الگوریتم امکان بررسی روابط مکانی در جهات مختلف (عمق، طول و عرض) را به وسیله‌ی اشتراک این محدوده‌ها فراهم می‌سازد؛ و در نهایت با بیان یک بردار سه‌تایی نوع رابطه‌ی توپولوژی بین اشیاء را بیان می‌کند. ازجمله مزیت این عملگر نسبت به مدل‌های معروفی همچون مدل ۹- اشتراکی قابلیت پوشش دادن روابط در جهات سه‌گانه برای توسعه‌ی آنالیزهای مکانی می‌باشد.

۵- پیاده‌سازی

برای استخراج روابط توپولوژی از ابر نقاط به دست آمده از کینکت، پس از قطعه‌بندی اشیاء موجود در ابر نقاط با استفاده از یک روش مناسب، نوبت به تعیین محدوده‌ی هر شئ با استفاده از bounding box می‌رسد. استفاده از bounding box امکان تعیین محدوده‌های عرض، طول و عمق شئ را در قالب اعداد کمی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. با استفاده از این اعداد قابلیت تعیین روابط توپولوژی بین اشیاء توسط یک بردار سه‌تایی که شامل اشتراک محدوده‌های مشترک به صورت صفر و یکی (در صورت وجود اشتراک عدد یک و در غیر این صورت عدد صفر) است، صورت می‌گیرد (رابطه‌ی۱). ازجمله مزیت‌های دیگر استفاده از bounding box تسهیل کردن محاسبات لازم مرتبط با شئ و تسریع در استخراج روابط توپولوژی است. در رابطه‌ی (۱) اشتراک قسمت مربوط به عمق هر شئ به‌صورت $Z_1 \cap Z_2$ ، اشتراک قسمت مربوط به طول به‌صورت $X_1 \cap X_2$ و در ارتباط با اشتراک محدوده‌ی عرض به‌صورت $Y_1 \cap Y_2$ نمایش داده‌شده است.

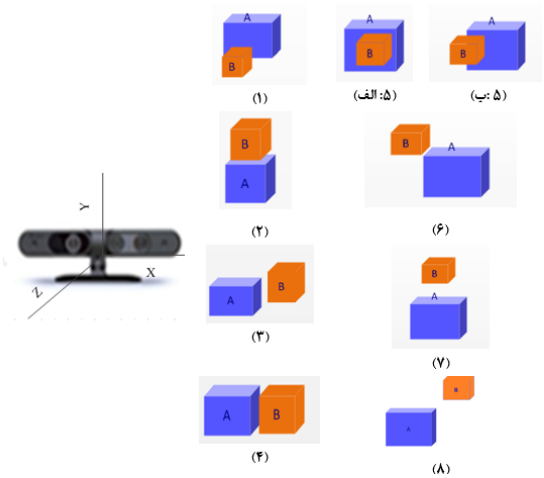
$$[Z_1 \cap Z_2 \quad X_1 \cap X_2 \quad Y_1 \cap Y_2] \qquad (۱)$$

روابط توپولوژی نمایش داده‌شده در (شکل۳) دارای پوشش کامل ازنقطه‌نظر روابط انفصالی، اشتراکی و شمول در جهات مختلف می‌باشند؛ و ازاین‌رو بر مدل‌های ۹- اشتراکی برتری دارند، اما از طرف دیگر نقص این عملگرها در عدم توانایی در پوشش دادن روابط اتصالی[۳] و رابطه‌ی پوششی[۴] است. علت آن نیز عدم وجود دقت کافی به دلیل نویزی بودن اطلاعات به‌دست‌آمده از کینکت است. این

۱ Point Cloud Library (PCL)
۲ kdTree

۳ meet
۴ cover

مشکل نیز با استفاده از تعیین آستانه‌هایی قابل حل است به این صورت که اگر فاصله بین جفت محدوده‌ها از یک حد آستانه‌ای کمتر باشد رابطه به صورت تماسی قلمداد شود. (جدول۱) بردارهای سه‌تایی متناسب با روابط توپولوژی نشان داده‌شده در (شکل۳) را نمایش می‌دهد.



شکل۳- روابط توپولوژی پوشش داده‌شده با استفاده از کینکت

جدول۱- بردارهای سه‌تایی متناسب با روابط مکانی پوشش داده‌شده توسط کینکت

[0, 1, 1] (۱)	[1, 1, 1] (۵)
[1, 1, 0] (۲)	[1, 0, 0] (۶)
[0, 0, 1] (۳)	[0, 1, 0] (۷)
[1, 0, 1] (۴)	[0, 0, 0] (۸)

۶- نتیجه‌گیری

از آن جایی که می‌توان از حسگر هوشمند کینکت در رایانش فراگستر به‌منزله‌ی یک ابزار برای استخراج روابط توپولوژی در مدل داده‌های فراگستر استفاده کرد، می‌توان قابلیت استفاده از bounding box را به‌عنوان یک ویژگی برای اشیاء هوشمند مدل‌سازی شده در مدل داده‌های فراگستر در نظر گرفت؛ که این کار علاوه بر تسریع در محاسبات موردنظر برای شئ، قابلیت‌های استخراج روابط توپولوژی را نیز با بهره‌گیری از بردار سه‌تایی ارائه‌شده در این مقاله فراهم می‌سازد. به‌هرحال در ارتباط با بهره‌گیری از حسگر کینکت در استخراج روابط توپولوژی در فضاهای فراگستر استفاده از قابلیت‌های bounding box کمک به سزایی در ایجاد تعامل هوشمند بین اشیاء مدل‌سازی شده با استفاده از کینکت را فراهم می‌سازد.

به‌عنوان نتیجه از این مقاله می‌توان دریافت که در راستای توسعه‌ی مدل داده‌های سنتی به مدل داده‌های فراگستر با در نظر گرفتن امکانات از قبیل ابزارهای موجود در رایانش فراگستر، می‌توان بستری برای انجام تحلیل‌های مکانی در این نوع مدل داده‌ها ایجاد کرد. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود مدل داده‌ی فراگستری در زمینه‌ی استخراج روابط مکانی مبتنی بر حسگر هوشمند کینکت ارائه گردد؛ که ازجمله اهداف آتی این مقاله به شمار می‌رود.

در این مقاله با استفاده از حسگر هوشمند کینکت به‌عنوان یک ابزار ارزان‌قیمت مورداستفاده در رایانش فراگستر روابط توپولوژی موردنظر استخراج گردید. همان‌طوری که در بخش نتایج نشان داده شد، بهره‌گیری از این حسگر می‌تواند قابلیت مدل داده‌های فراگستر برای استخراج روابط توپولوژی را افزایش دهد. در ارتباط با روش قطعه‌بندی ابر نقاط به‌دست‌آمده از کینکت نیز پیشنهاد می‌شود که به دلیل متنوع بودن روش‌های قطعه‌بندی و تفاوت در اصول مورداستفاده در هر کدام از این روش‌ها، ابتدا به نوع رابطه‌ی مکانی موجود در عوارض موجود در ابر نقاط توجه گردد؛ که مبتنی بر آن نوع روش قطعه‌بندی مناسب انتخاب شود.

مراجع

[1] Waller, D., Loomis, J. M., Golledge, R. G., & Beall, A. C. (2000). "Place learning in humans: The role of distance and direction information." Spatial Cognition and Computation, 2(4), 333-354.

[2] Cockcroft, S. (2004). "The design and implementation of a repository for the management of spatial data integrity constraints." GeoInformatica, 8(1), 49-69.

[3] Louwsma, J., Zlatanova, S., van Lammeren, R., & van Oosterom, P. (2006). "Specifying and implementing constraints in GIS—with examples from a geo-virtual reality system." GeoInformatica, 10(4), 531-550.

[4] Alexandroff, P. (2012). "Elementary concepts of topology."Courier Corporation.

[5] Hatcher, A. "Algebraic topology."2002. Cambridge UP, Cambridge, 606(9).

[6] Fan, W., & Liu, H. (2015, June). "Interactive visualization for massive POI using tiled feature strategy."In Geoinformatics, 2015 23rd International Conference on (pp. 1-5). IEEE.

[7] Spatial, O. (2010). "Oracle® Spatial Developer's Guide 11g Release 2 (11.2)." E11830-06.

[8] An, N., George, B., Gong, H., Ravada, S., & Wang, J. "Oracle Spatial Topology and Network Data Models Developer's Guide, 11g Release 2 (11.2) E11831-03."

[9] Zlatanova, S., Rahman, A. A., & Shi, W. (2004). "Topological models and frameworks for 3D spatial objects." Computers & geosciences, 30(4), 419-428.

[10] Ellul, C., & Haklay, M. (2007). "Requirements for Topology in 3D GIS." Transactions in GIS, 10(2), 157-175.

[11] Molenaar, M. (1990). "A formal data structure for three-dimensional vector maps."

[12] Rikkers, R., Molenaar, M., & Stuiver, J. (1993). "A query oriented implementation of a 3D topologic datastructure."

[13] Shibasaki, R., & Shaobo, H. A. (1992). "Digital Urban Space Model-A Three Dimensional Modeling technique of Urban Space in a GIS Environment, ISPRS XVIIth Congress, Washington DC, USA, Vol." XXIX, Part B, 4, 257-264.

[14] Hoop, S. D., Mey, L., & Molenaar, M. (1993). "Topological relationships in 3D vector maps."

[15] Gruen, A., & Wang, X. (1998). "CC-Modeler: a topology generator for 3-D city models." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 53(5), 286-295.

[16] Pilouk, M. (1996). "Integrated modelling for 3D GIS."

[17] Zlatanova, S. (2000). "3D GIS for urban development." International Inst. for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).

[18] Kim, J. S., Kang, H. Y., Lee, T. H., & Li, K. J. (2009, May). "Topology of the prism model for 3D indoor spatial objects." In 2009 Tenth International Conference on Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware (pp. 698-703). IEEE.

[19] Wu, L. (2004). "Topological relations embodied in a generalized tri-prism (GTP) model for a 3D geoscience modeling system." Computers & Geosciences, 30(4), 405-418.

[20] da Costa, C. A., Yamin, A. C., & Geyer, C. F. R. (2008). "Toward a general software infrastructure for ubiquitous computing." IEEE Pervasive Computing, 7(1), 64-73.

[21] Ma, J., Yang, L. T., Apduhan, B. O., Huang, R., Barolli, L., & Takizawa, M. (2005). "Towards a smart world and ubiquitous intelligence: a walkthrough from smart things to smart hyperspaces and UbicKids."(Waller, Loomis et al. 2000) International Journal of Pervasive Computing and Communications, 1(1), 53-68.

[22] Weiser, M. (1991). "The computer for the 21st century." Scientific american, 265(3), 94-104.

[23] Schilit, B., Adams, N., & Want, R. (1994, December). "Context-aware computing applications". In Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on (pp. 85-90). IEEE.

[24] Chen, G., & Kotz, D. (2000). "A survey of context-aware mobile computing research (Vol. 1, No. 2.1, pp. 2-1)."Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College.

[25] Choi, J. W., Kim, S. A., Lertlakkhanakul, J., & Yeom, J. H. (2008, September). "Developing ubiquitous space information model for indoor gis service in ubicomp environment." In Networked Computing and Advanced Information Management, 2008. NCM'08. Fourth International Conference on (Vol. 2, pp. 381-388). IEEE.

[26] Zhang, S., Zhou, C., Zhang, J., & Chen, X. (2016). "A ubiquitous knowledgeable data representation model (UKRM) for three-dimensional geographic information systems (3D GIS) ". Science China Earth Sciences, 59(4), 780-794.

[27] Randell, D. A., Cui, Z., & Cohn, A. G. (1992). "A spatial logic based on regions and connection." KR, 92, 165-176.

[28] Egenhofer, M. J., & Franzosa, R. D. (1991). "Point-set topological spatial relations." International Journal of Geographical Information System, 5(2), 161-174.

[29] Zlatanova, S. (2000). " On 3D topological relationships(Ma, Yang et al. 2005)."In Database and Expert Systems Applications, 2000. Proceedings. 11th International Workshop On (pp. 913-919). IEEE.