

توسعه حساب کیفی خط سیر بر اساس مفهوم دسترسی اشیاء متحرک در مسیرها

محمد حسن وحیدنیا^{۱*}

^۱ استادیار گروه سنجش از دور و GIS - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات - تهران
vahidnia84@gmail.com

(تاریخ دریافت آبان ۱۳۹۸، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۸)

چکیده

ارائه و استدلال مکانی کیفی از جمله قابلیت های پر اهمیت در هوشمندسازی سیستم های اطلاعات مکانی می باشند. در این مقاله بکارگیری و توسعه چارچوب مطرح حساب کیفی خط سیر (Qualitative Trajectory Calculus) برای نمایش و استدلال پیرامون نقاط متحرک در داده های شبکه راه های GIS با مد نظر قرار دادن مفهوم دسترسی، ارائه می گردد. توسعه QTC و شیوه استدلالی مذکور بر مبنای روابط پایه ای چون حرکت یک شیء به سوی شیء دیگر، دور شدن یک شیء از یک شیء دیگر، حرکت به دنبال شیء دیگر و موارد مشابه به آن با در نظر گرفتن امکان دسترسی یک شیء به شیء دیگر در طول یک مسیر مشخص صورت می پذیرد. ویژگی های شیوه توسعه یافته با بررسی همسایگی مفهومی (Conceptual Neighborhood) میان روابط، و معرفی و اثبات تعدادی از روابط استنتاجی (inference rules) بحث گردید. قواعد بدست آمده که عمدتاً در قالب یک جدول ترکیبی (Composition Table) قابل ارائه می باشند، توانستند یک پایگاه دانش برای استنتاج منطقی را شکل دهند. همچنین برخی روابط استخراج شده ویژگی هایی چون معکوس (inverse) و تقارن (symmetry) و تعدی (transitive) نشان دادند. به منظور اجرای عملی، نمونه هایی از استنتاج و پرس و جو با ورود قواعد منطقی و حقایق (facts) به زبان Prolog مورد آزمایش قرار گرفته و با مقایسه نتایج پرس و جوها از شیوه مذکور با پرس و جوی معمولی از پایگاه داده کارآمدی شیوه توسعه یافته مشخص شد.

واژگان کلیدی: استنتاج کیفی مکانی، اشیاء متحرک، منطق مرتبه اول، سیستم استنتاج منطقی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

و جدید پیرامون اشیاء و تبیین نتایج به صورت کیفی و صریح مورد استفاده و توسعه قرار می گیرند [۷]. در حال حاضر مبرهن است که شیوه های کیفی نقش اساسی در ارائه ایده آل ادراکات و شناخت انسانی ایفا می کنند. هرچند لازم به ذکر است که شیوه های کیفی جایگزین رویکردهای کمی نیستند اما می توان با بکارگیری مناسب آن ها نواقص شیوه های کمی را جبران نمود. به عنوان مثال به جای بیان تنها موقعیت دو شیء در قالب مختصات، توصیف وضعیت نسبی آن ها بعضاً به شهود بهتری از مکان آن ها منجر خواهد شد. و یا به عنوان نمونه بیان عبارت "خودروی اول سریعتر از خودرو دوم حرکت می کند" معمولاً برای درک عامه نسبت به بیان عبارت "خودروی اول با سرعت ۵۴/۳ کیلومتر بر ساعت و خودرو دوم با سرعت ۵۱/۶ کیلومتر بر ساعت حرکت می کنند" ترجیح داده می شود. بنابراین، در نسل های جدید سیستم های اطلاعات مکانی و هوشمندسازی آن، امکان ارائه پرس و جو های کیفی و استدلال پیرامون روابط کیفی از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. نکته مهم در این راستا ایجاد و توسعه چارچوب های نظری، صوری و منطقی مناسب می باشد.

در حیطه شیوه های استدلال کیفی، تمرکز اصلی این تحقیق بر حرکت اشیاء در مسیرهای ارتباطی حمل و نقل می باشد. هدف مواجهه با شرایطی کیفی مانند حرکت دو شیء به سمت یکدیگر، حرکت دو شیء به دور از یکدیگر، حرکت به دنبال شیء دیگر برای دستیابی به آن و موارد مشابه می باشد. از اینرو در این تحقیق بر مبنای چارچوب آشنای حساب کیفی خط سیر^۴ (QTC)، حرکت در مسیرهای شبکه ارتباطی حمل و نقل بر اساس مفهوم دسترسی^۵، ارائه خواهد شد. به عنوان مثال در روابط ارائه شده می توان عبارتی چون "شیء اول به سمت شیء دوم حرکت می کند و در مسیر فعلی به آن می رسد" را ارائه و پیرامون آن استدلال نمود. اینکه حرکت یک شیء به گونه ای باشد که در یک مسیر حرکتی در شبکه راه به شیء دیگر قابلیت دسترسی داشته یا نداشته باشد، ویژگی است که در QTC به صورت پایه مطرح نشده است و مشارکت اصلی تحقیق پیش رو می باشد. در ادامه پس از مقدمه، مروری بر شیوه

می دانیم که سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، ابزارهای قدرتمندی برای گردآوری، ذخیره سازی و بازیابی، پرس و جو، تبدیل، پردازش، تحلیل و نمایش اطلاعات مکانی رقومی ارائه می دهد [۱]. اما امکانات و قابلیت های فعلی برای ارائه همین جنبه های ذکر شده در رابطه با هندسه های متغیر در زمان یا اشیاء متحرک هنوز به پیشرفت مطلوب و آرمانی منجر نشده است. در سال های اخیر، محققین متعددی در حوزه خط سیر، و اشیاء متحرک در GIS و سایر فناوری های مرتبط مانند نرم افزارهای مبتنی بر سیستم تعیین موقعیت جهانی (GIS)، فناوری شناسایی فرکانس های رادیویی^۱ (RFID)، و در صنعت مخابرات، با بهره گیری از تعیین موقعیت حاصل از BTS ها، به مطالعه پرداخته اند [۲]. به کمک تحلیل اطلاعات موقعیتی، شیوه های مختلفی برای تشخیص رفتار اشیاء متحرک، بدست آوردن الگوی حرکتی و وضعیتی و در نتیجه خدماترسانی مکانی متناسب با شرایط کاربر در قالب خدمات مکان-مبنا (LBS^۲) و بافت-آگاه ارائه شده اند [۳]. در کنار این موارد عده ای نیز در علوم اطلاعات مکانی به دنبال داده کاوی و اکتشاف دانش از داده های مکانی زمانی اشیاء متحرک بوده اند و مبتکر مباحث نظری و عملی در این رابطه می باشند [۴]. اگرچه سهم عمده ای در بین این گرایشات به استفاده و تحلیل کمی داده ها تعلق گرفته است اما، چنین محاسباتی در زمان وجود داده های کمی نادقیق در رابطه با موقعیت و هندسه و یا در شرایطی که تبیین صریح رویدادها به جای ارائه نتایج عددی مورد نیاز است، ناکارآمد می باشند. در مواردی نیز پیچیدگی محاسباتی روش های کمی خود عاملی برای ضعف یا عدم کاربرد آن ها می باشد [۵]. در چنین شرایطی ایده های نمایش و ارائه اطلاعات در قالب های کیفی و صریح و بهره گیری از شیوه های منطقی و استدلالی به جای محاسباتی و تحلیلی مطرح شده اند [۶]. با این دیدگاه، در فضای مکانی به دنبال رویکردهایی هستیم که محاسبات عددی و دقیق در رابطه با موقعیت و هندسه نیاز ندارند. همچنین استدلالگرهای کیفی مکانی^۳ برای استخراج اطلاعات مفید

^۱ Radio Frequency Identification

^۲ Location-based Services

^۳ Qualitative Spatial Reasoner

^۴ Qualitative Trajectory Calculus

^۵ Reachability

گرفتن میان دو وسیله نقلیه همچون خودرو A همزمان با خودرو B آغاز به حرکت می کند یا A از B عقب افتاده است، A از B پیش افتاده است یا A و B همزمان به مقصد می رسند نیز، بکارگرفته شده است [۱۲]. این چارچوب همچنین در رابطه با حرکت در ساختار گراف با نام QTC_N توسعه یافته است که نخستین بار توسط دلافونتین و همکاران به صورت رسمی معرفی و ارائه شد [۱۳]. علاوه بر آن QTC_{3D} برای توسعه و مواجهه با روابط پیچیده سه بعدی مانند آنچه میان هواپیماهای در حال پرواز یا پرندگان رخ می دهد، توسعه یافت [۱۴].

در رابطه با سایر پژوهش های مرتبط، کوراتا و اگنهافر مدلی برای تعیین روابط میان جفت پاره خط ها بر اساس تقاطع میان نقاط آغاز (head)، بدنه خط (bodies)، و نقاط انتها (tails) مطرح نمودند. از همه حالت های امکانپذیر ۶۸ رابطه توپولوژیک میان دو پاره خط پدید آمد [۱۵]. آن ها بدین روش توانستند الگوهای ساده حرکت مانند دو شیء متحرک که همدیگر را ملاقات می کنند یا از کنار هم رد می شوند را مدلسازی نمایند. گلز-کابرا و همکاران حساب کیفی بازتاب سیر مستقیم^۲ (QPRC) را مطرح نمودند که مدل نمایشی جدید بر مبنای خطوط سیر در صفحه جهت توصیف الگوهای کیفی حرکت می باشند [۱۶]. آن ها می توانستند به صورت رسمی در مدل خود به تحلیل و تشریح حرکت نسبی دو شیء بپردازند. مدل آن ها می توانست برای توصیف و استدلال راجع به وضعیت هایی مانند "شیء موجود در سمت راست من به سمت راست حرکت می کند" یا "در لحظه کنونی شیء در حال عبور از جلوی من و حرکت به سمت راست می باشد" بکار رود. وحیدنیا و آل شیخ به معرفی یک محمول^۳ حرکت ساده به صورت کیفی پرداختند [۱۷]. توسط این محمول، حرکت یک شیء از یک نقطه به نقطه دیگر از یک زمان مشخص و با سرعت مشخص قابل تعریف است. آن ها این رابطه را در شبکه حمل و نقل ارائه داده و شیوه های کنترل سازگاری چند محمول برای یک شیء را بحث نمودند. همچنین راهکارهایی برای استدلال منطقی توسط این محمول ارائه گردید. مطالعات دیگری نیز وجود دارند که به نقش توپولوژی به عنوان یک پیش بینی کننده برای مفهوم سازی

های نمایش و استدلال کیفی اشیاء متحرک در بخش ۲ انجام خواهد شد. در بخش ۳ روابط توسعه یافته بر مبنای QTC توضیح داده می شود و برخی ویژگی های مهم روابط توسعه یافته در بخش ۴ ارائه و بحث خواهد شد. در بخش ۵ سیستم استنتاج حاصل از روابط مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در بخش ۶ پیاده سازی سیستم استنتاج و پرس و جو با زبان Prolog و چند نمونه ساده از اجرای استدلال های کیفی منطقی بر اساس پایگاه دانش ایجاد شده اجرا خواهد شد و نتایج آن با پرس و جوی معمولی در پایگاه داده مقایسه خواهد شد. نهایتاً در بخش ۷ نتیجه گیری و پیشنهادات مقاله تدوین می گردد.

۲- مرور شیوه های ارائه و استدلال کیفی اشیاء متحرک

در میان تحقیقات ارائه شده در این حوزه، اولین بار زیمرمن و فرسکا به مفهوم کیفی حرکت پرداخته و چارپوبی برای آن توسعه دادند [۸]؛ هرچند چارچوب آن ها وابستگی زیادی به فاصله و جهت داشت. پس از این تحقیق، حسابگان خط سیر کیفی^۱ (QTC) توسط ون دی وگ ارائه گردید [۹]. QTC زبانی است برای نمایش و استدلال در رابطه با حرکت اشیاء در یک چارچوب کیفی، که قادر است در میان گروه های اشیاء غیر متصل اعمال شود. این چارچوب در حالت پایه، چهار رابطه اولیه کیفی تعریف می کند [۱۰]. اولین رابطه توصیف می کند که آیا شیء A از شیء B دور می شود یا به سمت B حرکت می کند یا نسبت به B ثابت است. رابطه دوم نشان می دهد که آیا B از A دور می شود یا به سمت A حرکت می کند یا نسبت به A ثابت است. رابطه سوم و چهارم نشان می دهند که دو شیء در چه جهت نسبی (چپ، راست، ثابت) نسبت به یکدیگر حرکت می کنند. بنابراین، QTC اطلاعات جهت و فاصله نسبی بین دو شیء را در یک نقطه مشخص مکانی-زمانی به یک اندازه کیفی تبدیل می نماید. بر خلاف سایر روش های موجود استدلال کیفی مکانی، QTC این امکان را فراهم می آورد که تغییرات پویا میان دوشیء را بتوان به صورت رسمی بیان نمود [۱۱]. QTC به منظور توصیف رویدادهای مربوط به سبقت

^۲ Qualitative Rectilinear Projection Calculus

^۳ Predicate

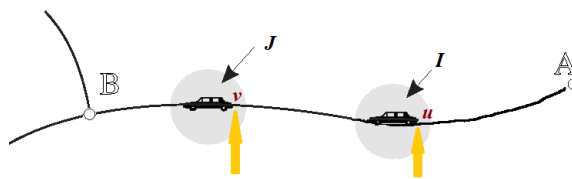
^۱ Qualitative Trajectory Calculus

تغییرات پویای مکانی در مسائل حرکتی می پردازند [۱۸] و [۱۹]. باریانیس و همکاران چارچوب های جدید کیفی با نام های TC-6 و TC-10 بر مبنای شیوه answer set programming معرفی نمودند [۲۰]. آنگونه که ادعا می شود، حسابگان ارائه شده برای کاربردهایی در پایگاه های داده خط سیر به منظور بیان روابط میان تعداد زیادی از خطوط سیر و تحلیل هایی چون مبدأ/مقصد^۱ (O/D) [۲۱] و [۲۲]، کشف میزان تقاضای سفر [۲۳] و نحوه کنترل حرکت جمعیت ها [۲۴] مناسب است.

۳- توسعه شیوه استدلال کیفی خط سیر بر اساس مفهوم دستزسی

۳-۱- توصیف غیر رسمی

در شیوه ارائه شده در این تحقیق، مقایسه میان حرکت دو شیء بر روی یک مسیر در شبکه ارتباطی بر مبنای مرجع خطی^۲ در نظر گرفته خواهد شد. مرجع دهی خطی بدین معناست که موقعیت اشیاء بر اساس یک اندازه گیری نسبی در طول یک مسیر مشخص و با در نظر گرفتن ابتدای مسیر به عنوان مبدأ اندازه گیری طول مشخص خواهد شد. در شکل ۱ دو متحرک I و J بر روی مسیر AB در شبکه راه در حال حرکت هستند. با در نظر گرفتن نقطه A به عنوان آغاز مسیر و نقطه B به عنوان پایان آن، فاصله A تا u به عنوان مقدار مسافت متحرک I و فاصله A تا B به عنوان مقدار مسافت متحرک J در یک لحظه در طول این مسیر در نظر گرفته می شود.



شکل ۱- نمایش مرجع دهی خطی بر روی یک مسیر در شبکه راه و مقایسه مقدار فاصله برای دو متحرک

به منظور راحت تر شدن روابط با در نظر گرفتن شرط حرکت اشیاء و عدم ثبات نسبی آن ها نسبت به یکدیگر، اگر جهت حرکت دوشیء در یک مسیر و در یک امتداد باشد، یک شیء می تواند به طور نسبی به دنبال شیء

دیگر یا مورد تعقیب شیء دیگر قرار گیرد. همچنین هر یک از حالت های قابل دسترس بودن شیء دوم برای شیء اول یا شیء اول برای شیء دوم تا انتهای مسیر امکانپذیر است. در صورتیکه امتداد حرکت دوشیء متفاوت باشد دوشیء می توانند از یکدیگر دور شده یا به سمت یکدیگر حرکت نمایند. بر این اساس دو شیء در دو مسیر جداگانه قابل مقایسه نخواهند بود مگر اینکه بر اساس تعمیم پویا دو یا چند مسیر بر اساس یکی شدن در گره های میانی تبدیل به یک مسیر شده و رابطه مرجع خطی برای آن ها ایجاد شود. در این حالت مسیرهای میانی می توانند بر اساس رابطه کوتاهترین مسیر در گراف بین دو متحرک انتخاب شوند که فرآیند محاسباتی این مسئله موضوع این تحقیق نمی باشد. بنابراین روابط به صورت غیر رسمی زیر قابل تعریف خواهند بود (شکل ۲):

- $MFR(a, b, p)$: شیء a به دنبال شیء b حرکت می کند و با توجه به سرعت a و b، نقطه ای بر روی مسیر p (همچون s) وجود دارد که در آن a به b می رسد.
- $MFNR(a, b, p)$: شیء a به دنبال شیء b حرکت می کند و با توجه به سرعت a و b، نقطه ای بر روی مسیر p وجود ندارد که a به b برسد.
- $MFRi(a, b, p)$: شیء a مورد تعقیب شیء b می باشد و با توجه به سرعت a و b، نقطه ای بر روی مسیر p (همچون s) وجود دارد که در آن b به a می رسد.
- $MFNRi(a, b, p)$: شیء a مورد تعقیب شیء b می باشد و با توجه به سرعت a و b، نقطه ای بر روی مسیر p وجود ندارد که b به a برسد.
- $MT(a, b, p)$: شیء a به سمت شیء b و شیء b به سمت a حرکت می کنند و نقطه ای بر روی مسیر p وجود دارد که a به b می رسد.
- $MA(a, b, p)$: شیء a از شیء b و شیء b از شیء a دور می شوند و نقطه ای بر روی مسیر p وجود ندارد که a به b برسد.

^۱ Origin/Destination

^۲ Linear referencing

تعریف ۲- هر نقطه متحرک i بر روی p دارای جهت سرعت o_i است که یا به سمت ابتدای p می باشد و بنابراین مقدار آن -1 است و یا به سمت انتهای p می باشد و بنابراین مقدار آن برابر $+1$ خواهد شد مطابق رابطه زیر:

$$o_i = \frac{\vec{v}_i}{|\vec{v}_i|}$$

تعریف ۳- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p در دو نقطه مجزا باشند. مطابق شرایط زیر می گوییم a به دنبال b حرکت می کند:

$$\forall a \forall b \forall p \quad MF(a, b, p) \text{ iff } (o_a = o_b) \wedge (o_a d_a < o_b d_b)_{a \triangleright p, b \triangleright p}$$

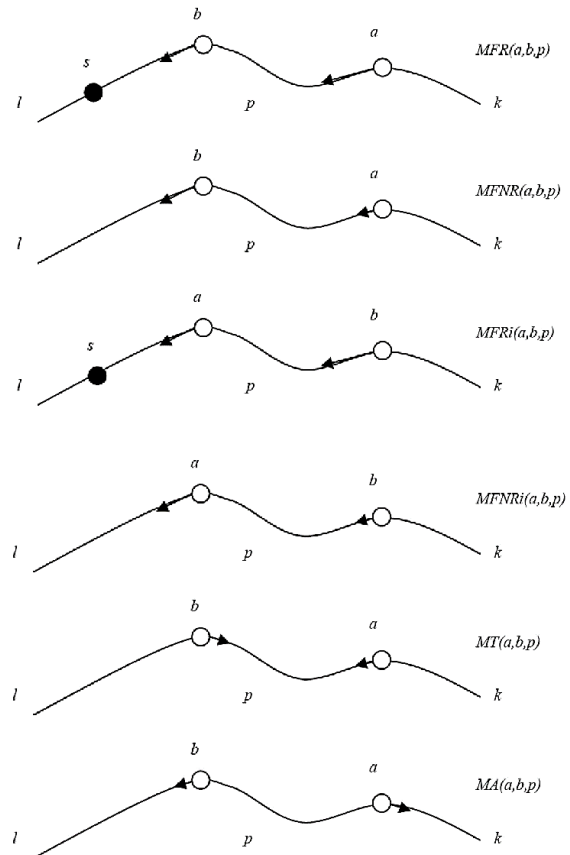
تعریف ۴- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p در دو نقطه مجزا باشند. مطابق شرایط زیر می گوییم a مورد تعقیب b می باشد:

$$\forall a \forall b \forall p \quad MFi(a, b, p) \text{ iff } (o_a = o_b) \wedge (o_a d_a > o_b d_b)_{a \triangleright p, b \triangleright p}$$

تعریف ۵- فرض کنید دو شیء متحرک a و b بر روی مسیر p با سرعت های مختلف و در یک راستا در حرکتند. علاوه بر آن فرض کنید محمول $a) MF(a, b, p)$ به دنبال b حرکت می کند صحیح باشد و a می تواند به b در نقطه فرضی s دسترسی داشته باشد. هر دو شیء در یک مدت زمان برابر مانند Δt به گونه ای که $\Delta t > 0$ به نقطه s می رسند که می توان آن ها را از طریق معادلات سرعت به صورت $d_s - d_b = \vec{v}_b \Delta t$ و $d_s - d_a = \vec{v}_a \Delta t$ نوشت. بر اساس این دو معادله خواهیم داشت $\Delta t = (d_b - d_a) / (\vec{v}_a - \vec{v}_b)$ و $d_s = (\vec{v}_a d_b - \vec{v}_b d_a) / (\vec{v}_a - \vec{v}_b)$ سناریوهای مشابهی در زمان صحت $MFi(a, b, p)$ قابل تعریف هستند.

با توجه به تعریف فوق برای $o_a = o_b = +1$ مقدار d_s همواره مثبت خواهد بود و برای $o_a = o_b = -1$ مقدار d_s همواره کمتر از l_p خواهد شد. با توجه به این شرایط در تعریف بعد محمول حرکت با توجه به امکان دسترسی تعریف خواهد شد.

تعریف ۶- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p باشند یا به عبارتی $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$. حال می توان تعریف نمود که محمول $MFR(a, b, p)$ زمانی صحیح است که شرایط زیر برقرار باشد:



شکل ۲- روابط کیفی بین دو شیء متحرک نقطه ای در یک مسیر و بر اساس مفهوم دسترسی

۲-۳- توصیف صوری

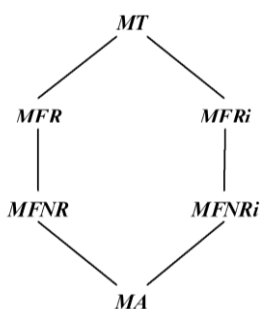
در این بخش تلاش خواهیم نمود تا به گونه ای رسمی روابط مطرح شده در قسمت قبل را تبیین نماییم. برای این منظور ویژگی های حرکت ساده برای اشیاء با سرعت ثابت مد نظر قرار می گیرد. به منظور تحقیق سیستم استنتاج منطقی در نهایت، استفاده از منطق مرتبه اول در دستور کار قرار می گیرد. از محمولات و ادات عطف، فصل، نقیض، التزام و التزام دو طرفه و همچنین عملگرهای ریاضی مانند قدر مطلق، ضرب، تقسیم، تساوی، نامساوی، و غیره برای معنی بخشی استفاده خواهد شد.

تعریف ۱- مسیر p در یک شبکه راه شامل زنجیره ای از نقاط با مرجع خطی نسبت به ابتدای p را در نظر بگیرید. در یک نقطه زمانی، یک شیء متحرک مانند i بر روی p ، یا $i \triangleright p$ ، فاصله ای به اندازه d_i از ابتدای مسیر دارد. طول کل مسیر p نیز با l_p نشان داده می شود. در اینصورت می گوییم هر نقطه متحرک i دارای یک بردار سرعت به صورت \vec{v}_i می باشد که نشان دهنده مقدار سرعت و جهت سرعت می باشد.

۴- ویژگی های مهم و نمونه هایی از اثبات آنها

۴-۱- همسایگی مفهومی

یکی از نکات مورد توجه در اغلب چارچوب های کیفی مکانی، همسایگی مفهومی روابط می باشد. می گوئیم دو رابطه مابین یک جفت شیء متحرک بر روی مسیر در همسایگی یکدیگر قرار دارند اگر بتوان مستقیماً (یا به طور نسبی با کمترین تغییرات) به یکدیگر تبدیل شوند. به عبارت دیگر، دو رابطه که کمترین اختلاف برای تبدیل به یکدیگر را نسبت به روابط دیگر داشته باشند همسایه مفهومی هم شناخته می شوند. این مفهوم بر مبنای ویژگی های فیزیکی که برای اغلب عملگرهای شناختی در زمان و مکان ضروری است توصیه شده است [۲۵]. در این تحقیق، می توان ویژگی های فیزیکی بکار رفته در تعاریف، همچون سرعت و جهت یا دسترسی اشیاء را به عنوان متری برای همسایگی مفهومی در نظر گرفت. به عنوان مثال زمانی که محمول $MT(a,b)$ صحیح باشد، بردار برآیند سرعت نسبی آن ها برابر $\vec{v}_a + \vec{v}_b$ می باشد و زمانی که $MFR(a,b)$ صحیح است این برآیند برابر $\vec{v}_a - \vec{v}_b$ می باشد و در حالت $MA(a,b)$ به صورت $-(\vec{v}_a + \vec{v}_b)$ می باشد. از طرفی زمانی که دوشیء به سمت یکدیگر حرکت می کنند وجود نقطه تلاقی موجب شباهت بیشتر این رابطه با روابطی خواهد بود که یکی از اشیاء متحرک برای شیء دیگر در دسترس است. در نهایت می توان همسایگی مفهومی را مطابق شکل ۳ نمایش داد.



شکل ۳- همسایگی مفهومی روابط کیفی خط سیر با در نظر گرفتن مفهوم دسترسی

۴-۲- قواعد استنتاج

ویژگی های اصلی برای شیوه نظری توسعه یافته با هدف استدلال و استنتاج ارائه می گردد. در قالب حساب های کیفی مکانی مانند QTC استدلال با ایجاد جدول

$$\forall a \forall b \forall p \text{ MFR}(a,b,p) \text{ iff } MF(a,b,p) \wedge (|\vec{v}_a| > |\vec{v}_b|)$$

$$\wedge (\exists s \in p \mid d_s = \frac{\vec{v}_a d_b - \vec{v}_b d_a}{\vec{v}_a - \vec{v}_b}, \Delta t = \frac{d_b - d_a}{\vec{v}_a - \vec{v}_b})$$

تعریف ۷- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p باشند یا به عبارتی $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$. حال می توان تعریف نمود که محمول $MFNR(a,b,p)$ زمانی صحیح است که شرایط زیر برقرار باشد:

$$\forall a \forall b \forall p \text{ MFNR}(a,b,p) \text{ iff } MF(a,b,p) \wedge \neg (|\vec{v}_a| > |\vec{v}_b|)$$

$$\wedge (\exists s \in p \mid d_s = \frac{\vec{v}_a d_b - \vec{v}_b d_a}{\vec{v}_a - \vec{v}_b}, \Delta t = \frac{d_b - d_a}{\vec{v}_a - \vec{v}_b})$$

تعریف ۸- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p باشند یا به عبارتی $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$. حال می توان تعریف نمود که محمول $MFRi(a,b,p)$ زمانی صحیح است که شرایط زیر برقرار باشد:

$$\forall a \forall b \forall p \text{ MFRi}(a,b,p) \text{ iff } MFi(a,b,p) \wedge (|\vec{v}_b| > |\vec{v}_a|)$$

$$\wedge (\exists s \in p \mid d_s = \frac{\vec{v}_b d_a - \vec{v}_a d_b}{\vec{v}_b - \vec{v}_a}, \Delta t = \frac{d_a - d_b}{\vec{v}_b - \vec{v}_a})$$

تعریف ۹- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p باشند یا به عبارتی $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$. حال می توان تعریف نمود که محمول $MFNRi(a,b,p)$ زمانی صحیح است که شرایط زیر برقرار باشد:

$$\forall a \forall b \forall p \text{ MFNRi}(a,b,p) \text{ iff } MFi(a,b,p) \wedge \neg (|\vec{v}_b| > |\vec{v}_a|)$$

$$\wedge (\exists s \in p \mid d_s = \frac{\vec{v}_b d_a - \vec{v}_a d_b}{\vec{v}_b - \vec{v}_a}, \Delta t = \frac{d_a - d_b}{\vec{v}_b - \vec{v}_a})$$

تعریف ۱۰- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p باشند یا به عبارتی $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$. حال می توان تعریف نمود که محمول $MT(a,b,p)$ زمانی صحیح است که شرایط زیر برقرار باشد:

$$\forall a \forall b \forall p \text{ MT}(a,b,p) \text{ iff } ((o_a = 1) \wedge (o_b = -1) \wedge (d_a < d_b))$$

$$\vee ((o_a = -1) \wedge (o_b = 1) \wedge (d_a > d_b))$$

تعریف ۱۱- فرض کنید a و b دو شیء متحرک بر روی مسیر p باشند یا به عبارتی $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$. حال می توان تعریف نمود که محمول $MA(a,b,p)$ زمانی صحیح است که شرایط زیر برقرار باشد:

$$\forall a \forall b \forall p \text{ MA}(a,b,p) \text{ iff } ((o_a = 1) \wedge (o_b = -1) \wedge (d_a > d_b))$$

$$\vee ((o_a = -1) \wedge (o_b = 1) \wedge (d_a < d_b))$$

$$MF(a, b, p) \stackrel{Def.3}{\Rightarrow} (o_a = o_b) \wedge (o_a d_a < o_b d_b) \quad (3)$$

$$MF(b, c, p) \stackrel{Def.3}{\Rightarrow} (o_b = o_c) \wedge (o_b d_b < o_c d_c) \quad (4)$$

$$(3), (4) \Rightarrow (o_a = o_c) \wedge (o_a d_a < o_c d_c) \stackrel{Def.3}{\Rightarrow} MF(a, c, p) \quad (5)$$

$$(|\bar{v}_a| > |\bar{v}_b|) \wedge (|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|) \Rightarrow |\bar{v}_a| > |\bar{v}_c| \quad (6)$$

می دانیم که a به b می رسد و همچنین b به c می رسد اما ایده ای راجع به اینکه کدامیک زودتر اتفاق می افتد نداریم. بنابراین دو حالت در نظر گرفته می شود. اینکه a به b می رسد پیش از آنکه b به c برسد ($a2b$) و حالت دوم اینکه b به c برسد پیش از آنکه a به b برسد ($b2c$). در حالت اول با استفاده از تعریف ۵ و شرط $c1$ در معادله ۱ و شرط $c2$ در معادله ۲ داریم (s') یک نقطه فرضی است که c پس از Δt_1 به آن می رسد):

$$d_{s_1} - d_a = \bar{v}_a \Delta t_1 \quad (7)$$

$$d_{s_1} - d_b = \bar{v}_b \Delta t_1 \quad (8)$$

$$d_{s'} - d_c = \bar{v}_c \Delta t_1 \quad (9)$$

$$d_{s_2} - d_{s_1} = \bar{v}_b \Delta t' \quad (\Delta t' = \Delta t_2 - \Delta t_1) \quad (10)$$

$$d_{s_2} - d_{s'} = \bar{v}_c \Delta t' \quad (\Delta t' = \Delta t_2 - \Delta t_1) \quad (11)$$

$$(9), (11) \Rightarrow d_{s_2} - d_c = \bar{v}_c \Delta t_1 + \bar{v}_c \Delta t' \Rightarrow \frac{d_{s_2} - d_c}{\bar{v}_c} = \Delta t_1 + \Delta t' \quad (12)$$

$$(7), (10) \Rightarrow d_{s_2} - d_a = \bar{v}_a \Delta t_1 + \bar{v}_b \Delta t' \Rightarrow \frac{d_{s_2} - d_a}{\bar{v}_a} < \Delta t_1 + \Delta t' \quad (13)$$

$$(12), (13) \Rightarrow \frac{d_{s_2} - d_a}{\bar{v}_a} < \frac{d_{s_2} - d_c}{\bar{v}_c} \Rightarrow \begin{cases} d_{s_2} > \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, & o_a = o_c = +1 \\ d_{s_2} < \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, & o_a = o_c = -1 \end{cases} \quad (14)$$

$$(14) \stackrel{Def.5,(5),(6)}{\Rightarrow} (0 \leq \frac{d_{s_3}}{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a} \leq l_p) \wedge (\frac{\Delta t_3}{\bar{v}_a - \bar{v}_c} > 0) \quad (15)$$

$$(15) \stackrel{Def.5}{\Rightarrow} (\exists s_3 \in p | d_{s_3} = \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, \Delta t_3 = \frac{d_c - d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}) \quad (16)$$

برای حالت دوم ($b2c-a2b$)، با استفاده از تعریف ۵، شرط $c1$ و $c2$ ر معادلات ۱ و ۲ خواهیم داشت (s') یک نقطه فرضی است که a پس از Δt_2 به آن می رسد):

ترکیب که عمدتاً به بررسی قواعد تعدی^۱ می پردازد، مفهوم پیدا می کند. با توجه به توسعه روابط جدید بر مبنای مفهوم دسترسی، لازم است جدول ترکیب جدیدی برای این منظور تعریف شود. هدف بدست آوردن تعدادی قواعد علاوه بر از روابط پایه موجود می باشد. علاوه بر قواعد ترکیب، می توان روابط برابری^۲ یا همان التزام دو طرفه منطقی را نیز برای برخی روابط در شیوه توسعه یافته ارائه نمود. در ادامه این قواعد را در قالب لم ها یا قضایایی ارائه می دهیم که نشان می دهد این قواعد اثبات پذیرند. به دلیل حجم بالای اثبات تمامی لم ها یا قضایا و ساده بودن یا مشابهت آن ها با سایرین، اثبات برخی از آن ها به صورت نمونه ارائه می شود. در نهایت همه این قواعد می توانند یک سیستم استنتاج منطقی را شکل دهند.

لم ۱- اگر a و b دو شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ ، آنگاه داریم:

$$\forall a \forall b \forall p \stackrel{a \triangleright p, b \triangleright p}{MF(a, b, p)} \leftrightarrow MFi(b, a, p)$$

لم ۲- اگر a و b دو شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ ، آنگاه داریم:

$$\forall a \forall b \forall p \stackrel{a \triangleright p, b \triangleright p}{MFR(a, b, p)} \leftrightarrow MFRi(b, a, p)$$

لم ۳- اگر a و b دو شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ ، آنگاه داریم:

$$\forall a \forall b \forall p \stackrel{a \triangleright p, b \triangleright p}{MFNR(a, b, p)} \leftrightarrow MFNRi(b, a, p)$$

لم ۴- اگر a و b و c سه شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ و $c \triangleright p$ آنگاه داریم:

$$\forall a \forall b \forall c \forall p \stackrel{a \triangleright p, b \triangleright p, c \triangleright p}{MFR(a, b, p) \wedge MFR(b, c, p)} \rightarrow MFR(a, c, p)$$

اثبات- با تجزیه مولفه های قسمت مقدم معادلات زیر تشکیل می شود.

$$MFR(a, b, p) \stackrel{Def.6}{\Rightarrow} MF(a, b, p) \wedge (|\bar{v}_a| > |\bar{v}_b|) \wedge (\exists s_1 \in p | d_{s_1} = \frac{\bar{v}_a d_b - \bar{v}_b d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_b}, \Delta t_1 = \frac{d_b - d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_b}) \quad (1)$$

$$MFR(b, c, p) \stackrel{Def.6}{\Rightarrow} MF(b, c, p) \wedge (|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|) \wedge (\exists s_2 \in p | d_{s_2} = \frac{\bar{v}_b d_c - \bar{v}_c d_b}{\bar{v}_b - \bar{v}_c}, \Delta t_2 = \frac{d_c - d_b}{\bar{v}_b - \bar{v}_c}) \quad (2)$$

^۱ Transitive
^۲ Identity

برای معادله ۲، وضعیت های امکانپذیر سرعت و نقطه مقصد s_2 یکی از حالت های $(|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|) \wedge \neg c_2$ یا $(|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|) \wedge c_2$ خواهد بود. عبارت $(|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|) \wedge \neg c_2$ معادل $|\bar{v}_b| \leq |\bar{v}_c|$ می باشد و از آنجاییکه $|\bar{v}_b| \leq |\bar{v}_c|$ بنابراین نقطه مقصد s_2 قطعاً بر روی مسیر p واقع نخواهد شد. در نتیجه شرایط امکانپذیر به حالت های $(|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|) \wedge \neg c_2$ که با st_{2-1} نشان داده می شود و $(|\bar{v}_b| \leq |\bar{v}_c|) \wedge \neg c_2$ که با st_{2-2} نشان داده می شود تقلیل می یابد. از سوی دیگر، از معادله ۱ داریم $|\bar{v}_a| > |\bar{v}_b| \wedge c_1$ که با st_{1-1} نشان داده می شود. از تقاطع st_{2-1} و st_{1-1} یا تقاطع st_{2-1} و st_{1-2} به معادلات زیر می رسیم:

$$st_{2-2} \wedge st_{1-1} \Rightarrow ((|\bar{v}_a| > |\bar{v}_c|) \wedge c_1 \wedge \neg c_2) \vee ((|\bar{v}_a| \leq |\bar{v}_c|) \wedge c_1 \wedge \neg c_2) \quad (۶)$$

$$st_{2-1} \wedge st_{1-1} \Rightarrow (|\bar{v}_a| > |\bar{v}_c|) \wedge c_1 \wedge \neg c_2 \quad (۷)$$

در روابط فوق هر دو حالت ۶ و ۷ امکانپذیر می باشند. از $|\bar{v}_a| \leq |\bar{v}_c|$ و ۵ با توجه به تعریف ۷ می توان به طور مستقیم نتیجه گرفت که a به c نمی رسد. بنابراین، تمام حالت های امکانپذیر مسئله به معادله زیر تقلیل می یابد:

$$(5), (6), (7) \xrightarrow{Def.7} \overbrace{(MF(a, c, p) \wedge (|\bar{v}_a| > |\bar{v}_c|) \wedge c_1 \wedge \neg c_2) \vee MFNR(a, c, p)}^{c_3} \quad (۸)$$

حال، تنها نیاز است که شرط c_3 بررسی شود. با استفاده از تعریف ۵، شرط c_1 و شرط c_2 خواهیم داشت (s' یک نقطه فرضی است که c پس از Δt_1 به آن می رسد):

$$d_{s_1} - d_a = \bar{v}_a \Delta t_1 \quad (۹)$$

$$d_{s_1} - d_b = \bar{v}_b \Delta t_1 \quad (۱۰)$$

$$d_{s'} - d_c = \bar{v}_c \Delta t_1 \quad (۱۱)$$

$$d_{s_2} - d_{s_1} = \bar{v}_b \Delta t' \quad (۱۲)$$

$$d_{s_2} - d_{s'} = \bar{v}_c \Delta t' \quad (۱۳)$$

$$(11), (13) \Rightarrow d_{s_2} - d_c = \bar{v}_c \Delta t_1 + \bar{v}_c \Delta t' \Rightarrow \frac{d_{s_2} - d_c}{\bar{v}_c} = \Delta t_1 + \Delta t' \quad (۱۴)$$

$$(9), (12) \Rightarrow d_{s_2} - d_a = \bar{v}_a \Delta t_1 + \bar{v}_b \Delta t' \xrightarrow{|\bar{v}_a| > |\bar{v}_b|} \frac{d_{s_2} - d_a}{\bar{v}_a} < \Delta t_1 + \Delta t' \quad (۱۵)$$

$$(14), (15) \Rightarrow \frac{d_{s_2} - d_a}{\bar{v}_a} < \frac{d_{s_2} - d_c}{\bar{v}_c} \Rightarrow \begin{cases} d_{s_2} > \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, & o_a = o_c = +1 \\ d_{s_2} < \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, & o_a = o_c = -1 \end{cases} \quad (۱۶)$$

$$d_{s_2} - d_b = \bar{v}_b \Delta t_2 \quad (۱۷)$$

$$d_{s_2} - d_c = \bar{v}_c \Delta t_2 \quad (۱۸)$$

$$d_{s'} - d_a = \bar{v}_a \Delta t_2 \quad (۱۹)$$

$$d_{s_1} - d_{s_2} = \bar{v}_b \Delta t' \quad (\Delta t' = \Delta t_1 - \Delta t_2) \quad (۲۰)$$

$$d_{s_1} - d_{s'} = \bar{v}_a \Delta t' \quad (\Delta t' = \Delta t_1 - \Delta t_2) \quad (۲۱)$$

$$(19), (21) \Rightarrow d_{s_1} - d_a = \bar{v}_a \Delta t_2 + \bar{v}_a \Delta t' \Rightarrow \frac{d_{s_1} - d_a}{\bar{v}_a} = \Delta t_2 + \Delta t' \quad (۲۲)$$

$$(18), (20) \Rightarrow d_{s_1} - d_c = \bar{v}_c \Delta t_2 + \bar{v}_b \Delta t' \xrightarrow{|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|} \frac{d_{s_1} - d_c}{\bar{v}_c} > \Delta t_2 + \Delta t' \quad (۲۳)$$

$$(22), (23) \Rightarrow \frac{d_{s_1} - d_a}{\bar{v}_a} < \frac{d_{s_1} - d_c}{\bar{v}_c} \Rightarrow \begin{cases} d_{s_1} > \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, & o_a = o_c = +1 \\ d_{s_1} < \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, & o_a = o_c = -1 \end{cases} \quad (۲۴)$$

$$(24) \xrightarrow{Def.5,(5),(6)} (0 \leq \frac{d_{s_2}}{\bar{v}_a - \bar{v}_c} \leq l_p) \wedge (\frac{\Delta t_3}{\bar{v}_a - \bar{v}_c} > 0) \quad (۲۵)$$

$$(25) \xrightarrow{Def.5} (\exists s_3 \in p \mid d_{s_3} = \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, \Delta t_3 = \frac{d_c - d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}) \quad (۲۶)$$

$$(5), (6), (16), (26) \xrightarrow{Def.6} MFR(a, c, p) \quad (۲۷)$$

لم ۵- اگر a و b و c سه شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ و $c \triangleright p$ داریم:

$$\forall a \forall b \forall c \forall p \xrightarrow{a \triangleright p, b \triangleright p, c \triangleright p} MFR(a, b, p) \wedge MFNR(b, c, p) \rightarrow MFR(a, c, p) \vee MFNR(a, c, p)$$

اثبات- با تجزیه مولفه های قسمت مقدم به معادلات زیر می رسیم:

$$MFR(a, b, p) \xrightarrow{Def.6} MF(a, b, p) \wedge (|\bar{v}_a| > |\bar{v}_b|) \wedge (\exists s_1 \in p \mid d_{s_1} = \frac{\bar{v}_a d_b - \bar{v}_b d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_b}, \Delta t_1 = \frac{d_b - d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_b}) \quad (۱)$$

$$MFNR(b, c, p) \xrightarrow{Def.7} MF(b, c, p) \wedge \neg((|\bar{v}_b| > |\bar{v}_c|) \wedge (\exists s_2 \in p \mid d_{s_2} = \frac{\bar{v}_b d_c - \bar{v}_c d_b}{\bar{v}_b - \bar{v}_c}, \Delta t_2 = \frac{d_c - d_b}{\bar{v}_b - \bar{v}_c})) \quad (۲)$$

$$MF(a, b, p) \xrightarrow{Def.3} (o_a = o_b) \wedge (o_a d_a < o_b d_b) \quad (۳)$$

$$MF(b, c, p) \xrightarrow{Def.3} (o_b = o_c) \wedge (o_b d_b < o_c d_c) \quad (۴)$$

$$(3), (4) \Rightarrow (o_a = o_c) \wedge (o_a d_a < o_c d_c) \xrightarrow{Def.3} MF(a, c, p) \quad (۵)$$

لم ۹- اگر a و b و c سه شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ و $c \triangleright p$ داریم:

$$\forall a \forall b \forall c \forall p \text{ MFR}(a, b, p) \wedge \text{MA}(b, c, p) \rightarrow \text{MT}(a, c, p) \vee \text{MA}(a, c, p)$$

قضیه ۱- روابط مطرح شده برای QTC با در نظر گرفتن مفهوم دسترسی جامع و دو به دو گسسته^۱ هستند.

۵- نتیجه تشکیل جدول ترکیب

استدلال کیفی مکانی از جمله قابلیت هایی است که در کاربردهای مختلف GIS از جمله مدیریت بحران، برنامه ریزی عامل ها، مدیریت ناوگان حمل و نقل و موارد مشابه کاربرد دارد [۲۶ و ۲۷] هرچند به منظور ایجاد استدلال های کیفی بر روی محمول ها مانند آنچه که در این تحقیق ارائه شد، ناگزیر به استفاده از موتورهای منطقی و سیستم های خودکار اثبات قضیه^۲ هستیم. یکی از مزایای بکارگیری این فناوری ها آن خواهد بود که می توان حقایق مکانی و غیرمکانی را در یک سیستم منطقی برای یک استدلال و استنتاج به صورت یکپارچه استفاده نمود. از سوی دیگر برنامه ریزی منطقی و اثبات قضیه خودکار می تواند به غنی شدن پایگاه دانش اولیه بیانجامد [۲۸]. در این تحقیق دستگاه استنتاج بر مبنای منطق مرتبه اول تشکیل خواهد شد، اما به منظور درک راحتتر، قواعد در قالب یک جدول ترکیب در جدول ۱ نمایش داده شده است که عمدتاً به منظور بررسی ویژگی متعددی است. در کنار ویژگی های تعدی می توان خاصیت معکوس^۳ بودن مثلاً برای محمول های MFR و $MFRi$ یا خاصیت تقارن^۴ را مثلاً برای رابطه MT در نظر گرفت. در بخش بعد پیاده سازی این قواعد در منطق مرتبه اول و استفاده از آن به صورت نمونه در دستور کار قرار می گیرد.

۶- پیاده سازی نمونه سیستم استنتاج

برای ایجاد دستگاه استنتاج لازم است قواعد و حقایق در کنار یکدیگر یک پایگاه دانش ایجاد نمایند و پرس و جو یا عبارت مورد نظر برای اثبات از طریق این سیستم استنتاج و روش های استنتاج خودکار قابل بررسی خواهد بود. پیش

^۱ jointly exhaustive pairwise disjoint

^۲ Automated theorem prover

^۳ inverse

^۴ symmetry

با دانستن این مطلب که c_2 صحیح نیست بلکه نقیض آن یعنی $\neg c_2$ صحیح است، نقطه دسترسی عضوی از p نخواهد بود. بنابراین، تعیین اینکه نقطه دسترسی مشترک a و c بر روی p قرار دارد تصمیم ناپذیر خواهد بود یا به عبارتی:

$$(16) \Rightarrow ((0 \leq \frac{\overbrace{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}^{d_{33}}}{\bar{v}_a - \bar{v}_c} \leq l_p) \vee (\frac{\overbrace{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}^{d_{33}}}{\bar{v}_a - \bar{v}_c} > l_p) \vee (\frac{\overbrace{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}^{d_{33}}}{\bar{v}_a - \bar{v}_c} < 0)) \wedge (\frac{\overbrace{d_c - d_a}^{M_3}}{\bar{v}_a - \bar{v}_c} > 0)$$

$$(17) \Rightarrow (\exists s_3 \in p \mid d_{s_3} = \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, \Delta t_3 = \frac{d_c - d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}) \vee \neg(\exists s_3 \in p \mid d_{s_3} = \frac{\bar{v}_a d_c - \bar{v}_c d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c}, \Delta t_3 = \frac{d_c - d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_c})$$

$$(18), (19) \stackrel{\text{Def.7, Def.9}}{\Rightarrow} \text{MFR}(a, c, p) \vee \text{MFNR}(a, c, p)$$

لم ۶- اگر a و b و c سه شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ و $c \triangleright p$ داریم:

$$\forall a \forall b \forall c \forall p \text{ MFR}(a, b, p) \wedge \text{MFRi}(b, c, p) \rightarrow \text{MFR}(a, c, p) \vee \text{MFRi}(a, c, p) \vee \text{MFNR}(a, c, p) \vee \text{MFNRi}(a, c, p)$$

لم ۷- اگر a و b و c سه شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ و $c \triangleright p$ داریم:

$$\forall a \forall b \forall c \forall p \text{ MFR}(a, b, p) \wedge \text{MFNRi}(b, c, p) \rightarrow \text{MFR}(a, c, p) \vee \text{MFNRi}(a, c, p)$$

لم ۸- اگر a و b و c سه شیء متحرک بوده و p یک مسیر باشد به گونه ای که $a \triangleright p$ و $b \triangleright p$ و $c \triangleright p$ داریم:

$$\forall a \forall b \forall c \forall p \text{ MFR}(a, b, p) \wedge \text{MT}(b, c, p) \rightarrow \text{MT}(a, c, p)$$

اثبات-

$$\text{MFR}(a, b, p) \stackrel{\text{Def.6}}{\Rightarrow} \text{MF}(a, b, p) \wedge (|\bar{v}_a| > |\bar{v}_b|) \wedge (\exists s_1 \in p \mid d_{s_1} = \frac{\bar{v}_a d_b - \bar{v}_b d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_b}, \Delta t_1 = \frac{d_b - d_a}{\bar{v}_a - \bar{v}_b})$$

$$\text{MT}(b, c, p) \stackrel{\text{Def.10}}{\Rightarrow} ((o_b = 1) \wedge (o_c = -1) \wedge (d_b < d_c)) \vee ((o_b = -1) \wedge (o_c = 1) \wedge (d_b > d_c))$$

$$\text{MF}(a, b, p) \stackrel{\text{Def.3}}{\Rightarrow} (o_a = o_b) \wedge (o_a d_a < o_b d_b)$$

$$(3) \Rightarrow ((o_a = 1) \wedge (o_b = 1) \wedge (d_a < d_b)) \vee ((o_a = -1) \wedge (o_b = -1) \wedge (d_a > d_b))$$

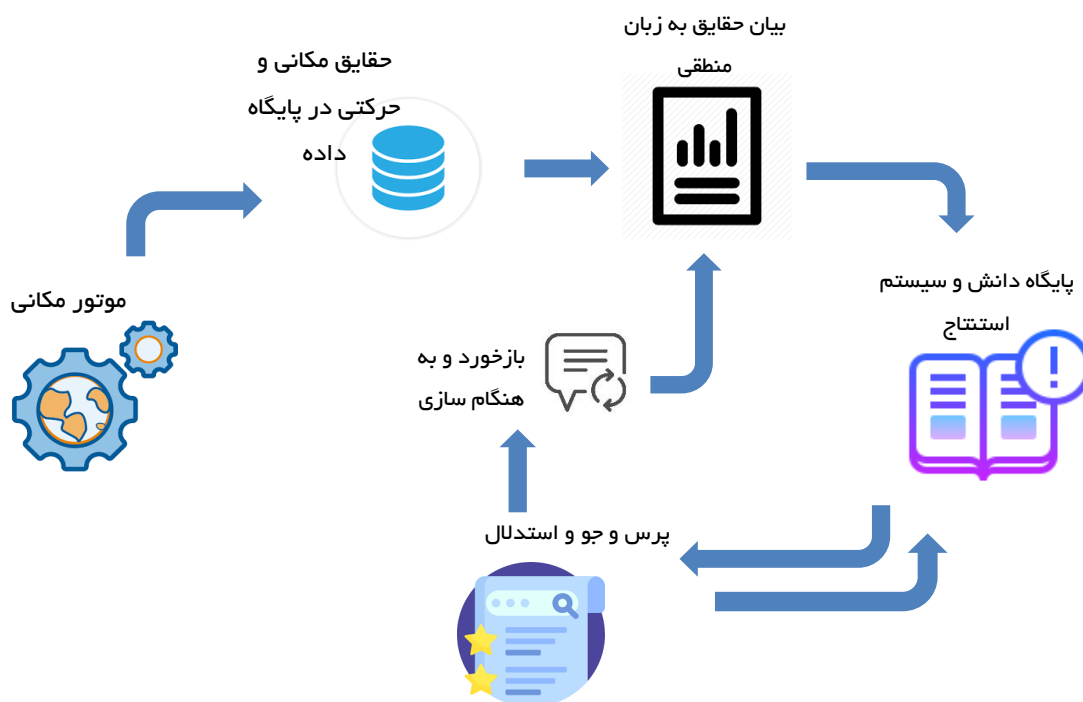
$$(2), (4) \Rightarrow ((o_a = 1) \wedge (o_c = -1) \wedge (d_a < d_c)) \vee ((o_a = -1) \wedge (o_c = 1) \wedge (d_a > d_c)) \stackrel{\text{Def.10}}{\Rightarrow} \text{MT}(a, c, p)$$

از ارائه نتایج نمونه، در شکل ۴ نمونه ای از معماری الگو برای استفاده از سیستم استنتاج منطقی و استدلال کیفی ارائه می شود. همانگونه که در شکل نشان داده شده است. اولین قدم استفاده از موتور مکانی برای استخراج روابط موجود میان اشیاء متحرک می باشد که این اطلاعات می تواند در ابتدا به صورت مرسوم در پایگاه‌های داده رابطه ای متداول ذخیره شود. اما به منظور استفاده از این روابط موجود میان اشیاء در استدلال کیفی، لازم است آن‌ها را به زبان منطقی که عمدتاً همان محمول‌ها (مانند $MFR(a,b)$

$MT(a,c)$ و غیره) می‌باشند، تبدیل نماییم. با استفاده از حقایق در کنار قواعد استنتاج منطقی، مانند آنچه که در جدول ترکیبی ارائه شد، می‌توان پایگاه دانش را برای استفاده در سیستم های استنتاج خودکار یا اثبات کننده های قضایا بکار گرفت. در این تحقیق برای این منظور از سیستم SWI Prolog استفاده گردید. اما نکته مهم آن است که پس از پرس و جو و استدلال از چنین سیستمی حقایق جدیدی کشف می‌شوند که می توانند به بهنگام سازی حقایق و پایگاه دانش منجر شوند.

جدول ۱- جدول ترکیب روابط کیفی خط سیر با در نظر گرفتن مفهوم دستزسی

	MFR	MFNR	MFRi	MFNRi	MT	MA
MFR	MFR	MFR MFNR	MFR MFRi MFNR MFNRi	MFR MFNRi	MT	MT MA
MFNR	MFR MFNR	MFNR	MFRi MFNRi	MFR MFRi MFNR MFNRi	MT	MT MA
MFRi	MFR MFRi MFNR MFNRi	MFNR	MFRi	MFRi MFNRi	MT MA	MA
MFNRi	MFNRi	MFR MFRi MFNR MFNRi	MFRi MFNRi	MFNRi	MT MA	MA
MT	MT MA	MT MA	MT	MT	MFR MFRi MFNR MFNRi	MFR MFNR
MA	MA	MA	MT MA	MT MA	MFRi MFNRi	MFR MFRi MFNR MFNRi

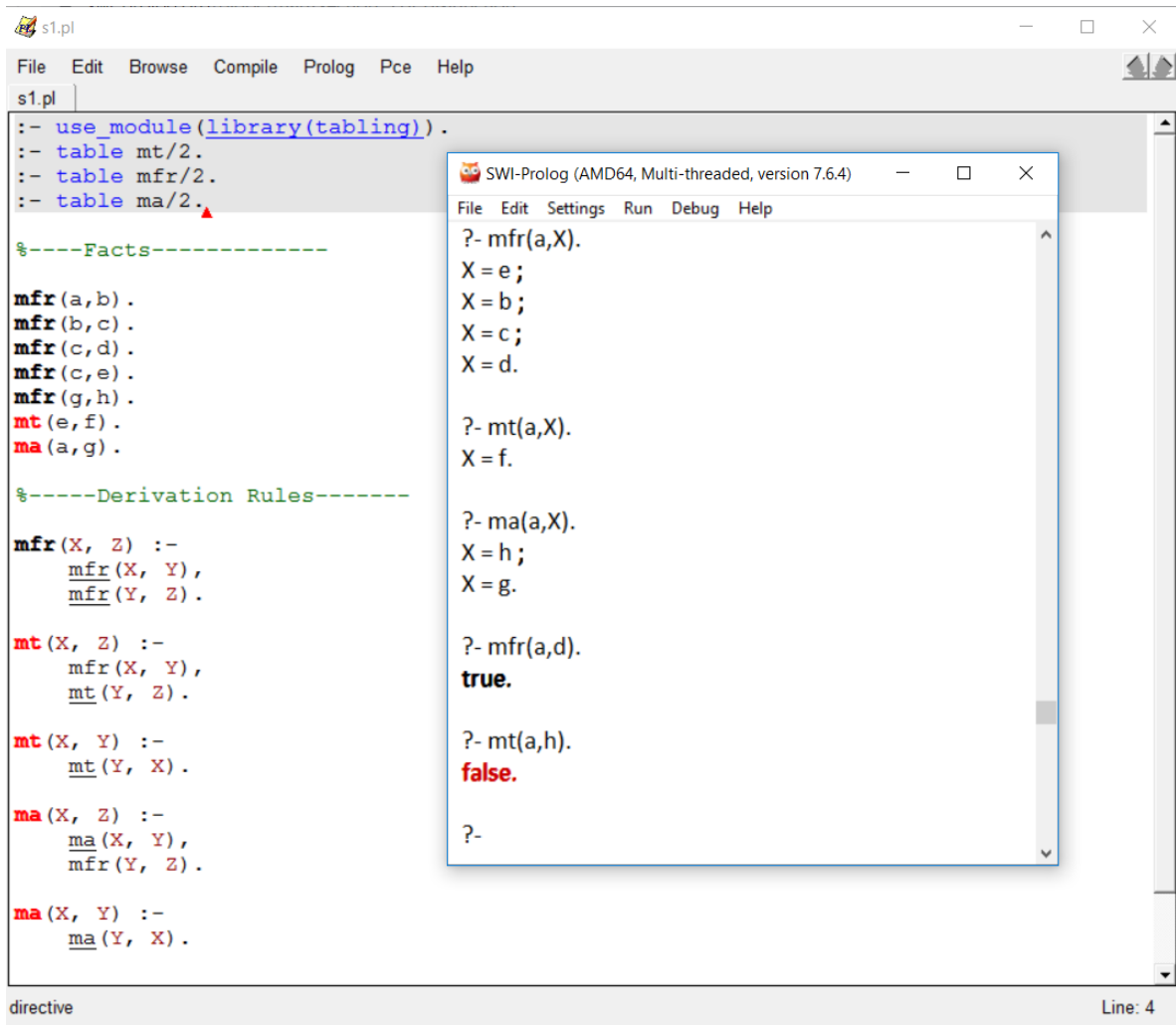


شکل ۴- معماری الگوی بهره گیری از استنتاج منطقی برای پرس و جوی مکانی

دسترسی دارد؟ ۲- عامل a به سمت کدام عامل ها حرکت می کند؟ ۳- عامل a از کدام عامل ها دور می شود؟ ۴- آیا عامل a به عامل d می رسد؟ ۵- آیا عامل a از عامل h دور می شود؟

در شکل ۵ نتایج پیاده سازی در سیستم SWI Prolog نمایش داده شده است. این نتایج در جدول ۲ بیان گردیده و خروجی پرس و جوها از سیستم استنتاج منطقی با خروجی پرس و جوها از یک پایگاه داده رابطه معمولی قابل مقایسه می باشند. همانگونه که ملاحظه می شود، به دلیل قابلیت استنتاج، سیستم استنتاج منطقی نتایجی ارائه داده است که از اطلاعات اولیه قابل بازیابی نبودند. به عنوان مثال با پرس و جوی معمولی از پایگاه داده مشخص گردید که تنها عامل b است که برای عامل a قابل دسترس است، اما نتیجه استنتاج روی پایگاه دانش نشان می دهد که علاوه بر b عامل های e، c و d نیز برای a قابل دسترس هستند.

اما برای پیاده سازی نمونه سیستم استنتاج و پرس و جو از آن عامل های متحرکی با نام های a، b، c، d، e، f، g و h در نظر گرفته شد. حقایق موجود از وضعیت مکانی و حرکتی این اشیاء بدین ترتیب می باشد که همگی بر روی مسیر p در حرکت بوده به گونه ای که در طول این مسیر عامل a به سمت b در حرکت بوده و به آن دسترسی دارد؛ عامل b به سمت c در حرکت بوده و به آن دسترسی دارد؛ عامل c به سمت d در حرکت بوده و به آن دسترسی دارد؛ عامل c به سمت e در حرکت بوده و به آن دسترسی دارد؛ عامل g به سمت h در حرکت بوده و به آن دسترسی دارد؛ عامل e به سمت عامل f حرکت می کند. عامل a از عامل g دور می شود. در کنار این حقایق قواعد استنتاج نیز از موارد بیان شده در بخش ۴ و ۵ قابل انتخاب و اجرا می باشند که در قالب منطق مرتبه اول بازنویسی گردیدند. بر اساس این حقایق و قواعد، حال پرس و جوهایی مد نظر است که عبارتند از ۱- عامل a به کدامیک از عامل ها



شکل ۵- نتیجه پیاده سازی در سیستم SWI Prolog

جدول ۲- مقایسه نتایج پرس و جو در سیستم استنتاج و پایگاه داده معمولی

مورد پرس و جو	نتیجه پرس و جو با استنتاج منطقی	نتیجه پرس و جو معمولی روی پایگاه داده
عامل a به کدامیک از عامل ها دسترسی دارد؟	b, e, c, d	b
عامل a به سمت کدام عامل ها حرکت می کند؟	f	موردی یافت نشد
عامل a از کدام عامل ها دور می شود؟	h, g	g
آیا عامل a به عامل d می رسد؟	بله	نامعلوم
آیا عامل a از عامل h دور می شود؟	خیر	نامعلوم

۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، به این پرسش که چگونه می توان حرکت کیفی نقاط متحرک بر روی مسیرهای شبکه حمل و نقل را بر اساس مفهوم دسترسی تبیین نمود، پاسخ داده شد. چارچوب QTC به بحث راجع به حرکت اشیاء متحرک و خط سیر آن ها می پردازد اما بسیاری از پرس و جو ها مستلزم دانستن این مطلب است که آیا یک شیء متحرک در یک مسیر مشخص برای شیء دیگر قابل دسترس است یا خیر. بر این اساس شش رابطه پایه تعریف گردید و چارچوب QTC توسعه داده شد. در این تحقیق حرکت ساده نقاط مورد توجه قرار گرفت و بنابراین حرکت بدون وابستگی به توپولوژی تعریف گردید. همچنین جهت حرکت به مفهوم جهت جغرافیایی نبوده و تنها جهت حرکت به سمت ابتدا یا انتهای مسیر مبنا قرار گرفت که مطابق با مرجع دهی خطی در ساختار شبکه در GIS می باشد. ویژگی های مهم روابط از جمله همسایگی مفهومی، جدول ترکیب و روابط استنتاج مورد بحث و بررسی قرار گرفت. چنین ویژگی های امکان استدلال و پرس و جو های هوشمند بر روی پایگاه دانش در سطحی فراتر نسبت به اطلاعات و حقایق از پیش ذخیره شده در پایگاه داده را امکانپذیر می نماید. نشان داده شد که برخی قواعد استنتاج ویژگی هایی از جمله متعددی بودن، معکوس بودن و تقارن را نشان می دهند. به عنوان نمونه برخی از ویژگی ها در قالب لم های ریاضی اثبات گردیدند. سیستم استنتاج منطقی به صورت نمونه پیاده سازی گردید و برای یک مجموعه داده نمونه نتیجه پرس و جو ها با شیوه توسعه یافته و نتیجه پرس و جو ها بر روی حقایق اولیه در پایگاه

داده مقایسه شدند و نشان داده شد به شیوه مذکور پاسخ های مستدل و مبتنی بر استنتاج و فراتر از داده های ثبت شده موجود قابل حصول می باشد. طبق نتایج بدست آمده، سیستم های اطلاعات جغرافیایی هوشمند می توانند از چنین معماری پیاده سازی و ساختاری برای استدلال و پرس و جو دقیق تر پیرامون اشیاء متحرک بهره مند شوند.

روابط توسعه یافته بر مبنای QTC در این تحقیق تنها به حرکت های هماهنگ و در یک زمان پیوسته توجه می کنند و بنابراین چارچوب استدلال برای بازه های زمانی مختلف حرکت اشیاء ارائه نمی دهند. چنین مسئله ای می تواند در پژوهش های آینده مورد توجه قرار گیرد. نکته قابل توجه دیگر برای تحقیقات آتی امکان ارائه روابط و استدلال در کل شبکه راه است نه تنها مسیرهای مشترک از پیش تعیین شده. مسیرهای متفاوت خط سیر در شبکه می تواند مسئله را پیچیده تر نماید. شاید یک راه حل اولیه استفاده از توپولوژی خطوط در شبکه راه باشد که نیاز به بررسی مجزایی دارد. موضوع دیگر برای پژوهش های آینده توجه به نادقیقی و ابهام در دانش و بیان روابط کیفی حرکت می باشد که می تواند در سرعت، جهت، و مسیر وجود داشته باشد. استفاده از منطق های فازی یا آماري می تواند به چنین مدل سازی کمک نماید.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی با شماره ۳۴۳۲۲ مصوب دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات و مورد حمایت مالی آن می باشد.

مراجع

- [1] Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. New York: Oxford University Press.
- [2] Drummond, J., Billen, R., Forrest, D., & Joao, E. (2006). Dynamic and mobile GIS: Investigating change in space and time. Boca Raton, FL: CRC Press.

- [3] Omori, Y., Nonaka, Y., & Hasegawa, M. (2010). Design and implementation of a context-aware guide application for mobile users based on machine learning. In R. Setchi, I. Jordanov, R. J. Howlett & L. C. Jain (Eds.), *Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*, pp. 271-279. Berlin: Springer-Verlag.
- [4] Miller, H. J. & Han, J. (2009). *Geographic data mining and knowledge discovery*. London: CRC Press.
- [5] Clementini, E., Felice, P. D., & Hernandez, D. (1997). Qualitative representation of positional information. *Artificial Intelligence*, 95, 317-356.
- [6] Cohn, A. G., & Hazarika, S. M. (2001). Qualitative spatial representation and reasoning: An overview. *Fundamenta Informaticae*, 46, 1-29.
- [7] Cohn, A. G., Bennett, B., Gooday, J., & Gotts, N. M. (1997). Qualitative spatial representation and reasoning with the region connection calculus. *Geoinformatica*, 1, 275-316.
- [8] Zimmermann, K., & Freksa, C. (1996). Qualitative spatial reasoning using orientation, distance, and path knowledge. *Applied Intelligence*, 6, 49-58.
- [9] Van de Weghe, N. (2004). *Representing and reasoning about moving objects: A qualitative approach*. Thesis (PhD). Ghent University.
- [10] Van de Weghe, N., Kuijpers, B., Bogaert, P., & De Maeyer, P., (2005b). A Qualitative Trajectory Calculus and the Composition of its Relations. In *GeoSpatial Semantics*, 60-76. Berlin: Springer.
- [11] Ranacher, P., & Tzavella, K., (2014). How to compare movement? A review of physical movement similarity measures in geographic information science and beyond. *Cartography and Geographic Information Science*. 41 (3), 286-307.
- [12] Van de Weghe, N., Cohn, A. G., Maeyer, P. D., & Witlox F., (2005a). Representing Moving Objects in Computer-Based Expert Systems: The Overtake Event Example. *Expert Systems with Applications* 29 (4), 977-983.
- [13] Delafontaine, M., Bogaert, P., Cohn, A.G., Witlox, F., De Maeyer, P., & Van de Weghe, N., (2011). Inferring additional knowledge from QTCN relations. *Information Sciences*. 181 (9), 1573-1590.
- [14] Mavridis, N., Bellotto, N., Iliopoulos, K., & Van de Weghe, N., (2015). QTC3D: Extending the qualitative trajectory calculus to three dimensions. *Information Sciences*. 322, 20-30.
- [15] Kurata, Y., & Egenhofer, M., (2006). The Head-Body-Tail Intersection for Spatial Relations between Directed Line Segments. In: Raubal, M., Miller, H., Frank, A., & Goodchild, M. (Eds.): *GIScience'06, LNCS*, vol. 4197, pp. 269-286. Springer.
- [16] Glez-Cabrera, F.J., Álvarez-Bravo, J.V., & Díaz, F., (2013). QRPC: A new qualitative model for representing motion patterns. *Expert Systems with Applications*, 40 (11), 4547-4561.
- [17] Vahidnia M.H., & Alesheikh, A.A., (2014). Plain move predicate and its consistency concerning the moving agents in a network. *International Journal of Geographical Information Science*. 28 (11), 2145-2177.
- [18] Klippel, A. (2009). Topologically characterized movement patterns: A cognitive assessment. *Spatial Cognition & Computation*, 9, 233-261.
- [19] Vahidnia, M.H., Alesheikh, A.A., & Malek, M.R., (2012). Logic-based topological representation of vague moving regions: computational models for well-behaved GIS solutions. *Journal of Spatial Science*, 57 (2), 259-281.
- [20] Baryannis, G., Tachmazidis, I., Batsakis, S., Antoniou, G., Alviano, M., Sellis, T., & Tsai, P. W. (2018). A Trajectory Calculus for Qualitative Spatial Reasoning Using Answer Set Programming. *Theory and Practice of Logic Programming*, 18(3-4), 355-371.
- [21] Andrienko, G.L., Andrienko, N.V., Fuchs, G., & Wood, J., (2017). Revealing Patterns and Trends of Mass Mobility Through Spatial and Temporal Abstraction of Origin-Destination Movement Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 23 (9), 2120-2136.
- [22] Hu, S.R., Peeta, S., & Liou, H.T., (2016). Integrated Determination of Network Origin-Destination Trip Matrix and Heterogeneous Sensor Selection and Location Strategy. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 17 (1), 195-205.
- [23] Wang, Z, Jin, B., Zhang, F., Yang, R., & Ji, Q, (2017). Exploiting Trip Patterns in Passenger Trajectory Streams for Bus Scheduling Optimization in Real Time. In *Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Mobile Data Management*. pp. 266-271. IEEE Computer Society.
- [24] Ma, Z., Lu, D., Liu, Q., Wang, J., & Xiong Z., (2017). City-Eyes: A multi-source data integration based smart city analysis system. In *Proceedings of the IEEE 18th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM2017)*. IEEE, pp. 1-3.

- [25] Freksa, C. (1992). Temporal reasoning based on semi-intervals. *Artificial Intelligence*, 54, 199-227.
- [26] Jiang, B., & Liu, C. (2009). Street-based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 23, 1119-1137.
- [27] Theophanides, M., & Anastassopoulou, J. (2009). Air pollution simulation and geographical information systems (GIS) applied to Athens International Airport. *Journal of Environmental Science and Health*, 44, 758-766.
- [28] Snyers, D., & Thayse, A. (1987). *From logic design to logic programming: Theorem proving techniques and p-functions*. Berlin: Springer.