نشریه علمی- پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره پنجم، شماره ۳، بهمن ماه ۱۳۹۴

استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های حفره‌دار در محیط شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم

امید کاظمی‌زاده[۱]، رحیم علی‌عباسپور*[۲]

[۱] کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی- دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران
kazemizade.omid@ut.ac.ir

[۲] استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران
abaspour@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر۱۳۹۴، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

Archive of SID

چکیده

شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم از تعداد زیادی گره تشکیل شده‌اند که هر یک از این گره‌ها به صورت کامپیوترهایی با توانمندی حسگر هستند. یکی از موارد مهم کاربرد این شبکه‌ها استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌ها در برخی پدیده‌ها، مانند کشف عوامل ایجاد آتش‌سوزی جنگل‌ها است، زمانی که رابطه توپولوژیک توده هوای بسیار گرم، مواد اشتعال‌زا و محدوده جنگل از رابطه توپولوژیک «جدا» به «همپوشانی» و «درون» تبدیل می‌شود. وجود حفره‌ها در پدیده‌های محیطی، مانند وجود باتلاق‌ها یا کوه‌ها در برخی مناطق، مستلزم این است که این ناحیه‌ها در محیط شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم به صورت ناحیه‌های مکانی حفره‌دار مدل شوند. در این مقاله، ناحیه‌های حفره‌دار توسط شبکه حسگر مکانی پایش شده و رابطه توپولوژیک بین آنها استخراج می‌شود. به منظور استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های حفره‌دار در محیط شبکه‌های حسگر مکانی، الگوریتمی طراحی شد. مدل‌های تئوری قبلی مانند ۴-اشتراکی، ۹-اشتراکی و RCC تنها برای استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های بدون حفره به کار می‌روند و قادر به متمایز کردن رابطه‌های توپولوژیک گوناگون بین ناحیه‌های حفره‌دار نیستند؛ در الگوریتم طراحی شده از مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته استفاده شده تا بتوان رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه بدون حفره و ناحیه حفره‌دار دیگر را استخراج کرد. با توجه به شرایط محیطی شبکه ممکن است تعیین موقعیت گره‌ها با استفاده از GPS امکان‌پذیر نباشد، لذا الگوریتم به گونه‌ای عمل خواهد کرد که گره‌ها بدون داشتن موقعیت مکانی، تنها با تکیه بر اطلاعات همسایگی مجاور خود رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه را بدست آورند. در الگوریتم طراحی شده از سیستم محاسبات غیرمتمرکز استفاده شده و پیاده‌سازی آن در یک محیط شبیه‌سازی انجام شده است.

واژگان کلیدی: شبکه حسگر مکانی بی‌سیم، سیستم محاسبات غیرمتمرکز، رابطه توپولوژی، ناحیه‌های حفره‌دار

* نویسنده رابط

www.SID.ir

۱- مقدمه

با توسعه ارتباطات بی‌سیم و میکروحسگرهای جدید، شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم[۱] در عرصه‌های مختلف وارد شده و کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند. این شبکه‌ها شامل تعداد زیادی حسگر هستند که در محیط مورد مطالعه قرار گرفته و داده‌های مورد نیاز را حس می‌کنند. گره‌های شبکه از سه جزء اصلی پردازنده مرکزی، رادیو بی‌سیم و یک یا چند حسگر تشکیل شده‌اند [۱-۳].

رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌ها در واقع رابطه مکانی بین آنهاست. این رابطه مشخص می‌کند که دو یا چند ناحیه در فضا نسبت به یکدیگر چگونه قرار گرفته‌اند. در برخی سوانح طبیعی قبل از بروز حادثه نیاز است تا رابطه توپولوژیک بین عواملی که منجر به حادثه می‌شوند، شناسایی و اعلام شود. برای مثال عوامل آتش‌سوزی در جنگل، شامل ناحیه‌ای از توده هوای بسیار گرم، ناحیه مواد سوختی اشتعال‌زا و ناحیه‌ای از درخت‌های خشک است؛ زمانی که رابطه توپولوژیک این ناحیه‌ها از حالت «جدا[۲]» به «همپوشانی[۳]» و «درون...[۴]» تبدیل می‌شود، امکان آتش‌سوزی وجود دارد. بنابراین در اینگونه موارد باید شبکه‌ای از گره‌های حسگر در جنگل توزیع شود و رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های موردنظر را شناسایی و به سرویس‌دهنده مرکزی اعلام کند. گاهی اوقات وجود باتلاق‌ها و کوه‌ها در جنگل‌ها مستلزم این است که این مناطق در محیط شبکه حسگر مکانی به صورت ناحیه‌های حفره‌دار مدل شوند.

Jiang و همکاران (۲۰۰۹) از شبکه‌های حسگر مکانی برای کشف تغییراتی شامل ادغام، شکافتن ناحیه و ایجاد حفره کار کردند. Duckham و همکاران (۲۰۱۰) از این شبکه‌ها تنها رابطه‌های توپولوژیک شمول و همجواری را بر مبنای ساختارهای مرزی بررسی کردند [۲, ۴]. Guan و Duckham (۲۰۱۱)، Sadeq و همکارانش (۲۰۱۲) و Jeong و Duckham (۲۰۱۳) رابطه‌های توپولوژیک و تغییرات آن‌ها را فقط برای ناحیه‌های بدون حفره بدست آوردند و تمرکزشان بر روی این ناحیه‌ها بود [۱, ۳, ۵].

در تحقیقات پیشین از شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم برای کاربردهای خاصی استفاده شده و رابطه‌های توپولوژیک برای حالت‌های معدودی و تنها برای ناحیه‌های بدون حفره بررسی شده است. در این تحقیق تمامی حالت‌های رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه مکانی که توسط شبکه حسگر مکانی پایش می‌شوند، استخراج می‌شود. در توسعه تحقیقات پیشین از مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته استفاده شده تا بتوان بر مبنای این مدل رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر را در محیط شبکه حسگر مکانی بی‌سیم استخراج نمود.

در این تحقیق، به منظور استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های حفره‌دار در محیط شبکه‌های حسگر مکانی، الگوریتمی طراحی شده است که بر مبنای سیستم محاسبات غیرمتمرکز عمل می‌کند. در طراحی این الگوریتم نیاز به یک مدل تئوری بود. از آنجائیکه مدل‌های تئوری قبلی مانند مدل‌های ۴-اشتراکی، ۹-اشتراکی و RCC، تنها قادر به استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های بدون حفره می‌باشند [۶]، در این تحقیق از مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته استفاده شده و الگوریتم بر مبنای این مدل طراحی گردید. از سوی دیگر، با توجه به شرایط محیطی (به عنوان مثال، محدودیت استفاده از روشهای تعیین موقعیت نظیر GPS در محیط‌های جنگلی یا زیر آب) ممکن است گره‌ها به طور مکرر دسترسی به اطلاعات موقعیتشان را از دست بدهند. با این حال، در این چنین شرایطی از گره‌ها هنوز انتظار می‌رود که به بخش مهمی از اطلاعات مکانی دسترسی داشته باشند [۵]. در این تحقیق رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه تنها با تکیه بر اطلاعات همسایگی هر گره بدست می‌آید.

۲- رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های مکانی

برای بدست آوردن رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه مکانی مدل‌های تئوری متفاوتی در علوم اطلاعات مکانی تعریف شده است. بیشتر این مدل‌ها برای ناحیه‌های مکانی بدون حفره به کار می‌روند و قادر به متمایز کردن رابطه‌های توپولوژیک متفاوت بین ناحیه‌های مکانی حفره‌دار نیستند.

۲-۱- رابطه توپولوژی بین دو ناحیه بدون حفره

برای استخراج رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه بدون حفره از مدل‌های تئوری مانند مدل ۴-اشتراکی[۵]، مدل ۹-اشتراکی[۶]

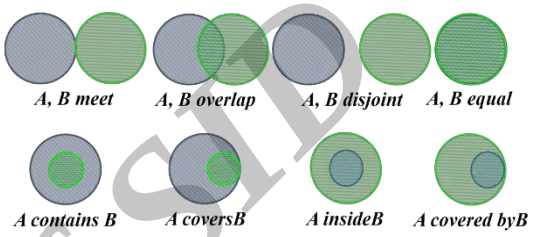
۱ Geosensor Network
۲ Disjoint
۳ Overlap
۴ Inside

۵ 4-Intersection Model
۶ 9-Intersection Model

Archive of SID

www.SID.ir

و RCC[1] استفاده می‌شود [۷-۹]. در مدل ۴-اشتراکی برای استخراج رابطه توپولوژیک از اشتراک بین مرز (∂) و درون (^{o}) ناحیه‌ها استفاده می‌شود. رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه A و B می‌تواند با چهار اشتراک ($\partial A \cap \partial B, A^o \cap \partial B, \partial A \cap B^o, A^o \cap B^o$) نمایش داده شود. با مشخص کردن مقادیر تهی (0) یا غیرتهی (1) هریک از این ۴ اشتراک، این مدل می‌تواند ۱۶=2^4 رابطه توپولوژیک را متمایز کند. اما برای دو ناحیه در صفحه، همانطور که در شکل ۱- هشت رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه نشان داده شده است، تنها هشت رابطه از این شانزده رابطه امکان‌پذیر است.



شکل ۱- هشت رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه

در مرجع [۷] نشان داده شده که چگونه هشت رابطه توپولوژیک در شکل ۱ با استفاده از مدل ۴-اشتراکی به دست آمده‌اند. هر یک از این هشت رابطه نامگذاری شده، با توجه به تهی یا غیرتهی بودن ۴ فصل اشتراک مؤلفه‌های مدل ۴-اشتراکی مشخص شده‌اند.

مدل ۹-اشتراکی برمبنای درون (^{o})، مرز (∂) و خارج ($^-$) ناحیه‌هاست. در این مدل برای دو ناحیه A و B اشتراک بین مؤلفه‌های آنها مانند زیر است [۷-۹]:

- اشتراک درون A با درون B ($A^o \cap B^o$)

اشتراک‌های بین مؤلفه‌های دو ناحیه مشخص شده و سپس ماتریس(۱) تشکیل می‌شود. مدل ۹-اشتراکی بر مبنای تشکیل این ماتریس رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه را بدست می‌آورد.

$$R(A,B)=\begin{bmatrix} A^o\cap B^o & A^o\cap \partial B & A^o\cap B^- \\ \partial A\cap B^o & \partial A\cap \partial B & \partial A\cap B^- \\ A^-\cap B^o & A^-\cap \partial B & A^-\cap B^- \end{bmatrix} \quad (۱)$$

مدل توپولوژی RCC بر مبنای رابطه همبندی C(x,y)، (ناحیه x و ناحیه y با یکدیگر همبند هستند) است؛ با استفاده از این رابطه همبندی، یک مجموعه از رابطه‌های باینری تعریف می‌شوند که در جدول ۱ تشریح شده است [۱۰].

[1] Region Connection Calculus

جدول ۱- رابطه‌های باینری مدل RCC [۱۰]

رابطه	توضیحات	تعریف
DC(x, y)	x is disconnected from y	$\neg C(x,y)$
P(x, y)	x is a part of y	$\forall z\,[C(z,x)\rightarrow C(z,y)$
PP(x, y)	x is a proper part of y	$P(x,y)\wedge\neg P(x,y)$
EQ(x, y)	x is identical with y	$P(y,x)\wedge P(y,x)$
O(x, y)	x overlaps y	$\exists z\,[P(z,x)\wedge P(z,y)]$
PO(x, y)	x partially overlaps y	$O(x,y)\wedge\neg P(x,y)$ $\wedge\neg P(y,x)$
EC(x, y)	x is externally connected to y	$C(x,y)\wedge\neg O(x,y)$
DR(x, y)	x is discrete from y	$\neg O(x,y)$
TPP(x, y)	x is a tangential proper part of y	$PP(x,y)$ $\wedge\exists z\,[EC(z,x)$ $\wedge EC(z,y)]$
NTPP(x, y)	*x* is a non-tangential proper part of *y*	$PP(x,y)$ $\wedge\neg\exists z\,[EC(z,x)$ $\wedge EC(z,y)]$

۲-۲- رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر

مدل‌های قبلی بیشتر برای رابطه توپولوژیک ناحیه-هایی به کار می‌روند که دارای حفره نباشند. در شکل ۲ نشان داده شده که برای رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های متفاوت، مدل ۹-اشتراکی قادر به تمایز این دو رابطه نیست و نتیجه یکسانی می‌دهد.

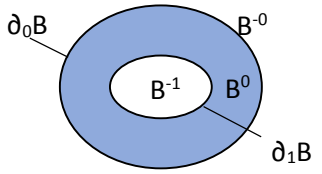
شکل ۲- مدل ۹-اشتراکی برای ناحیه‌های متفاوت رابطه توپولوژیک یکسان می‌دهد

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شد، زمانی که ناحیه‌ها دارای حفره باشند، مدل‌های تئوری مانند مدل ۹-اشتراکی مفید نبوده و نمی‌تواند رابطه توپولوژیک بین آنها را استخراج کند. بنابراین در اینگونه موارد نیاز به مدل‌های دیگری است. با توجه مدلی که در [۱۱] ارائه شده است، ناحیه حفره‌دار بر مبنای اجزای آن در نظر گرفته شده و رابطه توپولوژیک آن با ناحیه بدون حفره بدست می‌آید. مدلی که برای ناحیه حفره‌دار (مثلاً B) به کار می‌رود، بر مبنای ۵ بخش است. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است این ۵ بخش شامل زیر هستند [۱۱]:

Archive of SID

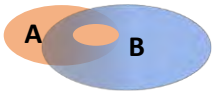
www.SID.ir

۱. B^0 درون B
۲. B^{-1} بیرون درونی B که حفره B را پر می‌کند
۳. B^{-0} بیرون خارجی B
۴. $\partial_1 B$ مرز درونی B که B^0 را از B^{-1} جدا می‌کند
۵. $\partial_0 B$ مرز خارجی B که B^0 را از B^{-0} جدا می‌کند می‌باشند.



شکل ۳- ۵ بخش‌های اصلی یک ناحیه حفره‌دار B

مولفه‌های توصیف کیفی ناحیه حفره‌دار B شامل (۱) حفره B_H ($B^{-1} \cup \partial_1 B$) و (۲) ناحیه عمومی B* ($B_H \cup B^o \cup \partial_0 B$) هستند. رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه (A) و ناحیه حفره‌دار (B) به صورت یک صحنه مکانی[۱] مدل می‌شود [۱۲] و شامل رابطه‌های توپولوژیک بین A، B* و B_H است. در واقع این مدل صحنه مکانی توسعه یافته مدل ۹-اشتراکی است به‌طوری که رابطه توپولوژیک بین هریک از A، B* و B_H بدست آمده و به رابطه توپولوژیک بین A و B می‌رسیم (شکل ۴) [۱۱].



	A	B*	B_H
A	equal	overlaps	covers
B*	overlaps	equal	contains
B_H	covered By	inside	equal

شکل ۴- مثالی از مدل صحنه مکانی رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه (A) و ناحیه حفره‌دار دیگر (B)

در این ۹ رابطه توپولوژی، ۵ رابطه به‌صورت ضمنی همیشه مشخص هستند؛ رابطه توپولوژی هریک از A، B* و B_H با خودشان همواره equal است، از طرفی B* هم همواره شامل B_H (B* contains B_H, B_H inside B*) می‌باشد. همچنین در صورتی که رابطه یکی با دیگری مشخص باشد، رابطه بالعکس آنها هم معلوم می‌شود. به عنوان مثال در شکل ۴، از آنجا که رابطه A covers B_H مشخص است، بنابراین معکوس آن، B_H coveredBy A، نیز معلوم خواهد بود. در نتیجه برای تشکیل مدل صحنه مکانی و تعیین رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه A و B تنها به ۲ رابطه، رابطه بین A و B* و رابطه بین A و B_H نیاز است. رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر با T_{RRh} نشان داده می‌شود و عکس آن، رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه حفره‌دار و ناحیه دیگر با T_{RhR} (۲).

$$T_{RRh}(A,B) = [t(A,B^*)\ t(A,B_H)] \qquad (۲)$$

با توجه به مدل صحنه مکانی و رابطه (۲) تعداد رابطه‌های توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر $۸^۲$=۶۴ می‌باشد؛ اما از این تعداد تنها ۲۳ رابطه سازگار بوده و می‌تواند بین دو ناحیه وجود داشته باشد (شکل ۵). این ۲۳ رابطه توپولوژیک درحالتی است که ناحیه A بدون حفره و ناحیه B با حفره باشد؛ به طور مشابه اگر ناحیه A با حفره و ناحیه B بدون حفره در نظر گرفته شود، مطابق (۳) به ۲۳ رابطه توپولوژیک دیگر دست می‌یابیم. از بین این ۲۳ جفت رابطه توپولوژیک معکوس T_{RRh} و T_{RhR}، ۵ جفت رابطه یکسان دارند، بنابراین می‌توان گفت که در نهایت ۴۱ رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه (یکی بدون حفره و دیگری حفره‌دار) وجود دارد [۱۱].

$$T_{RhR}(A,B) = \begin{bmatrix} t(B^*,A) \\ t(B_H,A) \end{bmatrix} = [\overline{t(A,B^*)}\ \overline{t(A,B_H)}]^T \qquad (۳)$$

با توجه به شکل ۵، زمانی که رابطه بین A و B* یکی از ۵ رابطه disjoint، meet، covers، contains یا equal باشد، به دلیل قید B* contains B_H، رابطه بین A و B_H تنها یک حالت خواهد داشت؛ اما در ۳ رابطه دیگر بین A و B* شامل overlap، coveredBy و inside رابطه‌های گوناگونی بین A و B_H امکان‌پذیر خواهد بود. زمانی که رابطه بین A و B* به صورت overlap یا coveredBy باشد، A و B_H می‌توانند ۵ رابطه متفاوت داشته باشند و زمانی که رابطه بین A و B* inside باشد، ۸ رابطه متفاوت بین A و B_H امکان‌پذیر است. این قیدها و شرایط معرفی شده می‌تواند در پیاده‌سازی استخراج رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه بدون حفره و ناحیه حفره‌دار به کار رود.

با توجه به ناحیه‌های مکانی حفره‌دار و گوناگونی رابطه توپولوژیک بین آن‌ها، استخراج رابطه توپولوژیک بین آن‌ها در محیط شبکه‌های حسگر مکانی از اهمیت زیادی برخوردار است. مدل‌های ۴-اشتراکی و ۹-اشتراکی قادر به

[۱] Spatial scene

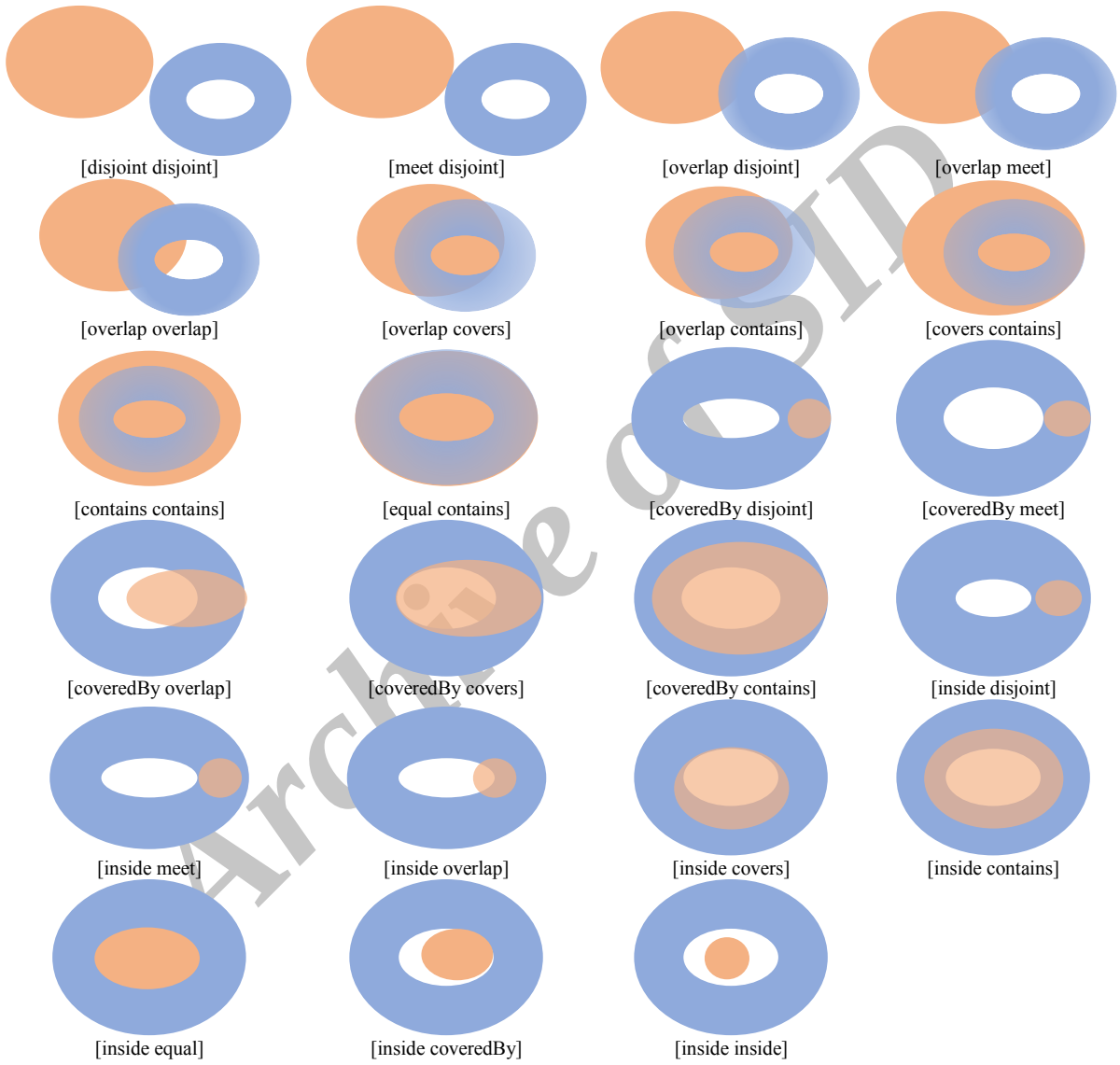
Archive of SID

www.SID.ir

متمایز کردن رابطه‌های توپولوژیک بین ناحیه‌های مکانی حفردار نیستند؛ بنابراین نیاز است تا بر مبنای مدل ۹- اشتراکی توسعه یافته روشی پیشنهاد شود که بتوان با طراحی الگوریتمی، رابطه‌های توپولوژیک گوناگون بین ناحیه‌های مکانی حفره‌دار را در محیط شبکه‌های حسگر مکانی بدست آورد.

۳- مدل شبکه حسگر مکانی

گره‌های شبکه حسگر مکانی می‌توانند پدیده‌های محیطی را با جزئیات زمانی-مکانی خوبی پایش کنند. گره‌ها به صورت محلی اطلاعات محیطی را جمع‌آوری می‌کنند و پدیده محیطی مورد نظر از فضای پیوسته به فضای گسسته انتقال می‌یابد، این فرآیند به اصطلاح گسسته‌سازی نام دارد [۱۳].



شکل ۵- ۲۳ رابطه توپولوژیک ممکن بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر [۱۱]

به طور رسمی اجزای بنیادی شبکه حسگر مکانی را می‌توان به صورت زیر مدل کرد [۱۴]:

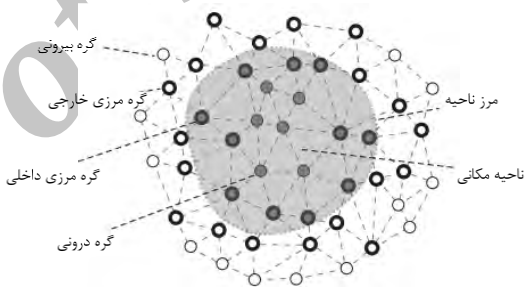
۱. یک گراف $G = (V, E)$، که شبکه و رابطه‌های آن را مدل می‌کند.
۲. تابع حسگر $s: V \to C$، آنچه را که یک گره می‌تواند حس کند مدل می‌کند.
۳. تابع شناسه $id: V \to \mathbb{N}$، که شناسه منحصر به فرد هر گره را مدل می‌کند.

Archive of SID

www.SID.ir

در شبکه حسگر مکانی هر گره می‌تواند با همسایه‌های یک هاپ خود رابطه برقرار کند؛ همسایه‌های هر گره v ∈ V با nbr(v) نمایش داده می‌شود که $nbr(v) = \{v' | (v,v') \in E\}$. در این شبکه‌ها ناحیه مکانی R به عنوان زیرمجموعه‌ای از گره‌های شبکه مدل می‌شود که برای همه گره‌های v ∈ R، s(v) = 1 است.

در یک شبکه حسگر مکانی، هر گره اطلاعات محلی خود را به همسایه‌های یک هاپ خود ارسال و همچنین اطلاعاتی را از آن‌ها دریافت می‌کند و بر اساس این اطلاعات تعیین می‌کند که گره مرزی[1] است یا نه. در یک شبکه G = (V, E)، گره $v \in V$ گرهی مرزی است اگر $v' \in nbr(v)$ وجود داشته باشد، به طوری که s(v) ≠ s(v') باشد. با توجه به این تعریف‌ها، گره‌های شبکه حسگر مکانی که یک ناحیه مکانی با خاصیت (۱) را پایش می‌کنند، می‌توانند دارای چهار وضعیت مختلف شامل گره درونی[2]، گره مرزی درونی[3]، گره مرزی خارجی[4] و گره بیرونی باشند [۱۵].



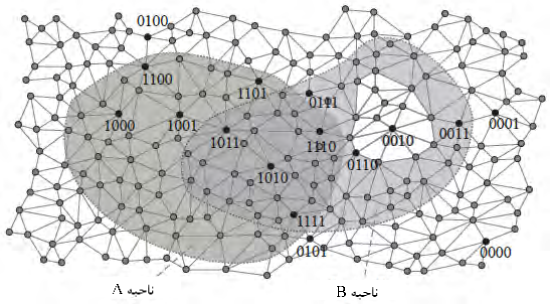
شکل ۶- وضعیت‌های متفاوت گره‌های یک شبکه حسگر مکانی هنگام پایش یک ناحیه مکانی

این چهار وضعیت برای گره‌های شبکه هنگام پایش یک ناحیه مکانی، با استفاده از روش غیرمتمرکز تنها با تکیه بر داده‌های حس شده توسط هر گره و اطلاعاتی که از همسایه‌های یک هاپ خود بدست می‌آورد، می‌تواند مشخص شود؛ شکل ۶ مثالی از یک ناحیه مکانی و شبکه حسگر مکانی است که وضعیت‌های مختلف گره‌ها مشخص شده‌اند.

۴- استخراج رابطه توپولوژیک در محیط شبکه حسگر مکانی

مدل شبکه حسگر مکانی بیان شده در قسمت قبل به راحتی می‌تواند توسعه یابد و همزمان دو و یا چند ناحیه مکانی را پایش کند. برای این منظور لازم است که تابع حسگر هر گره به صورت $sense: s(v) \rightarrow \{A, B\}$ توسعه داده شود. برای استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های مکانی پایش شده توسط شبکه حسگر مکانی لازم است تا ابتدا هر یک از اشتراک‌های مدل ۴-اشتراکی به صورت محلی در هریک از گره‌های شبکه تشکیل شود.

هر یک از گره‌ها بر مبنای مقدار حس شده خود و اطلاعاتی که از همسایگی‌های مجاور خود می‌گیرد، عدد ۴ رقمی مربوط به مدل ۴-اشتراکی را تشکیل می‌دهد. با ادغام این اطلاعات از تمامی گره‌های سرتاسر شبکه، رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های مکانی استخراج می‌شود. شکل ۷ دو ناحیه مکانی را نشان می‌دهد که توسط شبکه حسگر مکانی پایش شده و هر یک از گره‌ها به صورت محلی اطلاعاتی را برای رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه بدست آورده‌اند.



شکل ۷- دو ناحیه مکانی پایش شده توسط شبکه حسگر مکانی و اشتراک‌های توپولوژیک محلی گره‌ها [۱۵]

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، وضعیت هر گره به صورت محلی می‌تواند نشان‌دهنده یک رابطه توپولوژیک منحصر به فرد نباشد و نیاز است تا پردازش‌هایی برای جمع‌آوری و ادغام وضعیت‌های هر یک از گره‌ها انجام شود و در نتیجه رابطه توپولوژیک نهایی بین دو ناحیه مکانی بدست آید.

۵- روش پیشنهادی

در این تحقیق از شبکه‌های حسگر مکانی استفاده شده تا رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر بدست آید. برای استخراج رابطه توپولوژیک الگوریتمی طراحی شده است. این الگوریتم بر مبنای مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته، رابطه‌های توپولوژیک مختلف بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر را تعیین می‌کند. با توجه به شرایط

---
۱ Boundary Node
۲ Interior Node
۳ Inner Boundary Node
۴ Outer Boundary Node

Archive of SID

www.SID.ir

محیطی ممکن است موقعیت مختصاتی گره‌ها قادر به اندازه‌گیری نباشد، لذا تنها اطلاعات مکانی هر گره آگاهی از گره‌های همسایگی مجاور خود می‌باشد. الگوریتم طراحی شده بدون داشتن موقعیت گره‌ها و بر مبنای سیستم محاسبات غیرمتمرکز عمل می‌کند.

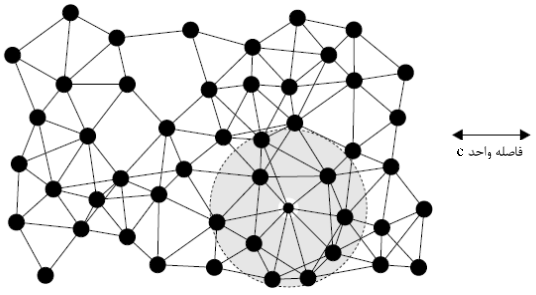
برای استخراج رابطه بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر و تشکیل مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته، تنها نیاز است تا رابطه توپولوژیک بین ناحیه (A) با هر یک از المان‌های حفره (B_H) و ناحیه عمومی (B*) ناحیه حفره‌دار دیگر (B) مشخص شود؛ در این مقاله برای بدست آوردن این رابطه‌های توپولوژیک، از مدل ۴-اشتراکی استفاده شده و سپس با تشکیل مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه بدست می‌آید.

۶- پیاده‌سازی

با توجه به روش پیشنهادی نیاز به طراحی الگوریتمی است، در قسمت بعدی مقدمات الگوریتم، فلوچارت و نحوه طراحی آن و در ادامه محیط شبیه‌سازی به تفصیل توضیح داده می‌شود.

۶-۱- مقدمات الگوریتم

بعد از پراکنده شدن گره‌های شبکه در محیط، ابتدا لازم است رابطه بین گره‌ها از طریق ساختارهای همسایگی میسر گردد. بنیادی‌ترین ساختار همسایگی شبکه که در این تحقیق به عنوان ساختار پیش فرض به کار رفته، گراف دیسک واحد[۱] (UDG) است. این ساختار با برقراری ارتباط بین تمام گره‌هایی که در فاصله واحد c قرار گرفته تشکیل شده و ارتباط آنها با یال‌های گراف E مشخص می‌شود (شکل ۸).

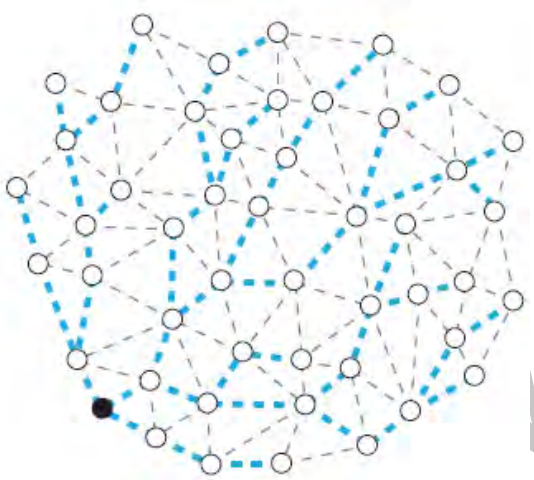


شکل ۸- مثالی از ساختار گراف دیسک واحد (UDG)

۱ Unit Disk Graph

علاوه بر ساختار گراف دیسک واحد، برای ادغام و یکپارچه‌سازی اطلاعات در شبکه حسگر مکانی نیاز به ساختار پوششی است که در این تحقیق از ساختار درخت ریشه‌دار استفاده شده است. در این ساختار یکی از گره‌های شبکه به عنوان گره ریشه انتخاب شده و سایر گره‌ها اطلاعات محلی خود را در مسیر شاخه‌های درخت به گره ریشه ارسال می‌کنند (شکل ۹).

برای استخراج رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر در محیط شبکه حسگر مکانی، الگوریتمی بر مبنای سیستم محاسبات غیرمتمرکز طراحی شده است. این الگوریتم از چند قسمت تشکیل شده است: عنوان[۲]، وضعیت[۳]ها، رویداد[۴]ها و عمل[۵]ها.



شکل ۹- ساختار درخت ریشه‌دار که شبکه حسگر مکانی را پوشش می‌دهد. شاخه‌های درخت با خطوط آبی و ریشه به رنگ مشکی نشان داده شده است

الگوریتم با لیستی از محدودیت‌ها[۶]، فرضیاتی که برای الگوریتم نیاز است تا به درستی عمل کند، شروع می‌شود، شامل:

- مدل شبکه حسگر مکانی به صورت یک گراف همبند دوطرفه $G = (V, E)$، تابع حسگر به صورت $sense: s(v) \rightarrow \{A, B\}$، همسایگی هر گره به صورت $nbr(v) = \{v' \mid (v, v') \in E\}$ و قابل اطمینان[۷] بودن ارتباط بین گره‌های شبکه.

۲ Header
۳ State
۴ Event
۵ Action
۶ Restrictions
۷ Reliable

Archive of SID

www.SID.ir

بعد از محدودیت‌ها، الگوریتم مجموعه‌ای از وضعیت‌ها، تغییر وضعیت‌های قابل مجاز و وضعیت‌های آغازی برای گره‌ها را مشخص می‌کند. چهار وضعیت برای گره‌های شبکه در نظر گرفته می‌شود؛ این چهار وضعیت را به دلخواه طوری نامگذاری می‌کنیم که نشان‌دهنده نقش و وضعیت فعلی آنها در شبکه باشد. در الگوریتم طراحی شده چهار وضعیت را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

۱. INIT: برای تشکیل ساختار درخت ریشه‌دار پوششی شبکه حسگر مکانی بی‌سیم، لازم است یکی از گره‌های شبکه به عنوان گره ریشه این ساختار درخت در نظر گرفته شود. بنابراین به طور تصادفی یکی از گره‌ها انتخاب شده و در وضعیت INIT قرار می‌دهیم. این گره در وضعیت INIT، با ارسال خودبخود پیغام به همسایگی‌هایش، الگوریتم را راه‌اندازی و اجرا می‌کند.

۲. SINK: گره انتخاب شده در وضعیت INIT پس از شروع الگوریتم (راه‌اندازی و اجرای الگوریتم با ارسال پیغام به همسایگی‌هایش)، به وضعیت SINK تبدیل می‌شود. این گره تا پایان الگوریتم، در همین وضعیت باقی می‌ماند. گره SINK در طول اجرای الگوریتم از گره‌های شبکه پیغام‌هایی را شامل اطلاعات توپولوژیک دو ناحیه دریافت و در پایان بر اساس اطلاعات دریافت شده، رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه را استخراج می‌کند.

۳. IDLE: زمانی که شبکه حسگر مکانی که از تعداد زیادی گره تشکیل شده، به طور تصادفی تولید می‌شود، همه گره‌ها در ابتدا و قبل از اجرای الگوریتم در وضعیت IDLE قرار می‌گیرند (به جز یک گره که به عنوان ریشه ساختار درخت در وضعیت INIT است).

۴. DONE: پس از اجرای الگوریتم توسط گره ریشه، گره‌های شبکه که در وضعیت IDLE قرار دارند، لازم است با همسایگی‌های یک هاپ خود ارتباط برقرار کنند و اطلاعاتی را ارسال و دریافت کنند. هر یک از گره‌ها بر مبنای داده‌هایی که حس می‌کنند و اطلاعاتی که از همسایگی‌های خود دریافت می‌کنند، به صورت محلی رابطه توپولوژیک را تعیین می‌کنند. زمانی که گره در وضعیت IDLE از تمام همسایگی‌های خود اطلاعات را دریافت کند، به وضعیت DONE تبدیل می‌شود و پیغامی شامل اطلاعات توپولوژیک محلی را به گره قبلی خود در ساختار درخت ارسال می‌کند. هر گره در وضعیت DONE، تا پایان اجرای الگوریتم در همین وضعیت باقی می‌ماند و تنها زمانی که اطلاعات جدیدی درباره رابطه توپولوژیک دریافت کند، این اطلاعات را به گره قبلی خود ارسال می‌کند.

تغییر وضعیت‌های بین گره‌ها مطابق شکل ۱۰ است.

شکل ۱۰- تغییر وضعیت‌ها بین گره‌ها

بر اساس [۱۶] هر گره قابلیت این را دارد تا به حافظه و پردازش محلی دسترسی و با گره‌های همسایگی خود ارتباط داشته باشد. حافظه محلی شامل وضعیت‌های آغازی گره و متغیرهای محلی است؛ متغیرهای محلی ساختارهای داده‌ای هستند که هر گره برای ذخیره‌سازی اطلاعاتی که در طول اجرای الگوریتم ایجاد می‌شوند استفاده می‌کند (این متغیرها به عنوان قلم آخر در عنوان الگوریتم لیست می‌شوند). این متغیرهای محلی شامل موارد زیر است:

- Bin: عدد باینری ۴ رقمی است که هر یک از ارقام آن نشان‌دهنده اشتراک بین اجزای دو ناحیه است.
- Parent: برای تشکیل ساختار درختی شبکه و ارسال اطلاعات محلی گره به ریشه استفاده می‌شود.
- N: شناسه گره‌های مجاور به منظور ارسال و دریافت اطلاعات

در هر وضعیت، گره تنها می‌تواند به رویدادهای سیستم پاسخ دهد. دو نوع رویداد وجود دارد: دریافت کردن یک پیغام (با کلید واژه Receiving) یا رویدادهای خود بخود (با کلید واژه Spontaneously، برای شروع اجرای الگوریتم استفاده می‌شود). زمانی که یک رویداد رخ می‌دهد، گره در واکنش به آن یک تعدادی از عملیات مشخص شده به نام action را اجرا می‌کند. فرض می‌شود این عملیات بدون نقص اجرا شوند (به عنوان مثال، هیچ رویداد دیگری نمی‌تواند روی یک عمل تأثیر بگذارد) و باید در یک مدت زمان محدود پایان یابند.

Archive of SID

www.SID.ir

برای هر وضعیت و رویداد باید دقیقا یک عمل وجود داشته باشد، State × Event → Action. در هر عمل، گره v به داده‌های حس شده توسط خودش (sense(v)) دسترسی خواهد داشت و دسترسی به اطلاعات گره‌های همسایگی آن، تنها زمانی میسر خواهد بود که قبلا از طریق ارتباط با آنها، صریحا دریافت و در متغیرهای محلی ذخیره کرده باشد.

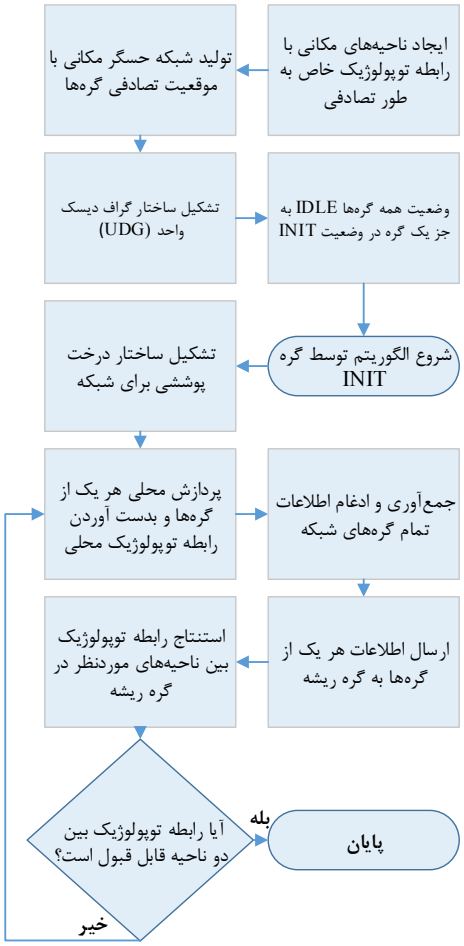
۶-۲- طراحی الگوریتم

هر گره می‌تواند بر مبنای اطلاعات محلی و اطلاعاتی که از همسایگی‌های خود دریافت می‌کند، مشخص کند که گره مرزی، گره درونی یا گره خارجی ناحیه حس شده است. بر همین اساس رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌هایی که توسط شبکه حسگر مکانی پایش می‌شوند، تعیین می‌شود. الگوریتم طراحی شده در این تحقیق، از مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته برای بدست آوردن رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر استفاده می‌کند. طراحی الگوریتم مطابق فلوچارت شکل ۱۱ می‌باشد که جزئیات آن در ادامه آمده است.

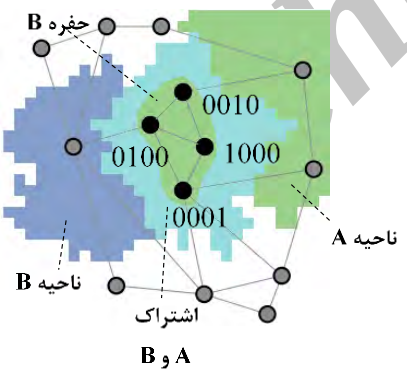
گره ریشه (وضعیت INIT) با رویداد خودبخود *Spontaneously* و انتشار پیغام tree الگوریتم را آغاز می‌کند و به وضعیت SINK تبدیل می‌شود. هر پیغام tree شامل مقدار حس شده توسط گره ($\hat{s}$) و شناسه آن گره ($\hat{id}$) است. گره ریشه در وضعیت SINK، منتظر می‌ماند تا پیغام‌های rprt را از گره‌های سرتاسر شبکه دریافت کند. سایر گره‌های شبکه که در وضعیت IDLE هستند، منتظر دریافت پیغام tree می‌مانند.

زمانی که یک پیغام tree دریافت شد، گره ابتدا ساختار درخت را شکل می‌دهد و سپس مطابق هریک از موارد زیر اطلاعات محلی خود را به روز می‌کند (شکل ۱۲):

- گرهی که هر دو ناحیه A و B را حس ($\hat{sense} = \{A, B\}$) و فقط همسایگی‌هایی دارد که هر دو ناحیه را حس می‌کنند، درون ناحیه A و B قرار دارد ($A^o \cap B^o \neq \emptyset$).
- گرهی که هر دو ناحیه A و B را حس و حداقل یک همسایگی دارد که فقط A را حس می‌کند، در مرز ناحیه B است ($A^o \cap \partial B \neq \emptyset$).
- گرهی که هر دو ناحیه A و B را حس و حداقل یک همسایگی دارد که فقط B را حس می‌کند، در مرز ناحیه A است ($\partial A \cap B^o \neq \emptyset$).
- گرهی که هر دو ناحیه A و B را حس می‌کند و حداقل یک همسایگی دارد که هیچ یک از دو ناحیه را حس نمی‌کند، در مرز ناحیه A و B است ($\partial A \cap \partial B \neq \emptyset$).



شکل ۱۱- فلوچارت الگوریتم طراحی شده



شکل ۱۲- چهار رقم ترکیب شده از اشتراک‌های متفاوت دو ناحیه A و *B؛ 1000 برای $A^o \cap B^{*o}$، 0100 برای $A^o \cap \partial B^*$، 0010 برای $\partial A \cap B^{*o}$ و 0001 برای $\partial A \cap \partial B^*$ است.

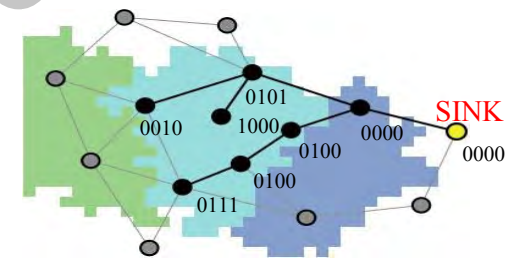
هر گره اشتراک‌های غیرتهی را که نتیجه می‌گیرد، با استفاده از تابع $bin: V \rightarrow \mathbb{B}^4$، به عنوان یک عدد ۴ بیتی ذخیره می‌کند. هنگامی که یک گره IDLE از تمام همسایگی‌هایش پیغام دریافت کرد، پیغام rprt را به گره

Archive of SID

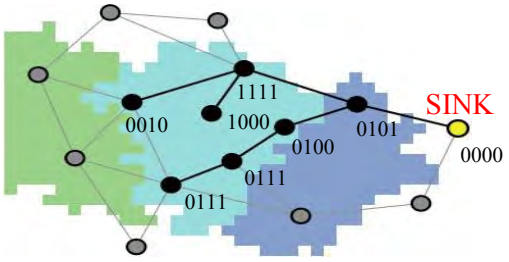
www.SID.ir

ریشه SINK ارسال می‌کند و سپس به DONE تغییر وضعیت می‌دهد.

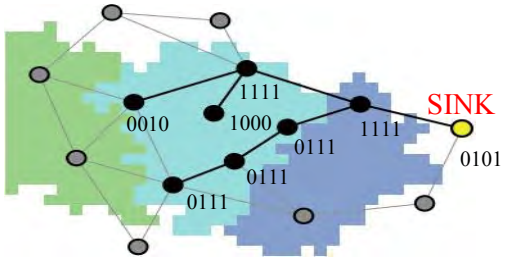
هر زمان گره‌های IDLE یا DONE پیغام rprt دریافت کنند، در صورتی که این پیغام شامل اطلاعاتی باشد که گره قبلا ارسال کرده است، می‌توانند آن پیغام را رد کنند؛ در غیر اینصورت اطلاعات آن را با اطلاعات محلی خود ترکیب می‌کنند و سپس اطلاعات جدید را ارسال می‌کنند؛ فرآیند ادغام اطلاعات در شکل ۱۳ نشان داده شده است. یال‌های مشکی پررنگ در شبکه درخت پوششی در مسیر ارسال اطلاعات به گره ریشه هستند. در گام اول شکل ۱۳، ابتدا هر گره مقدار خود را حس می‌کند و سپس عدد ۴ بیتی خود را به روز می‌کند. بعد از دریافت پیغام‌ها از تمامی همسایگی‌های یک هاپ، هر گره یک پیغام rprt به گره والد خود در درخت ارسال می‌کند (گام دوم در شکل ۱۳). قبل از ارسال کردن پیغام rprt، گره‌ها عدد ۴ بیتی دریافت شده را با اطلاعاتی که قبلا دریافت کرده‌اند مقایسه می‌کنند و تنها اطلاعات جدید را به گره ریشه ارسال می‌نمایند (گام‌های سوم و چهارم در شکل ۱۳).



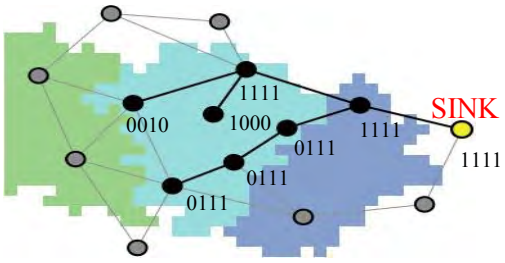
گام اول



گام دوم



گام سوم



گام چهارم

شکل ۱۳- فرآیند ادغام داده‌ها (گام‌های اول تا چهارم)

در پایان گره SINK می‌تواند رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه را بر مبنای ترکیب تمامی پیغام‌های دریافت شده از گره‌ها استنتاج کند. برای بدست آوردن رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه A و ناحیه حفره‌دار B، یک بار الگوریتم برای رابطه بین A و B_H و بار دیگر برای رابطه بین A و B^* اجرا خواهد شد و در نهایت مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته تشکیل می‌شود تا رابطه توپولوژیک دو ناحیه با توجه به شکل ۵ استنتاج شود.

۷- محیط شبیه‌سازی

برای استخراج رابطه توپولوژیک در محیط شبکه حسگر مکانی، الگوریتم طراحی شده در محیط شبیه‌سازی NetLogo پیاده‌سازی شده است [۱۷]. در ادامه نحوه تولید داده‌ها و ذخیره‌سازی حفره در این محیط شبیه‌سازی تشریح می‌شود.

۷-۱- نحوه تولید داده‌ها

برای پیاده‌سازی الگوریتم طراحی شده، لازم است ناحیه‌های مکانی، شبکه حسگر مکانی و ارتباط بین گره‌ها در محیط NetLogo شبیه‌سازی و مدل شوند. NetLogo برای مدل کردن موارد ذکر شده، چهار نوع عامل[۱] دارد شامل: patches، turtles، links و observer. patches سلول‌های ثابتی هستند که در یک فضای دوبعدی به صورت شبکه‌ای (گریدی) چیده شده‌اند. turtles به صورت عامل‌های نقطه‌ای هستند که روی patches قرار می‌گیرند. links ارتباط بین turtles را در این محیط برقرار می‌کنند. observer اجرای سراسری شبیه‌سازی را تعریف می‌کند و هر آنچه را که در فرآیند شبیه‌سازی اتفاق می‌افتد، پایش می‌کند.

۱ Agent

Archive of SID

www.SID.ir

۷-۱-۱- ناحیه‌های مکانی

ناحیه‌های مکانی با استفاده از patches در محیط NetLogo شبیه‌سازی می‌شوند. برای هر یک از سلول‌های patches می‌توان رنگی را تعیین کرد که نشان‌دهنده ناحیه‌ها باشند. به صورت پیش‌فرض رنگ سلول‌ها سفید هستند؛ در این شبیه‌سازی برای ناحیه A رنگ قهوه‌ای، برای ناحیه B رنگ آبی و برای قسمت مشترک دو ناحیه A و B رنگ سبز را به هر یک از سلول‌ها اختصاص داده‌ایم. همچنین باید توجه داشت که هر یک از ناحیه‌ها به صورت مجموعه‌ای از سلول‌ها در کنار یکدیگر هستند و در درون مجموعه مربوط به ناحیه B سلول‌هایی را به رنگ پیش‌فرض سفید باقی می‌گذاریم که نشان‌دهنده حفره B هستند.

شکل ۱۴ مدل ناحیه‌های مکانی را نشان می‌دهد، در این شکل قسمت آبی و سبز ناحیه B است که حفره آن توسط ناحیه A پر شده است. قسمت سبز و قهوه‌ای ناحیه A را تشکیل می‌دهد. همانطور که گفته شد قسمت سبز مربوط به اشترک دو ناحیه A و B است.

شکل ۱۴- مدل ناحیه‌های مکانی در محیط شبیه‌سازی NetLogo

۷-۱-۲- شبکه حسگر مکانی

برای شبیه‌سازی شبکه حسگر مکانی در NetLogo، از turtles استفاده می‌شود. مجموعه‌ای از متغیرها و تابع‌ها تعریف می‌شوند که رفتارهای مختلف گره را در محیط شبیه‌سازی مدل کنند. در زیر لیستی از متغیرها برای هر گره شبکه حسگر مکانی در NetLogo آمده است:

- شناسه گره[۱]: هر گره یک شناسه منحصر به فرد در این محیط دارد.
- قرائت‌های حسگر[۲]: هر گره متغیری دارد که داده‌های حس شده درباره ناحیه‌های A و B را در خود ذخیره می‌کند. هر turtle که نشان‌دهنده گره شبکه است، به patch که روی آن قرار گرفته ارجاع و دسترسی دارد. لذا هر گره می‌داند که روی کدام patch و ناحیه است. در صورتی که گره روی patch قهوه‌ای رنگ باشد داده {"A"}، در صورتی که روی patch آبی رنگ باشد داده {"B"}، در صورتی که روی patch سبز رنگ باشد داده {"A" "B"} و در غیر اینصورت داده تهی {} را در متغیر محلی حسگر ذخیره می‌کند.
- همسایگی‌های یک هاپ[۳]: هر گره لیستی از همسایگی‌های یک هاپ خود را ذخیره می‌کند تا از این طریق اطلاعات بتواند بین همسایگی‌ها مبادله شود (اطلاعاتی مانند: قرائت‌های و داده‌های حسگر گره و اطلاعات ادغام شده محلی).
- والد: هر گره در ساختار درخت ریشه‌دار یک والد منحصر به فرد دارد که اطلاعات ادغام شده را در مسیر ساختار درخت به گره ریشه بازگرداند. والد گره یکی از همسایگی‌های یک هاپ گره است و در مرحله آغازی اجرای الگوریتم که توسط گره ریشه شروع می‌شود، بدست می‌آید.
- مجموعه ادغام‌سازی[۴]: هر گره اطلاعات دریافتی از همسایگی‌های خود را ذخیره و همه آنها را در مجموعه ادغام‌سازی، ادغام کرده تا اطلاعاتی را درباره رابطه توپولوژیک ناحیه‌ها محاسبه کند.
- عدد توپولوژیک گره: هر گره با قرائت‌های حسگر خود و تبادل اطلاعات با همسایگی‌های یک هاپ، یک عدد باینری ۴ رقمی مربوط به رابطه توپولوژیک محلی محاسبه می‌کند. لذا هر گره یک دانش محلی درباره رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه بدست می‌آورد.
- وضعیت گره: همانطور که بیان شد هر گره در طول اجرای الگوریتم دارای یکی از چهار وضعیت {INIT, SINK, IDLE, DONE} خواهد بود.

علاوه بر این متغیرها، هر گره دارای تابع‌هایی است که رفتار گره را در محیط شبیه‌سازی پیاده می‌کند. نام و عملکرد این تابع‌ها به صورت زیر است:

- sense: هر گره می‌تواند با توجه به patch که روی آن قرار گرفته، مشخص کند کدام ناحیه را حس می‌کند.
- receiving: هر گره در طول الگوریتم پیغام‌هایی را از همسایگی‌های یک هاپ خود دریافت می‌کند. با توجه

۱ Node ID
۲ Sensor Readings
۳ One-hop Neighbors
۴ Aggregating Set

Archive of SID

www.SID.ir

به نوع پیغامی که دریافت می‌شود، هر گره متناظر با آن پیغام، پردازش‌هایی را بر روی اطلاعات پیغام انجام می‌دهد.

- broadcast: هر گره اطلاعات خود را با انتشار یک پیغام، با همسایگی‌های یک هاپ خود مبادله می‌کند.
- compute aggregates: در ساختار درخت، هر گره اطلاعاتی را از ولد خود دریافت، سپس تمامی اطلاعات را ادغام کرده و از طریق گره والد در مسیر درخت به گره ریشه ارسال می‌کند.

۷-۱-۳- ارتباط بین گره‌ها

در مدل شبکه حسگر مکانی، برای ارتباط بین گره‌ها از ساختار گراف دیسک واحد استفاده می‌شود. برای تشکیل این ساختار از یک مقدار واحد به عنوان دامنه ارتباط بین گره‌ها استفاده می‌شود. زمانی که این مقدار تعیین می‌شود، در محیط شبیه‌سازی NetLogo می‌توان از تابع in-radius استفاده کرد تا برای هر گره، گره‌هایی را که در دامنه ارتباطی موردنظر قرار دارند، مشخص شود. به این ترتیب همسایگی‌های یک هاپ هر گره مشخص می‌شود. همانطور که قبلاً هم توضیح داده شد، علاوه بر ساختار گراف دیسک واحد، از ساختار درخت ریشه‌دار نیز به عنوان ساختار پوششی شبکه برای ارسال اطلاعات به ریشه استفاده می‌شود. این ساختار در ابتدای اجرای الگوریتم تشکیل می‌شود.

۷-۲- نحوه ذخیره‌سازی حفره

در این مقاله یکی از ناحیه‌ها (ناحیه B) به‌صورت حفره‌دار در نظر گرفته می‌شود. همانطور که در بخش قبلی توضیح داده شد، در درون مجموعه سلول‌های آبی رنگ (ناحیه B)، قسمتی به صورت سفید رنگ باقی می‌ماند که نقش حفره B را دارد (شکل ۱۵).

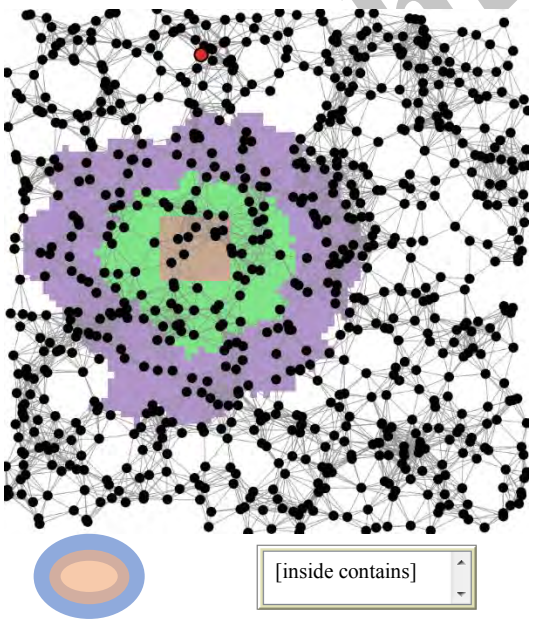
شکل ۱۵- نحوه نمایش ناحیه حفره‌دار

برای ذخیره‌سازی حفره در شبکه حسگر مکانی، گره‌هایی که بر روی patch سفید رنگ قرار گرفته‌اند و از طرفی درون ناحیه B هستند، حفره B را شناسایی و در متغیر خود به صورت B_H ذخیره می‌کنند.

۸- ارزیابی

به منظور استخراج رابطه توپولوژیک بین یک ناحیه و ناحیه حفره‌دار دیگر، الگوریتمی طراحی و در محیط NetLogo شبیه‌سازی گردید. در این شبیه‌سازی ابتدا مقادیر مورد نیاز تنظیم و سپس دو ناحیه مکانی (A بدون حفره و B حفره‌دار) و شبکه حسگر مکانی به طور تصادفی ایجاد می‌شوند. در مرحله بعد الگوریتم اجرا شده و پس از سپری شدن مدت زمان محدودی رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه مکانی موردنظر بدست آمده و نتیجه در خروجی برنامه نمایش داده می‌شود.

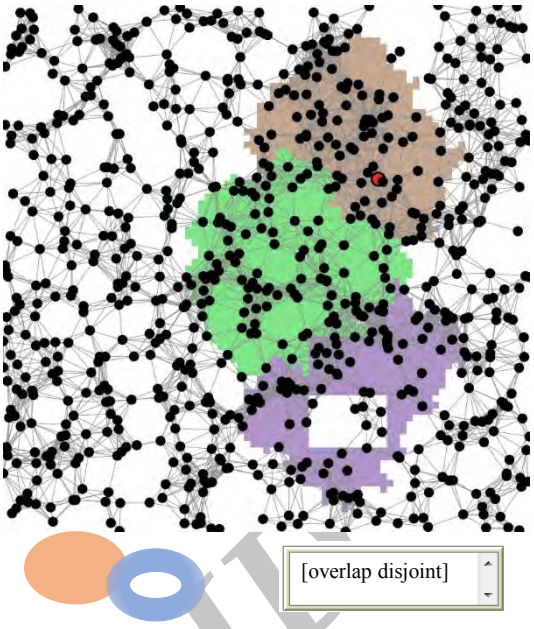
همانطور که در قبل توضیح داده شد، بر مبنای مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته بین یک ناحیه و ناحیه مکانی حفره‌دار دیگر ۲۳ رابطه توپولوژیک مختلف وجود دارد؛ در محیط NetLogo این رابطه‌های توپولوژیک مختلف بین دو ناحیه مکانی (مطابق شکل ۵) شبیه‌سازی شده و با استفاده از الگوریتم طراحی شده رابطه‌های توپولوژیک شناسایی و خروجی گرفته شده‌اند.



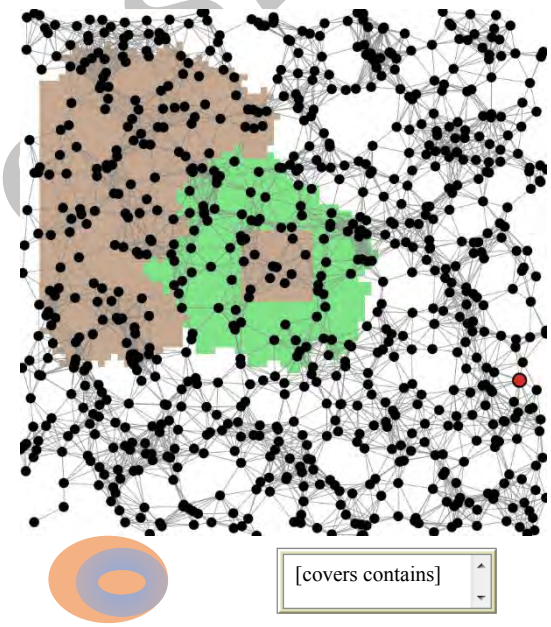
شکل ۱۶- رابطه توپولوژیک [inside contains] $= [t(A,B^*)\ t(A,B_H)]$

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۷- رابطه توپولوژیک [overlap disjoint] = $[t(A,B^*)\ t(A,B_H)]$



شکل ۱۸- رابطه توپولوژیک [covers contains] = $[t(A,B^*)\ t(A,B_H)]$

در شکل‌های شکل ۱۶ تا شکل ۱۸ برای رابطه‌های توپولوژیک مختلف بین ناحیه بدون حفره A و ناحیه حفره‌دار B، ناحیه‌های مکانی و شبکه حسگر مکانی شبیه-سازی شده و همچنین خروجی برنامه نشان داده شده است. برای مثال در شکل ۱۶ ناحیه A و *B رابطه inside، ناحیه A و B_H رابطه توپولوژیک contains دارند؛ بعد از تعیین دو رابطه (A, B_H) و (A, B*) مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته تشکیل شده و در پایان رابطه بین دو ناحیه A و B تعیین می‌گردد.

۹- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شبکه‌های حسگر مکانی فناوری جدیدی است که در زمینه‌های مختلف به خصوص پرسش و پاسخ‌های مکانی کاربرد دارند. در این تحقیق سعی شد تا رابطه‌های توپولوژیک مختلف بین یک ناحیه مکانی بدون حفره و ناحیه مکانی حفره‌دار دیگر در محیط شبکه حسگر مکانی استخراج شود.

برای استخراج رابطه توپولوژیک الگوریتمی طراحی شد. مدل‌های تئوری قبلی برای ناحیه‌های مکانی بدون حفره کاربرد دارند و برای ناحیه‌های حفره‌دار قادر به متمایز کردن رابطه‌های توپولوژیک گوناگون نیستند و نتیجه یکسانی می‌دهند. لذا تئوری این الگوریتم بر مبنای مدل ۹-اشتراکی توسعه یافته است.

در الگوریتم طراحی شده از سیستم محاسبات غیرمتمرکز استفاده شده است. در این سیستم محاسبات نقل و انتقال اطلاعات بین گره‌ها تا حد زیادی از طریق ادغام و یکپارچه‌سازی اطلاعات کاهش می‌یابد. هر گره پردازش‌هایی را به صورت محلی انجام می‌دهد، اطلاعات به صورت درون شبکه‌ای پردازش می‌شوند و تنها اطلاعات موردنیاز بین گره‌ها تبادل می‌شوند.

گره‌های شبکه حسگر مکانی با توجه به شرایط ممکن است در محیط‌هایی قرار گیرند که برای تعیین سیستم مختصات نامناسب باشد (به عنوان مثال، استفاده کردن از GPS در محیط‌های جنگلی). بنابراین با فرض این که موقعیت مختصاتی گره‌ها قادر به اندازه‌گیری نباشد، تنها اطلاعات مکانی هر گره آگاهی از گره‌های همسایگی مجاور خود می‌باشد. در این تحقیق الگوریتم به گونه‌ای طراحی شده تا گره‌ها تنها با تکیه بر اطلاعات همسایگی خود بتوانند به صورت غیرمتمرکز و با پردازش‌های محلی رابطه توپولوژیک بین دو ناحیه مکانی را بدست آورند.

روش پیشنهادی و الگوریتم طراحی شده برای استخراج رابطه توپولوژیک در محیط شبکه حسگر مکانی در شرایطی که گره‌های شبکه استاتیک بوده به کار می‌رود. در شرایطی که ناحیه‌های مکانی در طول زمان رابطه توپولوژیک آنها تغییر می‌کند، این الگوریتم می‌تواند به صورت لحظه‌ای (snapshot) اجرا شود؛ در این کاربردها لازم است برای بدست آوردن تغییرات توپولوژیک دو ناحیه، الگوریتم هر

Archive of SID

www.SID.ir

چند لحظه یکبار دوباره اجرا شود و رابطه توپولوژیک را استخراج کند.

از کاربردهای دیگر این تحقیق، رابطه آن با سیستم‌های اطلاعات مکانی فراگستر[1] است. فناوری‌ها و تکنولوژی فراگستر نسل جدیدی از سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS) است و به معنای اینکه در هر مکان، در هر زمان، توسط هر فرد و با هر وسیله بتوان به هر سرویس داخل هر شبکه دسترسی داشت و اطلاعات موردنیاز را دریافت کرد. با توجه به این تعریف، استخراج رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌ها در محیط شبکه حسگر مکانی می‌تواند به عنوان ورودی فناوری جدید سیستم‌های اطلاعات مکانی فراگستر در نظر گرفته شود.

در تحقیقات گذشته در شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم رابطه توپولوژیک بین ناحیه‌های مکانی بدون حفره بدست آمده است؛ در این تحقیق یکی از ناحیه‌ها بدون حفره و ناحیه دیگر حفره‌دار در نظر گرفته شد. انتظار می‌رود تا در تحقیقات آتی با طراحی الگوریتم‌های دیگری، بتوان رابطه توپولوژیک را برای ناحیه‌های حفره‌دار با دو یا تعداد بیشتر حفره در محیط شبکه‌های حسگر مکانی بدست آورد.

در این تحقیق گره‌های شبکه به صورت استاتیک در نظر گرفته شده‌اند؛ پیشنهاد می‌شود با توسعه الگوریتم طراحی شده در این تحقیق بتوان گره‌های شبکه را به صورت دینامیک و متحرک در نظر گرفته و تغییرات توپولوژیک را برای ناحیه‌ها استخراج نمود.

مراجع

[1] L.-J. Guan and M. Duckham,(2011), "A unified framework for decentralized reasoning about gradual changes in topological relations," in Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 413-416.

[2] J. Jiang, M. Worboys, and S. Nittel,(2011), "Qualitative change detection using sensor networks based on connectivity information," GeoInformatica, vol. 15, pp. 305-328.

[3] M.-H. Jeong and M. Duckham,(2013), "Decentralized querying of topological relations between regions monitored by a coordinate-free geosensor network," GeoInformatica, vol. 17, pp. 669-696.

[4] M. Duckham, D. Nussbaum, J. Rudiger Sack, and N. Santoro,(2011), "Efficient, decentralized computation of the topology of spatial regions," Computers, IEEE Transactions on, vol. 60, pp. 1100-1113.

[5] M. J. Sadeq, M. Duckham, and M. F. Worboys,(2013), "Decentralized Detection of Topological Events in Evolving Spatial Regions," The Computer Journal, vol. 56, pp. 1417-1431.

[6] M. Deng, T. Cheng, X. Chen, and Z. Li,(2007), "Multi-level topological relations between spatial regions based upon topological invariants," GeoInformatica, vol. 11, pp. 239-267.

[7] M. J. Egenhofer and J. Herring,(1990), "Categorizing binary topological relations between regions, lines, and points in geographic databases," Technical report, Department of Surveying Engineering, Univercity of Main.

[8] M. J. Egenhofer, J. Sharma, and D. M. Mark,(1993), "A critical comparison of the 4-intersection and 9-intersection models for spatial relations: formal analysis," AUTOCARTO-CONFERENCE, pp. 1-11.

[9] D. A. Randell, Z. Cui, and A. G. Cohn,(1992), "A spatial logic based on regions and connection," Proceedings of the Third International Conference in Principles of Knowledge Representation and Reasoning, pp. 165-176.

[10] S. Li and M. Ying,(2003), "Region connection calculus: Its models and composition table," Artificial Intelligence, vol. 145, pp. 121-146.

[11] M. J. Egenhofer and M. Vasardani,(2007), "Spatial reasoning with a hole,"Spatial Information Theory, Springer, pp. 303-320.

[12] M. J. Egenhofer,(1997), "Query processing in spatial-query-by-sketch," Journal of Visual Languages & Computing, vol. 8, pp. 403-424.

[13] M. F. Goodchild,(1992), "Geographical data modeling," Computers & Geosciences, vol. 18, pp. 401-408.

[1] Ubiquitous GIS

Archive of SID

www.SID.ir

[14] A. Stefanidis and S. Nittel,(2004), GeoSensor networks. CRC Press.

[15] L.-J. Guan,(2012), "Topological relationships between continuously evolving regions in geosensor networks," PhD thesis, Department of Infrastructure Engineering, Melbourne School of Engineering, University of Melbourne.

[16] N. Santoro,(2006), Design and analysis of distributed algorithms vol. 56: John Wiley & Sons.

[17] U. Wilensky. (1999). NetLogo. Available: http://ccl.northwestern.edu/netlogo/

Archive of SID

www.SID.ir