نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره چهارم، شماره۴، اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

استخراج روابط توپولوژیک بین ناحیه‌های پایش شده توسط شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم بر مبنای ساختارهای مرزی

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

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی – گروه مهندسی نقشه‌برداری – پردیس دانشکده‌های فنی – دانشگاه تهران
kazemizade.omid@ut.ac.ir

[۲] استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری – پردیس دانشکده‌های فنی – دانشگاه تهران
abaspour@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۳، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۳)

Archive of SID

چکیده

شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم نسل جدید و توسعه یافته شبکه‌های حسگر بی‌سیم در حوزه‌ی مکانی هستند که پدیده‌های محیطی را کشف، بازبینی، پایش، ردیابی و پردازش می‌کنند. به دلیل محدودیت‌های موجود در شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم، به خصوص محدودیت منبع انرژی، در این تحقیق از سیستم محاسباتی غیرمتمرکز استفاده شده تا با پردازش‌های درون شبکه‌ای و کاهش تبادل اطلاعات، مصرف انرژی شبکه تا حد زیادی کاهش یابد. در این تحقیق بر مبنای سیستم محاسباتی غیرمتمرکز الگوریتم‌هایی طراحی می‌شود که بتوان به پرسش‌های لحظه‌ای برای استخراج ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها پاسخ داد. در این الگوریتم‌ها تنها از اطلاعات محلی هر گره و اطلاعات همسایه‌های مجاور آن استفاده می‌شود تا بتوان ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها را بدست آورد. چالش اصلی در کاربرد شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم گسسته بودن فضای اطلاعاتی آن است. در این تحقیق از ساختارهای مرزی، گره‌های مرزی، حلقه مرزی و جهت مرز استفاده شده تا بتوان در فضای گسسته این شبکه‌ها ارتباط‌های توپولوژی شمول، همجواری و همپوشانی را بدست آورد. الگوریتم شمول و همجواری مبنایی برای الگوریتم همپوشانی است. در الگوریتم‌های شمول و همپوشانی از هر سه ساختار مرزی استفاده شده در حالی که در الگوریتم همجواری نیازی به جهت مرز نیست. پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها در محیط شبیه‌سازی انجام شده و نتایج بدست آمده از آن‌ها تشریح شده است.

واژگان کلیدی : شبکه حسگر مکانی بی‌سیم، سیستم محاسبات غیرمتمرکز، ارتباط توپولوژی، ساختارهای مرزی

* نویسنده رابط

www.SID.ir

۱- مقدمه

شبکه حسگر مکانی بی‌سیم[۱] شبکه‌ای بی‌سیم از کامپیوترهای دارای توانمندی حسگر کوچک‌سازی شده، که به اصطلاح گره‌های حسگر نامیده می‌شوند، است که پدیده‌های جغرافیایی را در فضای مکانی پایش می‌کنند[۳-۱]. این شبکه‌ها کاربردهای وسیعی در علوم مکانی به خصوص در زمینه پایش کردن محیط دارند[۴].

به دلیل قیدها و محدودیت‌های موجود در شبکه‌های حسگر مکانی، به خصوص محدودیت منابع انرژی مصرفی حسگرها، به روش‌های جدیدی برای محاسبات مکانی نیاز است تا بتوان مصرف انرژی را در شبکه به حداقل رساند[۵،۶]. مهمترین تکنیک منحصر به فرد برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در این شبکه‌ها، طراحی الگوریتم‌های غیرمتمرکز[۲] است. در یک الگوریتم غیرمتمرکز، هر گره دانش محلی درباره وضعیت خودش و همسایگی‌های مجاور خود دارد[۱]. الگوریتم‌های غیرمتمرکز اطلاعات را تنها زمانی که نیاز باشد، به همسایگی‌های گره ارسال می‌کنند و میزان ارتباطات لازم را کاهش می‌دهند؛ در این الگوریتم‌ها هر گره پردازش‌هایی را به صورت محلی انجام می‌دهد، بنابراین در داخل شبکه پردازش اطلاعات انجام می‌شوند[۵،۷]. استفاده از تکنیک غیرمتمرکزسازی گسترش شبکه‌های حسگر مکانی را بهبود داده و طول عمر شبکه را برای کاربردهایی که نیاز به پایش محیط در مدت زمان طولانی‌تری دارند، افزایش می‌دهد[۸].

در این تحقیق با استفاده از سیستم محاسباتی غیرمتمرکز، الگوریتم‌هایی طراحی می‌شوند که بتوان به پرسش‌های لحظه‌ای برای استخراج ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌هایی که توسط شبکه‌های حسگر مکانی پایش شده‌اند، پاسخ داد. ابتدا تعداد زیادی از گره‌های شبکه در محیط توزیع شده و ناحیه‌های مدنظر را حس می‌کنند[۹]. فرض می‌شود ناحیه‌ها از طریق حس کردن پدیده‌های محیطی مانند hot spotها، محدوده با درجه حرارت بالا یا توده‌های آلودگی هوا بدست می‌آیند[۱۰].

مشارکت این تحقیق، فرض ساختارهای مرزی ناحیه‌ها به صورت غیرمتمرکز است که در سه سطح گره‌های مرزی، حلقه‌های مرزی و جهت مرز تعریف می‌شوند. از این ساختارها به عنوان مبنایی برای ادغام درون شبکه‌ای اطلاعات مکانی به‌صورت غیرمتمرکز و استخراج ارتباط‌های توپولوژی شمول[۳]، همجواری[۴] و همپوشانی[۵] بین ناحیه‌ها استفاده می‌شود[۱۱].

در ادامه ابتدا در بخش۲، مروری بر تحقیق‌های گذشته خواهد شد. در بخش۳، تکنولوژی شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم و مشخصات آن‌ها مرور می‌شود؛ همچنین سیستم محاسبات غیرمتمرکز و دلایل استفاده از آن‌ها در این شبکه‌ها بررسی خواهد شد. در بخش۴، تئوری استفاده شده در این تحقیق برای استخراج ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها به تفصیل بیان می‌شود. در بخش۵، جزئیات الگوریتم‌های طراحی شده تشریح خواهند شد. در بخش۶، بخشی از پیاده‌سازی توضیح داده می‌شود و در بخش۷، پیاده‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در پایان در بخش۸، نتیجه‌ای که از این تحقیق بدست می‌آید و همچنین پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی اشاره خواهد شد.

۲- پیشینه پژوهش

در سال ۲۰۰۹ Jiang و همکارانش تحقیقی را گزارش دادند که در آن، از شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای بدست آوردن اطلاعات برجسته‌ای درباره فیلدهای دینامیک، که به طور مکانی پراکنده شده بودند، استفاده کردند. تمرکز این تحقیق روی توصیف تغییرات قابل توجهی بود که در ناحیه‌های بسیار فعال هنگام تکامل زمانی فیلد اتفاق می‌افتد. این تغییرات شامل ادغام[۶] یا تفکیک[۷] ناحیه و ایجاد حفره یا حذف آن می‌باشد. برای آشکار کردن تغییرات کیفی، یک روش گزارش تغییر کیفی[۸] (QCR) توزیع شده بر مبنای همسایگی بین گره‌های حسگر بدون اطلاعات موقعیت توسعه داده شد. کارآیی این روش QCR با استفاده از نتایج شبیه‌سازی بررسی شد. نتایج نشان دادند که ارزش ارتباطی این روش در پایش کردن پدیده‌هایی با مقیاس زیاد، نسبت به روش استاندارد جمع‌آوری داده‌های

---

۱ Geosensor Networks (GSN)
۲ Decentralized

۳ Containment
٤ Adjacency
٥ Overlay
٦ Merging
۷ Splitting
۸ Qualitative Change Reporting

www.SID.ir
Archive of SID

مرزی که فرض می‌شود هر گره اطلاعات موقعیتی خود را دارد، از لحاظ بزرگی یک مرتبه پایین‌تر است[۴].

در سال ۲۰۱۱، Guan و Duckham برای نمایش و محاسبه تغییرات توپولوژی بین ناحیه‌هایی که به صورت تدریجی رشد یافته و توسط شبکه حسگر مکانی بی‌سیم پایش می‌شدند، مدلی رسمی را ارائه دادند. این مدل چارچوبی محاسباتی را فراهم کرده تا بتوان با اندازه‌گیری-های محلی حسگرها در سطح پایین، به اطلاعاتی درباره تغییرات ارتباط کلی با سطح بالای کیفی دست یافت. در این تحقیق، الگوریتم غیرمتمرکزی نیز طراحی و پیاده-سازی شد که به طور کارآمدی تغییرات توپولوژی را کشف می‌کرد. تغییر شکل‌های معمول مانند تغییر مقیاس و جابجایی می‌توانند توپولوژی بین دو ناحیه را تغییر دهند. این تحقیق از میان تغییر شکل‌ها تنها روی دو نوع تغییر مقیاس (انبساط و انقباض یک ناحیه) تمرکز کرده است. لذا نیاز است تا چارچوب محاسباتی الگوریتم به‌گونه‌ای توسعه داده شود تا بتوان انواع دیگر تغییر شکل‌ها را نیز بدست آورد[۲].

در سال ۲۰۱۲، Jafar Sadeq و همکارانش الگوریتم مکانی غیرمتمرکز، که به اصطلاح شناسایی کیفی تکامل ناحیه به صورت داخل شبکه‌ای[۱] نامیده می‌شود، ایجاد کردند و آن را برای کشف رویدادهای توپولوژی در ناحیه-هایی که توسط یک شبکه حسگر بی‌سیم پایش می‌شدند، تست کردند. ارزیابی تجربی این الگوریتم در تحقیق‌شان نشان می‌دهد که روش غیرمتمرکز در مقایسه با دیگر روش‌های متمرکز، می‌تواند گسترش ارتباط شبکه را به-طور کارآمدتری بهبود دهد[۱۲].

در سال ۲۰۱۳، Jeong و Duckham ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌هایی که توسط شبکه حسگر مکانی بی‌سیم بدون اطلاعات موقعیتی گره‌ها پایش شدند، را بدست آوردند. آنها در این تحقیق برای استخراج رابطه توپولوژی از مدل ۴- اشتراکی استفاده کردند. با استفاده از این مدل و برمبنای روش محاسباتی غیرمتمرکز الگوریتم‌هایی را طراحی و پیاده‌سازی کردند که تفاوت هر یک از آنها در چگونگی پردازش‌های درون شبکه‌ای می‌باشد. در برخی از الگوریتم‌ها تنها به گره‌های مرزی اکتفا شده و از این طریق توانسته‌اند میزان نقل و انتقال داده‌ها و مصرف انرژی را در شبکه کاهش دهند[۱].

۳- شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم و سیستم محاسبات غیرمتمرکز

توسعه تکنولوژی، قابلیت‌های جدید قابل توجهی را در زمینه علوم مکانی مدرن اضافه کرده است. این تکنولوژی که به اصطلاح شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم (GSN) نامیده می‌شوند، کاربردهای ویژه‌ای از تکنولوژی شبکه حسگر بی‌سیم[۲] (WSN) در حوزه‌ی مکانی و جغرافیایی هستند، که پدیده‌های محیطی را کشف، بازبینی، نظارت، ردیابی و پردازش می‌کنند [۱۳].

شبکه حسگر مکانی، شبکه بی‌سیم از کامپیوترهای حسگر-توانمند کوچک‌سازی شده، که به اصطلاح گره‌های حسگر نامیده می‌شوند، هستند که پدیده‌های جغرافیایی را پایش می‌کنند. هر گره در شبکه حسگر مکانی بی‌سیم، باید حداقل دارای میکروکنترل، رادیو بی‌سیم و تعدادی حسگر باشد (شکل ۱).

شکل۱- مثالی از یک گره حسگر [۱۴]

آنچه که امروزه استفاده از شبکه‌های حسگر مکانی را جذاب‌تر کرده، جمع‌آوری اطلاعات مکانی است که با جزئیات بالایی توسط این شبکه‌ها قابل دستیابی می‌باشد. در کنار خصوصیت‌های بالقوه این شبکه‌ها، قیدها و محدودیت‌هایی برای محاسبات مکانی مانند توان محدود باتری و محدودیت‌های ارتباطی وجود دارد.

مهمترین محدودیت مربوط به منبع انرژی گره است. گره‌ها برای تمام عملیاتی که در آن‌ها انجام می‌گیرد، شامل دریافت، پردازش و ارتباط اطلاعات، نیاز به توان و

۱ INQUIRE

۲ Wireless Sensor Network

www.SID.ir

انرژی باتری دارند. بر طبق آزمایشات، مشخص شده است که ارتباط بی‌سیم بین گره‌ها بیشترین توان انرژی باتری را مصرف می‌کند[۳]. بنابراین، نحوه ارتباط اطلاعات در میان گره‌ها، مهمترین قید در هر شبکه حسگر مکانی بی‌سیم است. در نتیجه، برای پاسخ به پرسش‌های مکانی، به الگوریتم‌هایی با سیستم محاسبات جدیدی نیاز است که بتواند با این قیدهای شبکه به طور کارآمد عمل نماید. سیستم محاسبات غیرمتمرکز روشی است که برای بهینه-کردن مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم به کار می‌رود.

در سیستم محاسبات غیرمتمرکز هر گره تنها به اطلاعات محلی خود و همسایگی‌های مجاور[۱] دسترسی دارد و پردازش‌های محلی را انجام می‌دهد[۱۵]. در این سیستم محاسباتی، اطلاعات در خود شبکه پردازش می-شوند[۱۶]. بنابراین، اطلاعات در این روش در داخل شبکه ادغام و یکپارچه‌سازی شده و مقدار نقل و انتقال داده‌ها کاهش می‌یابد و این خود موجب بهینه شدن مصرف انرژی در شبکه خواهد شد. در شبکه‌های حسگر مکانی به دلایلی مانند کاهش حجم اطلاعات، بهینه کردن مصرف انرژی و کاهش تأخیر زمانی از سیستم محاسبات غیرمتمرکز استفاده می‌شود.

۴- ساختارهای مرزی

مرز قسمت اصلی و بنیادی از یک ناحیه مکانی است که در پردازش اطلاعات مکانی و استخراج توپولوژی به کار می‌رود، برای مثال در مدل توپولوژیک چهار اشتراکی از اشتراک مرز ناحیه‌ها برای بدست آوردن ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها استفاده می‌شود[۱۷]. در این بخش سه ساختار مرزی، گره‌های مرزی، حلقه‌های مرزی و جهت مرز در شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم تعریف می‌شوند.

یک شبکه حسگر مکانی بی‌سیم به صورت یک گراف همبند دوسویی (۱) مدل می‌شود که مجموعه گره‌ها با رئوس V و لینک‌های ارتباطی آن‌ها با یال‌های E نشان داده می‌شود. هر گره حسگرهایی دارد تا تعیین کند که کدام ناحیه را حس می‌کند. این قابلیت با تابع (۲) مدل می‌شود. همسایگی هر گره، گره‌هایی هستند که می‌تواند با ارتباط مستقیم یک هاپ[۲] با آنها در تعامل باشد و با (۳) نمایش داده می‌شود[۱]. در این شبکه موقعیت مسطحاتی گره در محیط مکانی با استفاده از تابع موقعیت (۴) نمایش داده می‌شود[۱۱].

$$G = (V, E) \quad (۱)$$

$$\text{sense: } V \rightarrow P(\{A,B,C, \ldots\}) \quad (۲)$$

$$nbr(v) = \{v' | (v, v') \in E\} \quad (۳)$$

$$l: V \rightarrow \mathbb{R}^2 \quad (۴)$$

بر اساس توضیحات قبل، یک گره مرزی در شبکه حسگر مکانی بی‌سیم به صورت زیر تعریف می-شود[۱۸،۱۹]:

تعریف ۱: گره $v \in V$ گرهی مرزی است هرگاه حداقل یکی از همسایه‌های آن مانند $v' \in V$ وجود داشته باشد که $s(v) \neq s(v')$ باشد.

به عبارت دیگر گره مرزی، یک گره v است که یک همسایه یک هاپ v' دارد که داده‌ای متفاوت با v حس می‌کند. یک «مؤلفه ناحیه[۳]» شبکه یک زیرگراف همبند است که تمامی گره‌ها در این زیرگراف یک نوع داده حس می‌کنند و همسایه‌های این مؤلفه ناحیه داده‌ای متفاوت حس‌کنند. می‌توان تئوری مؤلفه ناحیه را اینگونه تعریف کرد:

تعریف ۲: یک جزء گراف (۱)، مجموعه‌ای از گره‌های V' زیرمجموعه V است به طوری که برای هر $v' \in V'$ و $v \in nbr(v')$، $s(v') = s(v)$ است اگر و تنها اگر $v \in V'$ باشد. زیرگراف G' زیرمجموعه گراف G که توسط جزء V' تشکیل می‌شود، یک "مولفه ناحیه" است اگر ۱) G' همبند و ۲) $|V'| > 2$ باشد.

برای نمایش مرز مؤلفه ناحیه لازم است محدودیت‌های دیگری به ساختار گراف اضافه شود. با فرض مسطح‌بودن گراف G می‌توان «حلقه مرزی»[۴] مؤلفه ناحیه را به صورت ذیل تعریف کرد[۲۰]:

تعریف ۳: قسمتی از گراف G که کل گره‌های آن یک ناحیه را حس می‌کنند، دارای وجه f هستند. حلقه مرزی ناحیه که توسط گره‌های شبکه تشکیل می‌شود، قسمت

---

۱ One-hop communication neighbor

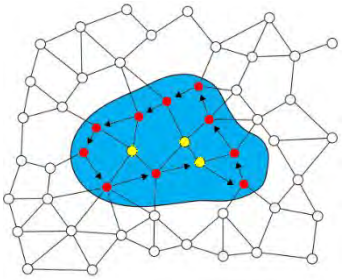
۲ One-hop communication

۳ Region component

۴ Boundary cycle

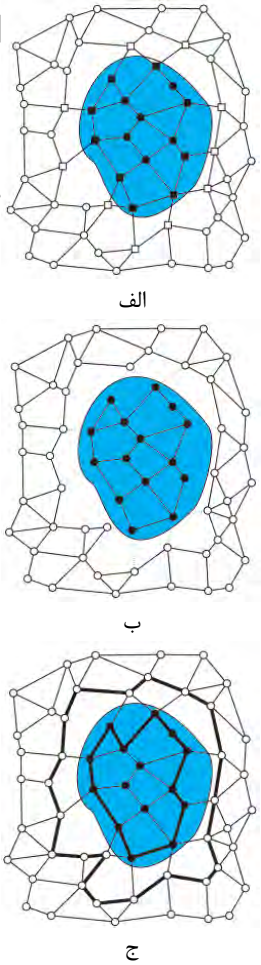
www.SID.ir

بیرونی این وجه خواهد بود. شکل ۲ حلقه مرزی داخلی را برای یک ناحیه نشان می‌دهد.



شکل ۲- حلقه مرزی داخلی

شکل ۳ سه ساختار مرزی را در یک شبکه حسگر مکانی بی‌سیم نمایش می‌دهد. در موارد خاصی که گراف G به شکل مثلث‌بندی حداکثر همبندی را دارد، همه گره-ها در حلقه مرزی گره‌های مرزی نیز هستند.



الف ب ج

شکل ۳- ساختارهای مرزی برای گراف G با دو مؤلفه ناحیه، الف- گره‌های مرزی ب- مؤلفه‌های ناحیه ج- حلقه‌های مرزی[۱۱]

به طور کلی در گراف‌های مسطح هر حلقه مرزی باید حداقل شامل یک گره مرزی باشد، اما بعضی گره‌ها در حلقه مرزی ممکن است گره‌های مرزی نباشند (همانطور که در شکل ۳-پ چند گره که مرزی نیستند بخشی از حلقه‌های مرزی را تشکیل می‌دهند).

۴-۱- فرضیات

برای محاسبه غیرمتمرکز ساختارهای مرزی که در بخش بعدی تشریح خواهد شد نیاز به ۴ فرض بنیادی درباره گراف G و مؤلفه‌های ناحیه آن است:

۱. گراف G مسطح است.
۲. همه مؤلفه‌های ناحیه G ۲-همبند هستند. منظور از ۲-همبند گرافی است که با حذف یک گره، همچنان همبند باقی بماند.
۳. همه حلقه‌های مرزی مؤلفه ناحیه جدا از هم هستند، به طوری که هر گره $v \in V$ حداکثر به یک حلقه مرزی تعلق داشته باشد.
۴. همه گره‌های $v \in V$ دارای مختصات می‌باشند.

فرض اول برای شبکه‌های حسگر مشترک و فرض اساسی برای تعریف مرز مؤلفه‌های ناحیه است. بسیاری از تکنیک‌های غیرمتمرکز برای ساختن گراف‌های مسطح در شبکه حسگر مکانی بی‌سیم، مانند Relative Neighborhood Graph، Gabriel Graph و Delaunay Triangulation در تحقیقات دیگر توضیح داده شده‌اند [۲۱]. فرض‌های دوم و سوم برای مؤلفه‌های ناحیه لازم است تا مرزهای ساده و بدون تقاطع داشته باشند. این فرض‌ها مشابه قیدهای مشترک پایگاه‌های داده مکانی و GIS هستند که چندضلعی‌ها اغلب باید ساده و دوبه‌دو جدا باشند. فرض چهارم می‌تواند با استفاده از سیستم‌های تعیین موقعیت متداول مانند GPS، WiFi یا Ultrasonic Triangulation برآورده شود[۲۲].

۴-۲- تشکیل ساختارهای مرزی در شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم

ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها با محاسبه غیرمتمرکز سه ساختار اطلاعات مرزی زیر استخراج می‌شوند:

۱) تشخیص گره مرزی: هر گره به صورت محلی در ارتباط با همسایه‌های یک هاپ مشخص می‌کند که آیا گرهی مرزی است یا نه.

Archive of SID
www.SID.ir

۲) ساخت حلقه مرزی: گره‌های مرزی ابتدا حلقه مرزی را ساخته و در حلقه مرزی یک گره را به عنوان پیشرو برمی‌گزینند تا اطلاعات درباره مؤلفه ناحیه را جمع‌آوری و ادغام کنند.

۳) جهت مرز: حلقه مرزی مشابه یک چندضلعی است، گره پیشرو برای این حلقه مرزی محاسبه مساحت را آغاز کرده و در نتیجه جهت حلقه مرز را مشخص می‌کند.

هر سطح اطلاعات مرزی به ساختار سطح قبلی نیاز دارد. برای مثال، برای بدست آوردن جهت مرز نیاز است تا قبلاً حلقه مرزی ساخته شده باشد. ساخت این حلقه بر مبنای سطح قبلی (تشخیص گره‌های مرزی) است. با توجه به رابطه توپولوژی ممکن است نیاز به همه سطوح مرزی نباشد، مانند همجواری که در آن تنها نیاز به دو ساختار گره‌های مرزی و حلقه مرزی است.

۴-۲-۱- تشخیص گره مرزی

مشخص کردن گره مرزی یک پردازش محلی آسان است. هر گره می‌تواند مقداری را که حس می‌کند به همسایه‌های یک هاپ مجاور خود ارسال نماید و نیز مقدار حس شده توسط همسایه‌ها را که دریافت می‌کند، با داده خود مقایسه کند. گرهی که حداقل یکی از همسایه‌های آن داده‌ای متفاوت با داده آن حس کند، یک گره مرزی خواهد بود (تعریف ۱).

۴-۲-۲- ساخت حلقه مرزی

هر گره $v \in V$ که بخواهد گره بعدی را در حلقه مرزی (شناسه آن در متغیر محلی wind گره ذخیره می‌شود) تعیین کند، لازم است دو نکته رعایت شود:

۱) اگر v یک گره مرزی است، $wind_v = c_v(v')$ در صورتی که $s(v') \neq s(v)$ و $s(c_v(v')) = s(v)$.

۲) در غیر اینصورت، $wind_v = c_v(v')$، به طوری که v' گره قبلی در حلقه مرزی است.

بنابراین با در نظر گرفتن این دو نکته حلقه مرزی تشکیل شده و گره‌های حلقه، گره بعدی را در متغیر محلی wind خود ذخیره می‌کنند. سپس برای حلقه یک گره پیشرو[۱] انتخاب می‌شود و محاسبات مورد نیاز برای استنتاج رابطه توپولوژی توسط آن آغاز می‌گردد[۲۳].

برای ساخت حلقه مرزی، لازم است تا هر گره v ترتیب حلقوی همسایه‌های خود را در جهت پادساعتگرد بداند. این ترتیب حلقوی با استفاده از تابع (۵) نمایش داده می‌شود. ترتیب حلقوی می‌تواند توسط هر گره با داشتن مختصات همسایه‌های خود، در صورتی که مختصات هر گره به همراه مقدار حس‌شده آن به همسایه-های مجاور ارسال شود، به صورت محلی محاسبه گردد.

$$c_v: nbr(v) \rightarrow nbr(v) \qquad (۵)$$

۴-۲-۳- جهت مرز

جهت مرز با محاسبه‌ی مساحت حلقه مرزی به عنوان یک چندضلعی از رابطه (۶) به دست می‌آید، که ترتیب مختصات‌ها در آن به صورت $((x_1,y_1), (x_2,y_2), \ldots, (x_n,y_n))$ است و $(x_1,y_1) = (x_n,y_n)$ [۲۴].

به دلیل این که تابع مساحت در هر مرحله تنها به مختصات دو گره همسایه نیاز دارد، می‌توان مساحت حلقه مرزی را به‌طور غیرمتمرکز بدست آورد. گره پیشرو که در مرحله ساخت حلقه مرزی انتخاب می‌شود، محاسبه مساحت را آغاز می‌کند و هر گره در حلقه مرزی بخشی از تابع را محاسبه و در پایان با دریافت مجدد توسط گره پیشرو مساحت کل بدست می‌آید.

$$\boldsymbol{Area = 0.5 \sum_{i=1}^{n} x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i} \qquad (۶)$$

۵- استخراج توپولوژی بین ناحیه‌ها در شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم

در بیشتر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، پرسش‌ها درباره رویدادهای مکانی و زمانی به صورت متمرکز پردازش و پاسخ داده می‌شوند[۱،۱۱]. با الگوریتم‌های طراحی شده در این تحقیق، می‌توان به روش تکنیک محاسباتی غیرمتمرکز ارتباط توپولوژی بین دو ناحیه را بدست آورد. ساختارهای مرزی که در قسمت قبل توصیف شدند، مبنایی برای استخراج روابط توپولوژی شمول، همجواری و همپوشانی هستند. در شکل ۴ فلوچارت روند پیاده‌سازی

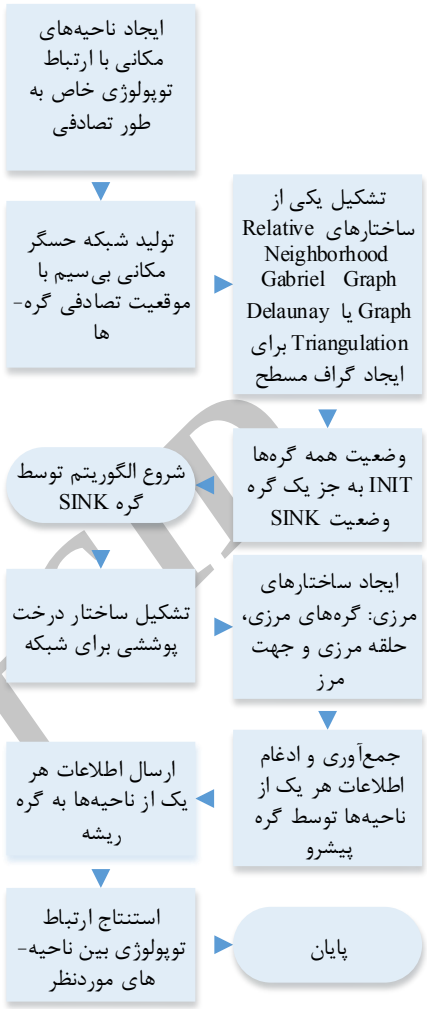
---

۱ Leader

www.SID.ir

Archive of SID

الگوریتم‌ها نشان داده شده است. در ادامه مقدمات الگوریتم و هر یک از سه الگوریتم تشریح خواهند شد.

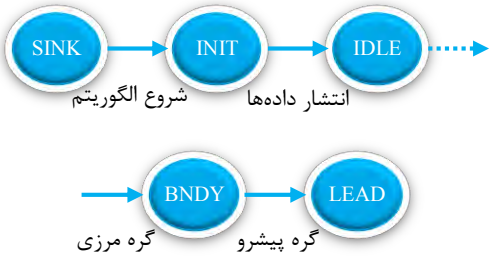


شکل ۴- فلوچارت روند پیاده‌سازی الگوریتم‌های تحقیق

۵-۱- مقدمات الگوریتم

هر یک از سه الگوریتم از چند قسمت تشکیل شده‌اند: عنوان، وضعیت[۱]ها، رویداد[۲]ها و عمل[۳]ها. عنوان الگوریتم با لیستی از محدودیت‌ها[۴]، فرضیاتی که نیاز است تا الگوریتم به درستی عمل کند مانند همبند بودن شبکه و ترتیب حلقوی همسایه‌های هر گره، شروع می‌شود. بعد از محدودیت‌ها، هر الگوریتم یک مجموعه از وضعیت‌ها، تغییر وضعیت‌های ممکن (شکل ۵) و وضعیت‌های آغازی را برای گره‌ها مشخص می‌کند. در الگوریتم‌های این تحقیق، ابتدا همه گره‌ها در وضعیت INIT قرار می‌گیرند، به جز یک گره که به عنوان ریشه ساختار درخت در وضعیت SINK قرار داده می‌شود.

بر طبق [۲۳] هر گره قابلیت این را دارد تا به حافظه محلی، پردازش محلی و ارتباط دسترسی 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).



شکل ۵- تغییر وضعیت‌ها برای گره‌ها

در هر وضعیت، گره تنها می‌تواند به رویدادهای سیستم پاسخ دهد. در این تحقیق فقط دو نوع رویداد لازم است: دریافت یک پیغام (با کلید واژه *Receiving*) یا رویداد خود به‌خود (با کلید واژه *Spontaneously*، برای شروع اجرای الگوریتم تنها در گره ریشه استفاده می‌شود). زمانی که یک رویداد رخ می‌دهد، گره در واکنش به آن تعدادی از عملیات مشخص شده به نام action را اجرا می‌کند. در هر عمل، هر گره به داده‌های حس شده توسط خودش 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.

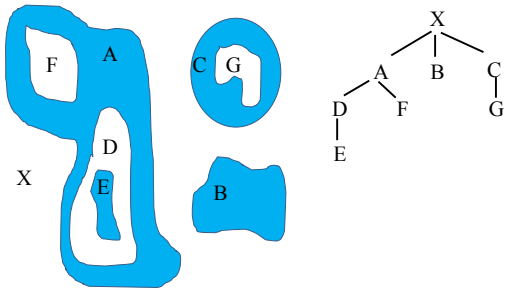
۵-۲- الگوریتم استخراج رابطه شمول

الگوریتم شمول بر مبنای تکنیک محاسباتی غیرمتمرکز برای تعیین رابطه توپولوژی یک ناحیه مختلط[۵]، که از تعدادی زیرناحیه (شامل جزیره و حفره) تشکیل شده، استفاده می‌شود. رابطه توپولوژی شمول می‌تواند به‌صورت درختی توصیف شود که شاخه‌های آن نشان‌دهنده شمول زیر ناحیه‌ها هستند. شکل ۶ مثالی از

۱ State
۲ Event
۳ Action
۴ Restrictions
۵ Complex

Archive of SID
www.SID.ir

ارتباط توپولوژی شمول و درخت متناظر آن را برای یک ناحیه مختلط نشان می‌دهد.



شکل ۶- یک ناحیه مختلط و ساختار درخت شمول متناظر با آن

در این تحقیق عنوان الگوریتم برای هر سه الگوریتم استخراج توپولوژی یکسان است. در شروع، گره ریشه (SINK) با انتشار پیغام tree اجرای الگوریتم و ساخت درخت پوششی شبکه را آغاز می‌کند. سایر گره‌ها در هر وضعیتی که باشند، با دریافت پیغام tree کوچک‌ترین مسیر تا گره ریشه را ذخیره می‌کنند. در ادامه هر گره در وضعیت INIT، مقدار حس شده خود را با پیغام ping به تمام همسایه‌هایش ارسال می‌کند و به وضعیت IDLE تبدیل می‌شود. در وضعیت IDLE، زمانی که گره از تمام همسایه‌های خود پیغام ping را دریافت کرد، مشخص می‌کند که گره مرزی است یا نه و در این صورت جزء حلقه مرزی نیز می‌باشد. این گره با اعمال شرایطی که قبلاً ذکر شد، گره بعدی را در حلقه تعیین و پیغام msge را به آن ارسال می‌کند، سپس به BNDY تغییر وضعیت می‌دهد. هر گره در وضعیت IDLE و BNDY با دریافت پیغام msge آن را به گره بعدی در حلقه مرزی ارسال می‌کند.

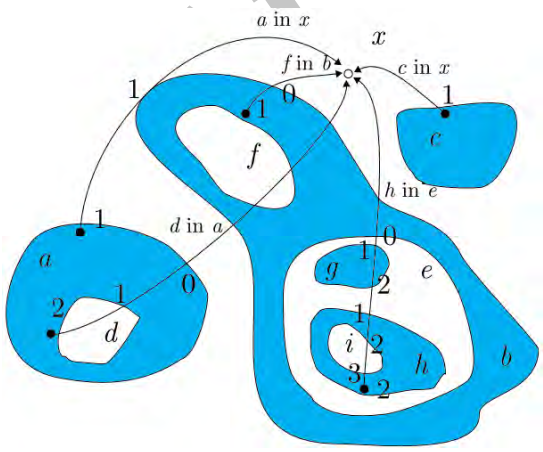
در صورتی که پیغام msge دریافت شده در گره با وضعیت BNDY، شامل شناسه برابر با شناسه گره باشد، این گره به عنوان پیشرو حلقه انتخاب شده، پیغام area را در حلقه ارسال می‌کند و به LEAD تغییر وضعیت می‌دهد. گره‌های BNDY و IDLE با دریافت پیغام area جزئی از مساحت حلقه را محاسبه کرده و در پایان مجموع آنها به گره پیشرو باز می‌گردد.

با محاسبه مساحت، در صورتی که مقدار آن مثبت باشد، نشان‌دهنده‌ی جهت پادساعتگرد حلقه مرزی و لذا ناحیه از نوع جزیره است و بالعکس مقدار منفی مساحت نشان‌دهنده‌ی جهت ساعتگرد حلقه مرزی و ناحیه از نوع حفره است. گره LEAD با محاسبه مساحت و بدست آوردن جهت، جزیره یا حفره بودن ناحیه را مشخص می‌کند. اطلاعات درباره نوع ناحیه و شناسه گره پیشرو، توسط پیغام ring به گره‌های حلقه ارسال می‌شود.

زمانی که پیغام ring پس از طی کردن کل حلقه دوباره به گره LEAD بازگشت، در پایان گره پیشرو برای استخراج ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها پیغام rprt را، شامل شناسه (id) گره پیشرو و امتیاز (score) اولیه برای پیغام، ایجاد می‌کند. سپس این پیغام از تمام گره‌های پیشرو برای هر یک از مؤلفه‌های ناحیه به گره ریشه ارسال می‌شود. امتیاز اولیه به جهت مرز و وضعیت گره همسایه که اولین بار پیغام rprt را دریافت می‌کند، وابسته است. پیغامی که در ابتدا از حفره یا جزیره ارسال شده و به حفره یا جزیره وارد می‌شود، با score = 2 آغاز می‌شود و در غیر اینصورت پیغام با score = 1 آغاز می‌شود(شکل ۷).

ارسال پیغام rprt تا گره ریشه ادامه می‌یابد. هر زمان که پیغام از حلقه مرزی عبور و به حفره یا جزیره داخل شود، یک امتیاز به آن افزوده می‌شود و بالعکس زمانی که از حفره یا جزیره خارج شود، امتیاز آن یکی کم می‌شود. در نهایت زمانی که امتیاز صفر شود، مرز شمول مشخص می‌شود؛ به عبارت دیگر حلقه مرزی که پیغام rprt را با امتیاز اولیه آغاز کرده در داخل حلقه مرزی خواهد بود که امتیاز آن صفر شده است (شکل ۷).

در این زمان شناسه حلقه مرزی شمول، که در آن امتیاز صفر شده، به پیغام اضافه می‌شود و سپس پیغام بدون تغییر به گره ریشه ارسال می‌شود. زمانی که گره ریشه از تمامی حلقه‌های مرزی پیغام‌های rprt را دریافت کرد، می‌تواند کل درخت توپولوژی را محاسبه کند. لذا بر مبنای این درخت مشخص خواهد شد که هر یک از زیرناحیه‌ها شامل کدام جزیره و حفره و بالعکس هر جزیره یا حفره داخل کدام زیرناحیه هستند.



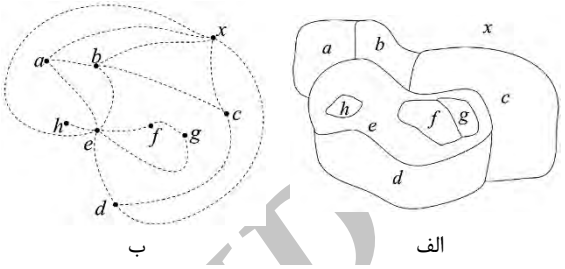
شکل ۷- مثالی از امتیازدهی اولیه، افزایش و کاهش امتیاز، استخراج ارتباط شمول

Archive of SID

www.SID.ir

۵-۳- الگوریتم استخراج رابطه همجواری

دومین پرسش اساسی برای استخراج رابطه توپولوژی بین ناحیه‌های متفاوت، رابطه همجواری است. همجواری به این معنی است که هر یک از دو مرز در مجاورت هم و مماس باشند.شکل ۸ مرز چند ناحیه مختلف و ارتباط‌های همجواری آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۸- الف- رابطه همجواری برای چند ناحیه ب- گراف همجواری متناظر[۱۱]

محاسبه همجواری تنها به دو ساختار گره‌های مرزی و حلقه مرزی نیاز دارد. بیشتر قسمت‌های الگوریتم همجواری، به خصوص پردازش مربوط به تشکیل ساختارهای گره‌ها و حلقه‌های مرزی، مشابه الگوریتم ارتباط شمول قبلی است.

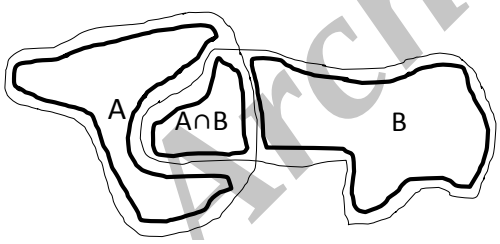
در هنگام ساخت مرز در این الگوریتم، هر گره مرزی اطلاعاتی درباره این که کدام همسایه‌ها نیز گره مرزی هستند، ذخیره می‌کند. این همسایه‌ها برای هر گره با $bids_v: \emptyset \rightarrow 2^Z$ مشخص می‌شوند. زمانی که گره‌ها حلقه مرزی را می‌سازند شناسه گره پیشروی حلقه مرزی به همسایه‌های گره مرزی ارسال و در آنها ذخیره می‌شود، این همسایه‌ها، برای هر گره با متغیر محلی $bnbr: \emptyset \rightarrow 2^{nbr(v)}$ ذخیره می‌شود. بعد از ساخت حلقه مرزی، پیغامی توسط گره پیشرو هر ناحیه به کل گره‌های حلقه فرستاده می‌شود تا شناسه همه حلقه‌های مرزی کناری (adjacency) را جمع‌آوری نماید. زمانی که گره-های پیشرو اطلاعات را گردآوری کردند، به گره ریشه ارسال می‌کنند. در پایان گره ریشه با دریافت تمام پیغام-ها، نقشه همجواری را برای ناحیه‌ها می‌دهد.

۵-۴- الگوریتم استخراج رابطه همپوشانی

سومین پرسش مکانی که در ارتباط توپولوژی بین چند ناحیه وجود دارد، استخراج رابطه همپوشانی است. ممکن است دو ناحیه موردنظر که توسط شبکه حسگر مکانی بی‌سیم پایش می‌شوند، با یکدیگر همپوشانی داشته و لازم باشد تا این ارتباط توسط شبکه کشف شود.

الگوریتم همپوشانی از ترکیب دو الگوریتم قبلی استفاده کرده و رابطه همپوشانی بین دو ناحیه را استخراج می‌کند. در این الگوریتم از هر سه ساختار مرزی استفاده می‌شود. هنگام ساخت گره‌های مرزی، این گره‌ها در ارتباط با همسایگی‌های مجاور خود متوجه حضور همزمان درون ناحیه دیگر شده و لذا احتمال ارتباط توپولوژی همپوشانی بین دو ناحیه می‌باشد. حلقه مرزی برای هر یک از ناحیه‌ها ساخته شده و برای قسمت مشترک دو ناحیه حلقه‌ای جداگانه ساخته می‌شود. شکل ۹ رابطه همپوشانی برای دو ناحیه و نحوه تشکیل حلقه مرزی برای قسمت مشترک دو ناحیه و قسمت‌های غیرمشترک را نشان می‌دهد.

در رابطه همجواری حلقه‌های مرزی دو ناحیه در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند، اما در رابطه همپوشانی حلقه مرزی دو ناحیه با یکدیگر تلاقی دارد؛ به طوری که در رابطه همپوشانی برای هر یک از دو ناحیه و قسمت مشترک بین آنها سه حلقه مرزی تشکیل می‌شود. همانطور که در شکل ۹ نیز مشخص است، در صورتی که این سه حلقه مرزی با یکدیگر ارتباط همجواری داشته باشند و رابطه شمول برای آنها صادق نباشد، دو ناحیه موردنظر با یکدیگر همپوشانی خواهند داشت.



شکل ۹- رابطه همپوشانی و ارتباط بین حلقه‌های قسمت‌های مشترک و غیرمشترک دو ناحیه

۶- پیاده‌سازی

الگوریتم‌های معرفی شده در بخش قبلی، در محیط شبیه‌سازی هوشمند NetLogo پیاده‌سازی شده‌اند (شکل ۱۰) [۲۵]. NetLogo یک برنامه کد باز[۱] است و برای پیاده‌سازی این نوع الگوریتم‌ها به دلایل زیر مناسب و سازگار است؛

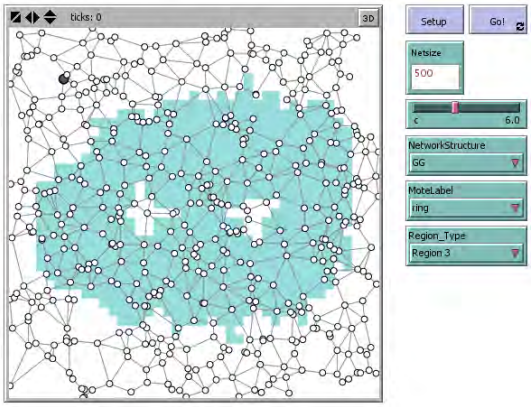
۱ Open-source

Archive of SID
www.SID.ir

(۱) الگوریتم‌های موردنظر می‌توانند با استفاده از کدهایی که به مشخصات و ساختار الگوریتم بسیار نزدیک است، در محیط این سیستم شبیه‌سازی پیاده شوند.

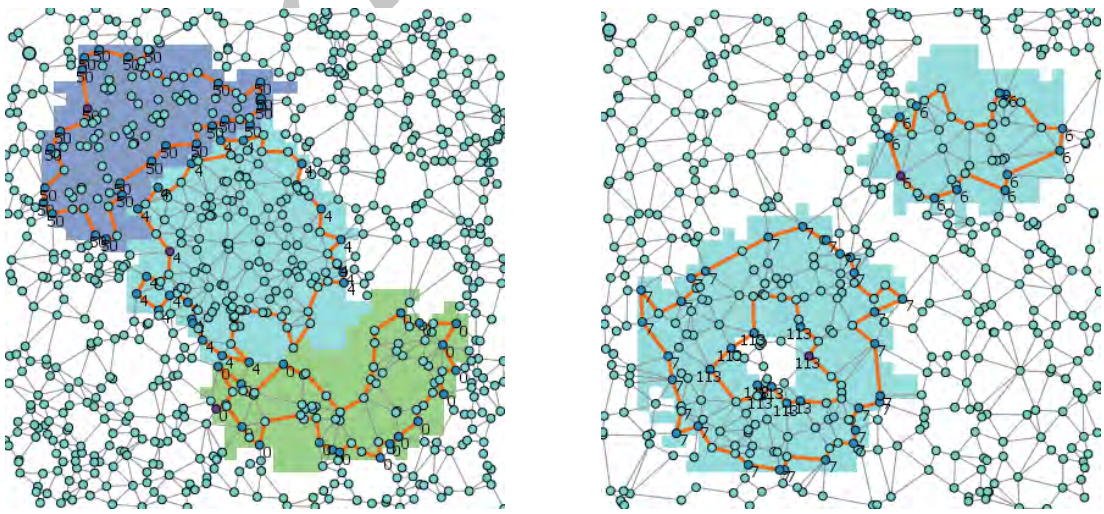
(۲) محیط آن اجازه می‌دهد تا هم شبکه حسگر مکانی بی‌سیم و هم ناحیه‌های مکانی که توسط شبکه پایش می‌شوند را شبیه‌سازی کرد.

برای هر بار اجرای برنامه، ابتدا ناحیه‌های مکانی با ارتباط توپولوژی خاص به طور تصادفی ایجاد می‌شوند. به علاوه یک شبکه حسگر مکانی بی‌سیم با موقعیت تصادفی گره‌ها تولید می‌شود. این شبکه حسگر مکانی از تعداد زیادی گره تشکیل شده که به طور تصادفی در محیط توزیع شده و ناحیه‌های مکانی موردنظر را پایش می‌کنند. برای تشکیل سه ساختار مرزی موردنظر نیاز به گراف مسطح است که می‌توان هریک از گراف‌های Relative Neighborhood Graph، Gabriel Graph و Delaunay Triangulation را به کار برد و با توجه به مورد مطالعاتی این تحقیق استفاده از هر یک از آنها فرقی نمی‌کند؛ در این تحقیق گره‌های شبکه با استفاده از ساختار Gabriel Graph به هم متصل می‌شوند. این ساختار شکل فیزیکی شبکه را مدل می‌کند و شبکه‌ای ۲-همبند و مسطح را ایجاد می‌کند. با دکمه‌های در نظر گرفته شده در این برنامه، تعداد گره-های شبکه و فاصله ارتباط بین گره‌ها معین می‌شود.



شکل ۱۰- نمایی از محیط شبیه‌سازی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌ها

برای اجرای برنامه، ابتدا تنظیمات اولیه (ساختار شبکه، تعداد گره‌ها و ...) انجام و سپس دکمه Setup فشرده می‌شود. ناحیه‌های مکانی و شبکه حسگر مکانی بی‌سیم به طور تصادفی ایجاد می‌شوند. حال با فشردن دکمه Go برنامه شروع به اجرای الگوریتم می‌کند. پس از سپری شدن مدت زمان محدودی ارتباط توپولوژی بین دو ناحیه مکانی موردنظر بدست آمده و نتیجه در خروجی برنامه نمایش داده می‌شود. شکل ۱۱ نمونه‌ای از اجرای این برنامه را برای ارتباط‌های توپولوژی شمول (شکل۱۱-الف) و همپوشانی (شکل۱۱-ب) بین ناحیه‌ها نشان می-دهد.



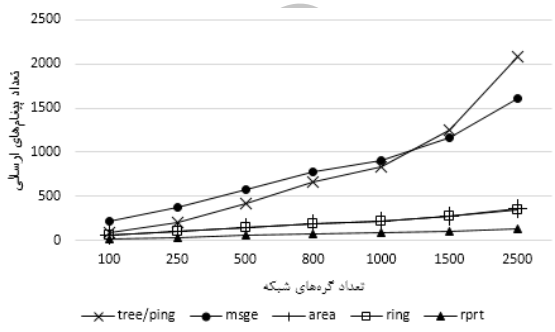
(ب) (الف)

شکل ۱۱- خروجی برنامه: الف- ارتباط توپولوژی شمول، ب- ارتباط توپولوژی همپوشانی

www.SID.ir

۷- ارزیابی

از آنجائیکه پیاده‌سازی الگوریتم‌ها در محیط شبیه-سازی انجام گرفت، لذا به منظور ارزیابی آنها تعداد گره‌ها برای هریک از سه الگوریتم از ۱۰۰ تا ۲۵۰۰ متغیر بوده و سپس تعداد پیغام‌های فرستاده شده، بررسی شده است. با میانگین‌گیری تعداد پیغام‌های ارسال شده هر سه الگوریتم، نمودار شکل ۱۲ بدست آمد. بر روی مقادیر حاصل تحلیل رگرسیون انجام شده و نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- نمودار مربوط به میانگین تعداد پیغام‌های ارسالی در سه الگوریتم

با توجه به شکل ۱۲ ، همانطور که انتظار می‌رود نمودار مربوط به پیغام‌های tree و ping خطی بوده و متناسب با تعداد گره‌های شبکه است. تعداد این پیغام‌ها برابر تعداد گره‌های شبکه است به این دلیل که الگوریتم‌ها در شروع اجرا نیازمند این هستند تا هر گره وضعیت خود را به گره‌های همسایگی اعلام کند و ساختار درختی را نیز تشکیل دهد. کمترین تعداد پیغام‌های ارسالی مربوط به rprt است و تعداد پیغام‌های area و ring تقریبا یکسان است. با توجه به نمودار هنگامی که تعداد گره‌ها بیشتر از ۱۲۰۰ باشند موجب می‌شود که تعداد پیغام‌های tree/ping از msge بیشتر شود و زمانی این اتفاق رخ می-دهد که چگالی شبکه و تراکم گره‌ها با توجه به محدوده ناحیه حس شده زیاد باشد.

جدول ۱- تحلیل رگرسیون با توجه به نمودار شکل ۱۲

نوع پیغام	پارامتر a	پارامتر b	پارامتر R^2
tree/ping	۱	۱	۱,۰۰۰
msge	۱۱,۷۵۸	۰,۶۲۸	۰,۹۹۹
area	۶,۱۴۲	۰,۵۱۹	۰,۹۹۹
ring	۶,۱۱۸	۰,۵۱۹	۰,۹۹۹
rprt	۲,۰۹۲	۰,۵۳۴	۰,۹۹۵

پیاده‌سازی الگوریتم‌ها در محیط شبیه‌سازی NetLogo انجام شده است. با فناوری شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم موجود، پیاده‌سازی عملی این الگوریتم‌ها در دنیای واقعی به منظور استخراج ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها کاری دشوار است. اجرای این الگوریتم‌ها در محیط واقعی نیاز به گره‌هایی با حسگرهای میکرو دارند که تعداد زیادی از آنها با تراکم خوبی در محیط موردنظر توزیع شوند. لذا راه‌اندازی تعداد زیاد گره حسگر مستلزم طراحی گره‌های میکرو با قیمت مناسب است تا توزیع این شبکه‌ها به صرفه انجام گیرد.

۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم نسل جدید شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند که در حوزه‌های مختلفی به خصوص حوزه کاربردهای مکانی مطرح شده‌اند. از این شبکه‌ها در پرس‌وجوهای مکانی و پایش پدیده‌های محیطی ایستا و پویا استفاده می‌شود. یکی از این کاربردها کشف ارتباط توپولوژی ناحیه‌های مکانی است.

در این تحقیق از شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم استفاده شد تا ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌های مکانی شامل شمول، همجواری و همپوشانی استنتاج شود. به دلیل محدودیت‌های موجود در این شبکه‌ها، به خصوص محدودیت منابع انرژی گره‌ها، الگوریتم‌های پیاده شده بر مبنای سیستم محاسبات غیرمتمرکز است. در این سیستم محاسبات به منظور بهینه کردن مصرف انرژی در شبکه، 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 و اطلاعات به صورت درون شبکه‌ای پردازش می‌شوند و تنها اطلاعات موردنیاز بین گره‌ها تبادل می‌شوند.

برای استخراج ارتباط توپولوژی بین ناحیه‌ها در این تحقیق، از ساختارهای مرزی استفاده شده است. ساختارهای مرزی شامل سه سطح گره‌های مرزی، حلقه مرزی و جهت مرز هستند. برای ارتباط‌های توپولوژی شمول و همپوشانی هر سه سطح به کار می‌رود، اما در ارتباط توپولوژی همجواری جهت مرز قابل استفاده نیست. الگوریتم‌های شمول و همجواری مبنایی برای الگوریتم همپوشانی هستند و با ترکیب این دو الگوریتم، الگوریتم

Archive of SID
www.SID.ir

همپوشانی به دست می‌آید. الگوریتم‌های طراحی شده در این تحقیق به صورت شبیه‌سازی شده در محیط NetLogo پیاده‌سازی شد.

انتظار می‌رود در تحقیقات آتی با توسعه و ترکیب این الگوریتم‌ها بتوان ارتباط‌های توپولوژی گوناگون بین ناحیه-ها را بر مبنای ساختارهای مرزی بدست آورد. همبند بودن یک ناحیه را نیز می‌توان با توسعه این الگوریتم‌ها نتیجه گرفت. در این تحقیق الگوریتم‌ها از فرض اولیه ۲-همبند بودن مؤلفه ناحیه گراف و تقاطع نداشتن حلقه‌های مرزی استفاده می‌کنند تا ارسال پیغام‌ها در مرز ناحیه‌ها بدون مشکل انجام گیرد، می‌توان در تحقیقات آینده الگوریتم‌ها را به گونه‌ای تغییر داد تا بتوانند صرفنظر از این فرضیات به خوبی عمل کنند.

با پیشرفت تکنولوژی باید بتوان این الگوریتم‌ها را از محیط شبیه‌سازی به محیط عملی انتقال داد و با یک شبکه حسگر مکانی بی‌سیم آن‌ها را به طور واقعی پیاده کرد. در حال حاضر با گره‌های حسگر موجود پیاده‌سازی واقعی این الگوریتم‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود؛ به دلیل این که برای پایش ناحیه‌های موردنظر و استنتاج رابطه توپولوژی بین آن‌ها نیاز به تعداد زیادی گره (حدود ۵۰۰ حتی ۱۰۰۰ گره) خواهد بود و این مستلزم ساخت گره-های میکرو و ارزان قیمت است.

مراجع

[1] M.-H. Jeong and M. Duckham,(2013), "Decentralized querying of topological relations between regions monitored by a coordinate-free geosensor network," GeoInformatica, pp. 1-28.

[2] 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.

[3] S. Nittel, A. Stefanidis, I. Cruz, M. Egenhofer, D. Goldin, A. Howard, et al.,(2004), "Report from the first workshop on geo sensor networks," ACM SIGMOD Record, vol. 33, pp. 141-144.

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

[5] A. Both and M. Duckham,(2013), "Qualitative Spatial Structure in Complex Areal Objects Using Location-Free, Mobile Geosensor Networks," in Data Mining Workshops (ICDMW), 2013 IEEE 13th International Conference on, pp. 978-985.

[6] S. Nittel, A. Labrinidis, and A. Stefanidis,(2008), "Introduction to advances in geosensor networks," in GeoSensor Networks, ed: Springer, pp. 1-6.

[7] L.-J. Guan and M. Duckham,(2011), "Decentralized reasoning about gradual changes of topological relationships between continuously evolving regions," in Spatial Information Theory, ed: Springer, pp. 126-147.

[8] M.-H. Jeong, M. Duckham, A. Kealy, H. J. Miller, and A. Peisker,(2014), "Decentralized and coordinate-free computation of critical points and surface networks in a discretized scalar field," International Journal of Geographical Information Science, vol. 28, pp. 1-21.

[9] A. A. Abbasi and M. Younis,(2007), "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks," Computer communications, vol. 30, pp. 2826-2841.

[10] M. Sester, J. J. Arsanjani, R. Klammer, D. Burghardt, and J.-H. Haunert,(2014), "Integrating and Generalising Volunteered Geographic Information," in Abstracting Geographic Information in a Data Rich World, ed: Springer, pp. 119-155.

[11] 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.

Archive of SID
www.SID.ir

[12] 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.

[13] G. Jin and S. Nittel,(2011), "Efficient tracking of 2D objects with spatiotemporal properties in wireless sensor networks," Distributed and Parallel Databases, vol. 29, pp. 3-30.

[14] A. Muneeb. (2006). Dritte. Available: http://www.dritte.org/p3.html

[15] R. Zheng and R. Barton,(2007), "Toward optimal data aggregation in random wireless sensor networks," in INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE, pp. 249-257.

[16] L. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker,(2002), "The impact of data aggregation in wireless sensor networks," in Distributed Computing Systems Workshops, 2002. Proceedings. 22nd International Conference on, pp. 575-578.

[17] M. J. Egenhofer‡, E. Clementini, and P. Di Felice,(1994), "Topological relations between regions with holes," International Journal of Geographical Information Science, vol. 8, pp. 129-142.

[18] M. Worboys and M. Duckham,(2006), "Monitoring qualitative spatiotemporal change for geosensor networks," International Journal of Geographical Information Science, vol. 20, pp. 1087-1108.

[19] J. Lian, L. Chen, K. Naik, Y. Liu, and G. B. Agnew,(2007), "Gradient boundary detection for time series snapshot construction in sensor networks," Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on, vol. 18, pp. 1462-1475.

[20] R. Diestel,(2005), "Graph theory. 2005," Grad. Texts in Math,

[21] M. Li, G. Calinescu, P.-J. Wan, and Y. Wang,(2003), "Localized delaunay triangulation with application in ad hoc wireless networks," Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on, vol. 14, pp. 1035-1047.

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

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

[24] M. J. Sadeq and M. Duckham,(2009), "Decentralized area computation for spatial regions," in Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 432-435.

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

Archive of SID

www.SID.ir