نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، دوره پنجم، شماره ۳، شهریور ماه ۱۳۹۳

شبکه‌های حسگر مکانی بی‌سیم: بستری نوین برای تحلیل‌های مکان‌مبنا

امید کاظمی‌زاده[1]، رحیم علی‌عباسپور[2]*

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد GIS – گروه مهندسی نقشه‌برداری – پردیس دانشکده‌های فنی – دانشگاه تهران
kazemizade.omid@ut.ac.ir

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

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۲، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۳)

چکیده

در دو دهه‌ی اخیر سه روند اصلی توسعه فناوری شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم فراگستر، کوچک‌سازی سکوهای ذخیره‌سازی و محاسبات و توسعه‌ی حسگرهای جدید و مواد به کار رفته در این حسگرها تأثیرات مهمی در زمینه‌ی علوم اطلاعات مکانی داشته‌اند. این سه روند موجب شده‌اند تا روش‌های پایش رویدادها و پدیده‌های محیطی و چگونگی پردازش اطلاعات مربوط به آن‌ها تغییر کند. در عین حال، توسعه فناوری دیگری، قابلیت‌های جدید قابل توجهی را در زمینه علوم مکانی مدرن اضافه کرده است. این فناوری که به اصطلاح شبکه-های حسگر مکانی نامیده می‌شوند، کاربردهای ویژه‌ای از فناوری شبکه حسگر بی‌سیم در زمینه‌ی مکانی هستند، که پدیده‌های محیطی را کشف، بازبینی، پایش، ردیابی و پردازش می‌کنند. هر دو جنبه آنی بودن و افزایش قدرت تفکیک زمانی- مکانی چالش‌های تحقیقاتی جدیدی را در ارتباط با روش مدلسازی، پایش و پردازش‌های محیطی بوجود آورده است. در این مقاله ابتدا به معرفی شبکه‌های حسگر مکانی و چالش‌ها و مسائل مطرح در آن پرداخته شده است؛ سپس با توجه به محدودیت‌های مصرف انرژی موجود در این شبکه‌ها، سیستم محاسبات غیرمتمرکز معرفی شده که استفاده از الگوریتم‌های بر مبنای این سیستم محاسبات در شبکه‌های حسگر مکانی موجب بهینه شدن مصرف انرژی می‌شود. در پایان نیز نحوه‌ی پردازش اطلاعات در این شبکه‌ها، از جمله ذخیره‌سازی داخل شبکه‌ای و خلاصه-سازی داده‌ها تشریح گردیده‌اند.

واژگان کلیدی : شبکه حسگر بی‌سیم مکانی، سیستم محاسبات غیرمتمرکز و متمرکز، خلاصه‌سازی داده‌ها

---

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در دو دهه‌ی اخیر چندین روند اصلی در پیشرفت فناوری تأثیرات قابل توجهی در رشد و توسعه علوم اطلاعات مکانی (GIS) داشته‌اند. به عنوان اولین روند، فناوری شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم[۱] فراگستر امروزه قابلیت دسترسی آسانتری را بدون ساختار ارتباط سیمی، به‌خصوص برای محیط‌های دور و غیرقابل دسترس، فراهم کرده‌اند. همچنین این فناوری پیشرفت‌های چشم‌گیری در توسعه‌ی شبکه‌های ارتباطی رادیومبنای برد کوتاه با توان مصرفی کم داشته است که از آن‌ها برای تقویت شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم با فاصله زیاد استفاده می‌شود. دومین روند، کوچک‌سازی سکوهای ذخیره‌سازی و محاسبات است که باعث شده تا مصرف انرژی در این سکوها بهینه گردیده و بتوان با این سکوهای محاسباتی جدید برای دوره زمانی طولانی‌تری (مثلاً چندین ماه) پردازش مورد نیاز را انجام داد. سومین روند اصلی، توسعه‌ی حسگرهای جدید و مواد به کار رفته در این حسگرهاست که شامل کوچک‌سازی و بهبود حسگرهای قدیمی و همچنین توسعه حسگرهای میکروی جدید و اجزای آن می‌باشد. برای مثال، حسگرهای جدید می‌تواند در علوم دریایی یا پایش آلودگی هوا، و حسگرهای صدا و لرزش با حساسیت بالا برای پایش آتشفشان به کار رود. هر سه این روندها موجب شده تا روش‌های آشکارسازی و پایش رویدادها و پدیده‌های محیطی و چگونگی پردازش اطلاعات مربوط به آن‌ها تغییر کند [۱].

سکوهای پیشرفته امروزی الگوی دسترسی به داده‌ها و اطلاعات حسگرها را تغییر داده‌اند. اضافه کردن میکروکامپیوترهای ارزان قیمت‌تر و قدرتمندتر به حسگرها، توانسته است که این حسگرها را از ثبت‌کننده صرف داده‌ها به سکوهای حسگر هوشمند و سازگار تبدیل کند. قابلیت محاسباتی در این حسگرها به توانایی محاسبه onboard کمک می‌کند؛ این قابلیت شامل تحلیل داده-های محلی، فیلتر کردن داده‌ها و نمونه‌برداری انعطاف‌پذیر است تا با رویدادها سازگار باشد و همچنین انتقال داده‌ها و مصرف انرژی باتری را کاهش دهد. بنابراین می‌توان این روند را مشاهده کرد که سکوهای حسگر سنتی امروزه تبدیل به حسگرهای جدید سبک‌تر، قابل حمل‌تر و هوشمند شده و می‌توانند داده‌ها را به صورت آنی تحویل دهند [۲].

توسعه فناوری دیگری بجز موارد قبلی، قابلیت‌های جدید قابل ملاحظه‌ای را به علوم اطلاعات مکانی مدرن اضافه کرده است. این فناوری که به اصطلاح شبکه‌های حسگر مکانی[۲] (GSN) نامیده می‌شوند، کاربردهای ویژه‌ای از فناوری شبکه حسگر بی‌سیم[۳] (WSN) در حوزه‌ی مکانی هستند که پدیده‌های محیطی را کشف، بازبینی، پایش، ردیابی و پردازش می‌کنند [۳]. شبکه حسگر مکانی شبکه بی‌سیمی از کامپیوترهای با توانمندی حسگر[۴] کوچک‌سازی شده (به اصطلاح گره‌های حسگر) [۵] هستند که پدیده‌های جغرافیایی را پایش می‌کنند. شبکه حسگر مکانی (GSN) می‌تواند به صورت میکروسکوپ محیطی تصور شود که جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی را با قدرت تفکیک زمانی- مکانی مشخص و به صورت آنی در سطح جزئیات بالایی عرضه می‌کند، در حالی که قبلاً چنین قابلیتی هرگز قابل دسترسی نبوده است [۴، ۵].

هر دو جنبه آنی بودن و افزایش قدرت تفکیک زمانی-مکانی چالش‌های تحقیقاتی جدیدی را در ارتباط با روش مدلسازی، پایش و پردازش‌های محیطی بوجود آورده است. به علت دسترسی آنی نمونه‌برداری در این شبکه‌ها، مدل‌سازی و پردازش داده‌ها به طور قابل توجهی به سمت پایش و تحلیل پدیده‌های پویا نظیر مشاهدات پدیده‌های پویا همچون نقاط خطرناک (hot spot) آلودگی هوا یا کنترل اشیای متحرک مانند حیوانات در یک محل سکونت است. امروزه ضروری است که با آزمایش عملی به این نتیجه دست یابیم که چگونه از این فناوری جدید به طور مناسب برای کشف و اندازه‌گیری پدیده‌ها استفاده کنیم. این آزمایش شامل مشخص‌کردن ترکیب مناسب سکوهای سخت‌افزاری با توجه به نوع پدیده‌ها، دسترسی یا عدم دسترسی به ناحیه مشاهدات، شرایط محیطی خطرناک و میزان انرژی در دسترس است. برای مثال، استفاده از فناوری شبکه حسگر بی‌سیم به علت

---

۱ Wireless communication networks

۲ Geosensor Networks

۳ Wireless Sensor Network

۴ Sensor-enabled

۵ Sensor Node

محدودیت‌های انرژی باتری در سکوهای حسگر مکانی، می‌تواند برای کشف و نظارت رویدادهایی مثل لرزش‌های زمین‌لرزه که دارای زمان اتفاق محدودی می‌باشند، به جای نمونه‌برداری پیوسته در ناحیه‌های دور و خطرناک مؤثرتر باشد [۶].

چالش‌های تحقیقاتی جدیدی که در زمینه محاسبات اطلاعات مکانی وجود دارد، شامل توسعه الگوریتم‌هایی برای محاسبات مکانی غیرمتمرکز، کشف و پردازش همزمان داده‌های حسگرها و تحلیل‌های داخل شبکه‌ای است [۷]. در ادامه، ابتدا در بخش ۰ به روند پیشرفت تکنولوژی‌های جدید و معرفی شبکه حسگر مکانی پرداخته شده است. در بخش ۰ کاربردهای شبکه‌های حسگر مکانی و در بخش ۰ الگوریتم‌ها و سیستم محاسباتی که در این شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد را معرفی می‌کنیم. در پایان در بخش ۰ نحوه‌ی پردازش داده‌ها در شبکه حسگر مکانی تشریح شده و در بخش ۰ هم این شبکه‌ها را ارزیابی کرده و به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲- شبکه حسگر مکانی

در سال‌های اخیر توسعه مداوم در فناوری ارتباطات شبکه‌ای بی‌سیم، موجب پیشرفت‌هایی از جمله در زمینه ایجاد سکوهای محاسباتی ارزان‌تر همراه با حسگرها، حافظه، میکروپردازنده، فرستنده و گیرنده رادیویی و باتری on-board شده است[۸]. شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای مشاهده پدیده‌های محیطی استفاده می‌شوند[۹]. یک شبکه حسگر بی‌سیم شامل مقدار زیادی از سکوها (گره-ها) است که با یک روش بهینه و کاربردی در محیط قرار داده می‌شوند، داده‌های محیطی موردنظر را دریافت می-کنند و با ارتباط و مشارکتی که با هم دارند، می‌توانند یکسری پردازش‌ها را برای مأموریت محول شده، انجام دهند[۱۰].

به طور نمونه گره‌های حسگر کوچک، باتری ریز و پهنای باند محدودی دارند و از طریق ارتباط‌های بی‌سیم تنها می‌توانند با گره‌های مجاور خود در برد کوتاهی ارتباط داشته باشند. این گره‌های حسگر برای اینکه بتوانند با سایر گره‌ها در فاصله دورتری ارتباط داشته باشند، باید از ارتباط‌های چند هاپ[۱] استفاده کنند و پیغام‌ها را از طریق گره‌های واسط انتقال دهند[۱, ۱۱].

یک شبکه حسگر بی‌سیم شامل گره‌های حسگر که در محیط جغرافیایی چیده شده و دارای موقعیت جغرافیایی معلوم هستند، شبکه حسگر مکانی نامیده می‌شوند[۳]. شبکه‌های حسگر مکانی امکانات جدیدی را در حوزه‌های وسیعی از کاربردهای محیطی ارائه داده‌اند، مانند پایش زیستگاه‌ها برای محل‌های حفاظت شده، کشاورزی دقیق و محاسبه آلاینده‌های هوا و بسیاری کاربردهای دیگر که نیاز به قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالایی دارد[۷]. شبکه حسگر مکانی می‌تواند به صورت یک میکروسکوپ محیطی تصور شود، که جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی را با یک قدرت تفکیک زمانی-مکانی در سطح جزئیات بالایی عرضه می‌کند، در حالی که قبلا این چنین قابلیتی هرگز قابل دسترسی نبوده است[۱].

در یک شبکه حسگر مکانی، موقعیت مکانی گره‌ها ممکن است از طریق سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS)، مثلث-بندی با استفاده از فرکانس رادیویی (RF) و یا دیگر سیستم-های تعیین موقعیت بدست آید [۶].

شکل ۱ مثالی از یک گره حسگر است. هر گره حسگر در شبکه حسگر مکانی، باید حداقل دارای اجزای زیر باشد:

- یک میکروکنترل (یک CPU ساده) برای محاسبات و پردازش داده‌ها
- یک رادیو بی‌سیم (دستگاه فرستنده و گیرنده) برای ارتباط داده‌ها بین گره‌ها
- یک یا تعدادی حسگر برای دریافت و ثبت داده‌های محیطی

شکل ۱ - مثالی از یک گره حسگر (SunSPOT)

آنچه که امروزه استفاده از شبکه‌های حسگر مکانی را مورد علاقه ویژه‌ای قرار داده، یگانگی آن‌ها به‌عنوان یک

۱ Multi-hop

منبع جدید اطلاعات مکانی و قیدهای منابع منحصر به فردی است که به واسطه این فناوری تحمیل می‌شود. ویژگی‌های اصلی این شبکه‌ها که به‌عنوان یک منبع اطلاعاتی یگانه به حساب می‌آیند، شامل موارد زیر هستند:

- جزئیات زمانی و مکانی بسیار بالای اطلاعاتی که می‌توانند تولید کنند
- عملکرد خودکار
- انعطاف‌پذیری آن‌ها، به همین خاطر می‌توانند در حوزه‌ی وسیعی از سناریوها و محیط‌های مختلف صف‌آرایی شوند و گسترش پیدا کنند.

شبکه‌های حسگر مکانی قیدها و محدودیت‌های منبع یکتایی برای محاسبات مکانی دارند، شامل توان محدود باتری، محدودیت‌های ارتباطی و از دست دادن مکرر سیستم تعیین موقعیت. 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 انرژی باتری دارند. بر طبق آزمایشات، مشخص شده است که ارتباط بی‌سیم بیشترین توان انرژی باتری را مصرف می‌کند؛ بنابراین نحوه ارتباط اطلاعات در میان گره‌ها، مهمترین قید را در هر شبکه حسگر مکانی وارد می‌کند. در نتیجه، برای پاسخ به پرس‌وجوهای مکانی، به الگوریتم‌هایی با سیستم محاسبات جدیدی نیازمندیم که بتواند با این قیدهای شبکه به طور کارآمد عمل نماید.

۳- کاربردهای شبکه حسگر مکانی

توسعه فناوری در شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم قابلیت-های جدید قابل توجهی را به علوم اطلاعات مکانی مدرن اضافه کرده است. شبکه‌های حسگر مکانی از جنبه‌های گوناگونی در حال توسعه و تکامل هستند؛ روش‌های دستیابی و ثبت اطلاعات مکانی، چگونگی پردازش و تحلیل آنها و همچنین بهبود تکه‌ای بودن زمانی و مکانی از مسائل در حال توسعه هستند[۱۲]. این شبکه‌ها کاربردهای وسیعی به خصوص در زمینه پایش محیط پیدا کرده‌اند. به منظور کنترل و نظارت بر محیط، شبکه‌ای از گره‌های حسگر در محیط فیزیکی چیده شده و قادرند تا میدان‌های پویا و یا اشیای متحرک را پایش کنند. همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، آرایش‌های شبکه برای پایش میدان‌ها و اشیا، بر حسب ایستا یا پویا بودن گره‌های شبکه و نوع میدان یا شیء پایشی به کلاسهای مختلفی تقسیم‌بندی می‌شود.

جدول ۱- طبقه‌بندی چیدمان شبکه حسگر مکانی برای برخی کاربردهای پایش

	شبکه ایستا	شبکه پویا
میدان‌ها	پایش محل سکونت[۱۳]	پایش ترافیک [۱۴]
	پایش کوه آتشفشان[۱۵]	درجه حرارت آب دریا [۱۶]
	نظارت بر میزان رطوبت خاک[۱۷]	کیفیت هوا و نظارت آلاینده‌ها[۱۸]
اشیا	ردیابی وسایط نقلیه [۱۹]	ردیابی حیوانات [۲۰]
	طبقه‌بندی و ردیابی تارگت [۲۱, ۲۲]	پایش ترافیک [۲۳, ۲۴]

۳-۱- شبکه‌های حسگر مکانی ایستا: پایش میدان‌های پویا

در یک شبکه حسگر مکانی ایستا، گره‌ها در ناحیه جغرافیایی بزرگی توزیع شده و با حسگرهای محیطی on-board که دارند، می‌توانند میدان‌های پویا را با قدرت تفکیک خوبی پایش کنند. در تحقیقاتی که قبلاً انجام شده است، شبکه‌های حسگر مکانی ایستا برای کاربردهای پایش محیطی گوناگون مانند پایش محل سکونت [۱۳]، فوران کوه آتشفشان [۱۵] و اندازه‌گیری‌های میزان رطوبت خاک [۱۷] چیده شده‌اند.

به عنوان مثال، یکی از اولین پروژه‌های چیدمان شبکه حسگر بی‌سیم در ایالت Maine برای پایش محل سکونت پرندگان دریایی در جزیره Great Duck انجام شد [۱۳]. در این پروژه، به منظور مطالعه محیط زیست پرندگان دریایی که در این جزیره زندگی می‌کردند و رفتار آنها، تعدادی از پارامترهای محیطی (مانند درجه حرارت، فشار، رطوبت و شدت گرما) به طور دائمی در مدت زمان طولانی اندازه‌گیری شدند. معماری شبکه به این شکل بود که در پایین‌ترین لایه، گره‌های حسگر پارامترهای محیطی را اندازه‌گیری می‌کردند و این داده‌ها را به یک درگاه ارسال می‌کردند؛ این درگاه (با انرژی و توان بیشتر) دوباره داده‌ها را به یک ایستگاه مبنای دور انتقال می‌داد؛ ایستگاه

مبنا به عنوان یک سرور مرکزی عمل می‌کرد، به طوری که تمامی داده‌های جمع‌آوری شده در آن می‌توانستند ذخیره و نمایش داده شوند و تحلیل آنها با یک روش متمرکز انجام گیرد.

برای پایش فعالیت‌های آتشفشانی به‌صورت لحظه‌ای، شبکه حسگر مکانی جانمایی شده و گره‌های شبکه را با استفاده از یک آنتن صوتی و تعدادی میکروفن برای امواج صوتی مادون سرعت صوت به طور مداوم ثبت می‌کنند [۱۵]. توزیع مکانی سیگنال‌های زیرصوتی می‌تواند برای فهمیدن منبع تولید آنها و تعیین موقعیت دقیق انفجارهای آتشفشان استفاده شود. در این تحقیق به‌جای جمع‌آوری داده‌های تمام حسگرها در سرور مرکزی، یک الگوریتم توزیع‌شده[۱] به کار رفته تا محاسبات در خود گره‌ها انجام شده و از این روش بتوان میزان انرژی مصرفی در شبکه را بهینه کرد.

۳-۲- شبکه‌های حسگر مکانی ایستا: پایش اشیای متحرک

شبکه‌های حسگر مکانی می‌توانند اشیای متحرکی را که پیوسته نسبت به زمان و مکان حرکت می‌کنند، نیز پایش کنند. به علت دسترسی آنی نمونه‌برداری در این شبکه‌ها، مدل‌سازی و پردازش داده‌ها به طور قابل توجهی به سمت پایش و تحلیل اشیای متحرک به صورت لحظه-ای پیش رفته است. با توجه به نوع خاصیت‌های اندازه-گیری اشیا، حسگرهای خاصی می‌تواند برای آشکار سازی و طبقه‌بندی اشیای متحرک در شبکه استفاده شود. شبکه حسگر مکانی پویا که به صورت لحظه‌ای جانمایی می‌شود، می‌تواند کاربردهای متنوعی مانند سیستم‌های نظامی [۲۱] و حمل و نقل [۱۹] را پایش کند.

در آرایش تجربی شبکه حسگر مکانی، انواع گوناگون حسگرها (مانند حسگرهای مغناطیسی، صوتی و مادون قرمز) برای پایش اشیای متحرک مطالعه و تست می‌شوند [۲۲]. در این آرایش، مجموعه‌ای از گره‌ها یک ناحیه مکانی را تعریف می‌کنند و می‌توانند اشیای متحرک داخل شبکه را آشکار کنند. بر طبق اندازه و شکل این ناحیه مکانی، محاسبات داده‌ها در داخل شبکه اجازه کشف و کلاس‌بندی اشیای متحرک مختلف مانند افراد و وسایط نقلیه را می‌دهند.

گره‌های حسگری که در آنها دوربین نیز جاسازی می-شود، در یک شبکه حمل و نقل برای پایش ترافیک استفاده می‌شوند [۱۹]. در مقایسه با سیستم‌های نظارت ترافیک مرسوم، شبکه‌های حسگر مکانی تسهیلات خیلی بیشتر و هزینه‌های کمتری را برای نصب و راه‌اندازی گره-ها و حفاظت آنها میسر می‌کنند. این گره‌ها می‌توانند در تقاطع‌های خیابان‌ها قرار گیرند تا رفتار وسایط نقلیه را پایش کنند و با استفاده از آن تخلف‌های ترافیکی آشکار شود. همچنین آنها می‌توانند در کنار بزرگراه‌ها نصب شوند تا جریان‌های ترافیکی را پایش و پیش‌بینی کنند و اطلاعات ترافیک لحظه‌ای را برای کاهش ترافیک سنگین و جلوگیری از مسدود شدن بزرگراه منتشر نمایند [۲۵].

۳-۳- شبکه‌های حسگر مکانی پویا

گونه‌ی دیگری از چیدمان شبکه‌های حسگر مکانی به صورت پویا است. شبکه‌های حسگر مکانی می‌توانند به گونه‌ای آرایش پیدا کنند که گره‌ها به اشیای متحرک، مانند افراد [۱۴]، وسایط نقلیه [۲۶] و یا حیوانات [۲۰]، متصل شوند. شبکه‌های حسگر مکانی پویا نیز می‌توانند در حوزه وسیعی از کاربردهای پایش میدان‌های پویا و اشیای متحرک به کار بروند. برای مثال، یک شبکه حسگر مکانی برای پایش رفتار یک گله گاو به کار برده شود زیرا جنگ بین گاوهای نر قیمتی در فصل‌های تولید مثل منجر به زیان مالی زیادی می‌شود [۲۰]. تعدادی حسگر اطراف گردن هر گاو نر نصب می‌شود تا وضعیت‌های پویای حرکت آنها شامل موقعیت، جهت و سرعت را برآورد کند. شبکه‌های حسگر مکانی پویا در مقایسه با شبکه‌های ایستا، می‌توانند در فضای وسیع‌تر (مثلاً یک منطقه شهری) خیلی بهتر عمل کنند، به طوری که نسبت هزینه چیدمان شبکه به منطقه پوشش داده شده را کاهش می-دهند [۲۷]. گره‌های حسگر متحرک می‌توانند سنجش-های پراکنده‌ای را داخل منطقه پوشش شبکه با تکه‌ای بودنهای زمانی و مکانی سازگار برای ناحیه مورد نظر انجام دهند [۱۶].

با این حال، در شبکه‌های حسگر مکانی پویا به علت متحرک بودن گره‌ها، حفظ ارتباط آنها و اتصال شبکه

۱ Distributed

مسأله‌ای چالش انگیز است [۲۸, ۲۹]. برای مثال، گره‌های متحرک می‌توانند داخل وسایط نقلیه جاسازی شوند؛ گره‌ها می‌توانند در ارتباط با هم اطلاعات ترافیک را پایش کنند و برای آسودگی راننده و افزایش امنیت مسیریابی لحظه‌ای، هشدارهای برخورد و علائم موجود در جاده را منتشر کنند [۲۴]. به علت حرکت وسایط نقلیه، گره‌ها در شبکه خیابان جابجا می‌شوند و حتی ممکن است در هر زمان و مکانی در یک خیابان ظاهر و یا ناپدید شوند. این شبکه از طریق ارتباط بی‌سیم بین گره‌ها با همسایگی‌های یک هاپشان شکل می‌گیرد. در نتیجه توپولوژی شبکه پویا می‌تواند به علت متحرک بودن گره‌ها به سرعت تغییر کند و لذا نحوه مسیریابی اطلاعات به منظور محاسبات و پردازش داده‌ها دچار چالش می‌شود.

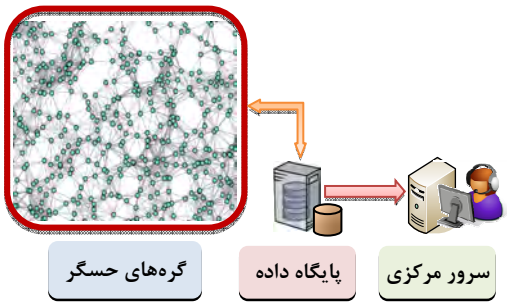
۴- الگوریتم‌ها و سیستم محاسبات در شبکه‌های حسگر

در بیشتر کاربردهای شبکه‌های حسگر مکانی، تعداد زیادی از گره‌ها در منطقه موردنظر چیده می‌شوند [۳۰]. همانطور که گفته شد گره‌ها برای تمام عملیاتی که در آن‌ها انجام می‌گیرد، شامل دریافت، پردازش و ارتباط اطلاعات، نیاز به توان و انرژی باتری دارند. بنابراین با توجه به توان کم انرژی باتری و محدودیت آن، به الگوریتم‌هایی نیازمندیم که با سیستم محاسباتی خود بتوانند مصرف انرژی را در شبکه به حداقل برسانند. به طور کلی در شبکه‌های حسگر دو نوع سیستم محاسبات متمرکز[۲] و غیرمتمرکز[۳] وجود دارد.

۴-۱- سیستم محاسبات متمرکز

در سیستم محاسبات متمرکز، داده‌های خام اندازه‌گیری شده توسط تمامی گره‌ها در یک پایگاه داده جمع‌آوری و به سرور مرکزی فرستاده می‌شود و پردازش بر روی این داده‌ها در آنجا صورت می‌گیرد (شکل ۲) [۳۱, ۳۲]. الگوریتم‌هایی که از این سیستم محاسبات استفاده می‌کنند، به دلایل زیر نمی‌توانند در شبکه‌های حسگر مکانی به کار روند:

۱. برای بدست آوردن تکه‌ای بودن زمانی و مکانی خوب توسط شبکه، به حجم زیادی از داده‌های گره‌ها نیاز است و لذا پخش این حجم داده در شبکه و انتقال آن به سرور مرکزی می‌تواند به سرعت انرژی شبکه را تلف کند.
۲. انتقال داده‌های خام بدون هیچ‌گونه فشرده‌سازی و محاسبات، موجب نقل و انتقال اضافی می‌شود.
۳. در این روش تحلیل حجم زیادی از داده‌های حسگرها، موجب تأخیر قابل توجهی در پاسخ به پرسش‌های مکانی به صورت آنی می‌شود. این تأخیر زمانی در کاربردهایی که نیاز به پردازش داده‌ها به صورت آنی می‌باشد، چشم‌گیر خواهد بود و باعث عدم کارآیی سیستم محاسبات متمرکز می‌شود.



شکل ۲ - معماری سیستم محاسبات متمرکز

۴-۲-سیستم محاسبات غیرمتمرکز

در سیستم محاسبات غیرمتمرکز هر گره اطلاعات محلی خود را دریافت کرده و تنها با همسایگی‌های مجاور خود[۴] ارتباط برقرار می‌کند. نکته قابل توجه اینکه در این سیستم محاسباتی اطلاعات در خود شبکه پردازش می‌شوند.

طراحی الگوریتم‌های غیرمتمرکز چالش تحقیقاتی مهمی در شبکه‌های حسگر مکانی است. به عنوان مثال ادغام و یکپارچه‌سازی اطلاعات در داخل شبکه، یک تکنیک اساسی در الگوریتم‌های غیرمتمرکز برای کاهش مقدار نقل و انتقال داده‌ها است [۷, ۳۳-۳۶].

در شبکه‌های حسگر مکانی به ۵ دلیل از سیستم محاسباتی غیرمتمرکز استفاده می‌شود:

۱. کاهش حجم اطلاعات: با استفاده از این سیستم محاسباتی می‌توان حجم اطلاعات را با فیلترکردن و پردازش داده‌ها در شبکه مدیریت کرده و کاهش داد.

۲ Centralized
۳ Decentralized
٤ One-hop communication neighbor

از این روش می‌توان الگوهای مکانی در داده‌ها را نیز استخراج کرد.

۲. بهینه کردن مصرف انرژی: با استفاده از این رویکرد قادر خواهیم بود تا به جای مخابره اطلاعات در شبکه، خود محاسبات داده‌ها را در شبکه انجام دهیم. بنابراین میزان مصرف انرژی گره‌ها بهبود پیدا می‌کند و در نتیجه طول عمر شبکه افزایش می‌یابد.

۳. کاهش تأخیر زمانی: با این سیستم، حجم اطلاعات و میزان فاصله‌ای که باید مخابره شوند، کاهش می‌یابد؛ بنابراین موجب کاهش تأخیر زمانی در محاسبات شبکه می‌شود و کارآیی آن را بهبود می‌دهد.

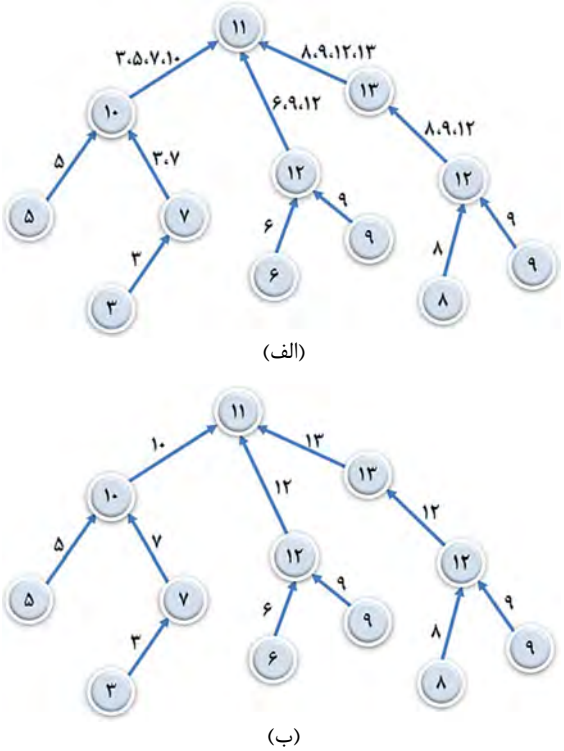
۴. خصوصی‌سازی اطلاعات: با این تکنیک می‌توان دسترسی به اطلاعات خصوصی گره‌ها را کنترل کنیم و اطلاعات شخصی گره تنها با تعداد محدودی از همسایگی‌های آن به اشتراک گذاشته شود.

۵. مقیاس‌پذیری: همانطور که مقیاس شبکه افزایش می‌یابد، تعداد گره‌ها بیشتر و بیشتر می‌شود، بنابراین هماهنگ‌سازی آن‌ها در سیستم متمرکز مشکل‌تر خواهد بود. بنابراین، با استفاده از سیستم غیرمتمرکز می‌توان گسترش شبکه را آسان‌تر کرد، به این دلیل که غیرمتمرکزسازی، شبکه را قادر می‌سازد تا رفتار سیستم از طریق فعل و انفعالات بین گره‌ها تعریف شود.

در شکل ۳ در مثالی موردی سیستم محاسبات متمرکز و غیرمتمرکز مقایسه شده‌اند. در این مثال، هدف بدست آوردن ماکزیمم مقدار عددی در شبکه است. در شکل ۳- الف، سیستم محاسبات متمرکز بوده و لذا تمامی اعداد ثبت شده توسط هر گره به گره ریشه فرستاده شده و سپس ماکزیمم بدست می‌آید. اما در شکل ۳.ب، سیستم محاسبات غیرمتمرکز به کار برده شده و زمانی که عدد ثبت شده توسط هر گره به گره بعدی فرستاده می‌شود، این گره بین عدد دریافت شده و عدد ثبت شده توسط خودش، ماکزیمم را به ریشه می‌فرستد. بنابراین محاسبات در هر گره انجام می‌شود و نتیجه به گره ریشه ارسال می‌شود. همانطور که در شکل ۳ کاملا آشکار است، یکی از دلایل مهم ارجحیت استفاده از سیستم محاسبات غیرمتمرکز به متمرکز در شبکه‌های حسگر مکانی، کاهش حجم اطلاعات ارسالی و در نتیجه بهبود مصرف انرژی در شبکه است.

۵- پردازش داده در شبکه حسگر مکانی

از جمله محدودیت‌های موجود در شبکه‌های حسگر مکانی، انرژی مصرفی در شبکه است؛ بنابراین در این شبکه‌ها پردازش داده‌ها به گونه‌ای باشد تا بتوان مصرف انرژی را بهینه کرد. ذخیره و محاسبات داخل شبکه‌ای و خلاصه‌سازی داده‌ها از تکنیک‌هایی است که موجب کاهش حجم اطلاعات قابل انتقال و در نتیجه بهینه شدن مصرف انرژی می‌شود.



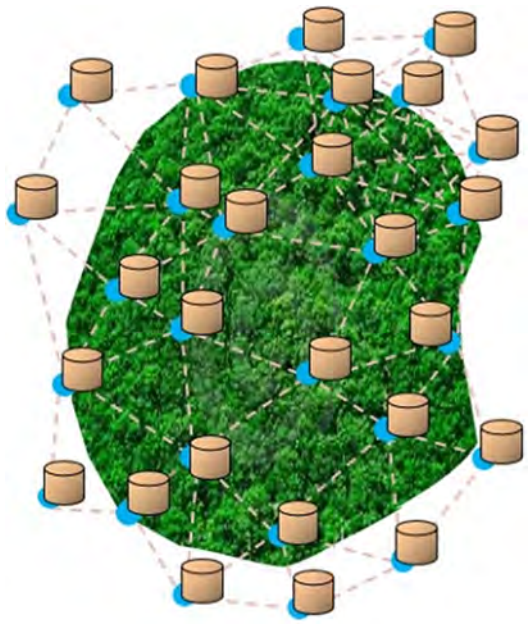
شکل ۳- سیستم محاسبات متمرکز (الف) و سیستم محاسبات غیرمتمرکز (ب).

۵-۱- ذخیره و محاسبات داخل شبکه‌ای

در شبکه حسگر مکانی، هر یک از گره‌های حسگر پارامترهای محیط محدوده خود را حس کرده و سپس در حافظه محلی خود ذخیره می‌کنند. بنابراین از دیدگاه ذخیره‌سازی داده‌ها، یک شبکه حسگر مکانی به عنوان یک پایگاه داده پراکنده است که هر گره در آن مانند یک منبع ذخیره داده محلی عمل می‌کند و در فضای شبکه توزیع شده است [۳۷] (شکل ۴).

در شبکه حسگر مکانی به جای جمع‌آوری داده‌های حسگرها در سرور مرکزی و پاسخ به پرس‌وجوها با روش متمرکز، ذخیره‌سازی و محاسبات داخل شبکه به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی ارجحیت دارد. در چنین پایگاه

داده توزیع شده در شبکه، هر یک از گره‌ها با ارتباط و همکاری یکدیگر می‌توانند داده‌های حس‌شده را پردازش کنند و به پرسش‌های کاربر پاسخ دهند. هدف از ذخیره‌سازی و محاسبات داخل شبکه، مدیریت داده‌های حسگرها به منظور افزایش طول عمر شبکه است [۳۸].



شکل ۴- گره‌ها در شبکه حسگر مکانی به عنوان منبع ذخیره داده محلی

۵-۲- خلاصه‌سازی داده‌ها

شبکه‌های حسگر مکانی کاربردهای وسیعی به خصوص در زمینه پایش پدیده‌های محیطی دارند. برای پایش یک پدیده در مکانی مشخص، شبکه‌ای از گره‌ها در محیط پراکنده و چیده شده و داده‌های حسگرها به طور ناهمگن جمع‌آوری می‌شود. در این کاربردها برای مدیریت حجم زیاد داده‌ها نیاز به مدل‌های چکیده و خلاصه‌سازی داریم که داده‌های خام را به صورت کپسوله و فشرده درآورند. این مدل‌های چکیده به منظور پردازش سریع‌تر داده‌ها برای پاسخ به پرسش‌های کاربر استفاده می‌شوند [۳۹].

۶- ارزیابی شبکه‌های حسگر مکانی

شبکه حسگر مکانی شبکه حسگر بی‌سیمی است که پدیده‌ها را در فضای جغرافیایی پایش می‌کند [۷]. شبکه‌های حسگر مکانی در مقایسه با شبکه‌های حسگر بی‌سیم این توانایی را دارند که اطلاعات زمانی مکانی را با قدرت تفکیک بهتری دریافت و پردازش کنند، و عملیات مکانی را روی داده‌های حس شده انجام دهند.

شبکه‌های حسگر مکانی در زمینه‌های مختلف علوم مکانی کاربرد دارند، به خصوص برای پایش میدان‌های ایستا و پویا می‌توانند اطلاعاتی با تکه‌ای بودن مکانی و زمانی خوب بدست آورند. چیدمان شبکه با توجه به ایستا یا پویا بودن میدان متفاوت است. شبکه‌های حسگر مکانی پویا در مقایسه با شبکه‌های ایستا در فضای وسیع‌تر خیلی بهتر عمل کرده و نسبت هزینه صف‌آرایی شبکه به منطقه پوشش داده شده را کاهش می‌دهند.

در شبکه‌های حسگر مکانی، گره‌ها برای تمام عملیاتی که در آن‌ها انجام می‌گیرد، شامل دریافت، پردازش و ارتباط اطلاعات، نیاز به توان و انرژی باتری دارند؛ با توجه به توان کم انرژی باتری و محدودیت آن به نظر می‌رسد که روش‌های محاسبات متمرکز برای پردازش داده‌ها و پاسخ به پرسش‌های مکانی ناکارآمد باشند. اما در عوض روش‌های محاسبات غیرمتمرکز بسیار مناسب می‌باشند. در شبکه‌های حسگر مکانی به دلیل کاهش حجم اطلاعات، بهینه کردن مصرف انرژی، کاهش تأخیر زمانی و ... از روش غیرمتمرکز برای محاسبات و پردازش استفاده می‌شود. در این شبکه‌ها به منظور افزایش طول عمر شبکه ذخیره‌سازی اطلاعات نیز به صورت داخل شبکه انجام می‌گیرد.

۷- نتیجه‌گیری

امروزه در حوزه علوم مکانی موج جدیدی از پیشرفت فناوری را شاهد هستیم، از جمله شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم فراگستر که شامل فناوری ارتباط کوتاه‌برد و بلندبرد هستند، سکوهای حسگر هوشمند که پردازش‌های محلی و مشارکتی دارند. این پیشرفت‌ها موجب می‌شود تا تغییراتی در روش‌هایی که پدیده‌های محیطی (ایستا یا پویا) را به صورت لحظه‌ای پایش و ردیابی می‌کنیم، بوجود آید. با این حال، امروزه فناوری شبکه‌های حسگر مکانی کوچک مقیاس هنوز در دوران بلوغ و رشد خود قرار دارد [۱]. در این مقاله سعی شد تا مروری کلی بر فناوری شبکه حسگر مکانی، کاربردهای آن، سیستم محاسبات مربوط و نحوه پردازش در این شبکه‌ها پرداخته شود. در کارهای آینده انتظار می‌رود تا به صورت جزئی روی کاربردهای این شبکه‌ها تمرکز و به صورت دقیق‌تر وارد بحث محاسبات و پردازش شود.

مراجع

[1] S. Nittel,(2009), "A survey of geosensor networks: Advances in dynamic environmental monitoring," Sensors, vol. 9, pp. 5664-5678.

[2] V. Hsu, J. M. Kahn, and K. Pister,(1998), Wireless communications for smart dust: Electronics Research Laboratory, College of Engineering, University of California.

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

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

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

[6] 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,

[7] [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.

[8] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci,(2002), "A survey on sensor networks," Communications magazine, IEEE, vol. 40, pp. 102-114.

[9] 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.

[10] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, and W. Heinzelman,(2002), "A taxonomy of wireless micro-sensor network models," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 6, pp. 28-36.

[11] A. Woo and D. E. Culler,(2001), "A transmission control scheme for media access in sensor networks," in Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 221-235.

[12] J. Stell and M. Worboys,(2008), "A theory of change for attributed spatial entities," in Geographic Information Science, ed: Springer, pp. 308-319.

[13] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, and J. Anderson,(2002), "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications, pp. 88-97.

[14] A. T. Campbell, S. B. Eisenman, N. D. Lane, E. Miluzzo, and R. A. Peterson,(2006), "People-centric urban sensing," in Proceedings of the 2nd annual international workshop on Wireless internet, p. 18.

[15] G. Werner-Allen, J. Johnson, M. Ruiz, J. Lees, and M. Welsh,(2005), "Monitoring volcanic eruptions with a wireless sensor network," in Wireless Sensor Networks, 2005. Proceeedings of the Second European Workshop on, pp. 108-120.

[16] N. E. Leonard, D. A. Paley, F. Lekien, R. Sepulchre, D. M. Fratantoni, and R. E. Davis,(2007), "Collective motion, sensor networks, and ocean sampling," Proceedings of the IEEE, vol. 95, pp. 48-74.

[17] A. Cano, E. López-Baeza, J. Anon, C. Reig, and C. Millán-Scheiding,(2007), "Wireless sensor network for soil moisture applications," in Sensor Technologies and Applications, 2007. SensorComm 2007. International Conference on, pp. 508-513.

[18] W. Hedgecock, P. Völgyesi, A. Ledeczi, X. Koutsoukos, A. Aldroubi, A. Szalay, et al.,(2010), "Mobile air pollution monitoring network," in Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing, pp. 795-796.

[19] M. Tubaishat, P. Zhuang, Q. Qi, and Y. Shang,(2009), "Wireless sensor networks in intelligent transportation systems," Wireless communications and mobile computing, vol. 9, pp. 287-302.

[20] T. Wark, C. Crossman, W. Hu, Y. Guo, P. Valencia, P. Sikka, et al.,(2007), "The design and evaluation of a mobile sensor/actuator network for autonomous animal control," in Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, pp. 206-215.

[21] T. He, P. Vicaire, T. Yan, L. Luo, L. Gu, G. Zhou, et al.,(2006), "Achieving real-time target tracking usingwireless sensor networks," in Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, 2006. Proceedings of the 12th IEEE, pp. 37-48.

[22] A. Arora, P. Dutta, S. Bapat, V. Kulathumani, H. Zhang, V. Naik, et al.,(2004), "A line in the sand: a wireless sensor network for target detection, classification, and tracking," Computer Networks, vol. 46, pp. 605-634.

[23] X. Li, W. Shu, M. Li, H.-Y. Huang, P.-E. Luo, and M.-Y. Wu,(2009), "Performance evaluation of vehicle-based mobile sensor networks for traffic monitoring," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, vol. 58, pp. 1647-1653.

[24] T. Nadeem, S. Dashtinezhad, C. Liao, and L. Iftode,(2004), "TrafficView: traffic data dissemination using car-to-car communication," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 8, pp. 6-19.

[25] S. Coleri, S. Y. Cheung, and P. Varaiya,(2004), "Sensor networks for monitoring traffic," in Allerton conference on communication, control and computing, pp. 32-40.

[26] S. Dornbush and A. Joshi,(2007), "StreetSmart traffic: Discovering and disseminating automobile congestion using VANET's," in Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th, pp. 11-15.

[27] T. Abdelzaher, Y. Anokwa, P. Boda, J. Burke, D. Estrin, L. Guibas, et al.,(2007), "Mobiscopes for human spaces," Pervasive Computing, IEEE, vol. 6, pp. 20-29.

[28] B. Xu and O. Wolfson,(2005), "Data management in mobile peer-to-peer networks," in Databases, Information Systems, and Peer-to-Peer Computing, ed: Springer, pp. 1-15.

[29] M. Gerla, L.-J. Chen, Y.-Z. Lee, B. Zhou, J. Chen, G. Yang, et al.,(2005), "Dealing with node mobility in ad hoc wireless network," in Formal Methods for Mobile Computing, ed: Springer, pp. 69-106.

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

[31] S. Shekhar and S. Chawla,(2003), Spatial databases: a tour vol. 2003: Prentice Hall Englewood Cliffs.

[32] M. Duckham and M. Worboys,(2004), GIS: a computing perspective: CRC press.

[33] S. Madden, M. J. Franklin, J. M. Hellerstein, and W. Hong,(2002), "TAG: A tiny aggregation service for ad-hoc sensor networks," ACM SIGOPS Operating Systems Review, vol. 36, pp. 131-146.

[34] 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.

[35] N. Shrivastava, C. Buragohain, D. Agrawal, and S. Suri,(2004), "Medians and beyond: new aggregation techniques for sensor networks," in Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, pp. 239-249.

[36] 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.

[37] P. Bonnet, J. Gehrke, and P. Seshadri,(2000), "Querying the physical world," Personal Communications, IEEE, vol. 7, pp. 10-15.

[38] F. Zhao and L. J. Guibas,(2004), Wireless sensor networks: an information processing approach: Morgan Kaufmann.

[39] Y. Lee, Y. J. Jung, K. W. Nam, S. Nittel, K. Beard, and K. H. Ryu,(2012), "Geosensor Data Representation Using Layered Slope Grids," Sensors, vol. 12, pp. 17074-17093.