

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

سمینار کارشناسی ارشد

روشهای انتشار اطلاعات در شبکه‌های حسگر بیسیم

آرش نصیری اقبالی

۸۳۱۳۱۱۰۶

استاد راهنما

دکتر مهدی دهقان

مهرماه ۱۳۸۴



## چکیده:

شبکه‌های حسگر نسل جدیدی از شبکه‌ها هستند که به طور معمول، از تعداد زیادی گره ارزاقیمت تشکیل شده‌اند و ارتباط این گره‌ها به صورت بیسیم صورت می‌گیرد. هدف اصلی در این شبکه‌ها، جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد محیط پیرامون حسگرهای شبکه است. نحوه عملکرد کلی این شبکه‌ها به این صورت است که گره‌ها اطاعات مورد نیاز را جمع‌آوری می‌کنند و سپس آنها را به سمت گیرنده ارسال می‌کنند. نحوه انتشار اطلاعات در این شبکه‌ها، تا حد زیادی مشابه انتشار اطلاعات در شبکه‌های موردی (ad-hoc) است به این معنی که انتقال اطلاعات به صورت گره به گره، صورت می‌پذیرد. تفاوت عمده شبکه‌های حسگر با شبکه‌های موردی، منابع انرژی محدود و قابلیت پردازشی نسبتاً پایین آنهاست که این موارد باعث شده تا انتشار اطلاعات، یکی از مسائل عمده و قابل بحث در این شبکه‌ها باشد.

شبکه‌های حسگر امروزه به عنوان یکی از مباحث بسیار داغ علمی مطرح است و تحقیقات بسیاری بر روی بهبود عملکرد این شبکه‌ها صورت می‌گیرد. تا کنون کارهای زیادی در جهت بهبود و افزایش کارایی در زمینه پخش اطلاعات در شبکه‌های حسگر، صورت گرفته است. یکی از روشهای مطرح در این زمینه، روش انتشار مستقیم (directed diffusion) است که در این روش از ایده نامگذاری سطح پایین اطلاعات استفاده شده است و کلیه داده‌ها در این روش به صورت زوجهای صفت-مقدار نامگذاری می‌شود. این روش، پایه بسیاری از روشهای مطرح شده بعدی در زمینه انتشار اطلاعات در شبکه‌های حسگر را تشکیل می‌دهد که در این سمینار مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند و در نهایت از لحاظ قابلیت‌ها و نقاط ضعف و قوت، با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

## کلمات کلیدی:

شبکه‌های حسگر، روشهای انتشار اطلاعات، مسیریابی، خلاصه‌سازی و فشرده‌سازی اطلاعات

## فهرست مطالب:

|  |    |
|--|----|
| فصل اول: مقدمه   | ۱  |
| فصل دوم: ساختار کلی شبکه‌های حسگر                                | ۳  |
| کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر                       | ۳  |
| - میدان های جنگی   | ۳  |
| - شناسایی محیطهای آلوده  | ۳  |
| - مانیتور کردن محیط زیست   | ۳  |
| - بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی                            | ۴  |
| - در جاده ها و بزرگراه‌های هوشمند                                | ۴  |
| - کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی                                 | ۴  |
| محدودیت‌های سخت افزاری یک گره حسگر                               | ۴  |
| - هزینه پائین  | ۴  |
| - حجم کوچک   | ۴  |
| - توان مصرفی پائین   | ۴  |
| - نرخ بیت پائین  | ۵  |
| - خودمختار بودن  | ۵  |
| - قابلیت تطبیق پذیری   | ۵  |
| معماری شبکه‌های حسگر   | ۵  |
| معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر                                  | ۵  |
| اجزای سخت افزاری   | ۶  |
| واحد پردازنده مرکزی (CPU)  | ۷  |
| فرستنده - گیرنده رادیویی   | ۷  |
| حافظه جانبی  | ۸  |
| انواع حسگرها   | ۸  |
| حسگر GPS   | ۸  |
| منبع تغذیه   | ۹  |
| باتری‌ها و سلولهای خورشیدی                                       | ۹  |
| اجزای نرم‌افزاری   | ۹  |
| سیستم عامل Tiny OS   | ۹  |
| خلاصه  | ۱۰ |
| فصل سوم: مروری بر برخی از روشهای انتشار اطلاعات در شبکه‌های حسگر | ۱۱ |
| روش همه‌پخش سیل‌آسا (FLOODING)                                   | ۱۱ |
| انفجار   | ۱۱ |
| هم‌پوشانی  | ۱۱ |
| عدم اطلاع از منابع   | ۱۲ |

|    |  |
|----|--|
| ۱۲ | روش شایعه پراکنی (GOSSIPING).....                                  |
| ۱۳ | روش SPIN.....  |
| ۱۳ | پیغام‌های SPIN.....  |
| ۱۳ | • ADV.....   |
| ۱۳ | • REQ.....   |
| ۱۳ | • DATA.....  |
| ۱۴ | SPIN-1: یک روش دست تکانی سه مرحله‌ای.....                          |
| ۱۵ | SPIN-2: SPIN-1 با یک آستانه انرژی پایین.....                       |
| ۱۵ | روش پخش مستقیم (DIRECTED DIFFUSION).....                           |
| ۱۶ | دسته خصوصیت‌ها.....  |
| ۱۶ | فیلترها.....   |
| ۱۷ | خلاصه سازی اطلاعات درون-شبکه‌ای (in-network data aggregation)..... |
| ۱۷ | خلاصه‌سازی فرصت‌طلبانه (opportunistic data aggregation).....       |
| ۱۷ | خلاصه‌سازی حریصانه (greedy data aggregation).....                  |
| ۱۸ | پرسش تو رد تو (nested query).....                                  |
| ۱۸ | مقایسه روش انتشار مستقیم با روش SPIN.....                          |
| ۱۹ | روش مسیریابی جغرافیایی (GEAR).....                                 |
| ۲۰ | روش انتشار بیرون دهنده (PUSH DIFFUSION).....                       |
| ۲۰ | روش انتشار جذب یک مرحله‌ای (ONE-PHASE PULL DIFFUSION).....         |
| ۲۱ | روش LEACH (LOW-ENERGY ADAPTIVE CLUSTERING HIERARCHY).....          |
| ۲۳ | جزئیات الگوریتم LEACH.....   |
| ۲۴ | ۱- فاز تبلیغات.....  |
| ۲۴ | ۲- فاز تشکیل دسته‌ها.....  |
| ۲۴ | ۳- فاز تشکیل برنامه.....   |
| ۲۴ | ۴- فاز انتقال داده‌ها.....   |
| ۲۵ | روش EDDD (ENERGY-EFFICIENT DIFFERENTIATED DIRECTED DIFFUSION)..... |
| ۲۵ | فیلترهای RT و BE در روش EDDD.....                                  |
| ۲۶ | گرادیان‌های RT و BE.....   |
| ۲۷ | برپایی گرادیانها BE.....   |
| ۲۷ | برپایی گرادیانهای RT.....  |
| ۲۹ | مکانیسم‌های بازیابی RT و بازیابی BE در روش EDDD.....               |
| ۲۹ | بازیابی در BE.....   |
| ۳۰ | بازیابی در RT.....   |
| ۳۰ | خلاصه.....   |
| ۳۴ | فصل چهارم: نتیجه‌گیری.....   |
| ۳۶ | منابع و مراجع.....   |

## فهرست شکل ها :

- شکل ۱ : معماری شبکه‌های حسگر..... ۵
- شکل ۲ : معماری ارتباطی شبکه‌های سنسور بی سیم..... ۶
- شکل ۳ : معماری سخت افزار هر گره شبکه‌های حسگر..... ۷
- شکل ۴ : پدیده تصادم..... ۱۱
- شکل ۵ : پدیده هم‌پوشانی..... ۱۲
- شکل ۶ : روش شایعه پراکنی..... ۱۲
- شکل ۷ : الگوریتم دست‌تکانی در SPIN..... ۱۴
- شکل ۸ : نحوه عملکرد الگوریتم انتشار مستقیم..... ۱۶
- شکل ۹ : نحوه دسته‌بندی در زمانهای  $t$  و  $t+c$ ..... ۲۲
- شکل ۱۰ : میزان نرمالیزه شده مصرف انرژی سیستم در مقابل درصد گره‌های سردسته..... ۲۳
- شکل ۱۱ : طول عمر حسگرها با میزان انرژی‌های اولیه متفاوت..... ۲۳
- شکل ۱۲ : مشخصات بسته علاقه‌مندی..... ۲۶
- شکل ۱۳ : مدخل اطلاعات همسایه..... ۲۷
- شکل ۱۴ : الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک BE..... ۲۸
- شکل ۱۵ : الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک RT..... ۲۹
- شکل ۱۶ : مکانیسم بازیابی در ترافیک RT..... ۳۰

## فصل اول: مقدمه

امروزه بحث سیستمهای کنترل و نظارت از راه دور یکی از مباحث پر چالش در زمینه علوم الکترونیک و کامپیوتر می‌باشد. لذا تحقیقات در هر زمانی به دنبال راه حلی می‌باشد تا شرایط خاص و انتظارات مدنظر را پاسخ دهد؛ در شرایط و کیفیت کاری یکسان هر چه نسبت هزینه به کارایی پائینتر باشد، همان قدر محبوبیت آن شیوه بالاتر خواهد رفت. برای آگاهی از تغییرات محیط اطراف و یا وضعیت هر مجموعه نیازمند یکسری تجهیزاتی هستیم که بعنوان حسگر شناخته می‌شوند و اینها تغییرات مدنظر (تغییرات فیزیکی یا شیمیایی) را در قالب یک پاسخ، به‌منظور اندازه‌گیری میزان تغییرات و یا وجود آن، ارائه می‌دهند. پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز می‌توان سایر عملیات را بر اساس پاسخ ارائه شده انجام داد.

پیشرفتهای اخیر در زمینه الکترونیک و مخابرات بی‌سیم باعث شده بتوانیم گره‌های حسگر چند کاره، با توان مصرفی پائین و هزینه کم داشته باشیم که از نظر اندازه خیلی کوچک هستند و برای مسافت‌های کوتاه می‌توانند با هم ارتباط برقرار کنند. این گره‌های حسگر کوچک طبق نظریه شبکه‌های حسگر، دارای تجهیزات حس کردن، پردازش داده‌ها و مخابره آنها می‌باشند. تفاوت اصلی شبکه‌های حسگر با سایر شبکه‌ها در ماهیت داده-محور (data-centric) و همچنین منابع انرژی و پردازشی بسیار محدود در آنهاست که موجب شده تا روش‌های مطرح شده جهت انتقال داده‌ها در سایر شبکه‌ها و حتی شبکه‌هایی که تا حد زیادی ساختاری مشابه شبکه‌های حسگر دارند (مانند شبکه‌های موردی)، در این شبکه‌ها قابل استفاده نباشند. روند توسعه این شبکه‌ها در حدی است که مطمئناً این شبکه‌ها در آینده نزدیک، نقش مهمی را در زندگی روزمره ما ایفا خواهند کرد. از کاربردهایی که در حال حاضر برای شبکه حسگر مطرح می‌شود و روز به روز بر تعدادشان افزوده می‌شود، می‌توان به کاربردهایی نظیر عمل ردیابی در محیط‌های گسترده جغرافیایی، سیستم‌های امنیتی، نظارت بر سازه‌های بزرگ، نظارت بر بیماران دارای وضعیت حساس، نظارت بر پارامترهای محیطی در مناطقی که حضور انسان در آنها خطرناک است و بسیاری کاربردهای دیگر اشاره کرد.

شبکه‌های حسگر در واقع تجمع تعداد زیادی از گره‌های حسگر می‌باشند که در محیط پراکنده شده‌اند و هر کدام به طور خودمختار و با همکاری سایر گره‌ها هدف خاصی را دنبال می‌کنند. گره‌ها به هم نزدیک هستند و هر گره‌ای با گره دیگری می‌تواند ارتباط برقرار کند و اطاعات خود را در اختیار گره دیگری قرار دهد و در نهایت وضعیت محیط تحت نظر، به یک گره مرکزی گزارش می‌شود.

تکنیک‌ها و شیوه‌های مورد استفاده در چنین شبکه‌های وابستگی شدیدی به ماهیت کاربرد شبکه دارد و ساختار توپولوژی شبکه، شرایط جوی و محیطی، محدودیتها و ... عوامل موثری در پارامترهای کارایی و هزینه شبکه می‌باشند. لذا امروزه در سرتاسر دانشگاه‌های معتبر و مراکز تحقیقاتی کامپیوتری، الکترونیکی و بخصوص مخابراتی، شبکه‌های حسگر بیسیم، یک زمینه تحقیقاتی بسیار جذاب و پرترفدار محسوب می‌شود. تحقیقات و پیشنهادات زیادی در مباحث مختلف ارائه شده است و همچنان حجم تحقیقات در این زمینه سیر صعودی دارد.

هدف اصلی تمامی این تلاش‌ها و ارائه راهکارها، داشتن سیستمی با شیوه‌های کنترلی ساده، آسان و با هزینه پائین می‌باشد که در نهایت با پاسخگویی به نیازمندیهای ما بتواند در مقابل محدودیتها (پهنای باند، انرژی، دخالت‌های محیطی، فیدینگ و ...) ایستادگی کند و شرایط کلی را طبق خواسته‌ها و تمایلات ما (انتقال حجم زیاد اطلاعات پر محتوا، بقاء پذیری و طول عمر بالا، هزینه پائین و...) را فراهم سازد. لذا محققین جنبه‌های مختلف را تحلیل و بررسی می‌نمایند و سعی می‌کنند ایده‌های بهینه و کارا را استخراج کنند. این ایده‌ها می‌توانند از محیط وحش اطرافمان الهام گرفته شده باشد و با استفاده از قوانین ریاضی و نظریات تئوری و آماری می‌توان آنها را تحلیل نمود.

به دلایل ذکر شده در بالا، بحث شبکه‌های حسگر در حال حاضر یکی از مباحث داغ در محافل علمی است و روز به روز بر تعداد مقاله‌هایی که در این مورد منتشر می‌شوند افزوده می‌گردد. در سالهای اخیر نیز چند کنفرانس معتبر IEEE نیز در همین زمینه برگزار شده است.

یکی از چالش‌های مطرح در زمینه شبکه‌های حسگر، نحوه مسیریابی و انتقال اطلاعات جمع‌آوری شده، در گره‌های این شبکه‌هاست. از آنجایی که این شبکه‌ها از لحاظ میزان انرژی قابل دسترسی و منابع پردازشی موجود، محدودیت دارند، نمی‌توان از روش‌های مطرح شده برای سایر شبکه‌ها، در شبکه‌های حسگر استفاده کرد. در فصل بعد، ساختار کلی و خصوصیات شبکه‌های حسگر مطرح شده است و در قسمت بعدی خلاصه بعضی از روشهای مطرح شده جهت انتشار اطلاعات در شبکه‌های حسگر، به عنوان نمونه آورده شده است.



## فصل دوم: ساختار کلی شبکه‌های حسگر

در این فصل ابتدا در مورد کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر و نقشی که این شبکه‌ها در زندگی روزمره ما، می‌توانند بر عهده بگیرند، مطالبی آورده خواهد شد و در نهایت در مورد معماری کلی شبکه‌های حسگر، اعم از معماری ارتباطی در آنها و اجزای سخت افزاری هر گره به بحث و بررسی خواهیم پرداخت.

### کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر:

همانطور که در بحث مقدمه مطرح شد، امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های حسگر مطرح شده است و روز به روز هم بر تعداد آنها اضافه می‌شود. برخی از کاربردهایی که تا کنون بر روی این شبکه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

- **میدان‌های جنگی:** در میدان‌های جنگی، می‌توان جهت شناسایی و بررسی آماری تجهیزات و نیروی دشمن و همینطور کلاس‌بندی و پیگردی نحوه آرایش و مسیر حرکت نیروهای دشمن یا نیروهای خودی، از شبکه‌های حسگر استفاده کرد و در نهایت وضعیت نیروهای خودی را در قبال نیروهای دشمن بررسی نمود.
- **شناسایی محیطهای آلوده:** در محیط‌های مختلف امکان وجود آلودگیهای مختلف وجود دارد. لذا با استفاده از چنین شبکه‌هایی، می‌توان وجود آلودگی‌های مشخصی را در سطح محیط تحت نظر، بررسی کرد و حتی میزان غلظت آلودگی در قسمتهای مختلف را مشاهده نمود و در نهایت با استفاده از اطلاعات آماری بدست آمده، در خروجی سیستم می‌توان نمودار سه بعدی وضعیت آلودگی در سطح محیط زیر نظر را بدست آورد. نوع آلودگی نیز می‌تواند یکتا نباشد و با توجه به امکانات، هر گره در شبکه حسگر می‌تواند شناسایی چندین نمونه آلودگی را پشتیبانی کند.
- **مانیتور کردن محیط زیست:** مجموعه‌ای از تحقیقات در زمینه محیط زیست نیازمند انجام مطالعات مکرر و متمرکز و صرف زمان زیادی جهت جمع آوری اطلاعات می‌باشد که معمولا از حوصله و توانایی چشمان انسان خارج است و در چنین مواردی از دستگاه‌های مانیتورینگ، تحلیلگر و ذخیره کننده نتایج استفاده می‌شود. از طرفی دیگر، به خاطر وجود برخی شرایط محیط زیست، اکثر کارهای تحقیقاتی بایستی در سکوت و آرامش صورت گیرد تا وجود انسان و تجهیزات در محیط اثر منفی در عملکرد غریزه‌ای و واقعی موجودات نداشته باشد تا موجب کاهش کیفیت تحقیق گردد. از این رو معمولا تمام سیستم‌های مانیتورینگ، قابلیت کنترل از راه دور را دارند. در عین حال این سیستم‌ها طوری انتخاب می‌گردند که وجود آنها در محیط محسوس نباشد. با در نظر گرفتن تمام موارد فوق، ملاحظه می‌شود که شبکه‌های حسگر، علاوه بر بحث هزینه پایین مصرفی، در زمینه مانیتور کردن محیط زیست، از توانایی بالایی برخوردار می‌باشند. در مواردی همچون بررسی وضعیت آب و هوای جوی محیط و بررسی وضعیت ظاهری آن، بخصوص محیط سرسبز و جنگلی، بررسی رشد و نمو گیاهان و موجودات و موقعیت‌یابی و پیگردی موجودات زنده در محیط زیست می‌توان از قدرت بالای شبکه‌های حسگر استفاده کرد.

- **بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی:** بسیاری از سازمانها و موسسات تحقیقاتی در زمینه عمران و مسکن برای انجام مطالعات و تحقیقات خود از وضعیت بناهای مدنظر، در طول زمان یا در هنگام بروز حوادث طبیعی بخصوص زلزله، نیازمند استفاده از تجهیزات مانیتورینگ می‌باشند تا اطلاعاتی مانند میزان فشار و تحمل مصالح، وجود ترک، میزان آسیب وارده، وضعیت فرسودگی، امنیت و حفاظت ساختمان و یا سایر جزئیات مرتبط با هدف تحقیقات در مورد بناهایی مثل ساختمان‌های قدیمی، پل‌ها، سدها، موزه‌ها و... را جمع‌آوری کنند و با توجه به تواناییهای شبکه‌های حسگر، می‌توان از این شبکه‌ها برای دست یافتن به اهداف مطرح شده در بالا استفاده کرد.

- **در جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند:** یکی از مشکلات جامعه و راهنمایی و رانندگی، کنترل وضعیت ترافیک در سطح شهر می‌باشد. با برپایی شبکه‌ای از گره‌های حسگر در سطح شهر و قرار دادن گره‌ها در بزرگراه‌ها و خیابان‌های شهر، می‌توان بزرگراه‌ها و خیابانها را هوشمند ساخت و از وضعیت تراکم عبور و مرور وسایل نقلیه و یا بروز حوادثی مانند برخورد چندین وسیله نقلیه، در نقاط زیر نظر گره‌های سنسور، اطلاع یافت و در نهایت در کل سطح شهر وضعیت ترافیک و تصادفات را شناسایی و پیگیری نمود.

- **کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی:** در زمینه بررسی و مطالعات پزشکی در مورد گیاهان و یا انسان‌ها، جهت آگاهی از وضعیت جسمانی آنها، می‌توان از گره‌های حسگر استفاده نمود و در موارد مختلف، از جمله قراردادن گره‌ها در لایه‌های زیر پوست برای انجام مطالعات مکرر در طی مدت زمان نسبتاً طولانی، دستگاه‌های پزشکی و بخصوص در زمینه فیزیک پزشکی، می‌توان از شبکه‌های حسگر استفاده نمود.

همچنین با توجه به ماهیت شبکه‌های حسگر، می‌توان مزایایی مانند برپایی سریع در مواقع اضطراری و فوری، استفاده در محیط‌های که بایستی پارازیت و اختلال در آنها وجود نداشته باشد، اجتناب از قرار گرفتن در محیط‌های خطرناک و غیر عاقلانه برای مطالعات مکرر، شیوه اقتصادی مقرون به صرفه برای جمع‌آوری اطلاعات در طولانی مدت و ... نام برد.

#### محدودیت‌های سخت افزاری یک گره حسگر:

عواملی چون اقتصادی بودن سیستم، تواناییهای مورد انتظار، تعداد انبوه گره‌ها و نهایتاً عملی شدن ایده‌ها در محیط واقعی، موجب گشته هر گرهی یکسری محدودیت‌های سخت افزاری داشته باشد. این محدودیت‌ها در ذیل اشاره شده و در مورد هرکدام توضیحی ارائه گردیده است:

- **هزینه پائین:** بایستی سیستم نهایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. چون تعداد گره‌ها خیلی زیاد بوده و برآورد هزینه هر گره در تعداد زیادی (بالغ بر چند صد هزار) ضرب می‌گردد، بنابراین هر چه از هزینه هر گره کاسته شود، در سطح کلی شبکه، صرفه جویی زیادی صورت خواهد گرفت و سعی می‌شود هزینه هر گره به کمتر از یک دلار برسد.

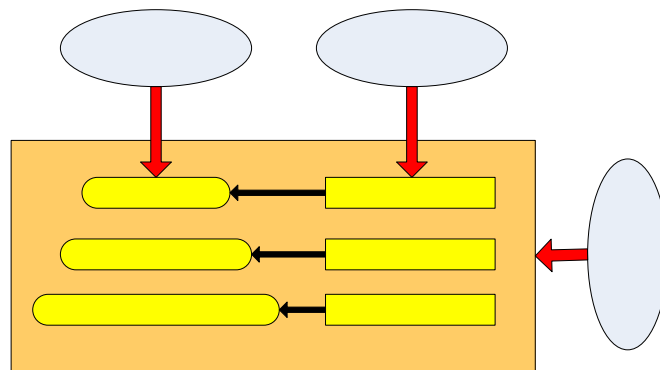
- **حجم کوچک:** گره‌ها به نسبت محدوده‌ای که زیر نظر دارند، بخشی را به حجم خود اختصاص می‌دهند. لذا هر چه این نسبت کمتر باشد به همان نسبت کارایی بالاتر می‌رود و از طرفی در اکثر موارد برای اینکه گره‌ها جلب توجه نکند و یا بتوانند در برخی مکان‌ها قرار بگیرند نیازمند داشتن حجم بسیار کوچک می‌باشند.

- **توان مصرفی پائین:** منبع تغذیه در گره‌ها محدود می‌باشد و در عمل، امکان تعویض یا شارژ مجدد آن مقدور نیست؛ لذا بایستی از انرژی موجود به بهترین نحو ممکن استفاده گردد.

- نرخ بیت پائین: به خاطر وجود سایر محدودیتها، عملاً میزان نرخ انتقال و پردازش اطلاعات در گره‌ها، نسبتاً پایین می‌باشد.
- خودمختار بودن: هر گره‌ای بایستی از سایر گره‌ها مستقل باشد و بتواند وظایف خود را طبق تشخیص و شرایط خود، به انجام برساند.
- قابلیت تطبیق پذیری: در طول انجام نظارت بر محیط، ممکن است شرایط در هر زمانی دچار تغییر و تحول شود. مثلاً برخی از گره‌ها خراب گردند. لذا هر گره بایستی بتواند وضعیت خود را با شرایط بوجود آمده جدید تطبیق دهد.

### معماری شبکه‌های حسگر:

هر شبکه حسگر از تعداد زیادی گره ارزشمند با اندازه کوچک، تشکیل شده است و هر گره نیز از مجموعه‌ای از اجزای سخت‌افزاری تشکیل شده است که در کنار یکدیگر وظایف هر گره را به انجام می‌رسانند. در حال حاضر هر گره حسگر از بهم پیوستن تعدادی قطعات از پیش طراحی شده حاصل می‌شود ولی در آینده می‌توان کلیه مدارهای مورد نیاز یک حسگر را در یک مدار مجتمع فشرده و در اندازه بسیار کوچکتری پیاده‌سازی کرد که کاهش قابل ملاحظه‌ای در اندازه و توان مصرفی هر گره را در بر خواهد داشت. نهایتاً سیستم عامل نسبتاً ساده‌ای به نام Tiny OS برای گره‌های شبکه حسگر پیشنهاد شده است که بر مبنای کنترل رویدادها طراحی شده است و منابع هر گره را به نحو مناسبی کنترل می‌کند.



شکل 1: معماری شبکه‌های حسگر

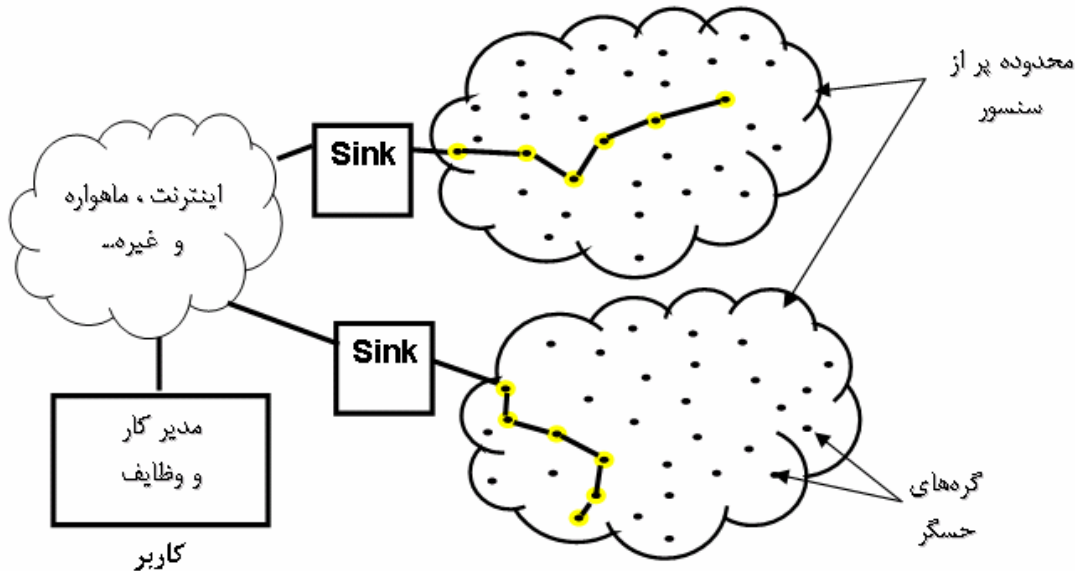
### معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر:

همانطور که در مقدمه بیان شد، شبکه‌های حسگر در حالت کلی ماهیت داده-محور دارند و بنابراین، ساختار ارتباطی بین گره‌های حسگر باید طوری طراحی شوند که با ماهیت این شبکه‌ها، هماهنگی داشته باشند. چون اکثر کاربردهای شبکه‌های حسگر در مواردی است که عملاً امکان اتصال گره‌ها به یکدیگر عملی یا مقرون به صرفه نیست، در این گونه شبکه‌ها عموماً از ارتباط بیسیم استفاده می‌شود. و ساختار کلی این شبکه‌ها به این صورت است که تعداد زیادی گره همسان، در محیط پراکنده می‌شوند و پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نظر، آن را به یک گیرنده مرکزی (sink) ارسال می‌کنند. گیرنده مرکزی، گرهی با میزان انرژی بالا و تجهیزات مورد نیاز می‌باشد و در واقع واسطه بین شبکه حسگر و محیط اطراف می‌باشد. در شبکه‌های با وسعت جغرافیایی زیاد، می‌توان از چندین گیرنده مرکزی استفاده کرد تا مسیر ارسال داده‌ها به گیرنده‌ها، بیش از حد طولانی نگردد.

### Data-Layer

از آنجایی که ارسال مستقیم رادیویی در فواصل زیاد، به انرژی بسیار زیادی نیاز دارد، در شبکه‌های حسگر، از روشهای انتقال اطلاعات به صورت گام به گام استفاده می‌شود. علاوه بر این مورد، در اکثر موارد بین بسیاری از گره‌ها و گیرنده‌های مرکزی، به علت مسایلی مانند فاصله زیاد یا موانع جغرافیایی، ممکن است دید مستقیمی بین گره و گیرنده مرکزی

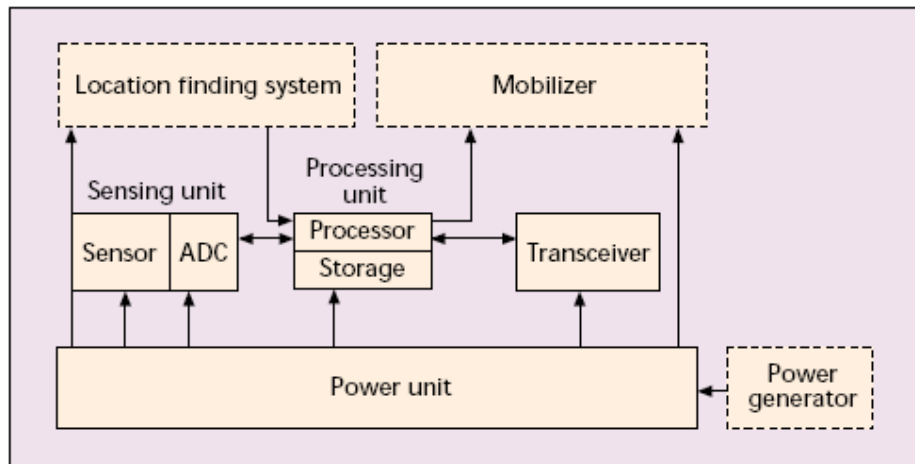
وجود نداشته باشد. روشهای متنوعی جهت پراکندن اطلاعات در شبکه‌های حسگر، پیشنهاد شده است که تعدادی از آنها در فصل بعد، مختصراً آورده شده‌اند. در شکل (۱) و (۲) شمایی از معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر، نشان داده شده است.



شکل ۲: معماری ارتباطی شبکه‌های حسگر بی‌سیم

### اجزای سخت افزاری

با توجه به عملکرد متفاوت شبکه‌های حسگر، هر گره می‌تواند با توجه به وظایف تعریف شده از اجزای متنوعی تشکیل شده باشد ولی در حالت کلی هر گره از یکسری اجزای کلی تشکیل شده است که عبارتند از واحد پردازش مرکزی، فرستنده-گیرنده رادیویی، منبع تغذیه که می‌تواند از طریق باتری یا سلولهای خورشیدی یا ترکیب هر دو، انرژی مورد نیاز سیستم را فراهم کند، یک یا تعدادی حسگر که داده‌های مورد نظر را جمع‌آوری می‌کنند، انواع حافظه‌های جانبی در صورت نیاز، موقعیت‌یاب GPS در صورت نیاز و سایر اجزایی که بسته به کاربردهای متفاوت می‌تواند در هر گره گنجانده شود. در ذیل توضیحات بیشتری در مورد هریک از موارد بالا آورده شده است.



شکل ۳: معماری سخت افزار هر گره شبکه‌های حسگر

### واحد پردازنده مرکزی (CPU):

یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب CPU برای استفاده در گره‌های شبکه‌های حسگر، میزان توان مصرفی پردازنده و پشتیبانی آن از حالت‌های متنوع کاری (از لحاظ توان مصرفی) می‌باشد. همچنین در گره‌هایی که نیاز به پردازش حجیم اطلاعات دریافتی دارند، میزان توان پردازشی CPU نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی دیگر از فاکتورهای مهم میزان تجهیزات جانبی گنجانده شده در میکروکنترلر است. تجهیزاتی مانند رابط SPI و UART جهت ارتباط با وسایل جانبی و A/D برای بررسی توان مصرفی یا تبدیل اطلاعات حسگرهای دارای خروجی آنالوگ، تقریباً از ملزومات میکروکنترلر مورد استفاده در گره‌های شبکه‌های حسگر می‌باشند و وجود چنین تجهیزاتی از طرفی موجب کاهش توان مصرفی مدار و از طرف دیگر باعث کاهش هزینه کلی تمام شده برای هر گره می‌شود. نهایتاً قیمت میکروکنترلر نیز نباید از حد قابل قبولی بالاتر باشد. یکی از میکروکنترلرهای مورد استفاده در شبکه‌های حسگر با توجه به موارد مطرح شده در بالا میکروکنترلر ATMEGA 90LS8535 می‌باشد که یک میکروکنترلر AVR از خانواده ATMEGA هشت بیتی است که دارای یک A/D ۱۰ بیتی، یک رابط SPI و UART، دارای چندین مود کاری مصرفی با فرکانسهای کاری مختلف مانند 32k برای مود کم مصرف و 8M برای مود پر مصرف می‌باشد. همچنین می‌توان از میکروکنترلر ATMEGA 16 نیز برای این منظور استفاده کرد که مشابه همین میکروکنترلر است. جایگزین بهتری که برای میکروکنترلرهای فوق مطرح شده، میکروکنترلر MSP430F149 از شرکت TI است که یک میکروکنترلر ۱۶ بیتی RISC بوده و دارای A/D ۱۶ بیتی و دو عدد پورت سریال است. این میکروکنترلر نسبت به میکروکنترلرهای AVR دارای توان مصرفی و قیمت پایین‌تری می‌باشد.

### فرستنده - گیرنده رادیویی:

فرستنده - گیرنده رادیویی یکی از اجزای با اهمیت در گره‌های شبکه‌های حسگر می‌باشد و بسته به کاربردهای مختلف، می‌تواند تنوع زیادی داشته باشد. مهم‌ترین مشخصه در انتخاب فرستنده-گیرنده‌ها، برد مورد نیاز برای ارتباط بین گره‌های شبکه است. در شبکه‌هایی با گره‌های نزدیک به هم، می‌توان از فرستنده‌های کم مصرف استفاده کرد ولی توان مصرفی در فرستنده-گیرنده‌ها با بردهای بیشتر، به شدت افزایش پیدا می‌کند و باید در آنها از مکانیزم‌های کنترل توان دقیق‌تری استفاده کرد.

یکی از فرستنده-گیرنده‌های مناسب برای بردهای زیاد (در حد چند کیلومتر) 9Xstream Radio محصول شرکت MaxStream می‌باشد که در فرکانس 900 MHz کار می‌کند. فرستنده-گیرنده دیگر که برای بردهای نسبتاً کوتاه بکار می‌رود TR1000 است که این فرستنده-گیرنده، دارای برد کمتری است ولی توان مصرفی آن بسیار کمتر از فرستنده-گیرنده

مطرح شده در بالاست. (در حدود ۱/۱۰). به طور کلی اگر فرستنده-گیرنده‌هایی استفاده کنیم که لایه Data Link را به صورت داخلی پشتیبانی می‌کنند و عمل تصحیح خطا و سریال و موازی کردن را خودشان انجام می‌دهند، بار پردازشی CPU و پیچیدگی نرم‌افزار کاهش خواهند یافت.

### حافظه جانبی:

در صورتی که مقدار حافظه موجود در CPU برای نگهداری اطلاعات مورد نظر کافی نباشد که معمولا هم چنین است، می‌توان از حافظه‌های دائمی مانند حافظه Flash استفاده کرد که هم ارزان قیمت است و هم حجم کمی را در مدار اشغال می‌کند. فضای حافظه Flash، به یکسری صفحه با حجم کوچکتر تقسیم می‌شود که این صفحات باید به صورت یکجا نوشته یا پاک شوند. معمولا نوشتن و پاک کردن در فلش‌ها با سرعت نسبتا پایینی صورت می‌گیرد و همچنین تعداد دفعات نوشتن یک حافظه فلش محدود است و باید هنگام استفاده از آنها این نکات را مد نظر قرار داد.

یک نمونه از حافظه‌های موجود، حافظه فلش AT45DB041B از شرکت ATMEL است که 4 Mbit ظرفیت دارد و صفحات آن ۲۵۶ بایتی است و نوشتن هر صفحه 14 ms و پاک کردن آن 8 ms زمان می‌برد ولی چون هنگام پاک کردن در خانه‌های حافظه مقدار ۱ نوشته می‌شود، می‌توان بجای پاک کردن حافظه بر روی قسمتهای استفاده نشده آن عدد ۱ را نوشت.

### انواع حسگرها:

حسگرها عمل اصلی در شبکه‌های حسگر یعنی عمل جمع‌آوری اطلاعات را بر عهده دارند. انواع گوناگونی از حسگرها طراحی شده‌اند که بسیاری از آنها مبدل آنالوگ به دیجیتال داخلی دارند و می‌توانند از طریق رابط  $I^2C$  به رابط سریال پردازنده متصل شوند.  $I^2C$  یک پروتکل ارتباط سریال سنکرون است که از طریق آن می‌توان تا ۸ وسیله جانبی را به یک پورت وصل کرد و در آن هر وسیله یک ID منحصر بفرد را داراست.

در کل با توجه به کاربرد مورد نظر و زمان نمونه برداری حسگر از محیط و توان مصرفی آن در مقایسه با میکروکنترلر مرکزی، می‌توان دو معماری متفاوت برای عملکرد گره حسگر ارائه کرد. یکی از این روشها اینست که ما CPU را در حالت عادی به صورت standby درآوریم و با دریافت اطلاعات با اهمیت CPU را فعال کنیم و در روش دیگر می‌توانیم تغذیه حسگر را در حالت عادی قطع کنیم و زمانی که می‌خواهیم از اطلاعات نمونه برداری کنیم تغذیه حسگر را فعال کنیم. این عمل خصوصا در مواردی که حسگر توان مصرفی بالای دارد، کاملا ضروری می‌باشد.

### حسگر GPS:

یکی از حسگرهای عمده‌ای که کاربرد فراوانی در شبکه‌های حسگر استفاده می‌شود، حسگر GPS است که در مواردی از قبیل موقعیت‌یابی و مسیریابی در گره‌ها، جمع‌آوری اطلاعات مکانی خصوصا در گره‌های سیار، دریافت زمان و انجام عمل سنکرون‌سازی بین گره‌ها و کاهش حجم تبادل اطلاعاتی که بین گره‌ها جهت عملیاتی مانند دست‌تکانی و سنکرون‌سازی گره‌ها رد و بدل می‌شود، البته با توجه به توان مصرفی و قیمت نسبتا بالای حسگرهای موقعیت‌یاب صریح مانند GPS، تحقیقاتی برای استفاده از روشهای مکانیابی نسبی در گره‌های شبکه‌های حسگر، در حال انجام است. در این حالت می‌توان حسگرهای مکان‌یاب را تنها در تعدادی از گره‌های شبکه گنجانند و سایر گره‌ها با استفاده از اطلاعاتی که از گره‌های مجاور دریافت می‌کنند و با تحلیل فاصله‌های نسبی، عمل مکان‌یابی را انجام دهند.

چون در حالت روشن بودن دائمی حسگرهای GPS توان زیادی مصرف می‌کنند آنها را هر چند مدت یکبار، چند لحظه روشن نگه می‌داریم و در صورت قفل شدن آن در یک مدت زمان خاص (مثلا ۱ دقیقه) اطلاعات دریافت شده را قرائت می‌کنیم. این عمل دقت اطلاعات بدست آمده را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. برای جبران این خطاها باید ملاحظات خاصی را در استفاده از این حسگرها در نظر بگیریم، تا بتوانیم دقت اطلاعات دریافتی را افزایش دهیم.

دو نمونه از حسگرهای موقعیت‌یاب GPS عبارتند از حسگر GPS-MS1E از شرکت  $\mu$ Blox توان مصرفی در حدود 462 mw دارد ولی زمان راه‌اندازی گرم برابر با ۲ ثانیه را داراست و IC دیگر حسگر RGPSM002 از شرکت Xemics است که توان مصرفی برابر 62.7 mw را داراست ولی زمان راه‌اندازی گرمی برابر با ۱۲ ثانیه را داراست.

#### منبع تغذیه:

معمولا گره‌های شبکه حسگر هنگامی که در محیط قرار می‌گیرند، از دسترس ما خارج می‌شوند به نحوی که با تمام شدن منبع انرژی آنها، عملا گره‌ها بلا استفاده می‌گردند. لذا منبع تغذیه در ساخت گره‌های شبکه‌های حسگر از اهمیت خاصی برخوردار است. در حالت کلی، از دو نوع منبع تذبذبه قابل شارژ و غیر قابل شارژ می‌توان استفاده کرد. در صورتی که شرایط محیطی گره‌ها اجازه بدهد می‌توانیم از انواع انرژی‌ها مانند انرژی حرکتی یا انرژی خورشیدی برای تامین توان مورد نیاز گره‌ها یا جهت شارژ کردن باتری‌ها استفاده نمود. در تغذیه گره‌های شبکه حسگر می‌توانیم از انواع رگولاتورها و تقویت کننده‌های ولتاژ-جریان استفاده کنیم. عامل اصلی در انتخاب رگولاتورها، باید بازده بالا و دامنه نسبتا وسیع ولتاژ ورودی باشد تا بتوانیم از منابع انرژی حداکثر استفاده را ببریم. در حالت کلی از دو نوع رگولاتور خطی و سوئیچینگ برای این منظور می‌توان استفاده کرد که رگولاتورهای سوئیچینگ با توجه به قابلیت افزایش ولتاژ ورودی مناسب‌ترند؛ همچنین از انواع Buck Boost Converters می‌توان برای تامین جریانهای بالای کوتاه مدت مانند هنگام قفل کردن GPS استفاده کرد.

#### باتری‌ها و سلولهای خورشیدی:

در طراحی شبکه‌های حسگر می‌توان از انواع باتری‌ها استفاده کرد. در صورتی که نخواهیم از باتریهای قابل شارژ استفاده کنیم معمولا باتریهای آلکالاین برای این منظور مناسب هستند. فقط ولتاژ این باتریها با گذشت زمان در طول عمر آنها به صورت خطی افت می‌کند و از ۳٫۴ ولت به ۱٫۸ ولت می‌رسد که این نکته را نیز باید در طراحی منبع تغذیه مناسب آنها در نظر گرفت. در صورت استفاده از باتریهای قابل شارژ می‌توان از باتریهای Li-Ion استفاده کرد که در اینصورت باید از سلولهای خورشیدی یا سایر منابع انرژی جهت شارژ کردن آنها استفاده کرد. مزیت اصلی باتریهای Li-Ion اینست که در طول بازه فعالیتشان دارای ولتاژ نسبتا ثابتی هستند و مانند باتریهای آلکالاین دچار افت ولتاژ قابل توجهی نمی‌شوند. هنگام استفاده از سلولهای خورشیدی نیز باید این نکته را مد نظر قرار داد که اگر تعدادی سلول خورشیدی را پشت سر هم به صورت سری ببندیم، ممکن است تعدادی از آنها که نور کمتری دریافت می‌کنند، دارای ولتاژ دو سر منفی گردند و توان تولید شده توسط سلولهای دیگر را مصرف کنند پس باید آرایش مناسبی برای استفاده از چندین سلول خورشیدی در نظر گرفته شود تا به حداکثر بازده ممکن رسید.

#### اجزای نرم‌افزاری:

با پیچیده‌تر شدن عملیات محول شده به هر گره به تدریج پیچیدگی سیستم افزایش پیدا می‌کند و نیاز به یک سیستم عامل ساده که دسترسی به منابع سخت‌افزاری در هر گره شبکه حسگر را سهولت بخشد، بیشتر احساس می‌شود. یکی از سیستم‌عامل‌هایی که تا کنون طراحی شده و در انواع مختلفی از شبکه‌های حسگر پیاده‌سازی شده است، سیستم عامل Tiny OS است که در مورد آن توضیح داده خواهد شد.

#### سیستم عامل Tiny OS:

این سیستم عامل یک سیستم عامل رویدادگرا است و از یک هسته چند ریسمانی بسیار کارآمد تشکیل شده است. همچنین این سیستم عامل یک ساختار برنامه ریزی دو سطحی دارد که اجازه می‌دهد تا مقدار پردازش محدودی بر روی رویدادهای سخت‌افزاری به صورت ایجاد وقفه در هنگام انجام وظایف طولانی صورت پذیرد. در طراحی این سیستم عامل، انرژی مهمترین منبع موجود در نظر گرفته می‌شود و به نظر می‌رسد که یکی از راه حل‌های بهینه برای استفاده از منابع پردازنده استفاده از روش رویداد-گرا باشد. مجموعه عملکردهایی که به یک رویداد نسبت

داده شده‌اند به سرعت اجرا می‌شوند و در حین اجرای آنها هیچ توقفی اجازه داده نخواهد شد. در حالت خواب، سیکل‌های استفاده نشده در CPU جهت انتظار فعال برای رخ دادن هر گونه رویداد قابل توجه، به کار می‌روند.

### خلاصه

امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های حسگر مطرح شده است و روز به روز هم بر تعداد آنها اضافه می‌شود. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده در میدان‌های جنگی، شناسایی محیط‌های آلوده، مانیتور کردن محیط زیست، بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی، در جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند، کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی و ... اشاره کرد. در طراحی سخت‌افزار برای شبکه‌های حسگر، محدودیت‌هایی وجود دارد که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به عواملی مانند هزینه پائین، حجم کوچک، توان مصرفی پائین، نرخ بیت پائین، خودمختار بودن گره‌ها و نهایتاً به قابلیت تطبیق پذیری با تغییرات محیط اشاره کرد. هر شبکه حسگر از تعداد زیادی گره ارزاقیمت با اندازه کوچک، تشکیل شده است و هر گره نیز از مجموعه‌ای از اجزای سخت‌افزاری تشکیل شده است که در کنار یکدیگر وظایف هر گره را به انجام می‌رسانند. در حال حاضر هر گره حسگر از بهم پیوستن تعدادی قطعات از پیش طراحی شده حاصل می‌شود ولی در آینده می‌توان کلیه مدارهای مورد نیاز یک حسگر را در یک مدار مجتمع فشرده و در اندازه بسیار کوچکتری پیاده‌سازی کرد که کاهش قابل ملاحظه‌ای در اندازه و توان مصرفی هر گره را در بر خواهد داشت. هر شبکه حسگر از اجزایی مانند واحد پردازنده مرکزی، فرستنده - گیرنده رادیویی، حافظه جانبی، انواع حسگرها از قبیل حسگر GPS، منبع تغذیه که می‌تواند به صورت باتری یا سلولهای خورشیدی باشد و سایر اجزا، بر حسب نیاز تشکیل شده است. کلیه این اجزا باید با توجه به کاربردهای مورد نظر و ابعاد شبکه، طراحی و تعبیه شوند. با پیچیده‌تر شدن عملیات محول شده به هر گره به تدریج پیچیدگی سیستم افزایش پیدا می‌کند و نیاز به یک سیستم عامل ساده که دسترسی به منابع سخت‌افزاری در هر گره شبکه حسگر را سهولت بخشد، بیشتر احساس می‌شود. یکی از سیستم عامل‌هایی که تا کنون طراحی شده و در انواع مختلفی از شبکه‌های حسگر پیاده‌سازی شده است، سیستم عامل Tiny OS است، که یک سیستم عامل رویدادگرا است و از یک هسته چند ریسمانی بسیار کارآمد تشکیل شده است.



## فصل سوم: مروری بر برخی از روشهای انتشار اطلاعات در شبکه‌های حسگر

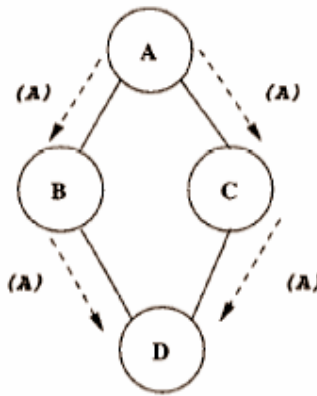
در این قسمت مرور و مقایسه‌ای خواهیم داشت بر روش‌های ارائه شده جهت پراکندن و انتشار داده‌ها در شبکه‌های حسگر بیسیم:

### روش همه‌پخشی (flooding):

در این روش یک گره جهت پراکندن قسمتی از داده‌ها در طول شبکه، یک کپی از داده مورد نظر را به هر یک از همسایگان خود ارسال می‌کند. هر وقت یک گره، داده جدیدی دریافت کرد، از آن کپی‌برداری می‌کند و داده را به همسایه‌هایش (به جز گرهی که داده را از آن دریافت کرده است) ارسال می‌کند. الگوریتم زمانی هم‌گرا می‌شود یا پایان می‌یابد که تمامی گره‌ها یک کپی از داده را دریافت کنند.

زمانی که طول می‌کشد تا دسته‌ای از گره‌ها مقداری از داده‌ها را دریافت و سپس ارسال کنند، یک دور نامیده می‌شود. الگوریتم همه‌پخشی در زمان  $O(d)$  دور، هم‌گرا می‌شود که  $d$  قطر شبکه است چون برای یک قطعه داده  $d$  دور طول می‌کشد تا از یک انتهای شبکه به انتهای دیگر حرکت کند. سه مورد از نقاط ضعف روش ارسال ساده جهت استفاده از آن در شبکه‌های حسگر در زیر آورده شده است [2]:

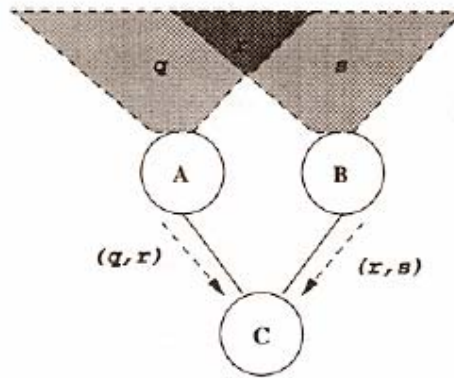
**انفجار:** در روش سنتی همه‌پخشی، یک گره همیشه داده‌ها را به همسایگانش، بدون در نظر گرفتن اینکه آیا آن همسایه، داده را قبلاً دریافت کرده یا خیر، ارسال می‌کند. این عمل باعث بوجود آمدن مشکل انفجار (implosion) می‌شود که در شکل (۴) آورده شده است. در این شکل گره A همه‌پخشی را با ارسال داده‌ها به همسایگانش یعنی گره‌های B و C آغاز می‌کند. این گره‌ها داده‌ها را دریافت می‌کنند و یک کپی از آن را به همسایه مشترکشان یعنی گره D ارسال می‌کنند.



شکل 4: پدیده تصادم

**هم‌پوشانی:** حسگرها معمولاً نواحی جغرافیایی مشترکی را پوشش می‌دهند و گره‌ها معمولاً قطعه داده‌هایی از حسگرها را دریافت می‌کنند که با هم هم‌پوشانی دارند. شکل (۵) نشان می‌دهد که هنگامی که دو گره A و B داده‌هایی را که هم‌پوشانی دارند دریافت می‌کنند و آن را به همسایه مشترکشان C ارسال می‌کنند چه اتفاقی می‌افتد. الگوریتم در این حالت، انرژی و پهنای باند را جهت ارسال دو کپی از یک داده به همان گره، به هدر می‌دهد.

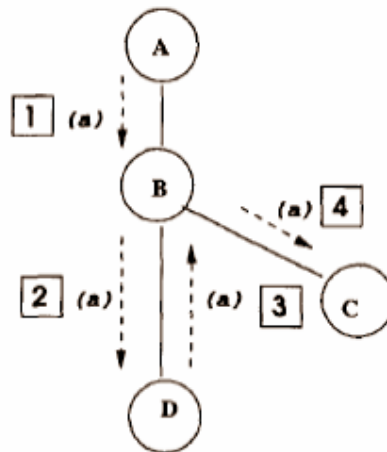
**عدم اطلاع از منابع:** در روش همه‌پخشی، گره‌ها بر اساس میزان انرژی موجودی خود در یک زمان، فعالیت‌های خود را تغییر نمی‌دهند در صورتی که یک شبکه از حسگرهای خاص منظوره، می‌تواند از منابع موجود خود آگاهی داشته باشد و ارتباطات و محاسبات خود را با شرایط منابع انرژی خود مطابقت دهد.



شکل 5: پدیده هم‌پوشانی

#### روش شایعه پراکنی (gossiping):

روش شایعه‌پراکنی، یک جایگزین برای روش همه‌پخشی سنتی محسوب می‌شود که از فرایند تصادف برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی بهره می‌برد. به جای ارسال داده‌ها به صورت یکسان، یک گره شایعه پراکن، اطلاعات را به صورت تصادفی تنها به یکی از همسایگانش ارسال می‌کند. اگر یک گره شایعه پراکن، داده‌ای را از همسایه‌اش دریافت کند، می‌تواند در صورتی که همان همسایه به صورت تصادفی انتخاب شد، داده را مجدداً به آن ارسال کند. علت این امر در شکل (۶) بحث شده است. در این شکل اگر گره D هیچ‌گاه داده خود را به سمت گره B باز نگرداند، گره C هیچ‌گاه داده را دریافت نخواهد کرد.



شکل ۶: روش شایعه پراکنی

هر گاه داده در روش همه‌پخشی کلاسیک، به یک گره با مرتبه بالا برسد، کپی‌های بیشتری از داده شروع به پراکنده شدن در داخل شبکه می‌کنند تا وقتی که این کپی‌ها در اثر تصادم به انتها برسند در صورتی که روش شایعه پراکنی جلوی

چنین تصادم‌هایی را می‌گیرد چون در این روش تنها یک کپی از داده در هر گره ایجاد می‌شود و هر چه تعداد کپی‌های ایجاد شده کمتر باشد احتمال تصادم این کپی‌ها کمتر می‌شود.

در حالی که روش شایعه پراکنی اطلاعات را به کندی در شبکه پراکنده می‌کند، سرعت مصرف انرژی آهسته‌ای هم دارد. از آنجایی که هر گره، داده را به صورت تصادفی، تنها به یکی از همسایه‌های خود ارسال می‌کند، سریع‌ترین سرعت پخش داده‌ها در این روش، برابر یک گره در هر دور است؛ بنابراین با وجود C منبع در شبکه، حداکثر سرعت انتشار در این روش برابر C گره در هر دور است.

در نهایت اگرچه روش شایعه پراکنی می‌تواند تا حد زیادی از تصادم جلوگیری کند ولی این روش، هیچ راه‌حلی برای جلوگیری از همپوشانی ارائه نکرده است.

### روش SPIN [8]:

روش SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) خانواده‌ای از پروتکل‌های سازگار شونده است که می‌توانند داده‌ها را به صورت موثری بین حسگرها در یک شبکه حسگر با منابع انرژی محدود، پراکنده کنند. گره‌هایی که پروتکل ارتباطی SPIN را اجرا می‌کنند، داده‌های خود را با استفاده از شبه-داده‌ها (meta-data) که توصیف کننده‌های سطح بالایی هستند، نامگذاری می‌کنند. همچنین گره‌ها در این روش برای حذف ارسال داده‌های اضافی در شبکه، از مذاکره شبه-داده‌ها استفاده می‌کنند. همچنین گره‌های SPIN می‌توانند تصمیم‌گیری جهت انجام ارتباطات خود را هم بر اساس اطلاعات مربوط به برنامه کاربردی و هم بر اساس اطلاعات مربوط به منابع موجود خود به انجام برسانند. این کار باعث می‌شود که حسگرها بتوانند داده‌ها را با وجود منابع محدود خود، به صورت کارآمدی پراکنده کنند.

دو راه‌کار کلیدی دسته پروتکل‌های SPIN برای برطرف کردن مشکلات مطرح شده در روش کلاسیک همه‌پخشی، استفاده از مذاکره و تطبیق منابع است. برای برطرف کردن مشکل تصادم و هم‌پوشانی، گره‌های SPIN، از مذاکره با یکدیگر قبل از ارسال اطلاعات استفاده می‌کنند. همچنین گره‌ها قبل از ارسال داده‌ها، منابع خود را ارزیابی می‌کنند. هر گره حسگر، مدیر منابع (resource manager) مخصوص خودش را دارد که مصرف انرژی را دنبال می‌کند. برنامه‌های کاربردی قبل از ارسال یا پردازش داده‌ها مدیر منابع را بررسی می‌کنند که این امر به حسگرها کمک می‌کند تا بعضی از فعالیت‌های خاص را هنگام کمبود انرژی متوقف کنند.

شبه داده‌ها که در SPIN به عنوان نماینده داده‌ها تولید می‌شوند باید حجمی کمتر از داده‌هایی که نماینده آنها هستند داشته باشند. همچنین اگر دو قطعه از داده‌ها با هم قابل تفکیک باشند، باید شبه داده‌های آنها نیز این خاصیت را داشته باشند.

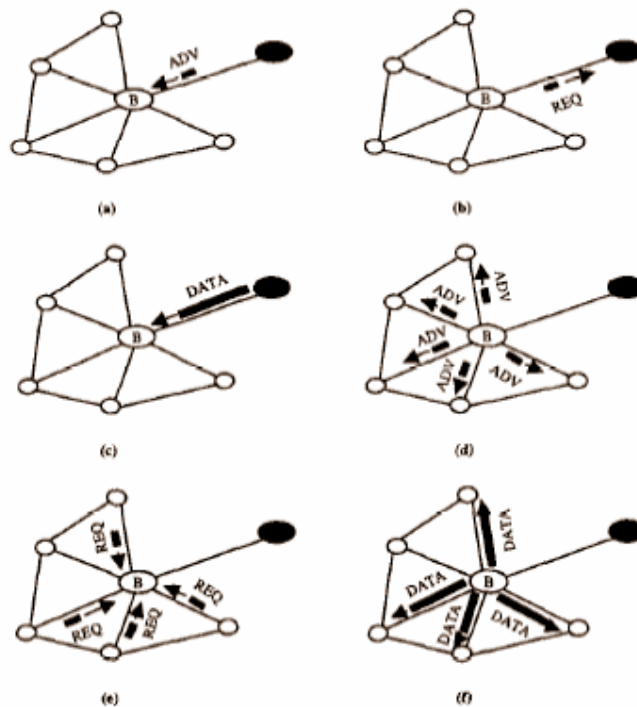
### پیغام‌های SPIN:

- گره‌ها در SPIN برای ارتباط با یکدیگر از سه نوع پیغام استفاده می‌کنند:
- **ADV** – برای تبلیغ داده‌های جدید استفاده می‌شود. وقتی یک گره SPIN، داده‌ای برای به اشتراک گذاشتن در اختیار دارد، این امر را می‌تواند با ارسال شبه-داده مربوطه تبلیغ کند.
- **REQ** – جهت درخواست اطلاعات استفاده می‌شود. یک گره SPIN می‌تواند هنگامی که می‌خواهد داده حقیقی را دریافت کند از این پیغام استفاده کند.
- **DATA** – شامل پیغام‌های داده‌ای است. پیغام‌های DATA محتوی داده حقیقی جمع‌آوری شده توسط حسگرها هستند که شامل یک سرآیند شبه داده هستند.

### SPIN-1: یک روش دست تکانی سه مرحله‌ای

این روش یک روش ساده دست تکانی (handshake) برای پراکندن داده‌ها در یک شبکه بدون اتلاف است که در سه مرحله کار می‌کند و در هر یک از مراحل، از یکی از پیغام‌های شرح داده شده در بالا استفاده می‌کند. پروتکل زمانی آغاز می‌شود که یک گره، داده جدیدی بدست می‌آورد که مایل است آن را پراکنده کند و این کار را با نام‌گذاری داده جدید و فرستادن یک پیغام ADV به همسایگانش انجام می‌دهد. با دریافت کردن پیغام ADV، گرهی همسایه بررسی می‌کنند که آیا قبلاً چنین داده‌ای را دریافت کرده‌اند یا درخواست چنین داده‌ای را داده‌اند یا خیر. اگر نه، گره همسایه برای ارسال داده درخواست شده به فرستنده، یک پیغام REQ به عنوان پاسخ برمی‌گرداند. پروتکل با ارسال داده مورد نظر یعنی ارسال پیغام DATA در جواب پیغام REQ تکمیل می‌شود.

در شکل (۷) نمونه‌ای از این پروتکل نشان داده شده است. با دریافت یک پیغام ADV از طریق گره A، گره B بررسی می‌کند که آیا تمامی داده تبلیغ شده را در اختیار دارد یا خیر. در غیر این صورت، گره B یک پیغام REQ به A برمی‌گرداند که در آن تمامی داده‌هایی که گره B نیاز دارد، فهرست شده است. وقتی گره A پیغام REQ را دریافت کرد، داده‌های درخواست شده را استخراج می‌کند و آنها را بوسیله یک پیغام DATA به B ارسال می‌کند. سپس گره B یک پیغام ADV جدید تولید می‌کند که در آن داده جدید به دست آمده را به همه همسایگانش تبلیغ می‌کند ولی پیغام ADV را برای گره A ارسال نمی‌کند، چون می‌داند که گره A قبلاً داده مورد نظر را در اختیار دارد یا خیر. سپس این گره‌ها هم تبلیغات مربوط به داده جدید را به همسایگانشان ارسال می‌کنند و پروتکل ادامه می‌یابد.



شکل ۷: الگوریتم دست تکانی در SPIN

اگرچه این پروتکل برای شبکه‌های بدون اتلاف طراحی شده است، به سادگی می‌توان آن را برای استفاده در شبکه‌های با اتلاف تعمیم داد به این‌صورت که گره‌ها، برای جبران پیغام‌های ADV از دست رفته، می‌توانند به صورت متناوب این پیغام‌ها ارسال کنند و همچنین برای جبران پیغام‌های REQ و DATA از دست رفته، گره‌ها می‌توانند داده‌های مورد نیاز خود را در صورتی که در یک بازه زمانی مشخص دریافت نشدند، دوباره درخواست دهند. همچنین در مورد شبکه‌های سیار در صورتی که گرهی مشاهده کرد که همسایگانش تغییر کرده‌اند می‌تواند فوراً تمامی داده خود را تبلیغ کند.

مهمترین مزیت SPIN سادگی آن و همچنین محلی بودن و عدم وابستگی به یک چینش خاص است که باعث می‌گردد بتوان آن را به سادگی بر روی هر شبکه‌ای پیاده‌سازی کرد.

## SPIN-2: SPIN-1 با یک آستانه انرژی پایین

این روش یک فکر هوشمندانه ساده، جهت صرفه‌جویی در منابع به SPIN-1 اضافه می‌کند به اینصورت که وقتی که منابع به اندازه کافی موجود است گره‌های SPIN-2 مانند گره‌ها در SPIN-1 از پروتکل سه مرحله‌ای استفاده می‌کنند. وقتی گرهی مشاهده می‌کند که میزان منابع انرژی‌اش از یک حد خاص کمتر شده است، خودش را بوسیله کاهش شرکت خود در پروتکل با شرایط جدید تطبیق می‌دهد و در حالت کلی یک گره تنها هنگامی در پروتکل شرکت می‌کند که اطمینان دارد می‌تواند تمامی مراحل دیگر پروتکل را بدون اینکه منابع انرژی‌اش از محدوده تعیین شده پایین‌تر رود، به انتها برساند. در غیر اینصورت گره با دریافت پیام ADV هیچ‌گونه پیغام REQ تولید نمی‌کند. این روش باعث می‌شود که گره هنگام پایین بودن انرژی درگیر پیغام‌های DATA نشود.

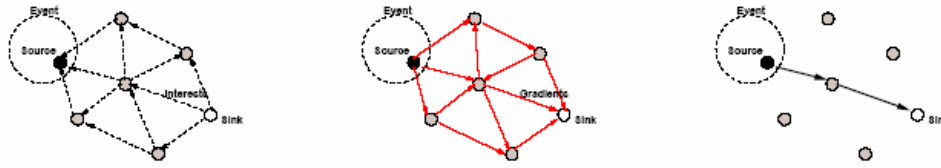
## روش پخش مستقیم (directed diffusion):

در این روش [1,2] منابع و دریافت‌کننده‌ها از خصوصیات، برای مشخص کردن اطلاعات تولید شده یا مورد نیاز استفاده می‌کنند و هدف روش پخش مستقیم پیدا کردن یک مسیر کارآمد چند طرفه بین فرستنده‌ها و گیرنده‌هاست. در این روش هر وظیفه (task) به صورت یک خواسته (interest) منعکس می‌شود که هر خواسته مجموعه‌ای است از زوجهای خصوصیت-مقدار (attribute-value). برای انجام یک وظیفه، خواسته در شبکه در ناحیه مورد نظر منتشر می‌شود. در این روش هر گره، گرهی را که اطلاعات را از آن دریافت کرده بخاطر می‌سپارد و برای آن یک گرادیان تشکیل می‌دهد که هم مشخص‌کننده جهت جریان اطلاعات است و هم وضعیت درخواست را نشان می‌دهد (که فعال یا غیر فعال است یا نیاز به بروز شدن دارد). در صورتی که گره از روی گرادیان‌های قبلی یا اطلاعات جغرافیایی بتواند مسیر بعدی را پیش‌بینی کند تنها درخواست را به همسایه‌های مرتبط با درخواست ارسال می‌کند و در غیر اینصورت، درخواست را به همه همسایه‌های مجاور ارسال می‌کند. وقتی یک خواسته به گرهی رسید که داده‌های منطبق با خواسته را در اختیار دارد، گره حسگرهای خود را فعال می‌کند تا اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری کنند و اطلاعات را به صورت بسته‌های اطلاعاتی ارسال می‌کند.

داده‌ها همچنین می‌توانند به صورت مدل خصوصیت - نام ارسال شوند. گرهی که داده‌ها را ارسال می‌کند به عنوان یک منبع شناخته می‌شود. داده هنگام ارسال به مقصد در گره‌های میانی ذخیره می‌شود که این عمل در اصل برای جلوگیری از ارسال داده‌های تکراری و جلوگیری از بوجود آمدن حلقه استفاده می‌شود. همچنین از این اطلاعات می‌توان برای پردازش اطلاعات درون شبکه و خلاصه سازی اطلاعات استفاده کرد.

پیغام‌های اولیه ارسالی به عنوان داده‌های اکتشافی (exploratory) برچسب زده می‌شوند و به همه همسایه‌هایی که به گره دارای داده، گرادیان دارند ارسال می‌شوند یا می‌توانند از میان این همسایه‌ها، یکی یا تعدادی را بر حسب اولویت جهت ارسال بسته‌های اطلاعات انتخاب کنند. (مثلا همسایه‌هایی که زودتر از بقیه پیغام را به این گره ارسال کرده‌اند) برای انجام این کار، گیرنده (sink) همسایه‌ای را که جهت دریافت اطلاعات ترجیح می‌دهد تقویت می‌کند (reinforcement). اگر یکی از گره‌ها در این مسیر ترجیحی از کار بیفتد، گره‌های شبکه به طور موضعی مسیر از کار افتاده را بازیابی می‌کنند. در نهایت گیرنده ممکن است همسایه جاری خود را تقویت منفی (negative reinforcement) کند در صورتی که مثلا همسایه دیگری اطلاعات بیشتری جمع‌آوری کند.

پس از ارسال داده‌های اکتشافی اولیه، داده‌های بعدی تنها از طریق مسیرهای تقویت شده ارسال می‌شوند. منبع اطلاعات به صورت متناوب هر چند وقت یکبار داده‌های اکتشافی ارسال می‌کند تا گرادیان‌ها در صورت تغییرات پویای شبکه، بروز شوند. نحوه عملکرد این الگوریتم در شکل (۸) به صورت خلاصه آورده شده است.



شکل ۸: نحوه عملکرد الگوریتم انتشار مستقیم

ارسال داده‌ها از طریق مسیر تقویت شده (c) تنظیم کردن اولیه گرادینت‌ها (b) پراکندن علاقه‌مندی‌ها (a)

بعضی از خصوصیات کلیدی روش پخش مستقیم اطلاعات که آن را از روشهای سنتی در شبکه متمایز می‌کند عبارتند است اول اینکه روش پخش اطلاعات یک روش داده - محور (data-centric) است و تمام ارتباطات در یک شبکه حسگر بر این مبنا از علاقه‌مندی‌ها (interests) جهت مشخص کردن اطلاعات نامگذاری شده استفاده می‌کنند. دوما برخلاف شبکه‌های سنتی که روش انتقال انتها به انتها (end-to-end) دارند در این روش از ارتباط همسایه با همسایه یا گام به گام (hop-to-hop) استفاده می‌شود و هر گرهی می‌تواند داده‌ها و علاقه‌مندی‌ها را تفسیر کند زیرا شبکه‌های حسگر معمولاً عملکرد واحدی دارند و وظیفه یکسانی را بر عهده دارند. سوماً در این روش، گره‌ها آدرس سراسری یکسان یا مشخصه واحدی ندارند ولی هر گره باید از همسایگانش به صورت محلی قابل تفکیک باشد و نهایتاً چون هر گره می‌تواند داده‌ها را پردازش کند، می‌توان حجم داده‌ها را در شبکه کاهش داد و داده‌ها را به صورت خلاصه ارسال کرد.

#### دسته خصوصیت‌ها:

در روش پخش اطلاعات برای تطبیق دادن خواسته‌ها و صفات از دسته‌های خصوصیت-مقدار-عملگر استفاده می‌شود (attribute-tuples) که خصوصیت‌ها هم در قالب داده (مانند اعداد صحیح ۳۲ بیتی در ساده‌ترین شکل) تعریف می‌شوند و عملگرها مقایسه‌گرهای دودویی معمول هستند که عبارتند از مساوی، بزرگتر، کوچکتر، بزرگتر مساوی و ... (EQ, NE, LE, GT, GE, ...) و عملگر EQ\_ANY که با همه چیز مطابقت دارد و IS که به کاربر اجازه می‌دهد یک مقدار ثابت را مشخص کند. نمونه یک علاقه‌مندی و یک داده منطبق با آن را در زیر مشاهده می‌کنیم.

Interest: class IS interest

(type EQ four-legged-animal-search, interval IS 20ms, duration IS 10 seconds, x GE 100, x LE 200, y GE 100, y LE 400)

Data:

(type IS four-leg-animal-search, instance IS elephant, x IS 125, y IS 220, intensity IS 0.6, confidence IS 0.85, timestamp IS 1:20, class IS data)

#### فیلترها:

همچنین در این روش از فیلترها [5] استفاده می‌شود که وظیفه ادغام کردن و خلاصه کردن داده‌ها را در گره‌ها بر عهده دارند. فیلترها ماژولهای نرم‌افزاری هستند که داده را هنگام عبور از داخل شبکه حسگر پردازش می‌کنند و قواعد سازگاری تعیین می‌کنند که چه فیلترهایی باید در هر مرحله فعال شوند و منابع و گیرنده‌ها چگونه به هم مربوط می‌شوند. از فیلترها در مواردی مانند خلاصه سازی داده‌ها در داخل شبکه (in-network-data-aggregation) پردازش داده‌ها به صورت موازی و اشتراکی (collaborative)، ذخیره کردن موقت اطلاعات (caching) و سایر عملکردهای مشابهی که جهت کنترل کردن حرکت اطلاعات کاربرد دارند، استفاده می‌شود.

روش انتشار (diffusion) به صورت پایه داخل فیلتر گرادیان (gradient filter) پیاده‌سازی می‌شود. این فیلتر گرادیان‌هایی را فراهم می‌کند که حالت هر جریان به تمامی همسایه‌های هر گره را نگهداری می‌کنند و همچنین مسئولیت ارسال متناوب پیغام‌های علاقه‌مندی‌ها (interest) و پیغام‌های تقویت کننده (reinforcement) را بر عهده دارد. یک جفت فیلتر به نام GEAR به صورت بهینه انتشار را در بر می‌گیرند تا بتوانند مسیریابی جغرافیایی با قابلیت کنترل مصرف انرژی (geographic energy aware routing) را پیاده‌سازی کنند. یک فیلتر پیش پردازنده بلای فیلتر گرادیان می‌نشیند تا پیغام‌های مخصوص GEAR را دریافت کند و اطلاعات گذرای موقعیت جغرافیایی آن را هنگام رسیدن بردارد و یک فیلتر مسیریابی جغرافیایی که بعد از ماژول گرادیان وارد عمل می‌شود تا خواسته‌ها را در جهت مناسب ارسال کند. علاوه بر اینها برای کاربردها مختلف مانند پردازش داده‌ها و ردگیری (logging) و سایر کاربردها فیلترهای دیگری پیاده‌سازی شده است.

یکی از کاربردهایی که برای خلاصه‌سازی اطلاعات بوسیله فیلترها پیاده می‌شود خلاصه‌سازی اطلاعات (aggregation) می‌باشد. همچنین یکی دیگر از تکنیک‌های نرم‌افزاری که برای بهبود کارایی روش انتشار به کار می‌رود استفاده از پرسش‌های تو در تو است که توضیح هر کدام در ذیل آورده شده است.

#### خلاصه سازی اطلاعات درون-شبکه‌ای (in-network data aggregation):

در شبکه‌های حسگر، به منظور ایجاد پایداری و بالا بردن دقت حسگرها طوری در شبکه قرار داده می‌شوند که مقداری هم‌پوشانی داشته باشند. به همین دلیل روی دادن یک رویداد چندین حسگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد و همه حسگرها اطلاعات دریافت شده را به گیرنده ارسال می‌کنند ولی با خلاصه کردن اطلاعات می‌توان هزینه مصرف انرژی این تبادلات را تا حد زیادی کم کرد و از حجم اطلاعات مبادله شده به میزان محسوسی کاست.

#### خلاصه‌سازی فرصت طلبانه [2] (opportunistic data aggregation):

به طور کلی روشهای متعددی جهت خلاصه سازی اطلاعات ارائه شده است که یکی از این روشها که بر اساس روش انتشار مطرح شده است روش خلاصه سازی تصادفی است به این صورت که هنگامی که داده‌ها توسط منابع جمع‌آوری می‌شوند و به سمت گیرنده‌ها ارسال می‌شوند، گره‌های میانی اطلاعات مربوط به هم را ذخیره می‌کنند که این کار را با فیلترهایی در سطح برنامه کاربردی انجام می‌دهند. سپس این گره‌های میانی اطلاعات تکراری را حذف می‌کنند یا می‌توانند اندکی تاخیر در ارسال اطلاعات ایجاد کنند و اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مختلف را خلاصه کنند.

در این روش درختی از منابع به سمت یک گیرنده به عنوان ریشه درخت، تشکیل می‌شود و اگر در هنگام ادغام شدن شاخه‌ای درخت داده‌های یکسان با هم برخورد کنند تنها یکی از آنها به سمت ریشه درخت ارسال می‌شود. یکی اشکال‌های این روش اینست که مسیر داده‌ها ممکن است تا نزدیکی گیرنده به هم نرسند و در هم ادغام نشوند که کارایی الگوریتم خلاصه‌سازی را کاهش می‌دهد. روش خلاصه‌سازی حریصانه (greedy data aggregation) جهت برطرف کردن این مشکل مطرح شده است.

#### خلاصه‌سازی حریصانه [4] (greedy data aggregation):

تفاوت این روش با روش خلاصه‌سازی تصادفی، تشکیل مسیر و نگهداری مسیر است. برای ساختن یک درخت حریصانه افزایشی، کوتاه‌ترین مسیر تنها برای اولین منبع به سمت گیرنده تشکیل می‌شود و سایر منابع به صورت افزایشی به نزدیکترین نقطه درخت حاصل شده، متصل می‌شوند. در روش حریصانه هر نمونه داده اکتشافی یک هزینه انرژی برای رساندن این نمونه از منبع به گره جاری دارد و علاوه بر این هر منبع بر روی درخت موجود یک پیغام هزینه افزایشی روی درخت (on-tree incremental cost message) تولید می‌کند که مربوط به هر نمونه اکتشافی جدید دریافت شده است که این پیغام محتوی هزینه انرژی افزایشی است که برای رساندن نمونه اکتشافی به درخت موجود مورد نیاز است. این پیغام مربوط به هزینه

افزایشی تنها در طول درخت خلاصه سازی به سمت گیرنده ارسال می‌شود. برای یافتن نزدیک‌ترین نقطه روی درخت، فیلد هزینه افزایشی انرژی تنها می‌تواند توسط گره‌های نزدیکتر بروز شود (مثلا گره‌ای که نمونه اکتشافی مربوطه را با هزینه پایین‌تری دریافت کرده‌اند).

### پرسش تو رد تو [2] (nested query):

رویدادها در جهان واقعی معمولاً در پاسخ به یکسری تغییرات محیطی رخ می‌دهند. در شبکه‌های حسگر، حسگرها هم می‌توانند از این پدیده همگرایی، برای فعال کردن بعضی دیگر از حسگرها استفاده کنند و در عمل یک پرسش درون یک پرسش دیگر ایجاد کنند. با این کار می‌توان زمان فعال بودن دسته‌ای از حسگرها را (که معمولاً جزء حسگرهای با مصرف انرژی بالا هستند) کاهش داد و با این عمل مصرف انرژی کل شبکه را کاهش داد. (مثلاً ممکن است یک حسگر شتاب سنج، یک گیرنده GPS را که یک حسگر پر مصرف است فعال کند)؛ علاوه بر این در بعضی موارد می‌توان ترافیک شبکه را هم کم کرد (مثلاً یک حسگر تصویر بردار محرک ترافیک بسیار کمتری نسبت به یک جریان ویدیویی ثابت ایجاد می‌کند). مزیت استفاده از پرسشهای تو در تو اینست که در آن اطلاعات حسگرهای اولیه، برای حسگرهای دیگر قابل دریافت و تفسیر است و نیازی به ارسال آنها به کاربر نمی‌باشد. در کاربردهای نظارتی شبکه‌های حسگر، حسگرهای اولیه و حسگرهای تحریک شونده معمولاً بسیار به یکدیگر نزدیک هستند، در صورتی که کاربر ممکن است بسیار دور باشد. استفاده از پرسش تو در تو باعث می‌شود که ترافیک به جای ارسال شدن به کاربر در دوردست، به صورت محلی در اطراف رویداد تحریک کنند ایجاد شود و بنابراین تاخیر و ترافیک شبکه کاهش پیدا می‌کند.

### مقایسه روش انتشار مستقیم با روش SPIN [8]:

روش SPIN و روش انتشار مستقیم هر دو، روش ارتباطی برای کاربرد های خاص و بر اساس موضوع در شبکه‌های حسگر هستند. در شبکه‌های حسگر به منظور دستیابی به مسیریابی پهنه از لحاظ انرژی، مدیریت منابع و مسیریابی باید کاملاً با کاربردها هماهنگ و منطبق شوند.

هر دو پروتکل بر خلاف روش‌ها سنتی مسیریابی، داده محور (data-centric) هستند که به این معنی است که در آنها همه ارتباطات بر مبنای داده‌های نامگذاری شده صورت می‌گیرد. در روش انتشار مستقیم، داده نامگذاری می‌شود و بوسیله یکسری خصوصیات مشخص می‌شود. در روش SPIN نیز داده‌ها توسط شبه-داده‌ها (metadata) نامگذاری می‌شوند.

هر دو روش SPIN و انتشار مستقیم به منظور ایجاد یک واسطه ارتباطی مطمئن طراحی شده‌اند. روش SPIN بدین منظور طراحی شده است که مشکلات روش کلاسیک همه‌پخشی با مباحثه بین گره‌ها قبل از ارسال داده‌های حقیقی برطرف شود، بنابراین روش SPIN یک روش فرستنده محور است (sender-initiated).

در مورد الگوریتم انتشار مستقیم گیرنده علاقه‌مندی‌های خود را در سطح شبکه منتشر می‌کند و اگر این علاقه‌مندی با داده‌های استخراج شده توسط منابع انطباق داشته باشد، فرستنده داده‌ها را به سمت گره فرستنده علاقه‌مندی، منتشر می‌کند. بنابر این در روش انتشار مستقیم ارسال داده‌ها به صورت گیرنده محور (receiver-initiated) صورت می‌گیرد.

همچنین هر دو پروتکل نسبت به مصرف انرژی آگاه هستند (energy-aware). در SPIN گره‌ها منابع موجود را استخراج می‌کنند و بنابراین می‌توانند بر اساس منابع موجود تصمیم‌گیری نمایند و به صورت مشابه در روش انتشار مستقیم، مسیریابی جغرافیایی آگاه از انرژی (GEAR) کمک می‌کند که داده‌ها بتوانند به طرف ناحیه مورد نظر پراکنده شوند و عمل همه‌پخشی را محلی می‌کند (توضیح این روش در ذیل آورده شده است). به یک مفهوم هر دو الگوریتم بر مبنای همه‌پخشی کار می‌کنند ولی از لحاظ پیاده‌سازی روشهای مختلف برای جلوگیری از همه‌پخشی ناخواسته در شبکه با روش کلاسیک آن متفاوتند.

کارهای زیادی بر روی الگوریتم انتشار پایه صورت گرفته است که هر یک به نحوی عملکرد آن را بهبود داده‌اند. الگوریتم انتشار پایه به الگوریتم انتشار، با خاصیت جذب دو مرحله‌ای (two-phase pull diffusion) هم معروف است چون در این روش در فاز اول، ابتدا گره گیرنده یا مقصد یک علاقه‌مندی (interest) را به سمت داخل شبکه منتشر می‌کند و هنگامی که



گرهی متوجه انطباق داده‌های جمع‌آوری توسط حسگرهای خود با علاقه‌مندی منتشر شده گردید، یک پیغام داده اکتشافی به سمت مقصد ارسال می‌کند و این داده از بین گرادیان‌هایی که هنگام انتشار پیغام علاقه‌مندی تشکیل شده‌اند، سعی می‌کند گرادانی با بهترین زمان پاسخ یا کیفیت کانال را انتخاب کند و به همین صورت پیش می‌رود تا به مقصد برسد و سپس گره مبدا داده‌های جمع‌آوری شده را به سمت مقصد ارسال می‌کند.

یکی از روشهایی که برای بهبود مسیریابی الگوریتم بکار رفته، الگوریتم GEAR (geographic energy-aware routing) [6] است که با استفاده از اطلاعات جغرافیایی، فضای مسیریابی را محدود می‌کند. روش جذب دو مرحله برای بعضی از کاربردها روش بسیار مناسبی است ولی در مقابل برای برخی کاربردها هم بسیار ضعیف عمل می‌کند؛ خصوصاً کاربردهایی که در آنها تعداد زیادی منبع و گیرنده وجود دارد و گیرنده‌ها به نحوی با هم ارتباط دارند، حجم داده‌های ترافیکی بسیار افزایش می‌یابد به صورتی که حتی محدود کردن دامنه با مسیریابی جغرافیایی هم نمی‌تواند مشکل را بر طرف نماید. برای برطرف شدن این مشکل، روش انتشار بیرون دهنده (push diffusion) مطرح شده [3] که در آن نقش منتشر کنندگان اطلاعات و استفاده کنندگان داده‌ها جابه‌جا می‌شود و باعث می‌شود که منابع داده‌ها، به صورت فعالانه دنبال استفاده کنندگان بگردند. مزیت روش انتشار بیرون دهنده اینست که بر خلاف روش جذب دو مرحله‌ای تنها یک فاز دارد که در آن اطلاعات کنترلی پراکنده می‌شوند تا گیرنده‌ها را پیدا کنند. همچنین روش دیگری بنام روش جذب یک مرحله‌ای (one-phase pull diffusion) [3] وجود دارد که این روش هم با حذف کردن یکی از مراحل روش جذب دو مرحله‌ای آن را ساده‌تر می‌کند.

### روش مسیریابی جغرافیایی (GEAR) [6]:

بر اساس ماهیت شبکه‌های حسگر، در این شبکه‌ها پرسش‌های با دامنه جغرافیایی امری کاملاً طبیعی است و اگر هر گره‌ها بتوانند محل خود را تشخیص دهند پرسش‌های بر مبنای ناحیه جغرافیایی می‌توانند عمل پخش داده‌ها را سهولت بخشند و نیاز به همه‌پخشی را برای دستیابی به ناحیه مربوطه برطرف کنند. این الگوریتم ارتباطات در سطح شبکه را با ارتباطات محدود شده جغرافیایی جایگزین می‌کند به این صورت که هنگامی که این الگوریتم به الگوریتم جذب دو مرحله‌ای اضافه می‌شود، وقتی که کاربران به صورت فعالانه علاقه‌مندی‌ها را به داخل شبکه ارسال می‌کنند، پرسش‌هایی که علاقه‌مندی در یک ناحیه خاص را ایجاد می‌کنند، بوسیله الگوریتم مسیریابی حریصانه جغرافیایی به سمت ناحیه مورد نظر ارسال می‌شوند و عمل همه‌پخشی تنها وقتی صورت می‌گیرد که علاقه‌مندی به ناحیه مورد نظر رسیده باشد و دیگر عمل همه‌پخشی در سطح کل شبکه صورت نمی‌گیرد. همچنین داده‌های اکتشافی هم تنها در جهت گرادیان‌هایی حرکت می‌کنند که توسط علاقه‌مندی‌ها ایجاد شده‌اند و بنابراین هزینه داده‌های اکتشافی نیز کاهش پیدا می‌کند. در نهایت الگوریتم GEAR باعث عمل انتشار بهینه برای کاربردها و شبکه‌هایی می‌شود که از پرسش‌هایی در سطح ناحیه جغرافیایی استفاده می‌کنند. فرایند ارسال بسته‌ها به مقصد در این روش از دو مرحله تشکیل شده است:

(۱) مرحله اول ارسال بسته‌ها به سمت ناحیه هدف است. GEAR برای مسیریابی بسته‌ها به سمت ناحیه مورد نظر از ایده هوشمندانه انتخاب آگاهانه همسایه‌ها بر اساس میزان انرژی و ناحیه جغرافیایی، استفاده می‌کند و برای این عمل دو حالت را در نظر می‌گیرد:

هنگامی که یک همسایه نزدیکتر به مقصد وجود دارد، GEAR، گرهی را انتخاب می‌کند که در میان گره‌های موجود به گره مقصد نزدیک‌تر باشد.

(۲) هنگامی که فاصله همه همسایه‌ها از گره مقصد خیلی زیاد باشد به این معنی است که یک حفره در مسیر وجود دارد. الگوریتم GEAR در چنین شرایطی، گره‌ای را انتخاب می‌کند که بعضی از هزینه‌های این همسایه را به حداقل برساند.

مرحله دوم پخش کردن بسته‌ها در داخل ناحیه مورد نظر است و در اغلب موارد برای این منظور از یک الگوریتم بازگشتی پیش‌برنده جغرافیایی استفاده می‌شود. البته تحت بعضی از شرایط مکان یابی ضعیف، این مسیریابی بازگشتی ممکن است خاتمه پیدا نکند. در چنین شرایطی می‌توان از همه‌پخشی محدود شده استفاده کرد.

### روش انتشار بیرون دهنده (push diffusion) [3]:

روش جذب دو مرحله‌ای برای شبکه‌های با تعداد گیرنده کم به خوبی کار می‌کند ولی بعضی از دسته برنامه‌های کاربردی نیاز به رابطه حسگر به حسگر دارند. مثلاً شبکه ممکن است تعدادی حسگر داشته باشد که اغلب در حالت کم مصرف قرار گرفته باشند ولی هنگام به وقوع پیوستن یکی رویداد خاص توسط گره‌های همسایه تحریک شوند و فعال گردند. خاصیت این کلاس از برنامه‌های کاربردی اینست که تعداد زیادی از حسگرها به این داده‌ها علاقه‌مندند و بسیاری از حسگرها هم این داده‌ها را منتشر می‌کنند. در چنین کاربردی روش جذب دو مرحله‌ای بسیار ضعیف عمل می‌کند چون همه به طور فعال پیغام‌های علاقه‌مندی ارسال می‌کنند و به حتی در صورتی هم که چیزی تشخیص داده نشود برای حسگرهای دیگر گرادیان تشکیل می‌دهند.

روش انتشار بیرون دهنده برای چنین کاربردهایی طراحی شده است و با وجود یکی بودن API های این روش با روش جذب دو مرحله‌ای در این روش نقش منابع و گیرنده‌ها جا به جا می‌شود یعنی گیرنده غیر فعال شده و اطلاعات مربوط به علاقه‌مندی‌ها به صورت محلی در داخل گره‌ای که درخواست داده مورد نظر را دارد باقی می‌ماند. همچنین در مقابل، منابع نقش فعالانه‌ای بر عهده می‌گیرند و در این حالت، داده‌های اکتشافی بدون رسیدن علاقه‌مندی‌ها به داخل شبکه فرستاده می‌شود. در این روش مانند روش جذب دو مرحله‌ای، با رسیدن داده اکتشافی به گیرنده، یک پیغام تقویت کننده تولید می‌شود و به صورت بازگشتی مسیر برگشتی را به سمت منبع طی می‌کند و یک گرادیان تقویت شده را شکل دهی می‌کند.

روش انتشار بیرون دهنده بر خلاف روش جذب دو مرحله‌ای، برای کاربردهای با تعداد منابع بالا و همچنین تعداد گیرنده‌های بسیار، طراحی شده ولی در حالتی که منابع، داده‌ها را هر از چندگاه تولید نمایند. روش انتشار بیرون دهنده برای کاربردهایی که در آنها تعداد زیادی منابع به صورت پیوسته اطلاعات تولید می‌کنند، مناسب نیست چون در این روش ممکن است داده‌ها حتی در صورت عدم نیاز هم در سطح کل شبکه ارسال گردد.

یکی از مزایای روش انتشار بیرون دهنده اینست که در این روش تنها در یک صورت اطلاعات به کل شبکه ارسال می‌شود (داده‌های اکتشافی) بر خلاف روش جذب دو مرحله‌ای که چنین عملی در دو حالت انجام می‌گیرد (علاقه‌مندی‌ها و داده‌های اکتشافی). در شبکه‌های بزرگ و بدون پرسش‌های محدود به دامنه جغرافیایی، به حداقل رساندن عمل همه‌پخشی مزیت بزرگی محسوب می‌شود.

### روش انتشار جذب یک مرحله‌ای (one-phase pull diffusion) [3]:

روش جذب یک مرحله‌ای یک روش بر مبنای درخواست کننده است که یکی از مرحله‌های روش جذب دو مرحله‌ای را حذف می‌کند. در این روش همانند روش جذب دو مرحله‌ای درخواست کننده‌ها پیغام‌های علاقه‌مندی را تولید می‌کنند و در سطح شبکه پراکنده می‌کنند و گرادیان‌ها را شکل می‌دهند ولی بر خلاف روش جذب دو مرحله‌ای هنگامی که یک علاقه‌مندی به منبع رسید، منبع اولین بسته داده‌ها را به عنوان داده اکتشافی برچسب نمی‌زند و به جای این کار داده‌ها را تنها از طریق گرادیان‌های ترجیح داده شده ارسال می‌کند. گرادیان ترجیح داده شده بوسیله همسایه‌ای ایجاد شده که برای اولین بار علاقه‌مندی را به گره جاری ارسال کرده است و بنابراین کمتری تاخیر را نسبت به سایر همسایه‌های خود دارد. بنابراین با این راهکار روش جذب دو مرحله‌ای دیگر نیازی به پیغام‌های تقویت کننده ندارد.

روش جذب یک مرحله‌ای دو عیب عمده نسبت به روش جذب دو مرحله‌ای دارد به این ترتیب که این فرض را می‌کند که همیشه یک ارتباط متقارن بین گره‌ها برقرار است چون در این روش، مسیر داده‌ها (مسیر منابع به گیرنده‌ها) توسط کانال با

کمترین تاخیر در مسیر ارسال علاقه‌مندی مشخص می‌شود. روش جذب دو مرحله‌ای جریمه ناشی از ارتباطات غیر متقارن را کاهش می‌دهد چون انتخاب مسیر داده‌ها بوسیله داده‌های اکتشافی با کمترین تاخیر صورت می‌گیرد. با این وجود الگوریتم انتشار جذب دو مرحله‌ای هنوز به سطوحی از تقارن نیاز دارد چون پیغام‌های تقویت کننده مسیرهای برعکس را طی می‌کنند. در هنگام استفاده از این روشها لایه MAC باید به الگوریتم انتشار این اجازه را بدهد که رابطهای غیر متقارن را تشخیص دهد. ایراد دیگر روش جذب یک مرحله‌ای اینست که در این روش پیغام‌های علاقه‌مندی باید یک مشخصه جریان (flow-id) با خود حمل نمایند. اگرچه تولید کردن مشخصه‌های جریان بسیار ساده است و می‌تواند توسط آدرس‌های MAC مشخص شود یا به صورت تصادفی انتخاب شود این کار به نسبت تعداد منابع باعث افزایش اندازه پیغام‌های علاقه‌مندی می‌شود و همچنین استفاده از مشخصه جریان انتها به انتها، به این معنی است که در این روش برای تصمیم‌گیری جهت ارسال اطلاعات، تنها از اطلاعات محلی استفاده نمی‌شود. در نهایت روش جذب یک مرحله‌ای برای کاربرهایی مناسب است که در آنها تعداد زیادی از منابع داده‌ها را به تعداد کمی از گیرنده‌ها ارسال می‌کنند.

در مرجع [3] مقایسه و ارزیابی کاملی جهت انتخاب الگوریتم پخش اطلاعات مناسب با توجه به تعداد منابع و گیرنده‌ها، به عمل آمده است.

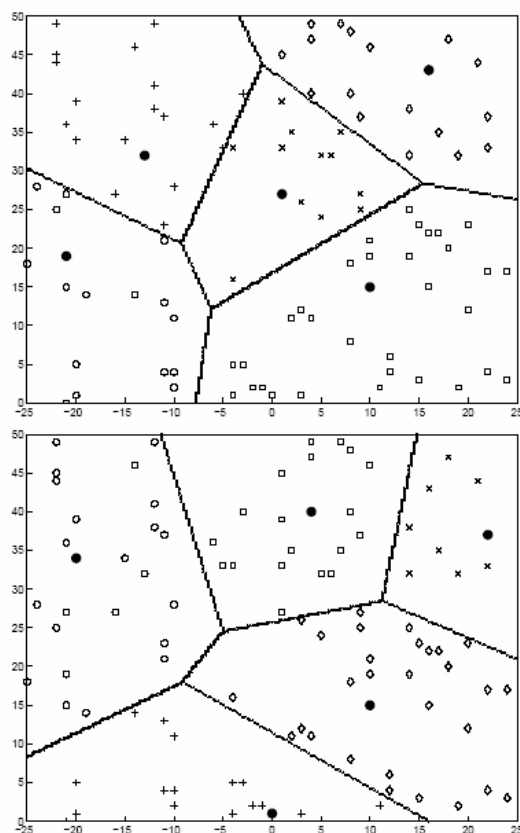
### روش LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy):

روش LEACH [10] یک پروتکل خود سامانده با دسته‌بندی به صورت پویاست که برای پخش کردن مصرف انرژی میان گره‌ها به صورت متعادل از روش تصادفی استفاده می‌کند. در این روش، گره‌ها خود را به صورت دسته‌های محلی سازماندهی می‌کنند و در این میان یک گره نقش ایستگاه پایه محلی (local base station) یا راس گروه را بر عهده می‌گیرد. در صورتی که رؤس دسته‌ها به صورت ثابتی بر اساس یک اولویت انتخاب شوند و در طول مدت عمر سیستم ثابت باشند، کاملاً مشخص است که حسگرهای بدشانسی که به عنوان رؤس دسته بندیها انتخاب شده‌اند بزودی خواهند مرد و دوران مفید تمامی گره‌های موجود در این دسته‌ها نیز پایان خواهد یافت. به همین منظور الگوریتم LEACH از چرخش تصادفی رؤس دسته‌بندی‌ها بین گره‌های پر انرژی بهره می‌برد تا باتری یک گره خاص، فوراً تخلیه نشود. علاوه بر این مورد در الگوریتم LEACH، از همجوشی داده‌ها (data fusion) به صورت محلی، جهت فشردن میزان داده‌های ارسالی از دسته‌ها به سمت ایستگاه پایه (base station) است که این کار باعث کاهش انرژی لازم برای پراکندن اطلاعات و به تبع آن موجب افزایش طول عمر مفید سیستم می‌شود.

حسگرها در هر زمانی با احتمال مشخصی خود را به عنوان سردسته محلی انتخاب می‌کنند و سپس این گره‌های سردسته، وضعیت خود را به سایر حسگرها در شبکه، به صورت همه پخشی منتقل می‌کنند. سپس هر گره حسگر، از روی هزینه حداقل انرژی مورد نیاز جهت ارتباط، تعیین می‌کند که به کدام دسته تعلق دارد. بعد از اینکه همه گره‌ها توسط سردسته‌ها شناخته شدند، هر سردسته یک برنامه برای گره‌های موجود در دسته خود تدارک می‌بیند. این امر به گره‌ها اجازه می‌دهد که اجزای رادیویی خود را، به جز در زمان برنامه‌ریزی شده، خاموش نگه دارند و بدین وسیله انرژی مصرف شده در حسگرهای معمولی به حداقل می‌رسد. هنگامی که یک سردسته، اطلاعات مربوط به تمامی گره‌های تحت پوشش خود را دریافت کرد، داده‌ها را متراکم می‌کند و سپس داده‌ها فشرده شده را به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. از آنجاییکه ایستگاه مرکزی ممکن است از سردسته‌ها فاصله زیادی داشته باشد، این مرحله به انرژی زیادی نیاز خواهد داشت ولی این امر تعداد گره‌های کمی را تحت تاثیر قرار خواهد داد، چون تعداد سردسته‌های کمی در مجموع وجود دارد.

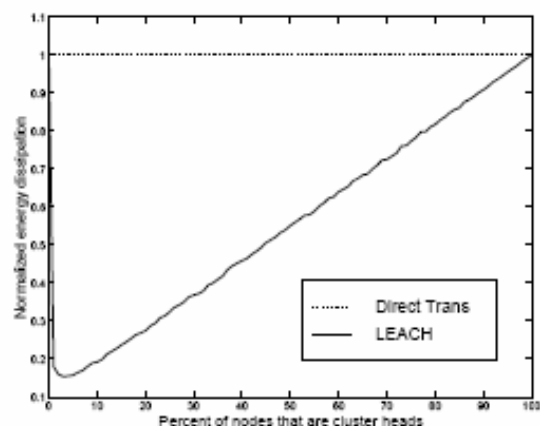
همانطور که می‌دانیم، منابع انرژی یک سردسته گروه، به سرعت تخلیه می‌شود. جهت پراکندن میزان انرژی مصرف شده بین چندین گره، سردسته‌ها به صورت ثابت انتخاب نمی‌شوند و انتخاب آنها در بازه‌های زمانی مختلف، به صورت داخلی صورت می‌گیرد. مثلاً در زمان  $t_1$  ممکن است مجموعه گره‌های  $C$ ، سردسته باشند و در زمان  $t_1 + d$  مجموعه جدید  $C'$  سردسته شوند؛ همانطور که در شکل (۹) نشان داده شده است. انتخاب سرگروه شدن در هر گره با میزان انرژی باقیمانده در آن گره رابطه مستقیم دارد. با این روش گره‌هایی که بیشترین انرژی باقیمانده در شبکه را دارند، اعمالی را بر عهده می‌گیرند که بیشترین

میزان انرژی را مصرف می‌کنند. هر گره به صورت مستقل از سایر گره‌های شبکه تصمیم می‌گیرد که سرگروه شود یا خیر؛ بنابراین هیچ به مذاکره‌ای جهت مشخص کردن سردهسته‌ها در این روش نیاز نداریم.



شکل 9: نحوه دسته‌بندی در زمانهای  $t$  و  $t+c$

در این روش سیستم می‌تواند بر اساس پارامترهای متنوعی از قبیل توپولوژی شبکه، و هزینه نسبی ارتباطات در مقابل محاسبات در هر گره و ... تعداد بهینه دسته‌ها را مشخص کند. بر اساس نمونه‌های بدست آمده در این روش، میزان ۵٪ از کل تعداد گره‌های شبکه به عنوان سردهسته، مقدار مناسبی می‌باشد. همچنین بر اساس نمودار شکل (۱۰) میزان انرژی مصرفی در الگوریتم LEACH هفت الی هشت برابر نسبت به میزان انرژی مصرف شده در روش ارتباط مستقیم با ایستگاه مرکزی کمتر است.



شکل ۱۰: میزان نرمالیزه شده مصرف انرژی سیستم در مقابل درصد گره‌های سردهسته

در شکل زیر مقایسه‌ای بین بعضی از روشهای مطرح شده و الگوریتم LEACH آورده شده است:

| Energy (J/node) | Protocol          | Round first node dies | Round last node dies |
|-----------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| 0.25            | Direct            | 55                    | 117                  |
|                 | MTE               | 5                     | 221                  |
|                 | Static Clustering | 41                    | 67                   |
|                 | LEACH             | 394                   | 665                  |
| 0.5             | Direct            | 109                   | 234                  |
|                 | MTE               | 8                     | 429                  |
|                 | Static Clustering | 80                    | 110                  |
|                 | LEACH             | 932                   | 1312                 |
| 1               | Direct            | 217                   | 468                  |
|                 | MTE               | 15                    | 843                  |
|                 | Static Clustering | 106                   | 240                  |
|                 | LEACH             | 1848                  | 2608                 |

شکل ۱۱: طول عمر حسگرها با میزان انرژی‌های اولیه متفاوت

### جزئیات الگوریتم LEACH:

عملیات انجام شده در الگوریتم LEACH به صورت دوره‌ای تکرار می‌شوند و هر دوره چندمرحله دارد. هر دوره با یک مرحله تنظیمات اولیه شروع می‌شود و به دنبال آن وارد یک مرحله پایدار می‌شود که در این مرحله، داده‌ها به ایستگاه مرکزی ارسال می‌شوند. برای به حداقل رساندن سربار اطلاعات، طول مرحله پایدار باید در مقایسه با مرحله تنظیمات اولیه، بزرگ باشد. مراحل الگوریتم LEACH به شرح زیر است:

### ۱- فاز تبلیغات:

در ابتدا هنگامی که دسته‌ها (clusters) تشکیل می‌شوند، هر گره تصمیم می‌گیرد که در مرحله جاری سردهسته شود یا خیر. این تصمیم به میزان درصد توصیه شده برای تعداد سردهسته‌ها، رابطه مستقیم دارد و باید از قبل تعیین شود. همچنین عامل موثر دیگر در این تصمیم‌گیری، تعداد دفعاتی است که یک گره قبلاً به عنوان سردهسته انتخاب شده است. گره  $n$  جهت تصمیم‌گیری در این مورد یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ انتخاب می‌کند و اگر عدد انتخاب شده از یک مرز به نام  $T(n)$  کمتر بود، گره به عنوان سردهسته انتخاب می‌شود.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

در این فرمول  $P$  برابر درصد مورد نظر سردهسته‌هاست و  $G$  مجموعه گره‌هایی است که در آخرین  $1/P$  دور، سردهسته نبوده‌اند. با استفاده از این حد آستانه، هر گره در هر  $1/P$  دور، در یکی از دوره‌ها سردهسته می‌شود. در اولین دور همه گره‌ها با احتمال  $P$  می‌توانند سردهسته شوند ولی هر گره بعد از سردهسته شدن حداقل به تعداد  $1/P$  دور نمی‌تواند سردهسته شود. در دوره‌های بعدی احتمال انتخاب شدن گره‌هایی که به عنوان سردهسته انتخاب نشده‌اند افزایش پیدا می‌کند تا جایی که در دور  $1/P - 1$  ام  $T$  برابر ۱ خواهد شد. این الگوریتم در حال حاضر میزان انرژی‌های متفاوت را در گره‌ها در نظر نمی‌گیرد. هر گرهی که خود را در دور حاضر به عنوان سردهسته انتخاب کرده است، یک پیغام همه‌پخشی به سایر گره‌ها ارسال می‌کند. در این مرحله سردهسته‌ها از یک روش CSMA MAC استفاده می‌کنند و همه سردهسته‌ها پیغام‌های تبلیغات خودشان را با یک انرژی ارسال می‌کنند و گره‌هایی که خودشان را در این مرحله به عنوان فرستنده انتخاب نکرده‌اند باید گیرنده‌های خودشان را روشن نگاه دارند. بعد از اتمام این مرحله، هر گره غیر سردهسته، دسته‌ای را که به آن تعلق خواهد داشت را از روی قدرت سیگنال دریافتی محاسبه می‌کند و در شرایط مساوی یک گره را به صورت تصادفی از بین سردهسته‌ها انتخاب می‌کند.

### ۲- فاز تشکیل دسته‌ها :

در این فاز بعد از اینکه هر گره مشخص کرد که به کدام دسته تعلق دارد، باید این موضوع را به سردهسته آن دسته، اطلاع دهد. هر گره در این مرحله مجدداً با استفاده از روش CSMA MAC اطلاعات را به سردهسته‌ها انتقال می‌دهد. همچنین در این مرحله همه سردهسته‌ها باید گیرنده‌های خود را روشن نگه دارند.

### ۳- فاز تشکیل برنامه:

در این مرحله، سردهسته‌ها تمام پیغام گره‌هایی را که به دسته آنها تعلق دارند را دریافت کرده‌اند. بر اساس تعداد گره‌های موجود در دسته، گره سردهسته یک برنامه زمانی TDMA تشکیل می‌دهد که به هر گره زمان ارسال اطلاعات آن را اعلان می‌کند. این برنامه زمانی به صورت همه‌پخشی به گره‌های موجود در دسته منعکس می‌شود.

### ۴- فاز انتقال داده‌ها:

هنگامی که دسته‌ها تشکیل شدند و برنامه TDMA ثابت شد، انتقال اطلاعات می‌تواند شروع شود. گره‌ها در زمان اختصاص داده شده به خود می‌توانند اطلاعات جمع‌آوری شده را به سردهسته‌ها ارسال کنند. همانطور که در قبل بیان شد این

ارتباط به حداقل انرژی نیاز دارد. دستگاه رادیویی هر گره که به عنوان سردسته انتخاب نشده باشد، می‌تواند تا رسیدن زمان ارسال اطلاعات آن گره خاموش بماند. در این روش فرض شده که تمامی گره‌ها همیشه داده‌ای برای ارسال کردن در اختیار دارند. در این مرحله گره سردسته باید گیرنده خود را تماماً روشن نگه دارد تا بتواند تمامی اطلاعات را از گره‌های موجود در دسته خود دریافت کند. پس از دریافت کامل اطلاعات، گره سردسته می‌تواند از عملیات پردازش سیگنال برای فشرده و متراکم کردن کلیه داده‌ها به صورت یک سیگنال واحد، استفاده کند. سپس سیگنال حاصل به گیرنده مرکزی ارسال می‌شود و از آنجاییکه ایستگاه پایه ممکن است خیلی دور باشد، این عمل به انرژی زیادی نیاز خواهد داشت.

این مرحله حالت پایدار عملکرد شبکه‌های LEACH است. پس از یک زمان مشخص، دور بعدی آغاز می‌شود که در آن هر گره مشخص می‌کند که آیا به عنوان سردسته فعالیت خواهد کرد یا خیر. در این روش برای جلوگیری از بوجود آمدن تداخل در بین سیگنالهای ارسالی در دسته‌های مجاور، از روش CDMA با کدهای متفاوت برای گره‌های همسایه، در ارتباطات هر دسته استفاده می‌شود بنابراین هر گره که خود را به عنوان سردسته انتخاب کرد، یک کد تصادفی از میان فهرستی از کدهای موجود انتخاب می‌کند و به همه گره‌های دسته خود اطلاع می‌دهد که از این کد برای تبادل اطلاعات استفاده کنند.

### روش EDDD (Energy-efficient differentiated directed diffusion):

روشهای زیادی برای شبکه‌های حسگر در سالهای اخیر، پیشنهاد شده است. بیشتر روشهای مطرح شده هدف اولیه خود را بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه قرار می‌دهند و با استفاده از اطلاعات جغرافیایی و سایر عناصر، بر روی کاهش دادن تعداد بسته‌های ارسال شده تکیه دارند. به منظور جبران کردن این امر، روش انتشار مستقیم مطرح شده که از محتوای داده‌های برنامه‌های کاربردی در پراکندن اطلاعات بهره می‌برد. با این وجود روش انتشار مستقیم نمی‌تواند از ترافیک حساس به زمان پشتیبانی کند یا برای افزایش زمان عمر شبکه از روشهای متعادل کننده انرژی استفاده کند. روش EDDD، [10]

الگوریتم انتشار مستقیم را در زمینه‌های زیر بهبود می‌بخشد:

- (۱) فیلترهای زمان حقیقی برای فراهم کردن کارایی بهتر در زمان تاخیر انتها به انتها (ETE (end-to-end) برای ترافیک زمان حقیقی.

- (۲) فیلترهای بهترین سعی (BE (best-effort) برای رسیدن به یک تعادل انرژی سراسری برای افزایش طول عمر شبکه.

- (۳) بازیابی‌های RT برای جبران سریع خطای گره یا لینک برای ترافیک RT.

روش EDDD نسبت به سایر روشهای مطرح شده از لحاظ فراهم کردن سرویس‌های پراکندن متمایز برای ترافیک‌های RT و BE نسبت به روش انتشار مستقیم مزیت دارد. همچنین در این روش، ترافیک RT تاخیر کمتری را نسبت به روش DD احساس می‌کند و همچنین طول عمر این شبکه از شبکه‌هایی که بر پایه روش انتشار مستقیم بنا شده‌اند، بالاتر است. بیشتر روشهای مطرح شده جهت پراکندن اطلاعات بر روی مسیریابی در لایه ۳ متمرکز شده‌اند و بنابراین این الگوریتم‌ها به اندازه کافی به محتوای برنامه‌های کاربردی برای فیلتر کردن یا پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای، دسترسی ندارند (مانند مسیریابی که در سطح برنامه کاربردی و با کد خاصی تعیین می‌شود، همجوشی داده‌ها و پردازش اطلاعات با همکاری یکدیگر).

### فیلترهای RT و BE در روش EDDD:

روش DD جذب دو مرحله‌ای، علاوه بر علاقه‌مندی‌ها، به پخش سیل‌آسای داده‌های اکتشافی هم نیازمند است که موجب تاخیر نسبی ETE می‌شود و بازیابی خرابی گره یا اتصال به اندازه کافی برای پوشش دادن ترافیک حساس به زمان، سریع نمی‌باشد. همچنین روش نشان دادن یک مرحله‌ای (one-phase push diffusion) تنها برای کاربردهای خاصی طراحی شده است که در آنها بسته‌های داده‌ها همیشه به روش سیل‌آسا پراکنده می‌شوند به طوریکه در این روش با وجود اینکه تاخیر ETE می‌تواند بسیار پایین بیاید، انرژی بسیاری مصروف خواهد شد. بین روشهای پیشنهاد شده برای انتشار مستقیم، به نظر می‌رسد که روش جذب یک مرحله‌ای برای توسعه از سایر روش‌های پیشنهاد شده مناسب‌تر باشد.

## گرادیان‌های RT و BE:

فیلترهای RT و BE بوسیله گرادیانهای مربوطه تشخیص داده می‌شوند که این کار هنگام دریافت پیام‌های علاقه‌مندی اولیه صورت می‌پذیرد. اطلاعات موجود در یک علاقه‌مندی در شکل شکل 12: مشخصات بسته علاقه‌مندی آورده شده است.

| INTEREST Packet                                      |  |
|--|--|
| Fixed Attributes                                     |  |
| SinkID   |  |
| Application Context (e.g key, type, operator, value) |  |
| ISeqNum  |  |
| Flow-id  |  |
| Variable Attributes                                  |  |
| TTL (only for RT traffic)                            |  |
| PreviousHopID  |  |
| PreviousHopEnergy                                    |  |
| Neighbor Information Table Update Flag               |  |
| RT-gradient_UpdateFlag (RUF)                         |  |
| BE-gradient_UpdateFlag (BUF)                         |  |
| Gradients  |  |
| HopCount (HC)  |  |
| PreviousMPE  |  |

شکل 12: مشخصات بسته علاقه‌مندی

خصوصیات ثابت مشخص شده در شکل، مشخص کننده منابع و گیرنده‌هایی هستند که با هم در ارتباط می‌باشند و هر گاه یک گیرنده پیام علاقه‌مند جدیدی تولید کرد، متغیر ISeqNum یک واحد افزایش پیدا می‌کند. خصوصیات ثابت هنگام پراکنده شدن علاقه‌مندی در شبکه تغییر نمی‌کنند. از طرف دیگر هنگامی که یک گره میانی، یک علاقه‌مندی را پخش می‌کند، خصوصیات متغیرها را تغییر می‌دهد. بخش TTL تعداد مراحل است که یک علاقه‌مندی می‌تواند از این پس انتشار یابد. این بخش برای ترافیک RT بکار می‌رود و باید در گیرنده تعیین شود تا حداکثر طول مسیر را محدود کند زیرا TTL بالاتر، تاخیر ETE بیشتری را بین یک جفت فرستنده گیرنده، مجاز می‌شمارد. RT\_gradient\_UpdateFlag (RUF) و BE\_gradient\_UpdateFlag (BUF) مشخص کننده نوع گرادیانی هستند که باید بروز شود. خصوصیات مربوط به گرادیان‌ها، برای برپایی یا به روز کردن گرادیان‌ها برای فیلترهای RT یا BE بکار می‌روند. برای حل کردن مشکل توازن انرژی، گرادیان جدیدی به نام حداقل انرژی مسیر (MPE) معرفی شده است که مشخص کننده پایین‌ترین سطح انرژی گره‌ها در طول یک مسیر است. این گرادیان برای فیلترهای BE طراحی شده تا بتوانند عمل توازن انرژی را به انجام برسانند و در مقابل آن گرادیان HopCount (HC) برای انتخاب کوتاه‌ترین مسیر برای فراهم کردن تاخیر پایین‌تر برای ترافیک RT در نظر گرفته شده است. فیلتر RT ابتدا از میان کاندیداهایی که میزان HC پایین‌تری دارند، گرادیانی را ترجیح می‌دهد که بیشترین میزان MPE را داشته باشد ولی در فیلتر BE این ترتیب بلعکس می‌شود و این فیلتر از میان گرادیان‌هایی با MPE حداکثر، گرادیانی را انتخاب می‌کند که کمترین میزان HC را داشته باشد. این دو گرادیان با هم همکاری می‌کنند تا موازنه‌ای میان مصرف انرژی و حداقل تاخیر بوجود بیاید. MPE و HC گرادیان‌هایی هستند که برای هر مسیر تعریف می‌شوند و هرگاه علاقه‌مندی جدیدی تولید شد، مقادیر این گرادیان‌ها بروز می‌شود در حالی که گرادیان‌های موجود در روش سنتی DD در سطح هر گره تعریف می‌شوند.



### برپایی گرادیناها BE :

شکل ۱۴ : الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک BE چگونگی برخورد یک گره میانی با یک بسته علاقه‌مندی برای ترافیک BE را نشان می‌دهد. متغیر PreviousHopID در پیغام علاقه‌مندی، نشان دهنده شماره مدخل اطلاعات همسایه (NIE) متناظر می‌باشد که اطلاعات موجود در آن در شکل ۱۳ : مدخل اطلاعات همسایه آورده شده است. مجموعه NIE ها جدول اطلاعات همسایگان (NIT) را تشکیل می‌دهند. ID برای هر همسایه یکتاست (مانند آدرس MAC هر همسایه).

| Neighbor Information Entry                      |  |  |
|---|--|--|
| [ Node # ] x [ Sink # ] x [ Neighbor # ]        |  |  |
| Neighbor Attributes                             |  |  |
| NeighborID<br>Energy<br>ISeqNum<br>BreakageFlag |  |  |
| RT-gradient and BE-gradient                     |  |  |
| RT_HopCount<br>RT_MPE                           |  |  |
| BE_HopCount<br>BE_MPE                           |  |  |
| Lowest-Latency-gradient                         |  |  |
| ETE_Delay (only for traditional DD filter)      |  |  |

شکل ۱۳ : مدخل اطلاعات همسایه

گره میانی NIE خود را بر اساس نوع بروز کردن مورد نیاز که با متغیرهای BUF یا RUF مشخص می‌شوند، به انجام می‌رساند. هنگامی که گرهی اولین پیغام علاقه‌مندی را دریافت می‌کند، ابتدا یک گرادینا BE به گره فرستنده تشکیل می‌دهد و سپس مدخل جریان BE آن را بروز کرده و گره فرستنده را به عنوان گره بعدی انتخاب می‌کند و نهایتاً BUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند. در این حالت گره میانی قبل از ارسال بسته برای یک زمان کوتاه تصادفی صبر می‌کند تا شاید بسته‌ای با MPE بالاتری را دریافت کند و همچنین احتمال تصادم در پراکندن علاقه‌مندی به صورت سیل‌آسا، با این عمل کاهش پیدا می‌کند.

وقتی که گره، علاقه‌مندی بعدی را دریافت می‌کند، یک گرادینا BE به سمت گره دریافت کننده تشکیل می‌دهد و در صورتی که MPE علاقه‌مندی دریافت شده کمتر از MPE جاری باشد، از آن صرف نظر می‌کند. ولی در صورتی که MPE آن بیشتر باشد، گره مدخل جریان خود را بروز می‌کند و فرستنده جدید را به عنوان گره بعدی خود در نظر می‌گیرد و BUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند. اگر گره میانی چند علاقه‌مندی با MPE برابر دریافت کند، مسیر با پایین‌ترین HC را انتخاب خواهد کرد.

### برپایی گرادیناهای RT :

مراحل برپایی گرادیناهای RT برای یک گره میانی در شکل ۱۵ : الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک RT نشان داده شده است. اگر یک گره میانی اولین بسته علاقه‌مندی را دریافت کند، یک گرادینا RT به سمت گره‌ای که بسته را از آن دریافت کرده است، ایجاد می‌کند و سپس مدخل جریان RT خود را بروز می‌کند و گره فرستنده علاقه‌مندی را به عنوان اولین گره بعدی انتخاب می‌کند و در نهایت RUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند. در مورد ترافیک RT، اولین بسته علاقه‌مندی هر چه سریع‌تر به صورت همه‌پخشی ارسال می‌شود چون رساندن به موقع بسته مورد توجه است.

هنگامی که یک گره میانی بسته علاقه‌مندی بعدی را دریافت می‌کند، ابتدا یک گرادیان RT برای گره ارسال کننده آن بسته، تشکیل می‌دهد و در صورتی که علاقه‌مندی دریافت شده HC پایین‌تری داشته باشد، گره ارسال کننده این پیام را به عنوان گام بعدی قرار می‌دهد (و علاوه بر این آخرین گام بعدی را برای بازیابی خرابی، برای ترافیک RT، ذخیره می‌کند) و در نهایت RUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند ولی در صورتی که بعد از این، گره میانی بسته‌ای دریافت کند که HC بزرگتری نسبت به HC علاقه‌مندی جاری داشته باشد، بعد از تشکیل یک گرادیان به سمت فرستنده بسته علاقه‌مندی، این گره از بسته صرف‌نظر می‌کند و آن را به عنوان یکی دیگر از گام‌های پشتیبانی بعدی در نظر می‌گیرد و در نهایت در صورتی که بسته علاقه‌مندی با HC برابر HC جاری دریافت کند بسته با MPE بزرگ‌تر را به عنوان گام بعدی انتخاب خواهد کرد.

| <b>Intermediate Node Handles Interest Packet with BUF Set</b>   |  |
|---|--|
| <b>Step 1: Get Information from Interest Packet</b>   |  |
| <i>SinkID</i> : the identifier of the sink node<br><i>ISeqNum</i> : interest Sequence Number<br><i>TTL</i> : time to live, only used by RT traffic<br><i>PreviousHopID</i> : the identifier of the previous hop node<br><i>RUF</i> : RT-gradient_UpdateFlag<br><i>BUF</i> : BE-gradient_UpdateFlag<br><i>HopCount</i> : hop count of the path from sink to this node.<br><i>PreviousMPE</i> : the Minimum-Path-Energy of the path from sink to previous hop node  |  |
| <b>Step 2: Find NIE in NIT according to PreviousHopID</b>   |  |
| <i>NIT</i> : Neighbor Information Table<br><i>NIE</i> : Neighbor Information Entry  |  |
| <b>Step 3: In the NIE, update gradient for best-effort traffic</b>  |  |
| <b>Step 4: Decide whether the interest should be broadcast or not, and update the BE Flow Entry</b>   |  |
| <i>CurrentMPE</i> : the Min-Path-Energy of the path from sink to this node. The path traverses the previous-hop node.<br><i>MaxMPE</i> : maximum MPE among all the previous-hop nodes. It's updated based on <i>CurrentMPE</i> .<br><i>HC_with_MaxMPE</i> : hop count of the path with <i>MaxMPE</i> .<br>/*Note: <i>MaxMPE</i> and <i>HC_with_MaxMPE</i> are best gradients for BE traffic in the history of arriving interest packets */  |  |
| $CurrentMPE = \min(Self\_Energy, PreviousMPE);$<br><b>Case 1:</b> "First time to receive the interest with new SinkID or Flow-id or ISeqNum":<br>$MaxMPE = CurrentMPE; HC\_with\_MaxMPE = HopCount; NextHopNode = this\ node$<br>/* Update BE flow entry */<br><b>Case BE-1:</b> " $CurrentMPE > MaxMPE$ "<br>$MaxMPE = CurrentMPE; HC\_with\_MaxMPE = HopCount; NextHopNode = this\ node$<br>/* Update BE flow entry */<br><b>Case BE-2:</b> " $(CurrentMPE == MaxMPE) \& \& (HopCount < HC\_with\_MaxMPE)$ "<br>$HC\_with\_MaxMPE = HopCount; NextHopNode = this\ node$<br>/* Update BE flow entry */ |  |
| <b>Step 5: If one of the above three cases happens, update the interest packet and broadcast it.</b>  |  |

شکل ۱۴: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک BE

در شکل‌های شکل ۱۴: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک BE و ۱۵، همان حالت سنتی الگوریتم انتشار مستقیم است و حالت‌های BE-1 و RT-1 مشخص می‌کنند که *CurrentMPE* و HC در آن لحظه بزرگترین هستند و حالت‌های BE-2 و RT-2 مشخص کننده این موضوع هستند که یک گرادیان با اولویت بالاتر برابر آخرین مقدار بزرگ قبلی شده است و بنابراین این گرادیان باید با مقدار گرادیان قبلی مقایسه شود. این روش، مکانیسم چند سطحی گرادیان، نامیده می‌شود. فیلترهای RT، گرادیان HC با اولویت بالاتر را در نظر می‌گیرند و گرادیان‌های HC، گرادیان MPE را با اولویت بالاتری نسبت به گرادیان HC در نظر می‌گیرند. این اولویت دو سطحی با مفاهیم *MaxMPE* و *HC\_with\_MaxMPE* در شکل ۱۴: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک BE برای ترافیک BE و *MinHC* و *MPE\_with\_MaxMPE* در شکل ۱۵ برای ترافیک RT معرفی می‌شود.

در مقایسه با تشکیل گرادیان در طول هر گره در روش DD اولیه، در این روش چهار حالت اضافی ایجاد شده است که بسته‌های علاقه‌مندی را برای برپایی یا بروز کردن گرادیان‌های در طول مسیر، به صورت همه‌پخشی منتشر می‌کنند و این کار

را به منظور توازن انرژی یا تعداد گام‌ها انجام می‌دهند. این کار به تعداد پیغام‌های کنترلی بیشتری نیاز خواهد داشت ولی با این وجود این هزینه به نسبت، هزینه پایینی است زیرا زمان تشکیل گرادیان‌ها، زمان بسیار کمتری نسبت به بازه انتشار اطلاعات، به خود اختصاص می‌دهد.

| <b>Intermediate Node Handles Interest Packet with RUF Set</b>   |
|---|
| <b>Step 1:</b> Get Information from Interest Packet   |
| <b>Step 2:</b> Find NIE in NIT according to PreviousHopID   |
| <b>Step 3:</b> In the NIE, update gradient for real-time traffic  |
| <b>Step 4:</b> Decide whether the interest should be broadcast or not, and update the BE Flow Entry   |
| $MinHC$ : minimum hop count among all the previous-hop nodes.<br>$MPE\_with\_MinHC$ : CurrentMPE of the path with MinHC<br>(*Note: $MinHC$ and $MPE\_with\_MinHC$ are best gradients for RT traffic in the history of arriving interest packets *)  |
| $CurrentMPE = \min(Self\_Energy, PreviousMPE);$<br><b>Case 1:</b> "First time to receive the interest with new SinkID or Flow-id or ISeqNum":<br>$MinHC = HopCount; \quad MPE\_with\_MinHC = CurrentMPE;$<br>(* Update RT flow entry*)<br><b>Case RT-1:</b> " $HopCount < MinHC$ ":<br>$MinHC = HopCount; \quad MPE\_with\_MinHC = CurrentMPE;$<br>(* Update RT flow entry*)<br><b>Case RT-2:</b> " $(HopCount == MinHC) \&\& (CurrentMPE > CurrentMPE\_with\_MinHC)$ ":<br>$MPE\_with\_MinHC = CurrentMPE;$<br>(* Update RT flow entry*) |
| <b>Step 5:</b> If one of the above three cases happens, update the interest packet and broadcast it.  |

شکل 15: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک RT

### مکانیسم‌های بازیابی RT و بازیابی BE در روش EDDD:

در میان سه روش قبل مطرح شده برای روش انتشار مستقیم، هیچ مکانیسم بازیابی محلی تعبیه نشده است. تنها در روش جذب دو مرحله‌ای، منبع هر چند از گاهی، پیغام‌های اکتشافی جدیدی منتشر می‌کند تا گرادیان‌ها را تنظیم کند و بعد از آن، گیرنده پیغام‌های تقویت منفی کننده منتشر می‌کند تا مسیر را از میان بردارد و پیغام‌های تقویت مثبت منتشر می‌کند تا تا یک مسیر جدید بوجود بیاید. این مکانیسم بازیابی، به قدری کند است که برای آن حفظ نیازمندی‌های ترافیک‌های حساس به زمان بسیار مشکل است.

در این الگوریتم دو روش برای بازیابی محلی، پیشنهاد شده است. برای ترافیک زمان - حقیقی برای دست یافتن به بازیابی سریع، بهترین همسایه انتخاب می‌شود و برای ترافیک best-effort، اعلان خرابی به صورت همه‌پخشی منتشر می‌شود تا مسیر جدیدی ساخته شود. همچنین فرض بر آنست که در لایه MAC، مکانیسم ارسال مجددی بر مبنای بسته‌های تصدیق کننده (acknowledgment) وجود دارد و اگر تعداد از قبل تعیین شده‌ای از ارسال‌ها ناموفق باشند، لایه MAC خطا را به لایه‌های بالاتر اطلاع می‌دهد که موجودیت EDDD است.

### بازیابی در BE:

اگر لایه MAC اطلاع دهد که انتقال بسته به گام بعدی دچار مشکل شده است، گره میانی، گره گام بعد را که دچار خرابی شده است را در NIE خود علامتگذاری می‌کند. از آنجایی که تاخیر ETE در ترافیک BE اولویت اول نمی‌باشد، گره میانی در این حالت یک بسته BreakageNotification را به صورت سیل‌آسا منتشر می‌کند. وقتی گیرنده بسته BreakageNotification را دریافت می‌کند، بلافاصله یک بسته علاقه‌مندی ارسال می‌کند تا گرادیان‌های قدیمی را بروز کند.

### بازیابی در RT:

در ترافیک RT هنگام از کار افتادن یک اتصال یا گره، ابتدا گره میانی آن را در NIE علامت می‌زند. برای فراهم کردن تاخیر ETE کمتر، این گره بهترین گره را از میان همسایگان موجود (AN) انتخاب می‌کند. AN ها طوری انتخاب می‌شوند که به هیچ وجه حلقه‌ای با گره میانی تشکیل ندهند و بقیه گره‌ها به عنوان گره‌های غیر موجود (unavailable neighbors) مشخص می‌شوند. انتخاب AN ها در شکل ۱۶ : مکانیسم بازیابی در ترافیک RT آورده شده است. همسایگانی که تعداد گامی برابر MinHC+1 دارند، به عنوان همسایه همتا (peer neighbors) تعریف شده‌اند.

| <b>RT-Repair Mechanism</b>   |   |
|--|---|
| <b>MinHC:</b> Minimum Hop Count  | <b>Peer Node:</b> the node whose hop-count is equal to MinHC +1 |
| <b>PeerTransmissionFlag:</b> set in the data packet when an intermediate node forward it to its peer node      |   |
| <b>AN:</b> Available Neighbor, includes: (1) MinHC neighbor, (2) peer neighbor                                 |   |
| <b>UN:</b> Those who do not belong to ANs are deemed as unavailable Neighbors                                  |   |
| <b>#UN:</b> Number of UN   | <b>#AN:</b> Number of AN  |
| <b>IFReqFlag:</b> Interest Flooding Request Flag   |   |
| <i>If the information feedback from MAC layer indicates the next hop node fails to transmit RT data packet</i> |   |
| <b>Step 1:</b> Set it as breakage neighbor;  |   |
| <b>Step 2:</b> /*Determines possible ANs to ensure no loop*/   |   |
| <i>If (PeerTransmissionFlag == 1), ANs = {MinHC neighbors}</i>   |   |
| <i>/* data packet is sent by its peer node*/</i>   |   |
| <i>Else ANs = {MinHC neighbors} U {peer neighbors}</i>   |   |
| <b>Step 3:</b> <i>If (#AN == 0)</i>  |   |
| <i>Drop RT data packet, flood BreakageNotification Packet immediately.</i>                                     |   |
| <i>Else</i>  |   |
| <i>Find the best next hop node among ANs;</i>  |   |
| <i>If (#AN == 1) Set IFReqFlag in the RT data packet header;</i>   |   |
| <i>If (the next hop is a peer node) Set PeerTransmissionFlag in RT data packet header;</i>                     |   |
| <i>Retransmit the lost data packet.</i>  |   |

شکل ۱۶ : مکانیسم بازیابی در ترافیک RT

هنگامی که به دلیل خالی شدن باتری در بعضی از گره‌ها در مسیر داده‌ها، مسیر جاری ناپایدار شود، انتشار سیل‌آسای علاقه‌مندی‌ها برای بروز کردن گرادیان‌ها آغاز می‌شود. اگر تنها یک AN باقیمانده باشد، گره میانی IFReqFlag پرچم درخواست انتشار علاقه‌مندی (Interest Flooding Request Flag) را در بسته داده‌ای RT فعال می‌کند. هنگامی که گیرنده یک بسته RT محتوی IFReqFlag را دریافت می‌کند، بلافاصله یک علاقه‌مندی را به صورت سیل‌آسا منشر می‌کند تا گرادیان‌های قدیمی را بروز کند. هنگامی که تمامی همسایگان یک گره میانی جزو دسته UN باشند، گره، بسته داده را رها کرده و یک پیغام BreakageNotification را به صورت سیل‌آسا (همانند بازیابی در ترافیک BE) منشر می‌کند. زمانی که چنین اتفاقی روی دهد زمان LifeTimeTypeII نامیده می‌شود چون مسیر بین یک فرستنده و گیرنده قطع شده است و زمان LifeTimeTypeI زمانی است که اولین گره در شبکه از کار باز می‌ماند.

### خلاصه

یکی از ساده‌ترین روشهای بکار رفته جهت پخش داده‌ها در شبکه‌های حسگر، روش سیل‌آسا (flooding) است که در این روش هر گره جهت پخش کردن داده‌های خود، به سادگی داده‌های خود را به همه همسایگان خود ارسال می‌کند و گره‌های همسایه نیز در صورتی که قبلاً داده دریافت شده را در اختیار نداشته باشند، به همین ترتیب یک نسخه از داده‌ها را نزد خود نگهداری می‌کنند و سپس آن را به تمام همسایگان دیگر (بجز همسایه‌ای که داده را از آن دریافت کرده‌اند)، ارسال می‌کنند. به چند اشکال عمده در این روش می‌توان اشاره کرد مانند مشکل انفجار که در آن گره‌ها داده‌ها را به صورت تکراری از چندین گره دریافت می‌کنند و این فرایند تا حد زیادی باعث اتلاف منابع گره‌ها می‌شود؛ همچنین مشکل همپوشانی که عبارتست از اشتراک داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگر. برای دستیابی به پایداری بیشتر در شبکه‌های حسگر معمولاً

مقداری همپوشانی بین نواحی تحت پوشش حسگرها در نظر می‌گیرند و همین امر باعث می‌شود تا یک پدیده توسط دو یا چند حسگر مختلف تشخیص داده شود. نهایتاً یک نقطه ضعف مهم این روش، عدم آگاهی روش انتشار، از منابع موجود گره‌هاست که یکی از نکات ضروری برای روشهای بکار رفته در انتقال اطلاعات برای شبکه‌های حسگر محسوب می‌شود زیرا با آگاهی از این موضوع می‌توان تا حد امکان از گره‌هایی که منابع انرژی آنها از حد معینی پایین تر است، در مسیریابی استفاده نکرد و با این عمل، مدت زمان متوسط کارکرد گره‌ها را در شبکه افزایش داد.

به صورت کلی این روش تنها در مواردی می‌تواند کارایی داشته باشد که مایل هستیم اطلاعاتی را به صورت همه‌پخش برای تمامی گره‌های شبکه ارسال کنیم. اصولاً این موضوع در مورد شبکه‌های حسگر که معمولاً ماهیت جغرافیایی گسترده دارند، کمتر رخ می‌دهد و در این شبکه‌ها معمولاً از پرسجوهای مربوط به یک ناحیه جغرافیایی خاص استفاده می‌شود یا ارتباطات معمولاً بین چند گره محدود به عنوان منبع و یک یا چند گیرنده صورت می‌گیرد. بنا به دلایل ذکر شده در بالا استفاده از روش سیل‌آسا برای شبکه‌های حسگر که دارای منابع انرژی محدود هستند، مناسب نمی‌باشد. رویه‌های مختلفی جهت کاهش یا برطرف کردن مشکلات یاد شده پیشنهاد شده است که یکی از ساده‌ترین آنها روش شایعه‌پراکنی (gossiping) است که این روش تا حد زیادی شبیه روش سیل‌آسا، با این تفاوت که در این روش هر همسایه هنگام دریافت داده‌ها، به صورت تصادفی یکی از همسایه‌هایش را انتخاب می‌کند و داده‌ها را (در صورتی که قبلاً دریافت نشده باشند) به آن گره ارسال می‌کند (حتی اگر داده‌ها را از همان گره گرفته باشد). این رویکرد می‌تواند تا حدی مشکل انفجار را برطرف کند ولی در مورد سایر مشکلات نمی‌تواند کار خاصی انجام دهد و علاوه بر این سرعت انتشار هم در این روش پایین است چون در هر مرتبه در هر بار ارسال، داده فرستاده شده تنها یک گره را طی می‌کند و به این ترتیب جهت ارسال داده بین دو گره شبکه، در بدترین حالت ممکن است به اندازه زمان ارسال داده بین تمام گره‌های شبکه تاخیر داشته باشیم و این امر با افزایش تعداد گره‌های شبکه می‌تواند مشکل ساز گردد.

رویکرد دیگری که جهت پخش اطلاعات در شبکه‌های حسگر مطرح شده روش (Sensor Protocols for Information via Negotiation) است که در این روش از شبه-داده‌ها (meta-data) جهت نامگذاری داده‌های واقعی استفاده می‌شود و هر گره هنگام ارسال داده‌ها، ابتدا شبه-داده مورد نظر را به همسایگانش در قالب یک پیغام ADV، ارسال می‌کند و آنها در صورت در اختیار نداشتن داده‌ها، با تولید کردن یک پیغام REQ، تمامی داده یا بخشی از داده را که در اختیار ندارند را درخواست می‌کنند و گره اولیه با دریافت پیغام REQ، داده‌های حقیقی را در قالب یک پیغام DATA، به آنها ارسال می‌کند. چنین رویکردی می‌تواند مشکل انفجار و همپوشانی را برطرف کند چون در این رویکرد قبل از ارسال داده‌ها، تنها شبه-داده‌ها ارسال می‌شوند که حجم بسیار کمتری نسبت به خود داده دارند و همچنین محتویات داده اصلی بوسیله آنها قابل استخراج است. علاوه بر موارد ذکر شده در این روش برای هر گره یک مدیر منابع در نظر گرفته شده که می‌تواند عملکرد هر گره را تحت تاثیر قرار دهد و در صورت کمبود منابع، بخشی از فعالیت‌های آن گره را متوقف کند (مثلاً جلوی شرکت کردن گره در امر مسیریابی را بگیرد).

با وجود اینکه این روش تا حد زیادی نسبت به روشهای قبلی بهینه‌تر است، با این وجود از تکنیکهای مانند فشرده‌سازی و خلاصه کردن اطلاعات که می‌توانند تا حد زیادی سربار ترافیکی شبکه را کاهش دهند، استفاده نمی‌کند و در ضمن این روش یک راهکار فرستنده-محور (sender-initiated) است که خود این امر می‌تواند تا حدی مانع استفاده بهینه از منابع موجود در شبکه گردد.

روش پیشنهادی دیگری که گام‌هایی در جهت برطرف کردن نواقص اشاره شده در روش SPIN برداشته است، روش انتشار مستقیم (directed diffusion) است که از مفهوم نامگذاری داده‌ها بهره برده است و یک روش گیرنده-محور (receiver initiated) است. در این روش، داده‌ها به صورت زوجهای داده-مقدار نمایش داده می‌شوند. نحوه عملکرد این الگوریتم، به این صورت است که گره گیرنده، ابتدا یک پیغام علاقه‌مندی (interest) تولید می‌کند و آن را در طول شبکه پراکنده می‌کند. سپس گره‌های شبکه با مقایسه علاقه‌مندی دریافتی با داده‌های جمع‌آوری شده، پی می‌برند که داده درخواستی را در اختیار دارند یا خیر و در صورت در اختیار داشتن داده‌ها، یک پیغام داده اکتشافی (exploratory data) به سمت گیرنده ارسال می‌کنند تا مسیر داده‌ها مشخص شود. با مشخص شدن مسیر، داده‌های درخواستی به سمت گیرنده ارسال

می‌شوند. در این رویکرد برای تشکیل مسیر از مفهومی به نام گرادیان (gradient) استفاده شده است که در هر گره هنگام عبور علاقه‌مندی‌ها تشکیل می‌شود و در آن، مشخصه علاقه‌مندی و گره همسایه‌ای که علاقه‌مندی از طریق آن دریافت شده، ذخیره می‌شود. هنگام تشکیل شدن مسیر، داده‌های اکتشافی از همین گرادیان‌ها برای تشخیص بهترین مسیر (مثلاً از طریق همسایه ای برای اولین بار علاقه‌مندی را به این گره ارسال کرده است) به سمت گیرنده، استفاده می‌کنند. همچنین در این الگوریتم، گیرنده از مکانیسمی به نام تقویت کردن (reinforcement) استفاده می‌کند تا همسایه‌هایی را که سرعت جمع‌آوری داده بالاتری دارند را نسبت به سایرین در اولویت قرار دهد.

علاوه بر موارد ذکر شده، در این روش هر گره‌ای می‌تواند داده‌ها را پردازش کند و آنها را پس از ترکیب و خلاصه سازی، به سمت گره بعدی ارسال نماید که این امر می‌تواند تا حد زیاد از ترافیک عبوری شبکه بکاهد. در ابتدا روش پیشنهادی جهت این کار، روش متراکم کردن فرصت‌طلبانه (opportunistic aggregation) بود که در این روش، داده‌ها هر گاه در طول مسیر تشکیل شده به سمت گیرنده به هم می‌رسیدند، متراکم می‌شدند. به دلیل امکان رسیدن مسیرها در نزدیکی گره مقصد، در بعضی موارد ممکن است این روش کارایی لازم را نداشته باشد. روش دیگری که جهت بهبود این امر پیشنهاد شده، روش متراکم سازی حریصانه (greedy aggregation) است که در این روش درختی از مسیر منابع داده‌ها به سمت یک گیرنده طوری تشکیل می‌شود که تا حد امکان، انشعاب درخت در نزدیکی منابع صورت گیرد. روشهای دیگری هم برای بهبود متراکم‌سازی مانند متراکم سازی سیناپسی پیشنهاد شده است.

همچنین روشی به نام GEAR (Geographic Energy-Aware Routing) جهت بهبود عملکرد روش انتشار مستقیم پیشنهاد شده است که در این روش، به جای انتشار علاقه‌مندی‌ها به صورت سیل آسا، از محتویات آنها جهت انتشارشان استفاده می‌کنیم و علاقه‌مندی‌ها تنها در ناحیه مورد نظر، انتشار می‌یابند. همچنین به کمک این روش، منابع موجود، در مسیریابی تاثیر داده می‌شوند تا استفاده از منابع به صورت بهینه‌تری صورت پذیرد. روشهای دیگری نیز برای بهبود مصرف انرژی در روش انتشار مستقیم پیشنهاد شده‌اند که در بین آنها می‌توان به روش (Energy-efficient differentiated directed diffusion) اشاره کرد.

در حالت کلی روشهای گوناگونی جهت بهبود عملکرد الگوریتم انتشار مستقیم ارائه شده است که می‌توان از میان آنها به روش انتشار بیرون دهنده (push diffusion) برای کاربردهایی که در آنها تعداد گیرنده‌ها زیاد است و داده‌های تولید شده نیز حجم بالایی ندارد، اشاره کرد یا روش انتشار جذب یک مرحله‌ای (در مقابل روش اصلی که جذب دو مرحله‌ای هم نامیده می‌شود) که در این روش، منابع پس از دریافت علاقه‌مندی منطبق با داده‌هایشان، مستقیماً پیغام‌های داده را به سمت گیرنده ارسال می‌کنند. همچنین روشهایی برای تقسیم کردن شبکه به دسته‌های کوچکتر پیشنهاد شده است مانند روش LEACH که یک روش سلسله مراتبی فعال است ولی از روش انتشار مستقیم بهره نمی‌برد.

در این روش برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از خالی شدن سریع باتری گره‌هایی که به عنوان سردسته انتخاب می‌شوند، از الگوریتمی جهت پراکندن آنها در سطح شبکه به صورت تصادفی، پیشنهاد شده است. در این روش گره‌ها خودشان و بدون نیاز به ارتباط با گره‌های دیگر، تعیین می‌کنند که در ابتدای هر دور به عنوان سردسته فعالیت کنند یا خیر. سپس گره‌هایی که به عنوان سردسته انتخاب می‌شوند این موضوع را به گره‌های اطراف خود اطلاع می‌دهند و گره‌های اطراف نیز با دریافت پیغام سردسته‌ها، گره‌ای را به عنوان سردسته انتخاب می‌کنند که بیشترین قدرت سیگنال را از آن دریافت کنند. سپس در داخل هر دسته برای جلوگیری از تداخل بین سیگنالهای دسته‌های مجاور از روش CDMA استفاده می‌شود.

روشهای مطرح شده در بالا همگی بر اساس به حداقل رساندن مصرف کل انرژی در شبکه طراحی شده‌اند و هیچ‌گونه تفکیکی بین کیفیت سرویس ارائه شده بین جریان‌های مختلف قائل نمی‌شوند ولی در برخی از روش‌ها مانند روش EDDD، علاوه بر هدف بهینه کردن توان مصرف شده در گره‌ها، بر روی کیفیت سرویس ارائه شده برای جریان داده‌های مختلف نیز تاکید می‌شود. در روش EDDD، دو ترافیک مختلف BE که حساسیت زمانی خاصی ندارد و ترافیک RT (زمان حقیقی) که به تاخیر زمانی حساس است، معرفی می‌شود و بر خورد گره‌ها میانی در طول یک مسیر با این دو جریان متفاوت است. گره‌ها در برخورد با جریان‌های BE، گره‌های بعدی را از روی گره‌هایی با حداکثر انرژی موجود انتخاب می‌کنند تا مصرف توان در شبکه را متعادل سازند ولی در مورد جریان‌های RT، گره‌هایی با حداقل فاصله با مقصد ترجیح داده می‌شوند تا تاخیر ناشی از ارسال

اطلاعات به حداقل مقدار ممکن برسد. البته در این روش برای هر دو جریان، توازنی میان مصرف متعادل انرژی و حداقل فاصله با مقصد ایجاد شده است.

## فصل چهارم: نتیجه‌گیری

همانگونه که در فصل‌های قبل ذکر شده، یکی از مهمترین مسائل در شبکه‌های حسگر، استفاده بهینه از منابع موجود در شبکه است؛ چون معمولاً در چنین شبکه‌هایی، با تمام شدن منابع انرژی یک گره، آن گره از چرخه کار شبکه حذف می‌شود و معمولاً تعویض کردن منبع انرژی و استفاده مجدد از یک گره، که منبع انرژی آن به پایان رسیده است، مقرون به صرفه یا در مواردی مقدور نیست و به جای چنین کاری، گره‌های جدیدی در شبکه جایگزین می‌شود؛ پس با صرفه‌جویی در مصرف انرژی در هر گره می‌توان به طور قابل ملاحظه‌ای هزینه نگهداری شبکه را کاهش داد.

همانطور که می‌دانیم، عمده انرژی که یک گره حسگر استفاده می‌کند، صرف تبادل اطلاعات بین آن گره با سایر گره‌ها می‌شود و ارتباطات رادیویی بیشترین هزینه انرژی را برای گره‌ها در بر دارد. بر اساس یک آزمایش بدست آمده، ثابت شده است که انتقال یک بیت در یک شبکه حسگر در طول صد گره، تقریباً معادل با ۳۰۰۰ دستورالعمل اجرا شده در هر گره، از لحاظ انرژی هزینه دارد. به همین دلیل تا کنون روشهای زیادی در جهت کاهش سربار ترافیکی گره‌ها ارائه شده است و بر روی مواردی همچون متراکم‌سازی و فشرده‌سازی اطلاعات، رویکردهای زیادی ارائه شده است.

یکی از ساده‌ترین روش‌ها در انتقال اطلاعات در شبکه‌های حسگر، روش‌های پایه ریزی شده بر اساس روش همه‌پخشی سیل‌آسا است که ساده‌ترین آنها، خود روش سیل‌آسا می‌باشد. روش‌هایی دیگری نیز به‌منظور بهبود دادن عملکرد روش سیل‌آسا ارائه شده‌اند که هر یک به نحوی، سعی در بر طرف کردن یک یا چند تا از نقاط ضعف این الگوریتم دارند. مثلاً روش انتشار شایعه پراکن، به منظور کاهش دادن مشکل تصادم در الگوریتم سیل‌آسا، به جای ارسال یک نسخه کپی از داده‌ها به تمامی همسایگان یک گره، این کار را تنها برای یک گره همسایه که به صورت تصادفی انتخاب شده انجام می‌دهد. این روش اگرچه تا حدی مشکل تصادم را بر طرف می‌کند ولی سرعت انتشار را پایین می‌آورد که ممکن است به میزانی پایین‌تر از حداقل سرعت قابل قبول برسد. به صورت کلی هر روشی که بر مبنای روش پخش سیل‌آسا پایه ریزی شده باشد، با استفاده از انرژی تمامی گره‌ها، بزودی منابع تمامی شبکه را مورد مصرف قرار می‌دهد و بنابر این برای استفاده در شبکه‌های حسگر مناسب نمی‌باشد.

دسته دیگر از الگوریتم‌های مطرح شده سعی بر آن دارند که به کمک نام‌گذاری اطلاعات با استفاده از خصوصیات آنها، قبل از ارسال اطلاعات، اطمینان پیدا می‌کنند که گیرنده داده‌های ارسالی را در اختیار ندارد. دو دسته از روشهای مطرح شده در این زمینه الگوریتم‌های SPIN و انتشار مستقیم هستند که در الگوریتم SPIN برای نام‌گذاری داده‌ها از شبه-داده‌ها استفاده می‌شود و در الگوریتم انتشار مستقیم، از زوج‌های صفت-مقدار، جهت نامگذاری داده‌ها استفاده می‌شود.

در الگوریتم SPIN از یک فاز دست‌تکانی سه مرحله‌ای جهت ارسال داده‌ها استفاده می‌شود و همچنین در این روش در هر گره، یک مدیر منابع، مسوولیت مدیریت منابع در هر گره را بر عهده دارد و با پایین‌تر آمدن منابع موجود یک گره از یک حد آستانه، مانع از شرکت گره در فعالیتهایی مانند انتقال اطلاعات تولید شده توسط سایر گره‌ها می‌شود. این کار باعث افزایش متوسط طول عمر هر گره در سطح شبکه شده و طول عمر شبکه را افزایش می‌دهد. نقطه ضعف اصلی روش SPIN، عدم استفاده کارآمد از محتویات داده‌ها جهت خلاصه‌سازی و متراکم‌سازی موثر اطلاعات است. همچنین این روش، یک روش فرستنده محور است که باعث می‌شود داده‌ها بدون اطلاع از مسیر گیرنده و داده‌های مورد نیاز گیرنده مرکزی، به صورت کورکورانه در طول سطح شبکه منتشر شوند.

در الگوریتم انتشار مستقیم، بر خلاف روش SPIN، داده‌ها به صورت جهت دار منتشر می‌شوند و همچنین هر گره به محتویات داده ارسالی دسترسی دارد و می‌تواند به ترکیب و خلاصه‌سازی اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت محلی، از حجم سربار ترافیکی شبکه تا میزان نسبتاً بالایی بکاهد. الگوریتم انتشار مستقیم یک روش گیرنده-محور است چون در این روش ابتدا اطلاعات مورد نیاز در قالب یک بسته علاقه‌مندی در طول سطح شبکه منتشر می‌شود و گیرنده‌هایی که داده مورد نظر را در اختیار داشته باشند، با دریافت مشخصات اطلاعات مورد نیاز، آنها را از طریق مسیرهایی که از قبل در هنگام ارسال علاقه‌مندی تشکیل شده است، ارسال می‌کنند.



تا کنون روشهای بسیاری در جهت بهبود عملکرد روش انتشار مستقیم ارائه شده است و امروزه این روش، به عنوان یکی از روش‌های پایه، در مسیریابی شبکه‌های حسگر مطرح است. یکی از این روش‌ها الگوریتم GEAR است که مسیریابی را با استفاده از موقعیت جغرافیایی گره‌ها و میزان انرژی موجود در آنها، انجام می‌دهد. روشهای دیگری نیز جهت بهبود قابلیت اطمینان اطلاعات ارسال شده مانند الگوریتم RMST؛ همچنین روش‌هایی نیز جهت بهبود عملکرد این روش در کاربردهای مختلف، مانند هنگامی که تعداد منابع نسبت به گیرنده‌ها زیاد می‌شود یا در صورتی که تعداد گیرنده‌ها نسبت به فرستنده‌ها زیاد است، پیشنهاد شده است. روشهایی نیز در جهت استفاده از مفهوم دسته‌بندی در این الگوریتم، پیشنهاد شده است. در حال حاضر نیز بر روی این روش کارهای زیادی صورت می‌گیرد و با توجه به مزایای این روش، به نظر می‌رسد که در آینده، روش انتشار مستقیم به عنوان یکی از روشهای اصلی مسیریابی در شبکه‌های حسگر، به کار رود. روش EDDDD نیز در همین راستا، جهت پشتیبانی از کیفیت سرویس در روش انتشار مستقیم، پیشنهاد شده است. این روش ترافیک موجود در شبکه را به دو دسته BE و RT تقسیم می‌کند که دسته اول، طوری مسیریابی می‌شود که میزان توازن انرژی در شبکه افزایش یابد و بدین وسیله طول عمر مفید شبکه افزایش پیدا کند و دسته دوم طوری مسیریابی می‌شود که حداقل زمان لازم جهت رسیدن اطلاعات از فرستنده به گیرنده صرف شود.

یکی از مواردی که در زمینه بهبود عملکرد الگوریتمهای مطرح شده جهت انتشار اطلاعات در شبکه‌های حسگر می‌توان در نظر گرفت، این حقیقت است که پدیده‌های مشاهده شده توسط شبکه‌های حسگر اغلب پدیده‌های طبیعی هستند که سرعت تغییرات نسبتاً کمی دارند. ما می‌توانیم از این واقعیت برای فشرده‌سازی موثر اطلاعات استفاده کنیم؛ به این صورت که جهت کاهش ترافیک بین منبع و گیرنده‌ها در شبکه می‌توان داده‌ها را در نقطه‌ای نزدیک منابع جمع‌آوری و خلاصه کرد و سپس نتایج بازه زمانی مشاهده شده را در قالب یک پیغام، از گره جمع‌آوری کننده اطلاعات به گیرنده ارسال کرد که این عمل تأثیر قابل توجهی بر کاهش ترافیک عبوری در شبکه خواهد داشت.

روشهای مختلفی می‌توان برای انتخاب این نقطه در نظر گرفت که بعضی از آنها در روشهای سلسله‌مراتبی ارائه شده مانند روش LEACH یا روش انتشار مستقیم با کمک دسته‌بندی شبکه، که هر کدام از این روش‌ها رویکرد خاص خود را برای انتخاب گره ریشه دارند. همچنین جهت ترکیب اطلاعات به صورت موضعی و پرسجوهای تو در تو به صورت محلی جهت بالا بردن دقت اطلاعات جمع‌آوری شده و پایداری شبکه، می‌توان از پسخور موضعی (local feedback)، استفاده نمود.

## منابع و مراجع:

- [1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva, “**Directed diffusion for wireless sensor networking**,” *ACM/IEEE Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, pp. 2-16, 2002.
- [2] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, and D. Ganesan, “**Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming**,” *In Proceedings of the Symposium on Operating Systems Principles*, p 146-159, October 2001.
- [3] J. Heidemann, F. Silva, and D. Estrin, “**Matching Data Dissemination Algorithms to Application Requirements**,” *The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys'03)*, p 218-229, November 2003.
- [4] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, “**The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks**,” *International Workshop on Distributed Event-Based Systems, (DEBS '02)*, p 457-458, July 2002.
- [5] John Heidemann, Fabio Silva, Yan Yu, Deborah Estrin, and Padmaparma Haldar. “**Diffusion Filters as a Flexible Architecture for Event Notification in Wireless Sensor Networks**.” *Technical Report ISI-TR-556, USC/Information Sciences Institute*, April, 2002
- [6] Yan Yu, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin. “**Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination rotocol for wireless sensor networks**.” *Technical Report TR-01-0023, University of California, Los Angeles, Computer Science Department*, 2001.
- [7] W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan “**Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks**,” *Proc. of the ACM MobiCom99*, p 174-185, Seattle ACM Press, 1999.
- [8] H. Qi, P. T. Kuruganti , Y. Xu “**The Development of Localized Algorithms in Wireless Sensor Networks**,” *Sensors 2002*, vol 2, pp 286-293
- [9] V. Handziski, A. K"opke, H. Karl, C. Frank, W. Drytkiewicz, “**Improving the Energy Efficiency of Directed Diffusion Using Passive Clustering**,” *European Workshop on Wireless Sensor Networks 2004 (EWSN 2004)*, pp. 172–187, 2004.
- [10] M. Chen, T. Kwon, Y. Choi, “**Energy-efficient differentiated directed diffusion (EDDD) for real-time traffic in wireless sensor networks**,” *Computer Communications*, May. 2005
- [11] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “**Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks**,” *Proceedings of the Hawaii International Conference on Systems Sciences*, Jan. 2000.
- [12] P. Levis, S. Madden, D. Gay, J. Polastre, R. Szewczyk, A. Woo, E. Brewer, and D. Culler, “**The Emergence of Networking Abstractions and Techniques in TinyOS**,” *Proceedings of the First USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, NSDI 2004, 2004.
- [13] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister. “**System architecture directions for network sensors**.” *Proceedings of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, pages 93–104, Cambridge, MA, USA, Nov. 2000. ACM.

- [14] T. Liu, C. M. Sadler, P. Zhang, and M. Martonosi. “**Implementing software on resourceconstrained mobile sensors: experiences with impala and zebranet.**” In *MobiSYS '04: Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems, applications, and services*, p 256–269. ACM Press, 2004.
- [15] C.-Y. Chong and S. Pumar, “**Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges,**” *Proceedings of the IEEE* 91, pp. 1247–1256, Aug. 2003.
- [16] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “**A Survey on Sensor Networks,**” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-116, August 2002
- [17] David Culler, Deborah Estrin, Mani Srivastava, “**Overview of Sensor Networks,**” *IEEE Computer Society*, vol. 37, Issue. 8, August 2004, pp41-49
- [18] Fred Stann and John Heidemann. “**RMST: Reliable Data Transport in Sensor Networks.**” In *Proceedings of the First International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications*, Anchorage, Alaska, USA, April 2003. USC/Information Sciences Institute, IEEE.
- [19] D. Braginsky and D. Estrin, “**Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks,**” in the *Proceedings of the First Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA)*, Atlanta, GA, October 2002.
- [20] Luo, H., Ye, F., Cheng, J., Lu, S., Zhang, L. “**TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks.**” *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET)*, Special Issue on ACM MOBICOM (2003)
- [21] V. Handziski, A. Köpke, H Karl, C. Frank, and W. Drytkiewicz, “**Improving the energy efficiency of directed diffusion using passive clustering**”, in *Proc. 1st European Workshop on Wireless Sensor Networks*, Berlin, Germany, January 2004, pp. 172 – 187.