دانشگاه تبریز
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار

عنوان

ارائه راهکارهای خوشه‌بندی به منظور افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم

استاد راهنما

دکتر مینا زلفی لیقوان

استاد مشاور

دکتر سعید پاشازاده

پژوهشگر

همتا صدقانی

شهریور ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

سپاسگزاری...

در آغاز وظیفه خود می‌دانم از زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای خود، سرکار خانم دکتر مینا زلفی لیقوان و جناب آقای دکتر سعید پاشازاده صمیمانه تشکر و قدردانی کنم که بدون راهنمایی‌های ارزنده ایشان، این مجموعه به اتمام نمی‌رسید.

همچنین لازم می‌دانم از تمامی دوستان عزیزم که مرا در گردآوری این پایان‌نامه یاری کرده‌اند، کمال قدردانی را داشته باشم.

در پایان از مادر و پدر خود، که با زحمات جبران‌ناپذیر، محبت و امیدبخشی، بهترین پشتیبان من می‌باشند تشکر می‌نمایم.

همتا صدقانی

نام خانوادگی:صدقانی **نام:**همتا

عنوان پایان‌نامه: ارائه راهکارهای خوشه‌بندی به منظور افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم

استاد راهنما: دکتر مینا زلفی لیقوان **استاد مشاور:** دکتر سعید پاشازاده

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی کامپیوتر **گرایش:** نرم‌افزار

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** مهندسی برق و کامپیوتر

تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۳/۰۶/۱۹ **تعداد صفحات:**۱۱۸

کلید واژه‌ها:

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، الگوریتم‌های مسیریابی، خوشه‌بندی، کاهش مصرف انرژی، چاهک.

چکیده:

شبکه‌های حسگر بی‌سیم نسل جدیدی از شبکه‌ها هستند که به طور معمول، از تعداد زیادی گره حسگر ارزان‌قیمت 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 ایستگاه پایه و یا چاهک ارسال می‌کنند. حسگرها معمولا در نواحی که قابل دسترسی توسط انسان نیستند، توزیع می‌شوند مانند جنگل‌ها، در نتیجه قابل شارژ نیستند. بنابراین، مصرف انرژی و طول عمر در این شبکه‌ها چالش مهمی است.

در این پایان‌نامه، سه الگوریتم مسیریابی انرژی کارای مبتنی بر خوشه‌بندی ارائه شده است. اولین الگوریتم پیشنهادی با نام SCMR، بر اساس خوشه‌بندی ایستا و انتقال چندگامی است. دومین الگوریتم، PDH-Clustering نامیده شده که بر اساس خوشه‌بندی پویا عمل می‌کند و برای هر گره یک اولویت اختصاص می‌دهد و بر اساس آن اولویت‌ها سرخوشه‌ها را انتخاب می‌کند. این الگوریتم، از نوع الگوریتم مسیریابی توزیع شده است. سومین الگوریتم پیشنهادی، بر اساس روش ELECTRE، که یک نوع از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است،عمل می‌کند. این الگوریتم با استفاده از روش ELECTRE، سرخوشه‌ها را انتخاب می‌کند و بر اساس خوشه‌بندی پویاست و الگوریتمی توزیع شده است.

در انتهای این پایان‌نامه، ما الگوریتم‌های پیشنهادی را با استفاده از نرم افزار MATLAB، شبیه‌سازی کردیم. نتیجه شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم‌های پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های قبلی مانند LEACH، HEED، TOPSIS و EEPSC توانسته‌اند مصرف انرژی را متعادل‌تر کرده و منجر به افزایش قابل توجهی در طول عمر پایدار شبکه شوند.

عنوان فهرست مطالب شماره صفحه

فصل اول: مقدمه..... ۲

1-1 مروری بر شبکه‌های حسگر..... ۳

1-1-1 کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر..... ۳

۱-۱-۲ محدودیت‌های سخت‌افزاری یک گره حسگر..... ۵

۱-۱-۳ معماری شبکه‌های حسگر..... ۶

۱-۱-۴ معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر..... ۶

۱-۱-۵ اجزای سخت‌افزاری..... ۷

۱-۱-۶ اجزای نرم‌افزاری..... ۸

۱-۱-۶-۱ سیستم عامل Tiny OS..... ۸

۱-۲ اصطلاحات..... ۸

۱-۳ بیان مسئله..... ۱۰

۱-۴ اهداف پایان‌نامه..... ۱۰

۱-۵ سازمان پایان‌نامه..... ۱۱

فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته..... ۱۲

۲-۱ مقدمه..... ۱۳

2-2 تصمیم‌گیری و انواع مدل‌های آن..... ۱۳

۲-۲-۱ مدل‌های تصمیم‌گیری..... ۱۳

۲-۲-۱-۱ مدل‌های کلاسیک تحقیق در عملیات..... ۱۳

۲-۲-۱-۲ مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره..... ۱۴

۲-۲-۲ تصمیم‌گیری چند معیاره..... ۱۴

۲-۲-۲-۱ معیارهای تصمیم گیری..... ۱۴

عنوان فهرست مطالب شماره صفحه

۲-۲-۲-۲ مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه(MODM) ۱۵
۲-۲-۳ تصمیم‌گیری چند شاخصه ۱۵
۲-۲-۳-۱ تعریف هدف مساله ۱۶
۲-۲-۳-۲ تعیین شاخص‌های ارزیابی ۱۷
۲-۲-۳-۳ تعیین گزینه‌ها ۱۷
۲-۲-۳-۴ تعیین روش امتیازدهی به شاخص‌ها ۱۷
۲-۲-۳-۴-۱ ماتریس تصمیم‌گیری ۱۸
۲-۲-۳-۵ ارزیابی شاخص‌ها ۱۸
۲-۲-۳-۶ بی‌مقیاس‌سازی ۱۸
۲-۲-۳-۶-۱ بی‌مقیاس‌سازی با استفاده از نُرم ۱۸
۲-۲-۳-۶-۲ بی‌مقیاس‌سازی خطی ۱۹
۲-۲-۳-۶-۳ بی‌مقیاس‌سازی فازی ۱۹
۲-۲-۳-۷ تعیین وزن شاخص‌ها ۲۰
۲-۲-۳-۷-۱ وزن‌دهی به روش آنتروپی شانون ۲۰
۲-۲-۳-۸ مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ۲۱
۲-۲-۳-۸-۱ مدل TOPSIS ۲۱
۲-۲-۳-۸-۲ مدل ELECTRE ۲۲
۲-۳ مروری بر روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر ۲۵
۲-۳-۱ پروتکل‌های مبتنی بر داده ۲۵
۲-۳-۱-۱ روش سیل‌آسا ۲۶
۲-۳-۱-۲ روش شایعه‌پراکنی ۲۸
۲-۳-۱-۳ روش SPIN ۲۹

عنوان فهرست مطالب شماره صفحه

۲-۳-۱-۳-۱ پیغام‌های SPIN ۳۰

۲-۳-۱-۳-۲ SPIN-1: یک روش دست تکانی سه مرحله‌ای ۳۰

۲-۳-۱-۳-۳ SPIN-2: SPIN-1 با یک آستانه انرژی پایین ۳۱

۲-۳-۱-۴ روش انتشار هدایت شده ۳۲

۲-۳-۲ پروتکل‌های سلسله مراتبی ۳۳

۲-۳-۲-۱ روش LEACH ۳۴

۲-۳-۲-۱-۱ مراحل الگوریتم LEACH ۳۷

۲-۳-۲-۲ روش PEGASIS ۴۰

۲-۳-۲-۳ روش Hierarchical-PEGASIS ۴۱

۲-۳-۲-۴ روش TEEN ۴۲

۲-۳-۲-۵ روش HEED ۴۳

۲-۳-۲-۶ روش T-LEACH ۴۴

۲-۳-۲-۷ روش Z-LEACH ۴۶

۲-۳-۲-۸ روش EEPSC ۴۸

۲-۳-۲-۹ روش TOPSIS ۴۸

۲-۳-۳ پروتکل‌های مبتنی بر مکان ۴۹

۲-۳-۳-۱ روش MECN ۴۹

۲-۳-۳-۲ روش SMECN ۵۰

۲-۳-۳-۳ روش GAF ۵۱

۲-۳-۳-۴ روش GEAR ۵۲

۲-۳-۴ پروتکل‌های آگاه از کیفیت سرویس ۵۳

۲-۳-۴-۱ روش SAR ۵۴

عنوان فهرست مطالب شماره صفحه

۲-۳-۴-۲ روش SPEED ۵۴

۲-۴ خلاصه فصل دوم ۵۵

فصل سوم: الگوریتم‌های پیشنهادی ۵۶

۳-۱ مقدمه ۵۷

۳-۲ الگوریتم پیشنهادی اول (SCMR) ۵۷

۳-۲-۱ مزایا و معایب افزایش یا کاهش شعاع ۵۸

۳-۲-۲ تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها ۵۹

3-2-3 مراحل الگوریتم SCMR ۵۹

۳-۲-۳-۱ فاز راه‌اندازی ۶۰

۳-۲-۳-۲ فاز حالت پایدار ۶۴

3-3 الگوریتم پیشنهادی دوم (PDH-Clustring) ۶۶

۳-۳-۱ مراحل الگوریتم ۶۹

۳-۳-۱-۱ مرحله اول ۶۹

۳-۳-۱-۲ مرحله دوم ۶۹

۳-۳-۱-۳ مرحله سوم ۷۰

۳-۴ الگوریتم پیشنهادی سوم ۷۳

۳-۴-۱ استفاده از روش ELECTRE برای انتخاب سرخوشه ۷۴

۳-۴-۱-۱ مرحله اول: محاسبه فاصله هر گره تا ایستگاه پایه ۷۴

۳-۴-۱-۲ مرحله دوم: کشف همسایگان ۷۵

۳-۴-۱-۳ مرحله سوم: انتخاب سرخوشه ۷۶

۳-۴-۱-۴ مرحله چهارم: ارتباط بین گره‌ها ۷۷

۳-۵ خلاصه فصل سوم ۷۹

عنوان فهرست مطالب شماره صفحه

فصل چهارم: ارزیابی کارایی و نتایج شبیه‌سازی ۸۱
۴-۱ مقدمه ۸۲
۴-۲ مقدمات شبیه‌سازی ۸۲
۴-۳ الگوریتم پیشنهادی اول ۸۳
۴-۳-۱ ارزیابی طول عمر شبکه ۸۴
۴-۳-۲ ارزیابی مرگ اولین گره در شبکه ۸۷
۴-۳-۳ دلایل بهبود طول عمر شبکه در الگوریتم SCMR ۸۷
4-4 الگوریتم پیشنهادی دوم ۸۸
۴-۴-۱ ارزیابی طول عمر شبکه ۸۸
۴-۴-۲ ارزیابی مرگ اولین گره در شبکه ۸۹
۴-۴-۳ دلایل بهبود طول عمر شبکه در الگوریتم PDH-Clustering ۹۰
۴-۵ الگوریتم پیشنهادی سوم ۹۰
۴-۵-۱ ارزیابی طول عمر شبکه ۹۰
۴-۵-۲ ارزیابی مرگ اولین گره در شبکه ۹۳
۴-۵-۳ دلایل بهبود طول عمر شبکه در الگوریتم ELECTRE ۹۴
۴-۶ خلاصه فصل چهارم ۹۵
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و کارهای آتی ۹۶
۵-۱ نتیجه‌گیری ۹۷
۵-۲ کارهای آتی ۹۸
منابع و مراجع ۹۹

عنوان فهرست شکل‌ها شماره صفحه

شکل ۱-۱: معماری ارتباطی شبکه‌های حسگر بی‌سیم. ۷

شکل ۱-۲: معماری سخت‌افزار هر گره شبکه‌های حسگر. ۸

شکل ۲-۱: معیارهای تصمیم‌گیری. ۱۵

شکل ۲-۲: الگوریتم حل مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه. ۱۶

شکل ۲-۳: پدیده انفجار. ۲۷

شکل ۲-۴: پدیده هم‌پوشانی ۲۷

شکل۲-۵: روش شایعه‌پراکنی. ۲۸

شکل ۲-۶: الگوریتم دست تکانی در SPIN. ۳۰

شکل ۲-۷: نحوه عملکرد الگوریتم انتشار هدایت شده. ۳۳

شکل ۲-۸: نحوه خوشه‌بندی در زمانهای t و t+c. ۳۶

شکل ۲-۹: میزان هنجار شده مصرف انرژی سیستم در مقابل درصد گره‌های سرخوشه. ۳۷

شکل ۲-۱۰: طول عمر حسگرها با میزان انرژی‌های اولیه متفاوت. ۳۷

شکل ۲-۱۱: زنجیره در PEGASIS. ۴۱

شکل ۲-۱۲: زنجیره‌ها و سطوح مختلف در Hierarchical-PEGASIS. ۴۲

شکل ۲-۱۳: روش TEEN. ۴۳

شکل ۲-۱۴: ناحیه رله جفت گره (i,r). ۵۰

شکل ۲-۱۵: مثالی از شبکه مجازی در الگوریتم GAF. ۵۱

شکل ۲-۱۶: سه وضعیت تعریف شده در GAF. ۵۲

شکل ۲-۱۷: مولفههای مسیریابی SPEED. ۵۵

شکل ۳-۱: فاصله هرگره تا سرخوشه.. ..... ۵۸

شکل ۳-۲: مثالی از الگوریتم پیشنهادی. ۶۱

شکل ۳-۳: الگوریتم SCMR: فاز راه‌اندازی، مرحله اول..... ۶۲
شکل ۳-۴: الگوریتم SCMR: فاز راه‌اندازی، مرحله دوم ۶۳
شکل ۳-۵: الگوریتم SCMR: فاز پایداری..... ۶۶
شکل ۳-۶: الگوریتم PDH-Clustering:مرحله اول..... ۷۱
شکل ۳-۷: الگوریتم PDH-Clustering:مرحله دوم ۷۲
شکل ۳-۸: الگوریتم PDH-Clustering:مرحله سوم ۷۳
شکل ۳-۹: الگوریتمِ ELECTRE:مرحله دوم..... ۷۶
شکل ۳-۱۰: الگوریتم ELECTRE: مرحله‌ی سوم..... ۷۹
شکل ۳-۱۱: الگوریتم ELECTRE:مرحله چهارم..... ۸۰
شکل ۴-۱: محیط شبیه‌سازی الگوریتم SCMR. ۸۴
شکل ۴-۲: زمان مرگ اولین گره بر اساس مقادیر مختلف R_1 و R_2. ..... ۸۵
شکل ۴-3: تعداد گره‌های زنده در هر دوره در سه الگوریتم مورد مقایسه. ۸۶
شکل ۴-4: تعداد گره‌های زنده در هر دوره تا مرگ ۱۸۰ گرهی اول. ۸۷
شکل ۴-5: انرژی مصرفی شبکه..... ۸۷
شکل ۴-6: دوره‌ای که اولین گره می‌میرد با تغییر تعداد گره‌های موجود در شبکه در الگوریتم‌های SCMR و LEACH و EEPSC..... ۸۸
شکل ۴-7: تعداد گرههای زنده در هر دوره در سه الگوریتم مورد مقایسه..... ۸۹
شکل ۴-۸: انرژی مصرفی شبکه..... ۹۰
شکل ۴-۹: دوره‌ای که اولین گره می‌میرد با تغییر تعداد گره‌های موجود در شبکه در الگوریتم‌های PDH-Clustering و LEACH و HEED. ۹۱
شکل ۴-۱۰: تعداد گره‌های زنده در هر دوره در الگوریتم‌های مورد مقایسه..... ۹۳
شکل ۴-۱۱: تعداد گره‌های زنده در هر دوره در سه الگوریتم مورد مقایسه. ۹۳
شکل ۴-۱۲: انرژی مصرفی شبکه در الگوریتم‌های مذکور..... ۹۳

شکل ۴-۱۳: دوره‌ای که اولین گره می‌میرد با تغییر تعداد گره‌های موجود در شبکه در الگوریتم ELECTRE و LEACH و TOPSIS. ۹۵

عنوان فهرست جداول شماره صفحه

جدول ۱-۱: اصطلاحات بکار رفته در این پایان‌نامه ۹
جدول ۳-۱ : ماتریس حاصل از الگوریتم ELECTRE برای سه گره. ۷۷
جدول ۴-۱: مقادیرلازم برای مصرف انرژی‌ها در الگوریتم‌های پیشنهادی. ۸۳
جدول ۴-۲: وزن شاخص‌ها برای هر سناریو. ۹۲
جدول ۴-۳: زمان مرگ اولین گره در هر الگوریتم. ۹۴

فصل اول

مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد بسیاری را در زمینه شبکه‌های حسگر، شاهد بوده‌ایم. شبکه‌های حسگر شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر بسیار کوچک می‌باشند که برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر خلاف شبکه‌های موردی[1] که شاید در نگاه اول بسیار شبیه به شبکه‌های حسگر به نظر بیایند، گره‌ها در شبکه‌های حسگر، معمولاً فاقد آدرس‌های منحصر بفرد می‌باشند و آنچه بیشتر در این شبکه‌ها حائز اهمیت است، اطلاعات جمع‌آوری شده توسط حسگرهای شبکه است. همچنین به دلیل عدم دسترسی به گره‌ها پس از فرآیند پراکندن آن‌ها در محیط، گره‌های شبکه پس از مصرف انرژی موجود، عملاً بدون استفاده شده و خواهند مرد. بنابراین مساله انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن، یکی از چالش‌های مطرح در این شبکه‌هاست و کارهای زیادی هم در سال‌های اخیر در این مورد صورت گرفته است.

امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های حسگر مطرح شده است و روز به روز هم بر تعداد آن-ها افزوده می‌شود. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده در میدان‌های جنگی، شناسایی محیط-های آلوده، نظارت کردن بر 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 کم، نرخ بیت پائین، خودمختار بودن گره‌ها و نهایتا به قابلیت تطبیق‌پذیری با تغییرات محیط اشاره کرد. هر شبکه حسگر از تعداد زیادی گره ارزان‌قیمت با اندازه کوچک، تشکیل شده است و هر گره نیز از مجموعه‌ای از اجزای سخت افزاری 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.

[1] Ad-hoc

۱-۱ مروری بر شبکه‌های حسگر

در این بخش 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 سخت‌افزاری هر گره به بحث و بررسی خواهیم پرداخت.

۱-۱-۱ کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر

همان طور 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 رده‌بندی و پیگیری 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 انواع آلودگی‌ها محتمل است. 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 وضعیت آلودگی در سطح محیط تحت 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.
- **نظارت کردن محیط زیست**: مجموعه‌ای از تحقیقات در زمینه محیط زیست نیازمند انجام مطالعات مکرر و متمرکز و صرف زمان زیادی جهت جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد که معمولا از حوصله و توانایی چشمان انسان خارج است و در چنین مواردی از دستگاه‌های مانیتورینگ، تحلیلگر و ذخیره‌کننده 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 هزینه پایین مصرفی، در زمینه مانیتور کردن محیط زیست، از توانایی بالایی برخودار می‌باشند. در مواردی همچون بررسی وضعیت آب‌وهوای 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، پل ها، 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 بُروز 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 زیست‌شناسی و یا در مورد 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 محیط‌هایی که عاری از پارازیت و اختلال باشند، 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.

۱-۱-۲ محدودیت‌های سخت‌افزاری یک گره حسگر

عواملی چون اقتصادی بودن سیستم، قابلیت مورد انتظار، تعداد انبوه گره‌ها و نهایتا عملی شدن ایده‌ها در محیط واقعی، موجب گشته هر گره یکسری محدودیت‌های سخت‌افزاری 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 هزار) ضرب می‌گردد، بنابراین هر چه از هزینه‌ی هر گره کاسته شود، در سطح کلی شبکه، صرفه‌جویی 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، عملا میزان نرخ انتقال و پردازش اطلاعات در گره‌ها، نسبتا 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 انطباق:** در طول انجام نظارت بر محیط، ممکن است شرایط در هر زمانی دچار تغییر و تحول شود. مثلا برخی از گره‌ها خراب گردند. لذا هر گره بایستی بتواند وضعیت خود را با شرایط بوجود آمده جدید تطبیق دهد.

۱-۱-۳ معماری شبکه‌های حسگر

هر شبکه حسگر از تعداد زیادی گره ارزان‌قیمت 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. همچنین سیستم عامل نسبتا 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 [۱].

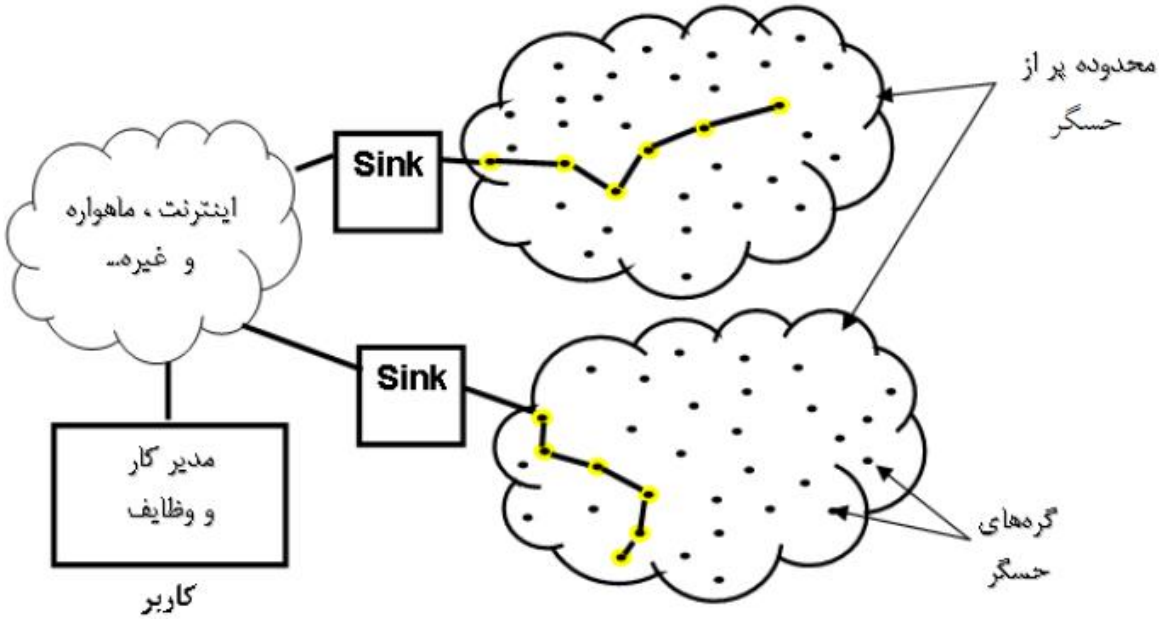
۱-۱-۴ معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر

همانطور که در مقدمه بیان شد، شبکه‌های حسگر در حالت کلی ماهیت داده-محور[1] 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 عملا امکان اتصال گره‌ها به یکدیگر عملی یا مقرون به صرفه نیست، در این گونه شبکه‌ها عموما 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 ایستگاه پایه[2] یا چاهک[3] ارسال می‌کنند. در شبکه‌های با وسعت جغرافیایی زیاد، می‌توان از چندین ایستگاه پایه استفاده کرد تا مسیر ارسال داده‌ها به گیرنده‌ها، بیش از حد طولانی نگردد.

از آنجایی که ارسال مستقیم رادیویی در فواصل زیاد، به انرژی بسیار زیادی نیاز دارد، در شبکه-های حسگر، از روش‌های انتقال اطلاعات به صورت گام به گام استفاده می‌شود. علاوه بر این مورد، در

[1] Data centric
[2] Base station
[3] Sink

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، مختصرا آورده شده اند. شکل ۱-۱ شمایی از معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر، نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: معماری ارتباطی شبکه‌های حسگر بی‌سیم [۲].

۱-۱-۵ اجزای سخت‌افزاری

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 شکل ۱-۲ معماری کلی سخت‌افزار یک گره حسگر نشان داده شده است.