به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

مسیریابی خوشه‌ای در شبکه‌های حسگر با توجه به توان و معیارهای کیفیت سرویس

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- معماری کامپیوتر

آزاده السادات عمرانی زرندی

استاد راهنما

دکتر پژمان خدیوی

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی کامپیوتر– معماری خانم آزاده السادات عمرانی

تحت عنوان

مسیریابی خوشه‌ای در شبکه‌های حسگر با توجه به توان و معیارهای کیفیت سرویس

در تاریخ ۸۹/۱۰/۲۹ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر پژمان خدیوی
۲- استاد داور	دکتر شادرخ سماوی
۳- استاد داور	دکتر مهدی مهدوی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سید محمود مدرس هاشمی

بر خود لازم می‌دانم که از توجه و راهنمایی تمام کسانی که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند، سپاسگزاری نمایم. از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی یاور من بودند، تشکر می‌کنم. همچنین از استاد بزرگوار، جناب آقای دکتر پژمان خدیوی که وقت زیادی صرف راهنمایی اینجانب نمودند، کمال تشکر را دارم.

آزاده السادات عمرانی زرندی

دی ماه ۸۹

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به :

پدر، مادر و برادران عزیزم، مادربزرگ و پدربزرگ بزرگوارم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ شرح و اهمیت موضوع ۲

۱-۲ اهداف تحقیق ۳

۱-۳ ساختار پایان‌نامه ۴

فصل دوم: شبکه‌های حسگر بی‌سیم

۲-۱ مقدمه ۶

۲-۲ معرفی شبکه‌های بی‌سیم ۷

۲-۳ شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۷

۲-۳-۱ ساختمان گره ۹

۲-۳-۱ توپولوژی شبکه‌های حسگر ۱۰

۲-۳-۲ پشته پروتکلی ۱۰

۲-۴ مسیریابی ۱۱

۲-۵ مسیریابی براساس power ۱۴

۲-۶ مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۱۶

۲-۷ نتیجه گیری ۱۹

فصل سوم: الگوریتم‌های خوشه‌بندی

۳-۱ مقدمه ۲۰

۳-۲ خوشه‌بندی ۲۱

۳-۳ الگوریتم‌های خوشه‌بندی توزیع شده ۲۴

۳-۳-۱ الگوریتم LEACH ۲۴

۳-۳-۲ الگوریتم EPMPLCS ۲۶

۳-۳-۳ الگوریتم SLEACH ۲۷

۳-۳-۴ الگوریتم SCA ۲۷

۳-۳-۵ الگوریتم مسیریابی ترکیبی براساس کیفیت خوشه ۲۸

۳-۳-۶ مسیریابی براساس خوشه‌بندی با درنظر گرفتن لینک‌های یک طرفه ۳۰

۳-۳-۷ الگوریتم خوشه‌بندی با تشکیل خوشه‌های نامساوی ۳۲

۳-۳-۸ الگوریتم خوشه‌بندی چند پارامتری با درنظر گرفتن پایداری ۳۵

۳-۳-۹ الگوریتم مسیریابی براساس خوشه‌بندی دینامیک ۳۶

۳-۳-۱۰ الگوریتم خوشه‌بندی توزیع شده با بهینه‌سازی مصرف انرژی ۳۷

۳-۳-۱۱ الگوریتم VCA ۴۰

۳-۳-۱۲ الگوریتم DHAC ۴۰
۳-۴ الگوریتم‌های خوشه‌بندی متمرکز ۴۲
۳-۴-۱ الگوریتم LEACH-C ۴۳
۳-۴-۲ پروتکل DSC ۴۳
۳-۴-۳ پروتکل BCDCP ۴۵
۳-۴-۴ الگوریتم EEPSC ۴۵
۳-۴-۵ پروتکل EARP ۴۶
۳-۴-۶ الگوریتم خوشه بندی فازی ۴۸
۳-۵ نتیجه‌گیری ۵۱
فصل چهارم: بررسی و تعیین پارامترها جهت روش پیشنهادی
۴-۱ مقدمه ۵۲
۴-۲ اهداف و انواع خوشه‌بندی ۵۳
۴-۳ خوشه‌بندی موفق ۵۴
۴-۴ مدل انرژی رادیویی ۵۵
۴-۵ معرفی حسگر استفاده شده ۵۷
۴-۶ بررسی علت ترکیب پارامترها ۶۰
۴-۷ انتخاب پارامترهای مناسب جهت محاسبه‌ی وزن ۶۲
۴-۷-۱ معرفی گره‌های مختلف شبکه ۶۹
۴-۷-۲ بررسی تعداد مناسب gateway ۷۰
۴-۸ نتیجه‌گیری ۷۱
فصل پنجم: معرفی روش پیشنهادی
۵-۱ مقدمه ۷۳
۵-۲ بررسی روش پیشنهادی ۷۴
۵-۲-۱ خوشه‌بندی ۷۴
۵-۲-۲ مسیریابی ۷۵
۵-۲-۳ شبه‌کد الگوریتم ۸۰
۵-۳ شبیه‌سازی‌های اولیه الگوریتم ۸۲
۵-۳-۱ تغییر تعداد گره‌های شبکه ۸۵
۵-۳-۲ تغییر ابعاد شبکه ۹۱
۵-۳-۳ تغییر شعاع ارسال ۹۵
۵-۳-۴ بررسی تغییرات زمانی ۹۹
۵-۴ بهبود قسمت مسیریابی الگوریتم ۱۰۳
۵-۵ شبیه‌سازی و تحلیل نتایج ۱۰۴
۵-۵-۱ ارزیابی الگوریتم بهبود یافته ۱۰۴
۵-۵-۲ مقایسه‌ی الگوریتم‌ها ۱۱۰
۵-۵-۳ جمع‌بندی ۱۱۹

۵-۶ نتیجه‌گیری ۱۲۱
فصل ششم: نتیجه‌گیری
۶-۱ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۲۲
۶-۲ پیشنهادات ۱۲۴
مراجع ۱۲۵

چکیده

در سال‌های اخیر، توجه بسیاری به استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده است. ویژگی‌های خاص این شبکه‌ها، امکان استفاده از آن‌ها را درکاربردهایی مانند کنترل و بررسی مناطق حادثه‌خیز، حفاظت مرزها و مراقبت‌های امنیتی و نظامی فراهم می‌کند. زمانی که محل استقرار شبکه‌های حسگر در محیط‌های خطرناک و دور از دسترس است، تعداد زیادی حسگر به صورت تصادفی در ناحیه پراکنده می‌شوند. برای ساده‌سازی مدیریت چنین شبکه‌هایی و افزایش قابلیت توسعه‌ی آن‌ها، معمولا گره‌ها را در خوشه‌هایی مجزا و غیر هم‌پوشان دسته‌بندی می‌کنند. خوشه‌بندی گره‌های شبکه در کارهای زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. هر یک از این روش‌ها، خوشه‌بندی را با اهداف مختلفی همچون توازن بار، افزایش تحمل‌پذیری در مقابل خطا، افزایش میزان اتصالات، کاهش تاخیر و یا افزایش طول عمر شبکه انجام می‌دهند. درصورتی که خوشه‌بندی به شکلی صحیح انجام گیرد، می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی، افزایش طول عمر شبکه و ساده‌سازی مسیریابی گردد. اهمیت وکاربرد زیاد شبکه‌های حسگر بی‌سیم در کنار ویژگی‌های خاص آن‌ها و مزایای حاصل از خوشه‌بندی، نیاز پرداختن به این موضوع را آشکار می‌کند. در این تحقیق به دنبال روشی مناسب جهت انجام خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه‌ها و مسیریابی بسته‌ها هستیم. الگوریتمی که در این پایان‌نامه ارائه می‌شود، براساس محاسبه‌ی وزن ترکیبی عمل می‌کند. وزنی که برای گره‌ها محاسبه می‌شود در هر دو قسمت الگوریتم، خوشه‌بندی و مسیریابی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف، ارائه‌ی الگوریتمی متعادل در زمینه‌ی خوشه‌بندی است، که با استفاده از مسیریابی چندگامی به بهبود نرخ خطا و افزایش قابلیت توسعه‌ی شبکه کمک کند. در این الگوریتم سعی می‌شود با توزیع عادلانه‌ی سرخوشه‌ها در سطح شبکه و توازن بار روی گره‌ها، مصرف انرژی در گره‌ها یکنواخت شود. نتایج شبیه‌سازی بیانگر تحقق اهداف است.

کلمات کلیدی:

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، خوشه‌بندی، مسیریابی، مصرف توان

فصل اول
مقدمه

۱-۱ شرح و اهمیت موضوع

شبکه‌ی حسگر بی‌سیم[1] (WSN) از تعداد زیادی حسگر کوچک تشکیل شده است که پس از توزیع در منطقه به جمع‌آوری اطلاعات از محیط می‌پردازند [۱]. هدف اصلی این شبکه‌ها کنترل و بررسی یک پدیده فیزیکی مانند دما، رطوبت و لرزش است. این شبکه‌ها را می‌توان در سطح زمین، زیرزمین، زیر آب و دیگر مکان‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس راه‌اندازی کرد. بنابراین، می‌توانند مناطقی را پوشش دهند که دیگر شبکه‌ها از عهده‌ی پوشش آن برنمی‌آیند. البته، برحسب محیطی که حسگرها در آن قرار دارند با محدودیت‌های مختلفی روبرو می‌شوند. در واقع، شبکه‌های حسگر، امکان تعامل بین انسان، محیط و ماشین را فراهم می‌کنند. به همین دلیل، امروزه، توجه زیادی به این نوع شبکه‌ها از لحاظ تحقیقاتی و کاربردی مبذول شده است. گسترش شبکه‌های حسگر بی‌سیم با کاربردهای نظامی آغاز شد. با این حال، کاربرد این شبکه‌ها، به سرعت گسترش یافت و خیلی سریع، زمینه‌های مختلفی را دربرگرفت. می‌توان کاربردهای این شبکه‌ها را در دو دسته‌ی کلی کاربردهای کنترلی[2] و ردگیری[3] دسته‌بندی کرد[۲]. جهت کاربردهای کنترلی می‌توان از WSN برای مواردی همچون کنترل سلامتی، توان مصرفی، اتوماسیون و فرآیندهای کارخانه استفاده کرد. همچنین، می‌توان به ردگیری انسان، حیوان و یا وسیله نقلیه

[1] Wireless sensor network
[2] Monitoring
[3] Tracking

پرداخت. با توجه به اهمیت و کاربرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم، لزوم پرداختن به این شبکه‌ها و مسائل مختلف مرتبط به آن‌ها کاملا آشکار است.

گره‌های حسگر از طریق باتری تغذیه می‌شوند. بنابراین، یکی از چالش‌های مهم شبکه‌های حسگر بی‌سیم، بهینه‌سازی مصرف انرژی است [۳،۴]. مصرف انرژی را می‌توان با طراحی سخت‌افزار کم‌مصرف کاهش داد. در این راستا، باید مصرف انرژی اجزا گره شامل ریزحسگر، مبدل آنالوگ به دیجیتال، پردازنده‌ی سیگنال، فرستنده و گیرنده را تا حد امکان کاهش داد. تحقیقات نشان داده که انرژی مورد نیاز جهت ارتباطات از سایر انرژی‌های مصرفی سیستم بیشتر است [۵]. بنابراین، بهینه‌سازی ارتباطات بیشتر مورد توجه قرار گرفت. ارتباطات در WSNها می‌تواند به صورت مستقیم، چندگامی و یا براساس خوشه‌بندی انجام گیرد. در این میان، قرار دادن گره‌های شبکه در خوشه‌ها با توجه به مزایایی که به همراه دارد، بیش از بقیه دارای اهمیت است. از جمله مزایای خوشه‌بندی می‌توان از صرفه جویی در مصرف انرژی،کاهش اندازه‌ی جداول مسیریابی، آسان کردن استفاده مجدد از منابع و بالا رفتن ظرفیت سیستم، ساده‌تر شدن عمل ارسال و پایدارتر شدن ساختار شبکه نام برد [۶].

با توجه به مزایای خوشه‌بندی، کارهای زیادی در این ارتباط انجام گرفته‌اند [۷،۸،۹]. الگوریتم‌های مختلفی در این زمینه مطرح شده‌اند که هر کدام، از جنبه‌ای متفاوت به این شبکه‌ها می‌پردازند. برحسب معیارهای مختلف، می‌توان الگوریتم‌های خوشه‌بندی را دسته‌بندی کرد[۱۰]. برحسب دینامیک یا استاتیک بودن الگوریتم، نیاز یا عدم نیاز به سرخوشه، تعداد گام ارتباطی در هر خوشه و موارد دیگر می‌توان دسته‌های مختلفی را ایجاد نمود. برخی از الگوریتم‌ها تعداد ثابتی خوشه تشکیل می‌دهند، و در برخی دیگر، این تعداد برحسب ساختار شبکه تعیین می‌گردد. گاهی خوشه‌ها ثابت باقی می‌مانند و گاهی با گذشت بازه‌های زمانی تغییر می‌کنند. امکان ترکیب این دو شیوه هم وجود دارد. روش‌های مختلفی برای تعیین مسئولیت‌ها در خوشه‌ها وجود دارد. رای‌گیری، مقایسه‌ی ویژگی‌های گره‌ها و گاهی هم احتمال به انتخاب‌ها در این شبکه‌ها کمک می‌کنند.

۱-۲ اهداف تحقیق

همان گونه که مطرح شد، انجام خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌تواند مزایای زیادی را به همراه داشته‌باشد. انجام خوشه‌بندی درست به مدیریت بهتر منابع شبکه کمک می‌کند [۶]. علاوه‌براین، خوشه‌بندی با مصرف مناسب‌تر انرژی منجر به افزایش طول عمر شبکه هم می‌گردد. با این حال، آن‌چه که در این میان، اهمیتی ویژه دارد، نحوه‌ی انجام خوشه‌بندی است. شبکه‌های حسگر دارای محدودیت‌های خاص خود مانند محدودیت منبع انرژی، قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، زیاد بودن تعداد گره‌ها و چگالی بالای توزیع گره‌ها در ناحیه عملیاتی هستند. گره‌ها در این شبکه‌ها در مقابل خطا مستعد هستند. نکته‌ی دیگری که باید به آن اشاره کرد، تفاوت

شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سایر شبکه‌ها و خصوصا adhoc است. تقریبا در تمامی کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم برخلاف شبکه‌های دیگر، نیاز است که داده‌ها از نواحی مختلف به سمت یک ایستگاه پایه مشخص جریان پیدا کنند. اهمیت و کاربرد زیاد شبکه‌های حسگر بی‌سیم در کنار ویژگی‌های خاص آن‌ها و مزایای حاصل از خوشه‌بندی، نیاز پرداختن به این موضوع را آشکار می‌کند. در این تحقیق به دنبال روشی مناسب جهت انجام خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه‌ها و بررسی تاثیر آن در مسیریابی بسته‌ها هستیم. یکی از مسائل اصلی و تاثیرگذار خوشه‌بندی، تعیین سرخوشه‌ها است. سرخوشه‌ها براساس پارامترهای مختلفی انتخاب می‌شوند. پارامترهای تاثیرگذار باید به نحوی انتخاب شوند که جوانب مختلف شبکه را مدنظر قرار دهند و در عین حال به پیچیدگی و هزینه‌ی کار هم توجه کنند. درنظر گرفتن تنها یک معیار، جهت خوشه‌بندی باعث می‌شود که الگوریتم در برخی شرایط خاص خوب عمل کند یا این‌که تنها برخی ویژگی‌های شبکه را بهبود دهد. جهت رفع این مشکلات، ترکیب چندین معیار جهت تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتمی که در این پایان‌نامه ارائه می‌شود براساس محاسبه‌ی وزن ترکیبی عمل می‌کند. وزنی که برای گره‌ها محاسبه می‌شود در هر دو قسمت الگوریتم، خوشه‌بندی و مسیریابی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود که ترکیب پارامترهای مختلف، منجر به رفتار متعادل الگوریتم در شرایط مختلف شود. علاوه براین، با استفاده از مسیریابی چندگامی به بهبود نرخ خطا و افزایش قابلیت توسعه‌ی شبکه کمک کند. پس از معرفی الگوریتم، عملکرد آن با انجام شبیه‌سازی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. درکنار بررسی رفتار الگوریتم، روش پیشنهادی با روش‌های دیگر نیز مقایسه خواهد شد.

۱-۳ ساختار پایان‌نامه

برای نیل به اهداف تحقیق، این پایان‌نامه در شش فصل تدوین شده است، که در ادامه به شرح مختصری از این فصل‌ها پرداخته می‌شود.

در فصل دوم، ابتدا به بررسی اجمالی شبکه‌های بی‌سیم و شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود. پس از آن، نگاهی مختصر به مسیریابی و مقوله‌ی مصرف توان در مسیریابی انداخته می‌شود.

در فصل سوم، ابتدا مطالبی پایه در زمینه خوشه‌بندی ارائه شده است. در ادامه، تعدادی از الگوریتم‌های خوشه‌بندی در دو بخش مختلف بررسی می‌گردند. در بخش اول، الگوریتم‌هایی بررسی می‌شوند که خوشه‌بندی را به صورت توزیع شده انجام می‌دهند. الگوریتم‌های بخش دوم از روشی متمرکز جهت خوشه‌بندی استفاده می‌کنند.

فصل چهارم به بررسی معیارهای ابتدائی یک الگوریتم دینامیک جهت خوشه‌بندی می‌پردازد. ابتدا، معرفی روش خوشه‌بندی استاتیک و دینامیک و پارامترهای مختلف موثر درخوشه‌بندی انجام شده‌است. با درنظر گرفتن تاثیر پارامترهای موثر، تابع وزنِ مناسب جهت استفاده در الگوریتم فصل پنجم تعیین می‌گردد. در انتها هم عناصر شبکه ونقش آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در فصل پنجم، ابتدا روش پیشنهادی معرفی می‌گردد. سپس، با پیاده‌سازی الگوریتم در قسمت شبیه‌سازی، عملکرد آن مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. تحلیل نتایج قسمت اول شبیه‌سازی، بیانگر برخی مشکلات بود. پس از رفع این موارد به مقایسه‌ی الگوریتم‌ها وجمع‌بندی نتایج پرداخته می‌شود.

فصل ششم به جمع‌بندی مطالب پایان‌نامه می‌پردازد. نتایج حاصل از ارزیابی الگوریتم‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین، در این فصل پیشنهاداتی، در راستای تکمیل و بهبود روش پیشنهادی و ادامه‌ی کار در زمینه‌ی شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه خواهد شد.

فصل دوم
شبکه‌های حسگر بی‌سیم

۲-۱ مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در زمینه الکترونیک و مخابراتِ بی‌سیم توانایی طراحی و ساخت حسگرهایی با توان مصرفی پایین، اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربردهای گوناگون را فراهم کرده است. این حسگرهای کوچک، توانایی انجام اعمالی همچون دریافت اطلاعات از محیط ، پردازش و ارسال اطلاعات را دارند. از کنار هم قرار گرفتن تعدادی گره حسگر، شبکه‌ی حسگر بی‌سیم شکل می‌گیرد، که می‌تواند به جمع‌آوری اطلاعات از منطقه‌ای جغرافیایی بپردازند. عموما هدف اصلی این نوع شبکه‌ها، کنترل و بررسی پدیده‌ای فیزیکی مانند دما، رطوبت و لرزش است. لزوماً مکان قرار گیری گره‌های حسگر، از قبل تعیین‌شده و مشخص نیست. چنین خصوصیتی این امکان را فراهم می‌کند که بتوان آن‌ها را در مکان‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس رها کرد.

درک شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیازمند آشنایی با تکنیک‌های بی‌سیم است. در این فصل، ابتدا به بررسی اجمالی در ارتباط با شبکه‌های بی‌سیم و شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود. پس از آن، نگاهی مختصر به مسیریابی و مقوله‌ی مصرف توان در مسیریابی انداخته می‌شود.

۲-۲ معرفی شبکه‌های بی‌سیم

شبکه‌های بی‌سیم با استفاده از سیگنال‌های رادیویی راه‌اندازی می‌شوند. در واقع سیگنال‌های رادیویی با فرکانس‌های مختلف، ارتباط بین کامپیوترها و اجزا دیگر شبکه را برقرار می‌کنند. داده‌های باینری جهت ارسال با فرکانس‌های رادیویی کد می‌شوند و از طریق مسیریاب ارسال می‌شوند. شبکه‌های بی‌سیم از دو جز اصلی نقطه‌ی دسترسی[1] و کاربران شبکه[2] تشکیل شده‌اند. مسیریاب بی‌سیم باید در مکانی قرار گیرند که پوشش و بهره‌ی شبکه حداکثر شود. جهت ایجاد پوشش مناسب در نواحی بزرگ‌تر معمولا به بیش از یک مسیریاب نیاز است. در استاندارد IEEE 802.11 دو حالت عملکردی برای شبکه‌های بی‌سیم معرفی شده است:

۱- حالت infrastructure: در این حالت، شبکه از اتصال تعدادی کاربر بی‌سیم به شبکه‌ی سیم کشی شده موجود با استفاده از مسیریاب بی‌سیم ایجاد می‌شود.

۲- حالت adhoc: این حالت برای ارتباط مستقیم کاربران بی‌سیم، بدون استفاده ازمسیریاب بکار می‌رود. سیستم‌ها در این شبکه، داده‌ی خود را مستقیما به یکدیگر ارسال می‌کنند. ساختار شبکه‌های حسگر بی‌سیم معمولا از این نوع هستند.

امروزه شبکه‌های بی‌سیم به دلیل راه‌اندازی راحت و بدون نیاز به کابل کشی شهرت زیادی پیدا کرده‌اند. یکی از کاربردهای رایج آنها، راه‌اندازی شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که در ادامه به این مبحث پرداخته می‌شود.

۲-۳ شبکه‌های حسگر بی‌سیم

شبکه‌های حسگر، از تعدادی حسگر کوچک در اندازه‌های یک تا دو میلیمتری ساخته شده اند که با استفاده از فرستنده و گیرنده بی‌سیم، اطلاعات را به ایستگاه پایه (BS)[3] ارسال می‌کنند. گره‌های حسگر برای اندازه گیری گروهی برخی از کمیت‌های فیزیکی یا شرایط محیطی مانند دما، صدا، لرزش، فشار، حرکت یا آلاینده ها، در مکان‌های مختلف به کار برده می‌شوند[۴]. کار بر روی شبکه‌های حسگر در ابتدا با اهداف نظامی و دفاعی آغاز شد ولی به سرعت کاربردهای بسیاری در زمینه‌های مختلف پیدا کردند. گستره‌ی کاربرد این شبکه‌ها بسیار وسیع است و در صنعت و بسیاری از مقاصد غیر نظامی استفاده می‌شوند. این شبکه ها، درکاربردهای تجاری و صنعتی، جهت کنترل داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه براین، در مکان‌هایی که استفاده از گیرنده‌های سیمی مشکل و گران

[1] Access point
[2] Clients
[3] Base station

است کاربرد دارند. از جمله کاربردهای نظامی شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توان از سیستم‌های ارتباطی، فرماندهی، شناسایی، دیده بانی ومیدان مین هوشمند وسیستم‌های هوشمند دفاعی نام برد. در کاربردهای مراقبت پزشکی هم جهت سیستم‌های مراقبت از بیماران ناتوانِ بدون مراقب و محیط‌های هوشمند برای افراد سالخورده استفاده می‌گردند. شبکه ارتباطی بین مجموعه پزشکان با یکدیگر و پرسنل بیمارستان و نظارت بر بیماران هم جز کاربردهای پزشکی این نوع شبکه‌ها محسوب می‌شود. سیستم‌های امنیتی تشخیص و مقابله با سرقت، آتش سوزی(درجنگل)، تشخیص آلودگی‌های زیست محیطی از قبیل آلودگی‌های شیمیایی، میکروبی، هسته‌ای، سیستم‌های ردگیری، نظارت وکنترل وسایل نقلیه و ترافیک، کنترل کیفیت تولیدات صنعتی، مطالعه در مورد پدیده‌های طبیعی مثل گردباد، زلزله، سیل، تحقیق در مورد زندگی گونه‌های خاص از گیاهان و جانوران برخی دیگر از کاربردهای این دسته از شبکه‌ها است.

با اینکه هر حسگر به تنهایی توانایی ناچیزی دارد، ترکیب صدها حسگر کوچک امکانات قابل ملاحظه‌ای را عرضه می‌کند. در واقع، قدرت شبکه‌های حسگر بی‌سیم در توانایی به‌کارگیری تعداد زیادی گره کوچک است که خود قادرند سرهم و سازماندهی شوند. شبکه‌ی حاصل، در موارد متعددی چون مسیریابی هم‌زمان، نظارت بر شرایط محیطی، نظارت بر سلامت ساختارها یا تجهیزات یک سیستم به کار گرفته می‌شود.

بنابر کاربردِ شبکه حسگر بی سیم، مدل انتقال اطلاعات در آن، می تواند پیوسته و برحسب زمان[4]، مبتنی بر اتفاق[5]، بسته به درخواست[6] و یا ترکیبی باشد. در حالت پیوسته، هر حسگر اطلاعات خود را به صورت متناوب ارسال می‌کند. در مدل انتقال اطلاعات بسته به اتفاق، تنها رخ دادن اتفاقی از قبل تعیین شده در بخشی از شبکه، گزارش می‌شود. در حالت سوم هم از طرف ایستگاه پایه درخواستی در شبکه منتشر می‌گردد. حسگرهای مورد نظر در قبال این درخواست پاسخ مناسب را می‌دهند. برخی از شبکه‌ها هم از ترکیب مدل‌ها استفاده می‌کنند. از نقطه نظر کم کردن مصرف انرژی و پایداری مسیرهای ایجاد شده، مدل انتقال اطلاعات بسیار مورد اهمیت است.

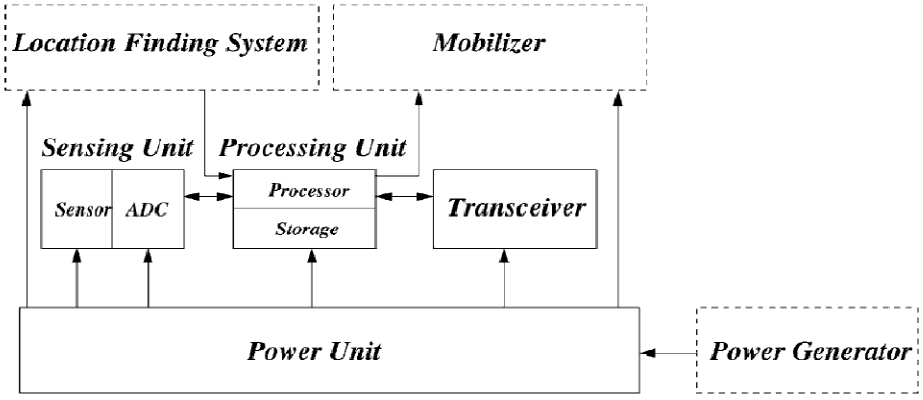
اندازه‌ی گره حسگر بسته به اندازه بسته بندی آن تغییر کرده و تا یک دانه شن قابل کوچک سازی است. به طور مشابه قیمت هر گره حسگر می‌تواند بین چند صد دلار تا چند سنت، بسته به اندازه و پیچیدگی مورد نیاز گره متفاوت باشد. محدودیت‌های قیمت و اندازه در گره‌های حسگر منجر به محدودیت در منابعی مانند انرژی، حافظه، سرعت پردازش و پهنای باند در آن‌ها می‌شود. بنابراین، عامل‌های بسیاری طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از جمله‌ی این عوامل می‌توان از توان مصرفی، محدودیت‌های سخت افزاری، رسانه‌ی ارتباطی، هزینه‌ی طراحی، تحمل پذیری در مقابل خطا، محیط عملکردی و توپولوژی نام برد. بنابر اهمیتی که این فاکتورها در

[4] Time-Driven
[5] Event-Driven
[6] Query-Driven

طراحی پروتکل یا الگوریتم مخصوص شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارند، مروری اجمالی بر برخی از این عامل‌ها خواهیم داشت.

۲-۳-۱ ساختمان گره

ساختار اصلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم از حسگرها تشکیل شده است. در این قسمت قصد داریم به معرفی ساختمان داخلی حسگرها بپردازیم. ساختمان داخلی هر گره شامل واحد حسگر، واحد پردازش داده‌ها، فرستنده/گیرنده بی‌سیم و منبع تغذیه است [۴]. برحسب کاربرد، ممکن است بخش‌های اضافی مانند واحد متحرک ساز[۷]، سیستم مکان یاب [۸]و تولید توان نیز در گره‌ها وجود داشته باشد. واحد حسگر از حسگرها و مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC[۹]) تشکیل شده است. مبدل آنالوگ به دیجیتال، اطلاعات آنالوگ تولید شده توسط حسگرها را بصورت دیجیتال درمی‌آورد و به واحد پردازش تحویل می دهد. واحد پردازشِ داده، شامل پردازنده‌ای کوچک و حافظه‌ای با ظرفیت محدود است. این واحد، داده‌ها را از حسگر گرفته و برحسب کاربرد، پردازش محدودی روی آن‌ها انجام داده و از طریق فرستنده ارسال می‌کند. واحد پردازش همچنین مدیریتِ هماهنگی و مشارکت با سایر گره‌ها در شبکه را انجام می‌دهد. واحد فرستنده/گیرنده، ارتباط گره با شبکه را برقرار می‌کند. واحد تامین انرژی، تامین کننده‌ی انرژی مصرفی بخش‌های مختلف است. محدودیت منبع انرژی یکی از تنگناهای اساسی در طراحی شبکه‌های حسگر است. در کنار این بخش ممکن است واحدی برای تولیدِ انرژی، مثل سلول‌های خورشیدی وجود داشته باشد.



شکل ۲-۱- ساختمان داخلی گره حسگر [۴]

[7] Mobilizer
[8] Location finding system
[9] Analog to digital converter

۲-۳-۱ توپولوژی شبکه‌های حسگر

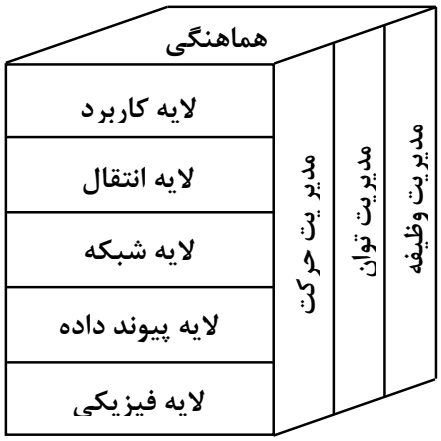
شبکه‌های حسگر، از توزیع صدها یا هزاران گره در ناحیه موردنظر تشکیل شده‌اند. محیط عملکردی حسگرها می‌تواند دارای شرایطی دشوار همچون فشار بالا، گرما یا سرمای شدید و یا نویز زیاد باشد. گاهی دسترسی به این گره‌ها دشوار است. علاوه براین،گره‌های حسگر در مقابل خطا هم بسیار آسیب پذیر هستند. بنابراین، محافظت از توپولوژی شبکه چالشی مهم محسوب می‌شود. چگالی گره‌ها در ناحیه و فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر برحسب کاربرد شبکه متفاوت است. چینش گره‌ها در شبکه می‌تواند به شکل توده‌ای انجام گیرد (مثل پاشیدن گره‌ها توسط هواپیما) و یا اینکه گره‌ها بصورت تک‌تک توسط انسان یا ربات جای‌دهی شوند. پس از چینش اولیه‌ی گره‌ها، امکان تغییر توپولوژی وجود دارد. این امر ممکن است در اثر وجود حسگرهای متحرک در شبکه یا عوامل دیگری همچون پایان یافتن انرژی گره‌ها رخ دهد. در هر لحظه امکان افزوده شدن گره‌های جدید به شبکه وجود دارد، که باز هم منجر به تغییر ساختار شبکه می‌شود. این گره‌ها به عنوان جایگزین گره‌های مرده و یا از کار افتاده و یا نیازِ شبکه به حسگرهای بیشتر به شبکه اضافه می‌گردند. ارتباط گره‌ها هم از طریق رسانه‌ی بی‌سیم برقرار می‌شود. لینک‌های شکل گرفته می‌تواند از نوع امواج رادیویی، مادون قرمز و یا نوری باشند.

۲-۳-۲ پشته پروتکلی

همان گونه که مطرح شد، گره‌های حسگر در یک ناحیه توزیع می‌شوند تا به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در آن ناحیه بپردازند. داده‌های جمع‌آوری شده باید به کاربر نهایی ارسال گردند. پشته‌ی پروتکلی که توسط گره‌های شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. مطابق شکل، پشته پروتکلی از یک طرف دارای پنج لایه افقی شامل لایه های فیزیکی، پیوند داده، شبکه، انتقال، و کاربرد و از طرفی دارای سه لایه عمودی مدیریت توان[10]، مدیریت جابجایی[11]، و مدیریت وظیفه[12]است. لایه فیزیکی، عملیات مدولاسیون، ارسال و دریافت در سطح پایین را انجام می‌دهد. لایه کنترل دسترسی رسانه باید قادر باشد با حداقل تصادم با گره‌های همسایه ارتباط برقرار کند. لایه شبکه وظیفه مسیردهی داده‌های لایه انتقال را بر عهده دارد. لایه انتقال، مدیریت جریان انتقال بسته‌ها را در صورت نیاز کاربر بر عهده دارد. بسته به کاری که شبکه برای آن طراحی شده، انواع مختلف نرم افزارهای کاربردی می‌تواند روی لایه کاربرد استفاده شوند و خدمات مختلفی را ارائه نمایند.

[10] Power management plane
[11] Mobility management plane
[12] Task management plane

لایه عمودی مدیریت توان با دخالت در کلیه لایه‌های افقی چگونگی مصرف توان گره‌ها را تعیین می‌کند. در واقع، برای کاهش مصرف انرژی به الگوریتم‌ها و پروتکل‌ها با درنظر گرفتن توان[۱۳] نیازمندیم. لایه عمودی مدیریت حرکت، جابجایی گره‌ها را تشخیص داده و ثبت می کند. بنابراین، همیشه مسیر برگشت نگه‌داری می‌شود و رد گره‌های متحرک دنبال می‌گردد. لایه‌ی مدیریت وظیفه به زمانبندی وظایف محوله به ناحیه‌ای خاص و توزیع متعادل وظایف بین گره‌های ناحیه می‌پردازد. مثلا اگر وظیفهٔ حس به یک ناحیهٔ معین سپرده شد لازم نیست همهٔ گره‌های آن ناحیه بطور همزمان عملیات حس را انجام دهند بلکه این وظیفه می‌تواند بسته به کاربرد به برخی گره‌ها مثلا گره‌هایی با قابلیت اطمینان یا انرژی بیشتر یا ترافیک کمتر محول شود. در واقع نقش سطوح مدیریتی، هماهنگی گره‌ها در جهت مسیردهی داده‌ها با استفاده‌ی بهینه از انرژی و به اشتراک گذاشتن منابع شبکه است. بدون وجود این سطوح، هر گره به صورت تکی عمل می‌کند، که بهینگی آن بسیار کمتر از عملکرد گروهی گره‌هاست. علاوه بر این، عملکرد گروهی گره‌های شبکه منجر به افزایش طول عمر شبکه هم می‌گردد.



شکل ۲-۲- پشته پروتکلی

۲-۴ مسیریابی

در هر نوع شبکه‌ای نیازمند ارسال داده‌ها از طریق دنباله‌ای از گره‌ها، از مبدائی به سوی مقصدی معلوم هستیم. مسیرهای ایجاد شده باید برحسب نوع داده، محدودیت‌ها و نیازهای شبکه به نحوی باشند که شبکه عملکرد قابل

[13] Power-Aware