بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه کامپیوتر

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی فناوری اطلاعات- شبکه‌های کامپیوتری

تحلیل و بررسی پروتکل های مسیر یابی برای بهبود کیفیت سرویس در شبکه های حسگر بیسیم

استاد راهنما: دکتر محمد قاسم‌زاده

استادان مشاور:

دکتر مهدی آقاصرام و دکتر پژمان گودرزی

پژوهش و نگارش: مجتبی خلیل نژاد امیری

تابستان ۱۳۸۹

این پایان نامه بر اساس قرارداد شماره ۵۰۰/۱۷۷۵/ت با حمایت

مؤسسه آموزش و تحقیقات ارتباطات و فناوری اطلاعات انجام شده است

تقدیم به روح بزرگوار پدرم که

در تمامی مراحل زندگی پشتیبان و یاورم خواهد بود

چکیده:

شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم نوع خاصی از شبکه‌های سیار ویژه هستند که در آنها گره‌ها از نوع حس‌گر بوده که به‌صورت بی‌سیم به هم متصل شده‌اند. این شبکه‌ها از نظر منابع مانند انرژی، حافظه، سرعت محاسباتی و پهنای باند دارای محدودیت‌هایی هستند. در برخی کاربردهای این شبکه‌ها مانند سیستم تشخیص و جلوگیری از گسترش آتش سوزی، سیستم پیش گیری از سرقت یا تشخیص حملات هسته‌ای، بیولوژیکی و شیمیایی سرعت پاسخگویی شبکه که یکی از معیارهای کیفیت سرویس است اهمیت زیادی دارد. در این راستا لازم است کلیه لایه‌های شبکه در جهت برآورده‌کردن نیازهای کیفیت سرویس ذکرشده مطابقت‌داده شوند. از آنجاییکه لایه شبکه تاثیر به-سزایی در زمینه انرژی مصرفی گره‌ها و تاخیر انتها به انتهای رسیدن بسته‌ها تا مقصد دارد، لزوم طراجی تکنیک‌های مسیریابی در این لایه که در جهت ارضاء پارامترهای کیفیت سرویس به روزرسانی شده‌باشند کاملا ضروری به‌نظرمیرسد. در همین راستا طراحی یک پروتکل مسیریابی جدید ارائه شده‌است که عملکرد بهتری در پارامترهای مذکور نسبت به پروتکل‌های دیگر در این زمینه از خود نشان میدهد. پروتکل جدید تلفیقی از ایده‌های مطرح‌شده در دو پروتکل جدید و مقبول عام در این زمینه به نامهای THVR و MMSPEED است. لایه بندی سطوح ارائه سرویس از پروتکل MMSPEED در کنار تصمیم‌گیری برای مسیریابی بر اساس اطلاعات همسایگان دوگامه از پروتکل THVR در هم ادغام‌شده‌است و در کنار طراحی جدید زیرسیستم کنرلگر دور انداختن بسته‌ها منتج به بهبود عملکرد پروتکل تلفیقی در زمینه‌های بالانس انرژی مصرفی، تاخیر انتها به انتها و سرانه مصرف انرژی گره‌ها نسبت به دو پروتکل مادرش شده‌است. شبیه‌سازی‌ها نشان‌داده‌است که پروتکل تلفیقی در زمینه تاخیر انتها به انتها و سرانه مصرف انرژی گره‌ها به خوبی پروتکل THVR و کاملا بهتر از MMSPEED عمل‌میکند. نقطه اتکای این پروتکل در زمینه توازن در مصرف انرژی گره‌ها است که کاملا برتر از دو پروتکل دیگر ذکرشده به‌نظرمیرسد

کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کیفیت سرویس، پروتکل مسیریابی، تاخیر انتها به انتها، بالانس انرژی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ شبکه بی‌سیم‌ویژه..... ۳

۱-۲-۱کاربردهای شبکه بیسیم ویژه..... ۳

۱-۲-۲انواع شبکه‌های بیسیم ویژه..... ۴

۱-۲-۳شبکه‌های سیار ویژه..... ۴

۱-۲-۴شبکه‌های کامل بیسیم..... ۴

۱-۳ شبکه‌های حسگر بیسیم..... ۵

۱-۳-۱- دستگاه حسگر بیسیم..... ۵

۱-۳-۲- کاربردهای شبکه حسگر بیسیم..... ۸

۱-۳-۳- ویژگی‌های شبکه‌های حسگر بیسیم..... ۱۰

۱-۳-۴- چالش‌ها در طراحی شبکه‌های حسگر بیسیم..... ۱۱

۱-۳-۵- پشته پروتکلی شبکه حسگر بیسیم..... ۱۵

۲-۱ مسیریابی با محوریت داده. ۲۲

۲-۱-۱-مسیریابی تخت..... ۱۵

۲-۱-۲-مسیریابی سلسله‌مراتبی..... ۳۱

۲-۱-۳-پروتکل‌های مسیریابی بر پایه موقعیت مکانی..... ۳۸

۲-۲ پروتکل‌های مسیریابی بر پایه عملکرد پروتکل..... ۴۱

۲-۲-۱-پروتکل‌های مسیریابی چندمسیری..... ۴۱

۲-۲-۲-مسیریابی بر پایه درخواست..... ۴۲

۲-۲-۳-پروتکل‌های مسیریابی بر پایه مذاکره..... ۴۲

۲-۲-۴-مسیریابی بر پایه کیفیت سرویس..... ۴۳

۲-۳ پروتکل‌های مسیریابی با کیفیت خدمات در شبکه WSN..... ۴۴

۳-۱تاریخچه پروتکل‌ها..... ۵۰
۳-۲پروتکل مسیریابی SPEED..... ۵۱
۳-۲-۱- API..... ۵۳
۳-۲-۲- مبادله پیام راهنما همسایه..... ۵۳
۳-۲-۳- سامانه تخمین تاخیر..... ۵۴
۳-۲-۴- الگوریتم SNGF..... ۵۴
۳-۲-۵- حلقه بازخورد همسایه..... ۵۴
۳-۲-۶- پیام راهنمای فشار به عقب..... ۵۵
۳-۳ پروتکل مسیریابی THVR..... ۵۷
۳-۳-۱-طراحی THVR..... ۵۷
۳-۳-۲-پارامترهای به‌پیش‌رانی..... ۵۸
۳-۳-۳-تخمین تاخیر..... ۵۹
۳-۳-۴-کنترل‌گر دورانداختن بسته‌ها..... ۶۰
۳-۴پروتکل مسیریابی MMSPEED..... ۶۱
۴-۱معرفی پروتکل مسیریابی تلفیقی..... ۶۴
۴-۲معماری پروتکل تلفیقی..... ۶۸
۴-۲-۱زیرسیستم کلاس‌بندی..... ۶۸
۴-۲-۲زیرسیستم تصمیم‌گیری به‌پیش‌رانی..... ۶۹
۴-۲-۳بازخورد لایه پیوند..... ۶۹
۴-۲-۴کنترلگر دورانداختن بسته ها..... ۷۰
۵-۱شرایط شبیه‌سازی..... ۷۴
۵-۲نتایج..... ۷۴
۵-۲-۱بالانس انرژی..... ۷۴
۵-۲-۲تاخیر انتها به انتها..... ۷۶

۵-۲-۳انرژی مصرفی گره‌ها..... ۷۷
نتیجه‌گیری..... ۸۱
مراجع..... ۸۲

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱:عناصر سازنده یک حسگر بیسیم..... ۶

شکل ۱-۲: نمونه‌ای از یک دستگاه حسگر بیسیم..... ۷

شکل ۱-۳: هدفیابی..... ۸

شکل ۱-۴: تشخیص آتش‌سوزی در جنگل..... ۹

شکل ۱-۵: کنترل مجیط‌های خانگی..... ۹

شکل ۱-۶: کنترل صنعتی..... ۹

شکل ۱-۷: پشته پروتکل در شبکه‌های حسگر بیسیم..... ۱۵

شکل ۲-۱: دسته‌بندی پروتکل‌های مسیریابی..... ۲۱

شکل ۲-۲: شمای کلی از نحوه عملکرد پروتکل نفوذ مستقیم..... ۲۶

شکل ۲-۳: مدل‌های گمارش منابع..... ۲۷

شکل ۲-۴: معماری کلی پروتکل SPEED..... ۴۶

شکل ۲-۵: مقایسه پروتکل‌های رایج شبکه‌های حسگر بیسیم..... ۴۸

شکل ۳-۱: معماری پروتکل SPEED..... ۵۱

شکل ۳-۲: رابطه زیرسیستم‌ها در پروتکل SPEED..... ۵۵

شکل ۳-۳: عملکرد پیام راهنمای فشار به عقب در حالت‌های ازدحام..... ۵۶

شکل ۳-۴: طراحی THVR..... ۶۰

شکل ۳-۵: سرویس‌دهی چندسطحی در MMSPEED..... ۶۱

شکل ۴-۱: تعیین شتاب درخواستی..... ۶۶

شکل ۴-۲: معماری پروتکل تلفیقی..... ۶۸

شکل ۴-۳: زیرسیستم کلاس‌بندی..... ۶۹

شکل ۴-۴: درجه عضویت فاصله طی‌شده به سه کلاس مختلف..... ۷۰

شکل ۵-۱: نمودار مقایسه توازن انرژی..... ۷۵

شکل ۵-۲: نمودار مقایسه تاخیر انتها به انتها با source nodeهای مختلف.....۷۶
شکل ۵-۳: نمودار مقایسه تاخیر انتها به انتها با توجه به deadlineهای ست شده اولیه متفاوت..۷۷
شکل ۵-۴: نم.دار مقایسه انرژی مصرف‌شده با توجه به deadlineهای ست‌شده اولیه متفاوت.....۷۸
شکل ۵-۵: نمودار مقایسه انرژی مصرف‌شده با توجه به تعداد source nodeهای متفاوت.....۷۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱: مقایسه سه پروتکل مسیریابی..... ۳۳

جدول ۲-۲: مقایسه مسیریابی‌های تخت و سلسله‌مراتبی..... ۳۷

جدول ۲-۳: مقایسه کلی پروتکل‌ها..... ۴۳

جدول۴-۱: سطوح مختلف سرعت پروتکل تلفیقی..... ۶۷

فصل اول

شبکه‌های حسگر بی‌سیم

۱-۱ مقدمه

سیستم‌های بی‌سیم از حدود سال‌های ۱۹۸۰ مورد استفاده بوده و ما تا کنون شاهد نسل-های اول، دوم و سوم این تکنولوژی بوده‌ایم. این نوع سیستم‌ها بر اساس یک ساختار مرکزی و کنترل شده عمل می‌کنند. به عبارتی در مکان‌هایی که امکان برقراری ساختار ثابت و همیشه پایدار وجود ندارد این نوع تکنولوژی نمی‌تواند پاسخ‌گو باشد. پیشرفتها و دست آوردهای اخیر بشری و به وجود آمدن bluetooth، نوع جدیدی از سیستم‌های بی‌سیم یعنی شبکه‌های ویژه را معرفی کردند. شبکه‌های بی‌سیم ویژه[1] که برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ معرفی شد، سالها به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. شایان ذکر است که واژه "ad-hoc" لاتین بوده و به معنی "تک منظوره" می‌باشد. شبکه‌های بی‌سیم ویژه، مجموعه‌ای از دو یا چند گره با ارتباطات بی‌سیم می‌باشند، به نحوی که آنها با یکدیگر تشکیل یک شبکه داده و امکان انتقال اطلاعات در این شبکه برای تمام گره‌ها فراهم‌می‌شود. این شبکه‌ها دارای حالتی موقتی و بدون زیرساختار ثابت می‌باشند و در آنها گره‌های بی‌سیم به طور کاملاً پویا شبکه خود را بدون هیچ مدیریت مرکزی تشکیل می‌دهند. این تجهیزات فوراً می توانند با گره‌هایی که درون بُرد رادیویی آنها قرار دارند، ارتباط برقرار کرده و الگوریتم‌های پیشرفته‌ی مسیریابی امکان آن را فراهم می‌آورد که پیام هر گره به گره‌هایی که خارج از بُرد رادیویی آن گره قرار گرفته‌اند نیز ارسال شود. شایان ذکر است که در پیاده سازی‌های عملی، تفاوتهایی بین یک شبکهٔ ویژه متحرک و یک شبکهٔ حسگر بی‌سیم وجود داد که می‌توان به برخی از آنها به صورت زیر اشاره کرد:

۱) تعداد حسگرها درشبکه‌های حسگر بی‌سیم چندین برابر شبکه‌های ویژه متحرک است.

۲) شبکه‌های حسگر بی‌سیم غالباً متراکم‌تر هستند.

۳) شبکه‌های حسگر بی‌سیم در برابر مشکلات مقاوم‌ترند.

۴) در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارسال داده‌ها به صورت همه پخشی[2] است، در حالی که در شبکه‌های ویژه متحرک به صورت نقطه به نقطه point to point می‌باشد. بر همین اساس در شبکه‌های حسگر بی‌سیم همواره سرباری اطلاعات زیاد است.

---

[1] Ad hoc
[2] Broadcasting

۵) شبکه‌های حسگر بی‌سیم در توان مصرفی، توان محاسباتی و حافظه دارای محدودیت می-باشند.

۱-۲ شبکه بی‌سیم ویژه

با وجود آنکه به نظر می‌رسد که از نظر فنی عبارت شبکه بی‌سیم جهت اشاره به هر نوع شبکه‌ای که بی‌سیم باشد بکار می‌رود، این اصطلاح بیشتر برای اشاره به شبکه‌های ارتباطی بکار می‌رود که در آن گره‌ها بدون استفاده از سیم به یکدیگر متصل می‌شوند، برای نمونه یک شبکه رایانه‌ای که نوعی از شبکه‌های ارتباطی است. شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم عموماً به‌وسیله یکی از انواع سیستم‌های انتقال اطلاعات به دوردست پیاده‌سازی می‌شوند، که از امواج الکترومغناطیس استفاده می‌کنند، مانند استفاده از امواج رادیویی به عنوان حامل.

شبکه بی‌سیم ویژه، یک شبکه ی بیسیم غیر متمرکز است که هر گره شبکه داده را برای گره‌های بعدی میفرستد، و تصمیم فرستادن داده برای گره بعد به صورت دینامیک بر اساس کیفیت اتصال به شبکه برای آن گره، توسط خود گره گرفته می‌شود. این نقطه تفاوت این نوع شبکه با شبکه های بیسیمی است که در آن ها روترها عملیات مسیر یابی و فرستادن داده را انجام میدهند، یا در شبکه های بی سیم مدیریت شده که یک گره خاص که به عنوان نقطه دسترسی[1] شناخته میشود، ارتباط سایر گره ها را مدیریت میکند.

۱-۲-۱ کاربردهای شبکه بی‌سیم ویژه

شبکه‌های بی‌سیم ویژه به خاطر ماهیت غیر متمرکز خود در کاربردهایی که نمی‌توان به گره‌های مرکزی وابسته بود، مناسب می‌باشند. با وجود آنکه محدودیت‌های نظری و عملی برای ظرفیت چنین شبکه‌هایی تعیین شده است، توسعه‌پذیری آنها در مقایسه با شبکه‌های بی‌سیم مدیریت‌شده بهبود می‌یابد. این شبکه‌ها به خاطر تنظیمات جزئی و استقرار سریع، برای شرایط اضطراری مانند بلایای طبیعی یا نبردهای نظامی مناسب می‌باشند.

[1] Access Point

۱-۲-۲ انواع شبکه‌های بی‌سیم ویژه

شبکه‌های بی‌سیم ویژه را می‌توان بر اساس کاربرد آنها به سه گروه طبقه‌بندی کرد :

- شبکه‌های سیار ویژه[1]
- شبکه‌های کامل بی‌سیم[2]
- شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم[3]

۱-۲-۳ شبکه‌های سیار ویژه

شبکه سیار ویژه نوعی از شبکه بی‌سیم است که قابلیت تنظیم خودکار مسیریاب‌های سیار (و میزبان‌های هر کدام) را دارد. این مسیریاب‌ها توسط کانال‌های بی‌سیم به هم متصل شده‌اند. مسیریاب‌ها قادر به جابجایی به صورت تصادفی بوده و به‌طور اختیاری خود را سازمان‌دهی می‌کنند. بنابراین توپولوژِی شبکه بی‌سیم ممکن است به سرعت و به‌طور غیرقابل پیش‌بینی تغییر کند. یک چنین شبکه‌ای ممکن است در یک حالت استاندارد کارکند یا اینکه به شبکه بزرگتری متصل باشد. در این نوع شبکه‌ها همه گره‌ها چندین گام با هم فاصله دارند و داده‌ها را با نرخ ثابتی ارسال می‌کنند و همچنین قادر به حرکت در فضای محدودی می‌باشند

۱-۲-۴ شبکه‌های کامل بی‌سیم

شبکه کامل بی‌سیم شبکه‌ای ارتباطی از گره‌هایی است که شامل فرستنده/گیرنده رادیویی بوده و در یک توپولوژی مش سازمان‌دهی شده‌اند. ناحیه تحت پوشش گره‌ها که به عنوان یک شبکه واحد عمل می‌کند ابر کامل[4] نیز نامیده می‌شود. دسترسی به این ابر به این بستگی دارد که گره‌ها بتوانند هماهنگ با هم کارکنند تا یک شبکه رادیویی را بسازند. هر شبکه کامل قابل اطمینان بوده و مقداری افزونگی نیز دارد. در صورتی که یک گره از کار بیفتد، سایر گره‌ها هنوز قادرند به‌طور مستقیم یا به واسطه یک یا چند گره میانی با هم ارتباط برقرار کنند. شبکه کامل بی‌سیم را

---

[1] Mobile ad-hoc Network (MANET)
[2] Wireless Mesh Network (WMN)
[3] Wireless Sensor Network (WSN)
[4] Mesh cloud

می‌توان به عنوان نوعی از شبکه‌های بی‌سیم ویژه تلقی کرد که همه گره‌های آن ثابت بوده و به‌طور مستقیم حرکت نمی‌کنند.

۱-۳ شبکه حس‌گر بی‌سیم

شبکه حسگر بی‌سیم به یک شبکه بی سیم از حسگرهای خودراهبر گفته می شود که با فاصله پخش‌شده‌اند و برای اندازه‌گیری گروهی برخی از کمیت های فیزیکی یا شرایط محیطی مانند دما، صدا، لرزش، فشار، حرکت یا آلاینده‌ها، در مکانهای مختلف یک محدوده کاربرددارد. شبکه‌های حسگر با انگیزه استفاده در کاربردهای نظامی مانند نظارت بر میدان جنگ، توسعه پیدا کرد. اما امروزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم در صنعت و بسیاری از مقاصد غیرنظامی استفاده‌می‌شوند، از جمله نظارت و کنترل فرآیندهای صنعتی، نظارت بر سلامت دستگاهها، نظارت بر محیط و یا خانه، کاربردهای مراقبت از سلامتی، خانه‌های هوشمند و کنترل ترافیک.

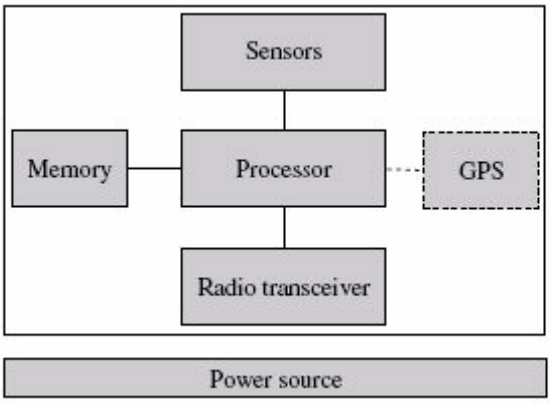
علاوه بر یک یا چند سنسور، هر گره از شبکه معمولا مجهز به یک فرستنده و گیرنده رادیویی (یا هر وسیله مخابراتی بیسیم دیگر)، یک میکروکنترلر کوچک، و یک منبع انرژی (معمولا یک باتری) است. اندازه یک گره سنسوری بسته به اندازه بسته‌بندی آن تغییرکرده و تا یک دانه شن قابل کوچک‌سازی است، که قطعات این شنریزه در ابعاد میکروسکوپی هنوز باید ساخته‌شود. به طور مشابه قیمت هر گره حسگر می‌تواند بین چند صد دلار تا چند سنت، بسته به اندازه و پیچیدگی موردنیاز یک گره متفاوت‌باشد. محدودیت‌های قیمت و اندازه در گره‌های حسگر منجر به محدودیت در منابعی مانند انرژی، حافظه، سرعت پردازش و پهنای باند در آنها می‌شود.

۱-۳-۱ دستگاه حس‌گر بی‌سیم

دستگاه حس‌گر بی‌سیم وسیله‌ای است که تغییرات شرایط فیزیکی یا شیمیایی را اندازه‌گیری می‌کند. همان‌طورکه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، هر دستگاه حس‌گر بی‌سیم از عناصر مهمی مانند پردازنده، حافظه، فرستنده/گیرنده رادیویی، حس‌گر، سامانه مکان‌یاب[1] و منبع تغذیه تشکیل شده‌است. پردازنده با توان پایین کارمی‌کند و به صورت توکار ساخته می‌شود.

[1] Geopositioning system

اعمال محاسباتی در دستگاه حس‌گر بی‌سیم شامل پردازش اطلاعات حس‌شده از محیط اطراف و همچنین اطلاعات ارتباطی با سایر حس‌گرها می‌باشد. در حال حاضر پردازشگرها محدودیت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در توان محاسباتی دارند. به‌طور معمول حس‌گرهای بی‌سیم به واسطه محدودیت‌های پردازنده‌های خود از سیستم‌عامل‌های توکار مانند Tiny OS استفاده می‌کنند. با این وجود شبکه حس‌گر بی‌سیم نامتجانس بوده و شامل حداقل تعدادی گره با توان محاسباتی بالا می‌باشد. پردازنده حس‌گر برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی از مدهای خواب و همچنین درجه‌بندی پویای ولتاژ استفاده می‌کند. حافظه حس‌گر بی‌سیم به دو صورت دسترسی به صورت تصادفی و فقط خواندنی و شامل حافظه برنامه (که دستورات توسط پردازنده از آن اجرا می‌شوند) و حافظه داده (برای ذخیره‌سازی داده‌های خام و داده‌های پردازش‌شده حس‌گر و سایر اطلاعات آن) می‌باشد.



شکل ۱-۱ عناصر اصلی سازنده یک حس‌گر بی‌سیم.

تعداد حافظه‌های موجود در یک دستگاه حس‌گر بی‌سیم اغلب به واسطه محدودیت‌های اقتصادی محدود می‌شود. هر حس‌گر بی‌سیم شامل یک فرستنده/گیرنده رادیویی بی‌سیم با برد کوتاه (کمتر از ۱۰۰ متر) و نرخ پایین ارسال و دریافت (بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلو بیت در ثانیه) می‌باشد. ارتباطات رادیویی در حس‌گر بی‌سیم بیشترین مصرف توان را دارد و از این رو فرستنده/گیرنده باید مدهای خواب و بیدار را برای کاهش مصرف انرژی داشته‌باشند. حس‌گرهای بی‌سیم به واسطه محدودیت در پهنای باند و توان، فقط می‌توانند با نرخ‌های پایین داده محیط اطراف را حس کنند. نمونه‌ای از یک دستگاه حس‌گر بی‌سیم در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

بسیاری از کاربردها از حس‌کنندگی چند وجهی[1] استفاده می‌کنند. در این صورت هر دستگاه حس‌گر بی‌سیم شامل چندین حس‌گر می‌باشد. حس‌گرهای به کار رفته در هر دستگاه حس‌گر بی‌سیم به نوع کاربرد بستگی دارد. به عنوان مثال یک دستگاه حس‌گر بی‌سیم می‌تواند شامل حس‌گرهای دما، نور، رطوبت، فشار، سرعت، مغناطیس، مواد شیمیایی و صوت باشد. در بسیاری از کاربردهای شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم مهم است که مقادیر اندازه‌گیری‌شده توسط همه حس‌گرها به طور محلی برچسب‌گذاری شوند. ساده‌ترین راه برای تعیین مکان هر حس‌گر، تنظیم مکان حس‌گرها در موقع استقرار آنها می‌باشد. می‌توان با استفاده از سامانه مکان‌یاب جهانی محل دقیق هر گره حس‌گر را تعیین کرد. اما در این صورت نیز به واسطه محدودیت‌های محیطی و اقتصادی فقط تعدادی از گره‌ها، سامانه مکان‌یاب را دارا هستند. سایر گره‌ها با استفاده از الگوریتم‌های

شکل ۱-۲ نمونه‌ای از یک دستگاه حس‌گر بی‌سیم.

مکان‌یابی شبکه، به طور غیرمستقیم مکان خود را مشخص می‌کنند. هر دستگاه حس‌گر بی‌سیم شامل یک باطری می‌باشد. در حالیکه برخی از آنها در کاربردهای خاصی به یک منبع تغذیه دائمی متصل شده‌اند. انرژی محدود باطری در اغلب کاربردهای شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم مهمترین منبع بحرانی محسوب می‌شود.

[1] Multi-modal sensing