بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده برق و کامپیوتر
گروه مهندسی مخابرات

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق- مخابرات

پروتکل‌های مسیریابی درختی در شبکه‌های حسگر بیسیم

استاد راهنما:
دکتر قاسم میرجلیلی

استاد مشاور:
دکتر رضا سعادت

پژوهش و نگارش:
محمدرضا سعادت

مهرماه ۹۰

کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه یزد است و هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی از این پایان‌نامه برای تولید دانش فنی، ثبت اختراع، ثبت اثر بدیع هنری، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس و ارائه مقالات در سمینارها و مجلات علمی از این پایان‌نامه منوط به موافقت کتبی دانشگاه یزد است.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

به این دو آموزگار بی‌همتا

که بادلگرمی‌ها و مساعدت‌های خود، چگونه زیستن را به من آموختند.

تشکر و قدردانی

پیش از هر چیز، حمد و سپاس بی‌پایان پروردگار هستی‌بخش که با لطف و محبت بی‌منتهایش، به ثمر رسیدن این تحقیق را بر من میسر ساخت و توفیق گام برداشتن به مرحله‌ای دیگر از نردبان علم و معرفت را عنایت فرمود.

تشکر و قدردانی ویژه خود را به پدر و مادر عزیزم که سرمایه‌های زندگی‌ام هستند تقدیم می‌دارم؛ شکی نیست که این عزیزان، حامیان و مشوقان اصلی من در طول دوران تحصیلی‌ام بودند.

همچنین، لازم می‌دانم مراتب سپاس و قدردانی بی‌شائبه خود را از مساعدت‌ها و رهنمودهای علمی جناب آقای دکتر قاسم میرجلیلی و مشاوره ارزشمند جناب آقای دکتر رضا سعادت ابراز نمایم. بی‌تردید، هدایت و پشتیبانی این عزیزان، نقش بسزایی در پیشبرد این پایان‌نامه داشته است.

اجرای این تحقیق، با حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران صورت گرفت. بدین وسیله از مسئولین محترم این ارگان که یاریگر محققان این مرز و بوم هستند، سپاسگزاری می‌کنم.

در پایان، از تمامی اساتید و دوستان گرامی که بنده را در گردآوری این اثر یاری نمودند، کمال تشکر را داشته و موفقیت و بهروزی روز افزون را بر ایشان آرزومندم.

محمدرضا سعادت

مهرماه ۹۰

چکیده

شبکه‌ی حسگر بیسیم، متشکل از تعداد زیادی گره‌های حسگر مستقل است که با تراکم بالا، در ناحیه‌ی جغرافیایی مشخصی چینش می‌شوند. در این شبکه‌ها، یک ایستگاه پایه موسوم به گره‌ی چاهک، به جمع‌آوری اطلاعات حسگرها می‌پردازد و درنهایت، شبکه‌ی حسگر را با دیگر شبکه‌ها مرتبط می‌سازد. فرآیند جمع‌آوری داده‌های دریافتی از حسگرهای شبکه و انتقال آن‌ها در مسیر منتهی به گره‌ی چاهک را انتشار همگرا می‌نامند. از مهم‌ترین چالش‌های موجود در شبکه‌های حسگر بیسیم، محدودیت شدید انرژی در حسگرهاست؛ محدودیت مذکور باعث شده است که در این شبکه‌ها، بیشتر از الگوریتم‌های مسیریابی با حداقل مصرف انرژی استفاده شود. کاهش مصرف انرژی و نظارت بر توزیع یکنواخت و عادلانه‌ی بار در بین گره‌های شبکه، منجر به کاهش فاصله‌ی بین نابودی اولین و آخرین گره و نهایتاً افزایش طول عمر شبکه خواهد شد. در اکثر کاربردها، ساختار درختی جهت جمع‌آوری داده‌های دریافتی از گره‌های حسگر پیشنهاد می‌گردد. در این روش، هر گره تنها نیازمند است تا والد خود را شناسایی نموده و داده را به سمت آن هدایت نماید؛ ضمن اینکه نگهداری مسیریابی مذکور، چندان دشوار نیست.

در این پایان‌نامه، ابتدا به معرفی اجمالی شبکه‌های حسگر بیسیم و پروتکل‌های مسیریابی معروف در این شبکه‌ها می‌پردازیم؛ و در ادامه، ضمن بررسی و معرفی آخرین روش‌های مطرح در زمینه‌ی مسیریابی درختی، به ارائه‌ی یک روش مسیریابی درختی نوین موسوم به پروتکل درختی انتشار همگرای کارآمد خواهیم پرداخت که قادر است بواسطه‌ی ایجاد توازن در درخت، به جمع‌آوری موثر داده‌ها و ارتقای طول عمر شبکه نائل گردد. در روش پیشنهادی، هر دو عامل تعداد گام تا ریشه و توازن در تعداد فرزندان هر گره‌ی درخت، مدنظر قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از نظر میزان درجه‌ی درخت، طول عمر شبکه و قابلیت گذردهی، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های پیشین دارد.

کلمات کلیدی- شبکه‌های حسگر بیسیم، مسیریابی درختی، انتشار همگرا، توازن بار.

فهرست مطالب

فصل۱: مقدمه ۱
۱-۱ معرفی شبکه‌های حسگر بیسیم ۱
۱-۲ کاربردهای شبکه‌های حسگر بیسیم ۲
۱-۳ عوامل مهم در طراحی شبکه‌های حسگر بیسیم ۵

فصل۲: مسیریابی در شبکه‌های حسگر بیسیم ۱۱
۲-۱ پروتکل‌های با محوریت داده (Data-centric protocols) ۱۳
۲-۱-۱ پروتکل ارسال سیل‌آسا (Flooding) ۱۴
۲-۱-۲ پروتکل خبرکشی (Gossiping) ۱۵
۲-۱-۳ پروتکل SPIN ۱۵
۲-۲ پروتکل‌های سلسله‌مراتبی (Hierarchical protocols) ۱۶
۲-۲-۱ پروتکل LEACH ۱۷
۲-۲-۲ پروتکل PEGASIS ۱۸
۲-۲-۳ پروتکلPEGASIS سلسله‌مراتبی ۱۹
۲-۳ پروتکل‌های مبتنی بر مکان (Location-based protocols) ۲۰
۲-۴ پروتکل‌های مبتنی بر جریان شبکه و QoS ۲۰

فصل۳: مسیریابی درختی در شبکه‌های حسگر بیسیم ۲۱
۳-۱ پروتکل درخت پوشا با توازن مصرف انرژی ۲۶
۳-۱-۱ ماتریس انتقال انرژی و درختان پوشای مسیریابی ۲۷
۳-۱-۲ جستجوی توزیعی درخت پوشا ۲۸
۳-۲ پروتکل‌های درختی Espan و LPT ۳۴
۳-۳ پروتکل درخت پوشا با هدف افزایش بهره‌وری انرژی ۳۵
۳-۴ درخت پوشای متناوب متوازن (BAST) ۳۸
۳-۴-۱ جزئیات پروتکل BAST ۳۹
۳-۴-۱-۱ تشکیل درخت پوشا در وضعیت عادی شبکه ۳۹
۳-۴-۱-۲ بازسازی هدایت‌شده در وضعیت غیرعادی ۴۰
۳-۴-۲ شبیه‌سازی و آنالیز نتایج ۴۲

۳-۵ پروتکل مسیریابی HAR ۴۳
۳-۶ پروتکل درختی انتشار همگرای تنظیم‌پذیر (ACT) ۴۴

فصل۴: پروتکل درختی انتشار همگرای تنظیم‌پذیر (ACT) ۴۵
۴-۱ مراحل اجرای پروتکل ACT ۴۷
۴-۱-۱ تشکیل درخت SPT ۴۷
۴-۱-۲ تنظیم درخت SPT ۴۸
۴-۱-۳ نگهداری از درخت ۵۲
۴-۲ معایب پروتکل ACT ۵۴

فصل۵: پروتکل درختی انتشار همگرای کارآمد (ECT) ۵۷
۵-۱ تعریف مسئله ۵۷
۵-۲ متوسط تعداد بچه‌ها بعنوان تابعی از عمق گره‌ی درختی ۵۸
۵-۳ مراحل اجرای پروتکل ECT ۶۰
۵-۳-۱ مرحله‌ی تشکیل درخت ۶۱
۵-۳-۲ مرحله‌ی توازن درخت ۶۴
۵-۴ مقایسه‌ی پروتکل‌های ACT و ECT ۶۷

فصل۶: شبیه‌سازی، جمع‌بندی و پیشنهادها ۷۱
۶-۱ نتایج شبیه‌سازی ۷۱
۶-۱-۱ مدل شبیه‌سازی ۷۲
۶-۱-۲ ارزیابی عملکرد ۷۴
۶-۲ جمع‌بندی ۸۲
۶-۳ پیشنهادها ۸۵

مراجع ۸۷

فهرست اشکال

شکل (۱-۱): اجزای گره‌ی حسگر در شبکه‌های WSN ۷
شکل (۱-۲): پشته‌ی پروتکلی در شبکه‌های حسگر بیسیم ۸
شکل (۲-۱): مشکلات ارسال سیل‌آسا ۱۴
شکل (۲-۲): نحوه‌ی عملکرد پروتکل SPIN ۱۵
شکل (۲-۳): نحوه‌ی عملکرد پروتکل PEGASIS ۱۹
شکل (۲-۴): نحوه‌ی عملکرد PEGASIS سلسله‌مراتبی ۱۹
شکل (۳-۱): نمایش گراف همبند G بهمراه مجموعه‌ی درختان پوشا در آن ۲۳
شکل (۳-۲): همپوشانی در نواحی پوشش حسگرها ۲۵
شکل (۳-۳): پیمایش ماتریس مجاورت M با شروع از دو خوشه ۳۱
شکل (۳-۴): پیمایش ماتریس مجاورت M با شروع از چهار خوشه ۳۲
شکل (۳-۵): جستجوی درخت پوشا به روش عمق-ابتدا ۳۳
شکل (۳-۶): درخت پوشای بدست‌آمده از یک خوشه اولیه ۳۳
شکل (۳-۷): درخت پوشای بدست‌آمده از هشت خوشه اولیه ۳۴
شکل (۳-۸): مدل پیشنهادی جهت بازسازی درخت منفصل ۴۱
شکل (۳-۹): مقایسه‌ی طول عمر شبکه برای سه پروتکل یادشده [۱۲] ۴۲
شکل (۳-۱۰): مقایسه‌ی میزان تلفات بسته برای سه پروتکل یادشده [۱۲] ۴۳
شکل (۴-۱): نمایش گراف اتصال یک شبکه‌ی مفروض بهمراه درخت SPT دلخواه در آن ۴۸
شکل (۴-۲): ساختار پیام *TREP* ۴۹
شکل (۴-۳): نمایش داوطلبین سرپرستی در گره‌های درختی ۵۰
شکل (۴-۴): ساختار پیام *TADJ* ۵۱
شکل (۴-۵): تغییر در سرپرستی گره‌ها جهت برقراری توازن بار ۵۲
شکل (۴-۶): (الف) ساختار پیام *CAQ*، (ب) ساختار پیام *CAR* ۵۲
شکل (۴-۷): ساختار پیام *TAQ* ۵۳
شکل (۴-۸): نگهداری از زیردرخت ST_2 با تغییر در سرپرستی گره‌های n_6 و n_7 ..... ۵۳
شکل (۴-۹): نمایش درختان SPT و ACT در گراف اتصال شبکه بهمراه گره‌ی n_{14} ۵۴
شکل (۴-۱۰): نمایش درختان SPT و ACT در گراف اتصال شبکه بدون گره‌ی n_{12} ۵۵
شکل (۴-۱۱): نمایش درخت ACT بهمراه SPT تغییریافته در گراف اتصال شبکه ۵۵
شکل (۵-۱): نمایش دوایر محیطی در یک شبکه‌ی درختی دوبُعدی ۶۰

شکل (۵-۲): ساختار پیام *TREQ* ۶۲
شکل (۵-۳): ساختار پیام *TADV* ۶۳
شکل (۵-۴): ساختار پیام *CADV* ۶۵
شکل (۵-۵): ساختار پیام *CREQ* ۶۶
شکل (۵-۶): نمایش گراف اتصال یک شبکه‌ی دلخواه بهمراه درختان SPT، ACT و ECT در آن ۶۷
شکل (۵-۷): درخت متوازن‌شده‌ی ECT حاصل از درخت SPT مفروض در شکل (۴-۱-ب) ۶۷
شکل (۵-۸): نمایش درختان SPT، ACT و ECT در گراف اتصال شبکه بهمراه گره‌ی n_{14} ۶۸
شکل (۵-۹): نمایش درختان SPT، ACT و ECT در گراف اتصال شبکه بدون گره‌ی n_{12} ۶۹
شکل (۵-۱۰): نمایش درختان ACT و ECT بهمراه SPT تغییریافته در گراف اتصال شبکه ۷۰
شکل (۶-۱): نمودار متوسط درجه‌ی درخت برحسب تعداد گره‌ها در SPT، ACT و ECT ۷۴
شکل (۶-۲): نمودار طول عمر شبکه درختان SPT، ACT و ECT به‌ازای آستانه‌ی ٪۷۵ و ٪۲۵ ..... ۷۵
شکل (۶-۳): نمودار میزان گذردهی درختان SPT، ACT و ECT به‌ازای آستانه‌ی ٪۷۵ و ٪۲۵ ..... ۷۶
شکل (۶-۴): نمودار طول عمر شبکه و گذردهی SPT، ACT و ECT در آستانه‌ی FND وLND ۷۷
شکل (۶-۵): نمایش توزیع تصادفی گره‌های شبکه بهمراه درختان SPT، ACT و ECT در آن ۷۹
شکل (۶-۶): نمودار واریانس تعداد فرزندان برحسب تعداد گره‌ها برای SPT، ACT و ECT ۸۰
شکل (۶-۷): نمودار طول عمر شبکه و قابلیت گذردهی درختان SPT، ACT و ECT ۸۱

فهرست جداول

جدول (۴-۱): نمادهای بکاررفته در ACT ۴۶
جدول (۵-۱): نمادهای بکاررفته در ECT ۶۱
جدول (۶-۱): پارامترهای شبیه‌سازی ۷۲

فصل ۱

مقدمه

۱-۱ معرفی شبکه‌های حسگر بیسیم[1]

پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی سیستم‌های MEMS[2]، حسگرهای هوشمند[3]، مخابرات بیسیم و الکترونیک دیجیتال، امکان ساخت گره‌های حسگر کوچک، کم‌مصرف و کم‌هزینه را با قابلیت برقراری ارتباط بیسیم، فراهم ساخته است. این گره‌های حسگر کوچک، شامل سه بخش حسگر، پردازنده‌ی داده و انتقال‌دهنده‌ی اطلاعات بصورت بیسیم، می‌باشند. یک شبکه‌ی حسگر بیسیم، شامل تعداد زیادی از این گره‌هاست که برای اندازه‌گیری یک پارامتر خاص، داده‌های دریافتی از آن‌ها بصورت دسته‌جمعی مورد توجه قرار می‌گیرد؛ بعبارت دیگر، تمامی اطلاعات جمع‌آوری شده برای یک پارامتر، در یک ایستگاه پایه[4] از شبکه موسوم به گره‌ی چاهک[5]، پردازش شده و مقدار واقعی آن بطور تقریبی تخمین زده می‌شود. در این شبکه‌ها، معمولاً ازکار افتادن یک گره‌ی شبکه، تأثیری در مقدار تخمینی ندارد [۱].

در شبکه‌های WSN، حسگرها بمنظور اندازه‌گیری پارامتر مورد نظر، داخل ناحیه‌ی هدف و یا نزدیکی آن، در حجم انبوه توزیع می‌گردند که عموماً مکان این گره‌ها از قبل طراحی نشده است.

1- Wireless Sensor Networks (WSNs)
2- Micro-Electro-Mechanical-Systems
3- Smart Sensors
4- Base Station
5- Sink Node

این مسأله به سادگی کار جایگذاری حسگرها در شبکه کمک می‌کند؛ اما در عوض می‌بایست، پروتکل‌هایی که برای این شبکه‌ها بکار گرفته می‌شود، خودسازمان‌یافته[1] باشند.

شبکه‌های WSN، از جهات بسیاری به شبکه‌های اقتضائی متحرک[2] (MANET)، شباهت دارند؛ اما باید توجه داشت، پروتکل‌هایی که در شبکه‌های اقتضائی مورد استفاده قرار می‌گیرند، برای شبکه‌های حسگر بیسیم مناسب نیستند. در شبکه‌های اقتضائی، مسأله‌ی اصلی برای طراحی پروتکل‌ها، کیفیت سرویس‌دهی[3] (QoS) است، در صورتیکه در شبکه‌های WSN، چالش اصلی در طراحی پروتکل‌ها، انرژی محدود حسگرها می‌باشد و بر این اساس، پروتکل‌های مبتنی‌بر بهره‌وری انرژی، از اهمییت ویژه‌ای در بین سایرین برخوردارند. بطور کلی، تفاوت‌های اصلی شبکه‌های WSN با شبکه‌های MANET، بشرح ذیل می‌باشد:

۱) تعداد گره‌ها در شبکه‌های WSN بسیار بیشتر از شبکه‌های اقتضائی است.

۲) در شبکه‌های WSN، حسگرها بصورت فشرده جایگذاری می‌شوند.

۳) توپولوژی شبکه‌های WSN، پویاتر است.

۴) حسگرها در اندازه، توان، قدرت محاسبه و حافظه محدودیت دارند.

۱-۲ کاربردهای شبکه‌های WSN

شبکه‌های WSN، شامل انواع مختلفی از حسگرها مانند لرزه‌نگاری[4]، حرکتی، حرارتی، گازی، نوری، صوتی و ... می‌باشند که از توانایی نظارت بر پارامترهایی همچون دما، رطوبت، فشار، سطح نویز موجود در فضا، حضور یا عدم حضور شیء خاص در محیط و مشخصات رایج همچون سرعت، جهت و اندازه‌ی یک شیء، برخوردارند. گره‌های حسگر می‌توانند بمنظور نظارت پیوسته‌ی محیط، آشکارسازی یک رویداد و کنترل محلی محرک‌ها[5]، مورد استفاده واقع شوند. در ادامه، به چهار دسته‌ی شاخص از کاربردهای این شبکه‌ها اشاره می‌کنیم [۱].

1- Self-organized
2- Mobile-Ad hoc-NETworks
3- Quality of Service
4- Seismic
5- Actuators

الف)کاربردهای نظامی

شبکه‌های WSN می‌توانند بعنوان بخش مهمی از سیستم‌های ارتباطی، نظارتی، ناوبری هوشمند و پردازش نظامی مورد استفاده قرار گیرند. آرایش سریع، خودسازماندهی و تحمل‌پذیری خرابی[1]، این شبکه‌ها را به یکی از راهکارهای رضایت‌بخش در پیشرفت صنایع نظامی تبدیل کرده است. از آنجائیکه شبکه‌های حسگر، با هزینه‌ی اندک و آرایش متراکم بنا شده‌اند، تخریب و از بین رفتن یک گره در این شبکه‌ها، در مقایسه با شبکه‌های سنتی بیسیم، تأثیر چندانی در کل شبکه نمی‌گذارد؛ این امر موجب گردیده است که از این شبکه‌ها در میادین جنگی و در منطقه‌ی دشمن، استفاده‌ی زیادی شود. گاهی اوقات در شبکه‌های حسگر، گره‌ها با فرستنده و گیرنده‌ی سیستم موقعیت‌یاب سراسری[2] (GPS) مجهز شده تا در مکان‌یابی دقیق مناطق جنگی، مورد استفاده قرار گیرند.

از کاربردهای نظامی این شبکه‌ها می‌توان نظارت بر تجهیزات، مهمات و نیروهای خودی، نظارت بر مناطق جنگی، زیر نظر گرفتن نیروها و منطقه‌ی عملیاتی دشمن، تشخیص حملات شیمیایی، هسته‌ای و ... را نام برد و با توجه به اینکه در این شبکه‌ها، طراحی از پیش تعیین شده‌ای برای جایگذاری حسگرها وجود ندارد، براحتی قادر به توزیع حسگرهای مذکور در منطقه‌ی مورد نظر خواهیم بود.

ب)کاربردهای محیطی

یکی دیگر از کاربردهای شبکه‌های WSN، نظارت بر اوضاع محیط‌های طبیعی است. تشخیص محل دقیق آتش‌سوزی در جنگل‌ها، تعیین پارامترهای محیطی مثل دما و فشار، اندازه‌گیری میزان رطوبت در مزارع کشاورزی، اندازه‌گیری سطح نفوذ آب در خاک، تشخیص گردباد و شناسایی مناطق آلوده در محیط، نمونه‌هایی از این نوع کاربرد می‌باشد. این شبکه‌ها، بمنظور ردیابی حرکات پرندگان و حیوانات کوچک و همچنین، بررسی پدیده‌های زمین‌شناسی و هواشناسی نیز بکار می‌روند.

1- Failure-tolerance
2- Global Positioning System

ج) کاربردهای پزشکی

شبکه‌های WSN، جهت نظارت بر وضعیت بیماران ناتوان، مدیریت دارو در بیمارستان‌ها، بررسی روند تأثیر داروها در بدن بیمار و نظارت بر وضعیت جسمانی وی بدون مراجعه به پزشک، قابل استفاده هستند. در کارخانجات تولید مواد شیمیایی و پزشکی، کنترل میزان ترکیبات دارویی، از مهمترین کاربردهای شبکه‌های حسگر است که در این مورد، کوچکترین خطا موجب به خطر افتادن جان هزاران انسان می‌شود. حسگرهای بیسیم می‌توانند بر عملکرد اپراتورهای مشغول به کار نیز نظارت نمایند. این شبکه‌ها، در زمینه‌ی مسائل بهداشتی و درمانی همچون جمع‌آوری اطلاعات فیزیولوژیکی بدن انسان از راه دور و همچنین، یافتن بیماران و پزشکان در محیط درمانی، کاربرد دارند.

د) سایر کاربردها

این شبکه‌ها در حوزه‌ی صنعت هم کاربردهایی دارند. برای مثال، در فرآیندهای اتوماسیون صنعتی (در بخش‌هایی که حضور انسان مشکل و بعضاً غیرممکن است)، بکمک حسگرهای بیسیم می‌توان بر مواردی همچون کیفیت محصولات و ایمنی محیط نظارت کرد.

از کاربردهای شبکه‌های حسگر بیسیم در معادن زیرزمینی (در محیطی خطرناک برای کارگران بلحاظ نشت گاز و خطر ریزش)، می‌توان به جمع‌آوری داده‌های مربوط به پدیده‌ی فیزیکی مورد نظر(مانند دما، رطوبت و روشنایی) و نظارت بر ایمنی محیط اشاره کرد که در مورد اخیر، گره‌های حسگر برای کنترل عوامل غیرعادی همچون آتش‌سوزی و نشت گازهای سمی، در معدن استقرار می‌یابند.

از سوی دیگر، با استفاده از این شبکه‌ها، قادر به طراحی منازل هوشمند خواهیم بود؛ مانند کنترل وسایل خانه از طریق اینترنت. با این اوصاف، می‌توان گفت که شبکه‌های WSN، یک جزء لاینفک از زندگی بشری در آینده‌ی نزدیک خواهد بود.

۱-۳ عوامل مهم در طراحی شبکه‌های حسگر بیسیم

طراحی یک شبکه‌ی حسگر، از چندین پارامتر تأثیر می‌پذیرد که در این بین می‌توان به عواملی همچون تحمل‌پذیری خرابی، مقیاس‌پذیری[1]، هزینه‌ی تولید، محیط کاری، رسانه‌ی انتقال، محدودیت‌های سخت‌افزاری و میزان مصرف انرژی اشاره کرد. پارامترهای مذکور، توسط محققان زیادی بررسی شده‌اند؛ اما همانطورکه در فصول آتی خواهیم دید، هیچ‌یک از این مطالعات، نگاه جامعی به کلیه‌ی فاکتورهای فوق در طراحی شبکه ندارند. این پارامترها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند چراکه بعنوان خط مشی طراحی الگوریتم‌ها و پروتکل‌های شبکه‌های حسگر و همچنین، بمنظور مقایسه‌ی دیدگاه‌های متفاوت در این شبکه‌ها، بکار می‌روند. بر این اساس، در طراحی پروتکل‌های کارآمد در شبکه‌های WSN، پارامترهای زیر حائز اهمیت می‌باشند [۱]:

الف) تحمل‌پذیری خرابی

پروتکل‌ها باید بگونه‌ای طراحی شوند که با از کارافتادن یک یا چند حسگر، کل عملکرد شبکه متوقف نشود. در این راستا، پروتکل‌های کنترل دسترسی به رسانه‌ی انتقال[2] (MAC) و پروتکل‌های مسیریابی می‌بایست در هنگام از کارافتادن یک یا چند گره، مسیرهای جدیدی را برای انتقال اطلاعات به ایستگاه پایه جایگزین کنند که برای این منظور، به چندین سطح از افزونگی نیاز خواهیم داشت.

در فرایند جمع‌آوری اطلاعات، برخی از گره‌های حسگر ممکن است بعلت فقدان انرژی، آسیب فیزیکی، وجود موانع و ... از کار بیفتند؛ خرابی یک گره نباید بر روی کارکرد کل شبکه‌ی حسگر تأثیر گذارد تا سیستم همچنان به فعالیت خود ادامه دهد. تحمل‌پذیری خرابی بدین معنا می‌باشد که شبکه‌ی WSN قادر است که وظیفه‌ی خود را در هنگام بروز خطا هم بخوبی انجام دهد. در انتهای فصل سوم، به چندین نمونه از این پروتکل‌ها اشاره می‌کنیم. معمولاً قابلیت اطمینان[3] یک گره‌ی حسگر($R_k(t)$)، با توزیع پواسن مدل‌سازی می‌گردد:

1- Scalability
2- Media Access Control
3- Reliability

$$R_k(t) = e^{-\lambda_k t}. \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه، λ_k و t، بترتیب، معرف نرخ خرابی گره‌ی حسگر و طول بازه‌ی زمانی $(0,t)$ می‌باشند. بطور کلی قابلیت اطمینان یک سیستم، میزان احتمالی است که سیستم مذکور در یک بازه‌ی زمانی معین، خدمات خود را بدرستی انجام دهد؛ مشروط بر اینکه در زمان شروع کار، این سیستم مشکلی در عملکرد خود نداشته است.

ب)مقیاس‌پذیری

پروتکل‌ها باید بگونه‌ای باشند که امکان فعالیت یک شبکه با تعداد زیادی حسگر را ممکن سازند. بسیاری از پروتکل‌ها با وجود مزایای ویژه‌ای که دارند، اما بدلیل تحمیل حجم زیادی از محاسبات و بار به گره‌های خاص، برای شبکه‌هایی با تعداد گره‌ی زیاد مناسب نیستند. شایان ذکر است که مقیاس‌پذیری یا قابلیت پوشش تعداد زیاد حسگر، از ویژگی‌های شاخص در پروتکل‌های مسیریابی درختی بشمار می‌رود که موضوع مورد بحث در این پایان‌نامه است.

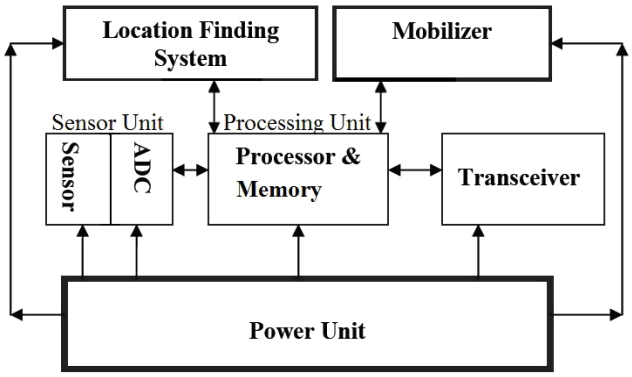
ج)هزینه‌ی ساخت

بنا به توزیع متراکم حسگرها در محیط، ضروری است که قیمت گره‌های حسگر برای پیاده‌سازی شبکه، ناچیز بوده تا بکارگیری آن‌ها در موارد قیدشده، مقرون به صرفه باشد.

د)محدودیت سخت‌افزاری

معمولاً در پیاده‌سازی شبکه‌های WSN، هر حسگر نباید فضای زیادی را اشغال کند. از اینرو می‌بایست از قطعاتی استفاده کرد که تا حد امکان کوچک، سبک و درعین حال، کم‌مصرف باشند. همانگونه که در شکل (۱-۱) دیده می‌شود، یک گره‌ی حسگر، از چهار قسمت اصلی شامل واحد حسگر، واحد پردازشگر، واحد ارتباطی و واحد تغذیه تشکیل شده است. ممکن است بسته به کاربرد، گره‌ی حسگر شامل قطعاتی چون سیستم موقعیت‌یاب و واحد محرک‌ساز[1] نیز باشد.

1- Mobilizer



شکل (۱-۱): اجزای گره‌ی حسگر در شبکه‌های WSN.

واحد حسگر، معمولاً از دو قسمت فرعی شامل حسگر و مبدل آنالوگ به دیجیتال[1] (ADC)، تشکیل شده است؛ سیگنال آنالوگ تولید شده از حسگر، توسط بخش ADC به سیگنال دیجیتال تبدیل و به واحد پردازش منتقل می‌شود. واحد پردازش بهمراه واحد حافظه، مدیریت وظایف تعیین شده در جهت نیل به هدف اصلی شبکه را برعهده دارد. واحد ارتباطی، جهت اتصال گره‌های شبکه بکار می‌رود. از مهمترین بخش‌های گره‌ی حسگر، واحد تغذیه می‌باشد که ممکن است توسط باتری‌های خورشیدی تامین شود.

واحد فرستنده-گیرنده ممکن است شامل عناصر فعال یا غیرفعال نوری بوده و یا اینکه از ارتباطات رادیویی (RF) استفاده نماید. سیگنال‌های رادیویی، نیازمند مدولاسیون، فیلترینگ، دمدولاسیون و مدارات مالتی‌پلکس می‌باشند که در این بین، بعلت نزدیکی حسگرها به یکدیگر، احتمال تداخل سیگنال گره‌های مجاور وجود دارد.

از آنجایی‌که گره‌های حسگر بصورت تصادفی در یک منطقه توزیع می‌شوند، در بسیاری از کاربردها، آگاهی از موقعیت جغرافیایی هر گره بمنظور همکاری و ارتباط با سایرین، ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از روش‌های مطرح در دست‌یابی گره‌ها به اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی، استفاده از GPS است که البته همه‌ی گره‌های شبکه به این سیستم نیازمند نیستند و فقط تعدادی از آن‌ها می‌بایست مختصات مکانی را بدست آورده و درصورت نیاز، اطلاعات مذکور را در اختیار سایرین قرار دهند. اما، باید درنظر داشت که استفاده از GPS، مانع بزرگی برای مقیاس‌پذیری شبکه و کم‌هزینه شدن آن بشمار می‌رود.

1- Analog to Digital Converter

ه)شرایط محیطی

از آنجایی‌که این شبکه‌ها در مناطق مختلف بکار گرفته می‌شوند، ممکن است که برای هر شرایط محیطی، پروتکل خاصی بهتر از سایرین عمل کند.

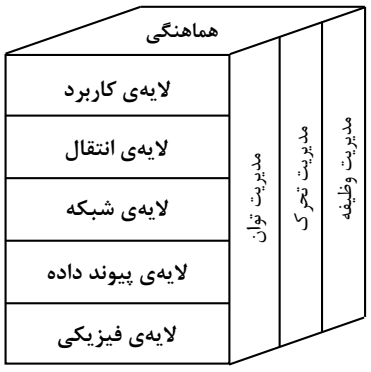
و)رسانه‌ی انتقال

رسانه‌ی انتقال می‌تواند یکی از محیط‌های RF، مادون قرمز یا نور باشد که در هر کدام از آن‌ها، ضروری است فرکانس مورد نظر برای ارتباط، بطور دقیق تعیین گردد.

ز)مصرف انرژی

همچنان‌که در فصول بعدی خواهیم دید، مصرف انرژی مهم‌ترین پارامتری است که در طراحی پروتکل‌های شبکه‌ی WSN درنظر گرفته می‌شود. هر گره‌ی حسگر، برای اندازه‌گیری پارامتر مورد نظر، انتقال و پردازش اطلاعات، نیازمند انرژی است.

با توجه به اینکه انتقال اطلاعات، بیشترین سهم از انرژی مصرفی را بخود اختصاص می‌دهد، در طراحی پروتکل‌ها سعی بر این است که تا حد امکان، بکمک پردازش محلی اطلاعات اولیه، حجم داده‌ی موردنظر برای انتقال کاهش یابد. در این پایان‌نامه، با وجود آگاهی از تفاوت مابین مفاهیمی چون توان و انرژی، و با نظر به اینکه شبکه‌های WSN مبتنی بر باتری کار می‌کنند، بعضاً این دو مفهوم را بصورت مترادف بکار می‌بریم. شکل (۱-۲)، پشته‌ی پروتکلی شبکه‌های WSN، شامل لایه‌های فیزیکی، پیوند داده، شبکه، انتقال و لایه‌ی کاربرد را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۲): پشته‌ی پروتکلی در شبکه‌های حسگر بیسیم.

در لایه‌ی فیزیکی، طراحی سخت‌افزار کم‌هزینه و اعمال روش‌های مدولاسیون با توان انـدک، جزء مباحث قابل تامل بشمار می‌روند. در لایـه‌ی پیونـد داده، طراحـی زیرلایـه‌ی MAC مناسـب و همچنین، یافتن حد پایین مقدار انرژی لازم برای تنظیم خودکار گـره‌هـا، از موضـوعاتی اسـت کـه نیازمند تحقیقات بیشتری است.

با توجه به اینکه مکان حسگرها عموماً از قبل مشخص نیست، وجود یـک پروتکـل مسـیریابی مناسب در انتقال اطلاعات دریافتی ضروری به‌نظر می‌رسـد. از نکـات بسـیار مهـم در طراحـی ایـن پروتکل‌ها، درنظر داشتن بهره‌وری در مصرف انرژی است بگونه‌ای‌که طول عمـر شـبکه بـه حـداکثر مقدار ممکن نایل شود. همچنین، در طراحی این پروتکل‌ها می‌بایست از تمرکز بار شبکه بـر تعـداد محدودی از حسگرها جلوگیری شود. با نابودی زودهنگام این حسگرها، نظارت بخش معیوب مقدور نبوده که گاهی ممکن است توقف کارایی کل شبکه را درپی داشته باشد.

در فصل بعدی، ضمن بررسی عوامل موثر در طراحی پروتکل‌های مسـیریابی در شـبکه‌هـای WSN، به معرفی اجمالی پروتکل‌های شاخص در این شبکه‌ها می‌پردازیم. در بین روش‌هـای مـورد بررسی در شبکه‌های حسگر، شیوه‌ی درختی از اهمیـت ویـژه‌ای برخـوردار اسـت؛ چراکـه در ایـن ساختار، هر گره نیازمند است که صرفاً والد خود را شناسایی نموده و داده را بـه سـمت آن هـدایت نماید؛ ضمن اینکه نگهداری مسیریابی مذکور، چندان دشوار نیست. در فصل سوم این پایان‌نامه، بـا تعدادی از این پروتکل‌ها بیشتر آشنا می‌شویم.

از میان روش‌های درختی مطرح‌شده، در فصل چهارم این پایان‌نامه علاوه بـر معرفـی کامـل پروتکل درختی انتشار همگرای تنظیم‌پذیر[1] (ACT)، بـه بررسـی مشـکلات موجـود در ایـن روش می‌پردازیم. این پروتکل که شباهت نسـبی بـا روش پیشـنهادی دارد، قـادر اسـت سـاختار درخـت مسیریاب را بطور پویا، متوازن نمـوده و از تجمـع بـار انتقـال بـر روی تعـداد محـدودی از گـره‌هـا جلوگیری نماید.

در فصل پنجم، به ارائه‌ی یک روش مسیریابی درختی نوین موسوم به پروتکل درختی انتشار همگرای کارآمد[2] (ECT)، می‌پردازیم. این الگوریتم سـاده، مشـکلات موجـود در پروتکـل ACT را

1- Adjustable Convergecast Tree (ACT) Protocol
2- Efficient Convergecast Tree (ECT) Protocol