دانشگاه شیخ‌بهایی

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر-نرم‌افزار

خوشه‌بندی تطبیق‌پذیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

پژوهشگر

امیر اخوان خرازیان

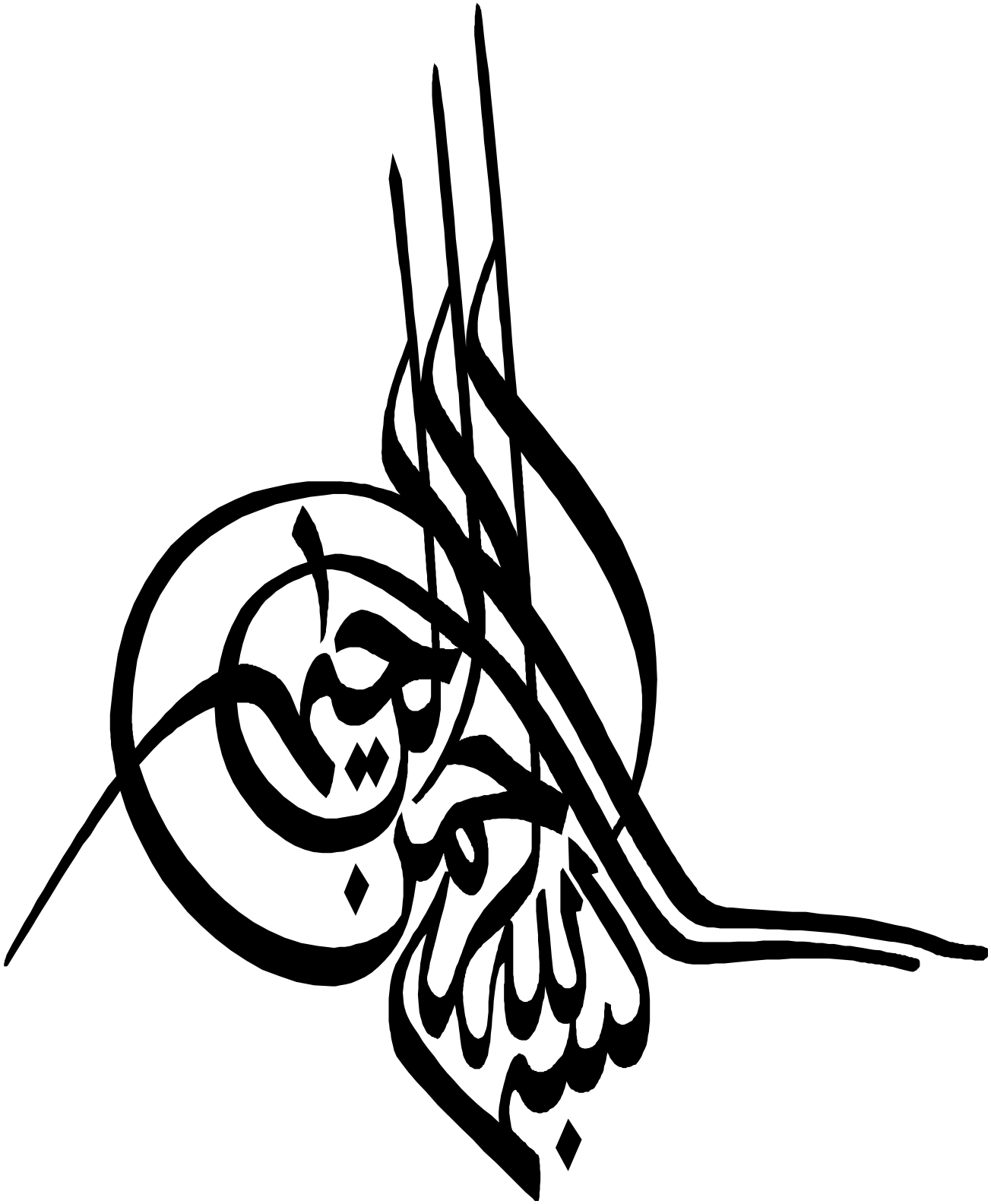
استاد راهنما

دکتر کمال جمشیدی

استاد مشاور

دکتر محمدرضا خیام‌باشی

مرداد ۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به مهربان فرشتگانی که:

لحظات ناب باور بودن، لذت و غرور دانستن، جسارت خواستن، عظمت رسیدن و تمام تجربه های یکتا و زیبای زندگیم، مدیون حضور سبز آنهاست

تقدیم به خانواده عزیزم.

چکیده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارای تعداد زیادی گره حسگر با انرژی و منابع محدود می‌باشند که در یک محدوده جغرافیایی پراکنده شده‌اند. یکی از مسائل مهم در این شبکه‌ها افزایش طول عمر شبکه است. با توجه به محدودیت‌های موجود در طراحی گره‌ها در شبکه های حسگر ، خوشه‌بندی یکی از راه‌های مناسب برای بهبود در استفاده از انرژی و غلبه بر این محدودیت‌ها می‌باشد. هدف از این خوشه‌بندی، مشخص کردن دسته‌ای از حسگرهاست که اطلاعات را به یکی از حسگرها که به عنوان سرخوشه شناخته می‌شود ارسال کنند. این حسگر وظیفه مدیریت اعضاء و ارتباط با بیرون را بر عهده دارد. در این پایان‌نامه یک پروتکل ارتباطی توزیع‌شده مبتنی بر خوشه‌بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. این پروتکل به بازه‌های زمانی مساوی تقسیم می‌شود که در ابتدای هر فاز سرخوشه‌ها انتخاب و خوشه‌ها تشکیل می‌شوند و در ادامه هر گره با توجه به برنامه زمانبندی سرخوشه خود، اطلاعات را برای سرخوشه ارسال می‌کند. در این پروتکل سرخوشه‌ها توسط گره‌هایی که دارای کمترین مقدار باقیمانده انرژی در یک همسایگی هستند انتخاب می‌شوند. این انتخاب سرخوشه به گونه‌ای توسط گره‌های ضعیف انجام می‌گیرد که بار مصرف انرژی از روی گره‌های ضعیف برداشته شده و به گره‌های دیگر انتقال داده می‌شود. انتخاب سرخوشه‌ها در این پروتکل بر مبنای وزن‌دهی می‌باشد. وزن هز گره ترکیبی از مقدار انرژی باقیمانده گره و قدرت سیگنال ارتباطی آن گره می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد بهتر این پروتکل نسبت به پروتکل‌های لیچ[1] و لیچ‌سی[2] را نشان داد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که پروتکل پیشنهادی یک پروتکل کاملا توزیع‌شده می‌باشد و به هیچ پارامتر و یا گره خاصی از شبکه وابسته نیست.

کلمات کلیدی:

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، خوشه‌بندی، گره ضعیف، وزن‌دهی، انرژی باقیمانده و طول عمر شبکه

[1] LEACH
[2] LEACH-C

فهرست مطالب

۱ مقدمه ۱

۱-۱ بیان مساله تحقیق ۲

۱-۲ اهمیت و ارزش تحقیق ۳

۱-۳ روش حل مساله تحقیق ۳

۱-۴ نتایج به دست آمده ۴

۱-۵ ساختار پایان‌نامه ۴

۲ شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۵

۲-۱ بررسی مختصر تاریخچه شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۶

۲-۲ ساختار کلی شبکه حسگر بی‌سیم ۸

۲-۳ ساختمان گره ۱۱

۲-۴ ویژگی‌ها ۱۲

۲-۵ کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۱۳

۲-۶ پشته پروتکلی ۱۵

۲-۷ موضوعات مطرح در طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۱۷

۲-۸ نمونه‌ی پیاده‌سازی شده شبکه حسگر بی‌سیم ۲۰

۳ خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۲۳

۳-۱ دسته‌بندی الگوریتم‌های مسیریابی ۲۴

۳-۲ استفاده از تئوری گراف‌ها برای نمایش خوشه‌بندی ۲۶

۳-۳ مفاهیم اولیه ۲۸

۳-۴ دسته‌بندی ویژگی‌های خوشه‌بندی ۳۰

۳-۴-۱ ویژگی‌های مربوط به خوشه‌ها ۳۰

۳-۴-۲ ویژگی‌های سرخوشه‌ها ۳۱
۳-۴-۳ ویژگی‌های مربوط به الگوریتم ۳۲
۳-۵ دسته‌بندی الگوریتم‌های خوشه‌بندی ۳۳
۳-۵-۱ الگوریتم‌های خوشه‌بندی توزیع‌شده ۳۴
۳-۵-۲ الگوریتم‌های خوشه‌بندی با پردازش مرکزی ۴۴

۴ پروتکل پیشنهادی ۴۹

۴-۱ مفروضات مساله ۵۰
۴-۲ مفاهیم اولیه ۵۰
۴-۳ انواع پیام ۵۱
۴-۴ بازه‌های زمانی الگوریتم ۵۱
۴-۵ الگوریتم خوشه‌بندی ۵۲
۴-۵-۱ ایجاد لیست همسایگان ۵۳
۴-۵-۲ انتخاب سرخوشه‌ها توسط گره‌های ضعیف ۵۴
۴-۵-۳ سرخوشه شدن و اعلام آن به همسایگان ۵۵
۴-۵-۴ انتخاب سرخوشه مناسب و عضویت در آن ۵۶
۴-۵-۵ ایجاد برنامه زمانبندی برای اعضاء ۵۷
۴-۶ پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی ۵۸

۵ شبیه‌سازی و مقایسه نتایج ۶۱

۵-۱ برنامه‌های شبیه‌ساز ۶۲
۵-۱-۱ شبیه‌ساز NS-2 ..... ۶۲
۵-۱-۲ شبیه‌ساز گلوموسیم ۶۳
۵-۱-۳ شبیه‌ساز جی‌سیم ۶۳
۵-۱-۴ شبیه‌ساز OMNET++ ۶۴

۵-۱-۵ مقایسه برنامه‌های شبیه‌ساز ۶۴
۵-۲ ساختمان گره و مدل مصرف انرژی در NS-2 ..... ۶۵
۵-۳ پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در NS-2 ..... ۶۸
۵-۳-۱ کلاس لایه عامل هوشمند ۶۸
۵-۳-۲ کلاس لایه مدیریت منابع ۶۹
۵-۳-۳ کلاس لایه کاربرد ۷۰
۵-۴ نتایج شبیه‌سازی ۷۲
۵-۴-۱ مفروضات و مقادیر اولیه شبیه‌سازی ۷۲
۵-۴-۲ مقایسه نتایج ۷۵

۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۰
۶-۱ نتیجه‌گیری ۸۰
۶-۲ راه‌کارهای توسعه سیستم ۸۱

۷ فهرست مراجع ۸۲

۸ واژه‌نامه ۸۶

۹ ضمیمه الف: کلاس پروتکل پیشنهادی ۹۰

۱۰ ضمیمه ب: کلاس عامل هوشمند ۱۰۳

۱۱ ضمیمه ج: کلاس انرژی مدل ۱۰۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: ساختار کلی شبکه حسگر بی‌سیم ۹
شکل ۲-۲: معماری خودکار ۱۰
شکل ۲-۳: معماری نیمه‌خودکار ۱۰
شکل ۲-۴: ساختمان داخلی گره حسگر/کارانداز ۱۱
شکل ۲-۵: یک مثال ازکاربرد نظامی ۱۴
شکل ۲-۶: پشته پروتکلی ۱۶
شکل ۲-۷: ذره میکا ۲۱
شکل ۳-۱: دسته‌بندی پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ۲۴
شکل ۳-۲: نمونه‌ای از یک پروتکل چند مسیره ۲۶
شکل ۳-۳: نمایش شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از گراف ۲۷
شکل ۳-۴: عناصر موجود در یک خوشه ۲۸
شکل ۳-۵: ویژگی‌های مربوط به خوشه‌ها ۳۱
شکل ۳-۶: ویژگی‌های مربوط به سرخوشه‌ها ۳۲
شکل ۳-۷: ویژگی‌های مربوط به الگوریتم خوشه‌بندی ۳۳
شکل ۳-۸: الف) سرخوشه‌های اولیه و ایجاد خوشه‌های اولیه ب)ایجاد خوشه‌ها نهایی (خوشه‌ها با یکدیگر همپوشانی دارند) ۳۶
شکل ۳-۹: نمایش خوشه بندی سلسله مراتبی ۳۶
شکل ۳-۱۰ :دیاگرام حالت در الگوریتم FLOC ۳۹
شکل ۳-۱۱: الگوریتم ACE ۳۹
شکل ۳-۱۲: خوشه بندی DWEHC ۴۱
شکل ۳-۱۳: فازهای خوشه بندی مجدد تطبیق پذیر ۴۶
شکل ۳-۱۴: نمونه ای از توپولوژی در خوشه بندی مجدد تطبیق پذیر ۴۷
شکل ۴-۱: ایجاد لیستی از همسایگان (فاز اول الگوریتم) ۵۳
شکل ۴-۲: انتخاب سرخوشه‌ها توسط گره‌های ضعیف ۵۴
شکل ۴-۳: اعلام سرخوشه شدن به همسایگان ۵۵
شکل ۴-۴: انتخاب سرخوشه و عضویت در آن ۵۶

شکل ۴-۵: ایجاد برنامه زمانبندی و ارسال برای اعضاء ۵۷
شکل ۴-۶: دیاگرام حالت الگوریتم پیشنهادی ۵۹
شکل ۵-۱: دیاگرام یک گره در NS-2 ..... ۶۵
شکل ۵-۲: ساختار گره به همراه مدل انرژی در NS-2 ..... ۶۶
شکل ۵-۳: مدل مصرف انرژی در NS-2 ..... ۶۷
شکل ۵-۴: توپولوژی شماره ۱ با قرار گرفتن ایستگاه مرکزی در نقطه (۵۰,۵۰) ۷۳
شکل ۵-۵: توپولوژی شماره ۲ با قرار گرفتن ایستگاه مرکزی در نقطه (۵۰,۱۵۰) ۷۳
شکل ۵-۶: طول عمر شبکه مکان ایستگاه مرکزی در (۵۰،۵۰) ۷۵
شکل ۵-۷: تعداد بسته دریافتی به ازای مقدار انرژی مصرفی ایستگاه مرکزی در(۵۰،۵۰) ۷۶
شکل ۵-۸: تعداد بسته‌های دریافتی به ازای تعداد گره‌های زنده شبکه ایستگاه مرکزی در (۵۰،۵۰) ۷۶
شکل ۵-۹: طول عمر شبکه مکان ایستگاه مرکزی در (۱۵۰،۵۰) ۷۷
شکل ۵-۱۰: تعداد بسته دریافتی به ازای مقدار انرژی مصرفی ایستگاه مرکزی در(۱۵۰،۵۰) ۷۸
شکل ۵-۱۱: تعداد بسته‌های دریافتی به ازای تعداد گره‌های زنده شبکه ایستگاه مرکزی در (۱۵۰،۵۰) ۷۹

فهرست جداول

جدول ۳-۱: مختصات مکانی برای ۸ گره در شبکه حسگر بی‌سیم ۴۲
جدول ۳-۲: ماتریس ضریب تشابه مرحله اول الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی تراکمی توزیع شده ۴۳
جدول ۳-۳: ماتریس ضریب تشابه مرحله دوم الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی تراکمی توزیع شده ۴۴
جدول ۳-۴: ماتریس ضریب تشابه ۴۵
جدول ۵-۱: مقایسه برنامه‌های شبیه‌ساز برای شبکه‌های حسگربی‌سیم ۶۴
جدول ۵-۳: پارامترهای شبیه‌سازی ۷۴

فصل اول

مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در فناوری ساخت مدارات مجتمع در اندازه‌های کوچک از یک سو و توسعه فناوری ارتباطات بی‌سیم از سوی دیگر زمینه‌ساز طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده است. تفاوت اساسی این شبکه‌ها با شبکه‌های سنتی در ارتباط شبکه‌های حسگر با محیط و پدیده‌های فیزیکی است. شبکه‌های سنتی ارتباط بین انسانها و پایگاه های اطلاعاتی را فراهم می‌کنند، در حالی که شبکه‌های حسگر بی‌سیم مستقیما با جهان فیزیکی در ارتباط هستند. با استفاده از حسگرها محیط فیزیکی را مشاهده کرده، بر اساس مشاهدات خود تصمیم‌گیری نموده و عملیات مناسب را انجام می‌دهند. نام شبکه حسگر بی‌سیم یک نام عمومی است برای انواع مختلف که به منظورهای خاص طراحی می‌شود. برخلاف شبکه‌های سنتی که همه منظوره‌اند شبکه‌های حسگر بی‌سیم نوعا تک منظوره هستند. در صورتی

که گره‌ها توانایی حرکت داشته باشند شبکه می‌تواند گروهی از ربات‌های کوچک در نظر گرفته شود که با هم بصورت تیمی کار می‌کنند و جهت مقصد خاصی مثلا بازی فوتبال یا مبارزه با دشمن طراحی شده است.

از دیدگاه دیگر اگر در شبکه تلفن همراه ایستگاه‌های پایه حذف شوند و هر گوشی یک گره فرض شود و ارتباط بین گره‌ها بطور مستقیم یا از طریق یک یا چند گره میانی برقرار شود. این خود نوعی شبکه حسگر بی‌سیم می‌باشد. اگرچه به نقلی تاریخچه شبکه‌های حسگر بی‌سیم به دوران جنگ سرد و ایده اولیه آن به طراحان نظامی صنایع دفاع آمریکا برمی‌گردد. ولی این ایده می‌توانسته در ذهن طراحان ربات‌های متحرک مستقل یا حتی طراحان شبکه‌های بی‌سیم موبایل نیز شکل گرفته باشد. به هر حال از آنجا که این فن نقطه تلاقی دیدگاه‌های مختلف است، تحقق آن می‌تواند بستر پیاده‌سازی بسیاری از کاربردهای آینده باشد. کاربرد فراوان این نوع شبکه و ارتباط آن با مباحث مختلف مطرح در کامپیوتر و الکترونیک از جمله امنیت شبکه، ارتباط بلادرنگ، پردازش صوت و تصویر، داده‌کاوی، رباتیک ،طراحی خودکار سیستم‌های تعبیه شده دیجیتال و موارد این چنین میدان وسیعی برای پژوهش محققان با علاقه‌مندی‌های مختلف فراهم نموده است.

۱-۱ بیان مساله تحقیق

شبکه‌های حسگر بی‌سیم از تعداد زیادی گره حسگر تشکیل شده‌اند که با استفاده از بستر بی‌سیم با هم در ارتباط هستند. استقرار این شبکه‌ها معمولا به صورت تصادفی و بدون هیچگونه دانشی نسبت به توپولوژی شبکه می‌باشد. در این شبکه‌ها معمولا محدودیت‌هایی مثل اندازه کوچک، قیمت پایین، مقدار حافظه و میزان انرژی اولیه وجود دارد. در بیشتر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، انرژی گره‌ها توسط باتری تامین می‌شود. باتری یک منبع انرژی محدود می‌باشد و بعد از گذشت مدت زمانی این انرژی تمام شده و گره مورد نظر دیگر قادر به ادامه فعالیت خود نمی‌باشد.

یکی از راهکارهای مقابله با این انرژی محدود تعویض و جایگزین کردن منبع انرژی یعنی همان باتری می‌باشد. اما به دلیل قرارگیری شبکه‌های حسگر بی‌سیم در شرایط محیطی سخت، تعویض این منابع غیر ممکن و یا بسیار دشوار است. بنابراین برای مقابله با این محدودیت نیاز به راهکار دیگری می‌باشد. مصرف بهینه انرژی گره‌ها یکی دیگر از راهکارهای مقابله با این محدودیت می‌باشد که در نهایت باعث بالا رفتن طول عمر شبکه می‌شود.

یکی از مکانیزم‌های پیشنهادی برای مصرف بهینه انرژی گره‌ها، سازماندهی سلسله مراتبی، دسته‌بندی، انتخاب سرگروه برای گره‌ها و محول کردن وظایف خاص به سرگروه‌ها می‌باشد. این دسته‌بندی معمولا خوشه‌بندی نامیده می‌شود. هر خوشه دارای یک سرخوشه است، که به طور مستقیم یا غیر مستقیم با ایستگاه مرکزی (سینک) در ارتباط است. این گره اطلاعات را از اعضای خود دریافت کرده و برای ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. همچنین ایجاد برنامه و مدیریت اعضای هر خوشه بر عهده سرخوشه می‌باشد. با توجه به نقش گره‌ها (گره عضو یا

سرخوشه) در سازماندهی سلسله مراتبی شبکه، هر یک از گره‌ها می‌توانند فعالیت‌های خود را کنترل کنند و باعث مصرف بهینه انرژی در شبکه شوند.

خوشه‌بندی از طرفی با کاهش هزینه انتقال اطلاعات به ایستگاه مرکزی، کاهش مصرف انرژی در گره‌ها، تسهیل در جمع‌آوری داده‌ها و بالا بردن طول عمر شبکه در حل محدودیت‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم کمک می‌کند و از طرف دیگر سربار ایجاد خوشه و سرخوشه‌ها را به همراه دارد. بنابراین چگونگی انتخاب سرخوشه‌ها و اعضای آنها یکی از عوامل مهم و اساسی برای این دسته الگوریتم‌ها می‌باشد. ایجاد یک خوشه‌بندی مناسب با سربار پردازشی کم، گره‌های یک شبکه حسگر بی‌سیم را با مصرف یک مقدار کم از انرژی شبکه مدیریت کرده و باعث مصرف بهینه انرژی در کل شبکه می‌شود.

۱-۲ اهمیت و ارزش تحقیق

با توجه به محدودیت‌های شبکه‌های حسگر، این شبکه‌ها دیگر قادر به استفاده از پروتکل‌های گذشته نبوده و نیاز به الگوریتم مخصوص به خود دارند. مسیریابی مبتنی بر مصرف انرژی یکی از مهمترین موضوعات در شبکه‌های حسگر می‌باشد که اصلی‌ترین هدف آن توزیع مصرف بار در شبکه می‌باشد. این توزیع مصرف بار در نهایت باعث بالا رفتن طول عمر شبکه می‌شود. یکی از بهترین روش‌ها برای توزیع مصرف انرژی برای این شبکه‌ها استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی می‌باشد. در این الگوریتم‌ها با دسته‌بندی گره‌ها در گروه‌های مختلف که خوشه نامیده می‌شوند، می‌توان گره‌ها را مدیریت کرد و باعث مصرف بهینه انرژی و توزیع مصرف در کل شبکه شد.

هدف از انجام این تحقیق، ارائه یک روش خوشه‌بندی توزیع‌شده مبتنی بر مصرف انرژی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. ارائه یک الگوریتم خوشه‌بندی برای توزیع مصرف انرژی ، شبکه‌های حسگر بی‌سیم را قادر می‌سازد تا بدون تغییر در منابع انرژی و قیمت گره‌ها، شبکه مدت زمان بیشتری به فعالیت خود ادامه دهد.

۱-۳ روش حل مساله تحقیق

همان‌طور که اشاره شد برای بالا بردن طول عمر شبکه باید مصرف انرژی را در کل شبکه توزیع کرد. یکی از راهکارهای توزیع مصرف انرژی و مصرف بهینه انرژی، خوشه‌بندی می‌باشد. در این پایان‌نامه الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی ارائه شده که به گره‌های ضعیف شبکه توجه بیشتری می‌کند. در الگوریتم پیشنهادی سرخوشه‌ها توسط گره‌های ضعیف انتخاب می‌شوند. بنابراین گره‌های ضعیف می‌توانند با انتخاب یک گره نزدیک و با مقدار انرژی باقیمانده زیاد، بار مصرف انرژی در انتقال اطلاعات را برای خود کم کرده و به گره انتخابی انتقال دهند. گره‌های ضعیف این انتخاب را با توجه به وزنی که بر اساس انرژی باقیمانده و قدرت سیگنال دریافتی محاسبه می‌کنند انجام می‌دهند.

۱-۴ نتایج به دست آمده

نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی نشان داد که این الگوریتم با توجه بیشتر به گره‌های ضعیف و انتخاب سرخوشه‌ها توسط گره‌های ضعیف توانسته از بار مصرفی بر روی گره‌های ضعیف کم کرده و این بار را به گره‌هایی با انرژی بیشتر انتقال دهد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد این الگوریتم کاملا به صورت توزیع شده عمل می‌کند و به هیچ گره و یا ایستگاه مرکزی وابسته نیست. در نهایت الگوریتم پیشنهادی توانست توزیع بار بهتری نسبت به الگوریتم‌های دیگری مثل لیچ و لیچ‌سی ارائه کند و با افزایش طول عمر شبکه باعث دریافت تعداد بسته اطلاعاتی بیشتری در ایستگاه مرکزی شود.

۱-۵ ساختار پایان‌نامه

در این پایان‌نامه در ابتدا در فصل دوم به توضیح تاریخچه و ساختار کلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ساختمان گره، پشته پروتکلی، ویژگی‌ها و موضوعات مطرح در این نوع شبکه‌ها پرداخته شده است. در ادامه در فصل سوم در ابتدا مروری بر الگوریتم‌های مسیریابی شده است و در ادامه خوشه‌بندی و کارهای انجام شده در این زمینه توضیح داده شده است. در فصل چهارم به توضیح راهکار پیشنهادی پرداخته می‌شود. در این فصل چگونگی طراحی الگوریتم پیشنهادی به صورت کامل همراه با پیام‌ها، لیست‌ها و بازه‌های زمانی مورد نیاز توضیح داده شده است. در فصل پنجم در ابتدا تعدادی از شبیه‌سازهای موجود برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد بررسی قرار گرفته و سپس با توجه به نیازهای الگوریتم پیشنهادی یکی از آنها برای شبیه‌سازی انتخاب می‌شود. چگونگی پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در این فصل به صورت کامل نشان داده شده و کد آن در ضمیمه قرار داده شده است. در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهادها آورده شده است.

فصل دوم

شبکه‌های حسگر بی‌سیم

یک شبکه حسگر بی‌سیم[1]، سیستمی تشکیل شده از حسگرها، واحدهای محاسباتی و عناصر ارتباطی می‌باشد که قابلیت مشاهده، کنترل و ایجاد عکس العمل در برابر رخدادها در محدوده تعیین شده را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این محدوده تعیین شده، می‌تواند محیط فیزیکی اطراف و یا سیستم زیست شناسی یا کالبدی از فناوری اطلاعات باشد. ارتباط بین گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم معمولا به صورت بی‌سیم است. هرگره بطور مستقل و بدون دخالت انسان کار می‌کند و نوعا از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک هستند. گره‌های حسگر در شبکه‌های

[1] Wireless Sensor Network

حسگر بی‌سیم دارای محدودیت‌هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، منبع تغذیه و منابع دیگر می‌باشند. این محدودیت‌ها مشکلاتی را برای طراحان بوجود می آورد که منشأ بسیاری از مباحث پژوهشی مطرح در این زمینه می‌باشد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم از پشته پروتکلی شبکه‌های سنتی پیروی می‌کنند ولی بخاطر محدودیت‌ها و تفاوتهای وابسته به کاربرد، پروتکل‌های شبکه‌های سنتی دیگر قادر به پاسخ‌گویی نیازهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیستند و این پروتکل‌ها برای استفاده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیاز به بازنویسی دارند. شبکه‌های حسگر بی‌سیم نه تنها در کاربردهای نظامی و امنیت ملی [۱-۲] رشد به سزایی داشته بلکه در کاربردهای دیگری همچون جمع‌آوری اطلاعات [۳-۵]، نظارتی و تجسسی [۶-۸]، مراقبتی و پزشکی [۹-۱۱] نیز پیشرفت بسیاری داشته‌اند. در این قسمت ضمن معرفی شبکه حسگر بی‌سیم و شرح ویژگی‌ها، محدودیت‌ها، کاربردها، ایده‌ها و چالش‌ها به موضوعات پژوهشی در این زمینه نیز پرداخته می‌شود.

برای ایجاد یک شبکه حسگر بی‌سیم چهار مرحله به صورت زیر مورد نیاز است:

- ایجاد شبکه و گسترش یافتن گره‌ها.
- برقراری ارتباط و به هم پیوستن گره‌ها.
- جمع‌آوری اطلاعات در یک نقطه مرکزی.
- پردازش اطلاعات در نقطه مرکزی (تصحیح و رفع خطا، داده‌کاوی، پرس و جوها و ...).

در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به علت ازدیاد داده‌ها، الگوریتم‌ها و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها از اهمیت بسیاری برخوردارند. در گره‌های حسگر بی‌سیم انرژی معمولا به وسیله باتری تامین می‌شوند. با توجه به انرژی محدود در بیشتر این شبکه‌ها موضوع طول عمر شبکه مطرح است. محققان شبکه‌های حسگر بی‌سیم را به صورت حوزه‌ای به وجود آمده از قرار گرفتن گره‌هایی با توان انرژی محدود، میزان محدود حافظه و قدرت محاسباتی کم تعریف می‌کنند، که به وسیله خطوط بی‌سیم با هم ارتباط برقرار کرده و یک شبکه وابسته را به وجود می‌آورند. شبکه وابسته به شبکه‌ای گفته می‌شود که اگر تعدادی از گره‌های آن از کار بیافتند در کار اصلی شبکه اختلال به وجود می‌آید.

۲-۱ بررسی مختصر تاریخچه شبکه‌های حسگر بی‌سیم

تاریخچه شبکه‌های حسگر بی‌سیم را می‌توان به چهار دوره تقسیم کرد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

دوره اول: استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم در دوران جنگ سرد

در دوران جنگ سرد، شبکه‌هایی برای نظارت بر زیردریایی‌ها در ایالات متحده آمریکا با استفاده از بستر صوتی ایجاد شدند. هنوز بسیاری از این شبکه‌ها برای نظارت بر فعالیت‌های لرزه‌نگاری توسط اداره ملی اقیانوس‌شناسی و جوشناسی[1] مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دوره دوم: آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پدافند[2]

کار واقعی شبکه‌های حسگر از اوایل سال‌های ۱۹۸۰ شروع شد. این اتفاق با پشتیبانی آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پدافند از پروژه‌ی شبکه حسگر بی‌سیم شروع شد. پروژه شبکه‌ی حسگر توزیع شده[3] و دارپا[4] نشان داد که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توان از پروتکل‌هایی مثل آرپانت[5] و TCP/IP برای ارتباط گره‌ها استفاده کرد. همچنین محققان در دانشگاه کارنگی ملون[6] یک سیستم عامل مبتنی بر شبکه برای دسترسی انعطاف‌پذیر به منابع توزیع‌شده و متمرکز ارائه کردند. در این دوره محققان در موسسه تکنولوژی ماساچوست[7] بر روی تکنیک‌های پردازش سیگنال مبتنی بر دانش متمرکز شدند.

دوره سوم: توسعه و پیاده‌سازی در کاربردهای نظامی از ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰

اولین استفاده تجاری از شبکه‌های حسگر بی‌سیم در این دوره می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیقاتی مثل پروژه شبکه‌ی حسگر توزیع شده و دارپا محققان و طراحان نظامی تصمیم به استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم در کاربردهای نظامی گرفته و استفاده از این تکنولوژی را یکی از محورهای کلیدی برای پیروزی در جنگ بیان می‌کنند. با استفاده از این تکنولوژی در میدان‌های جنگ، طراحان نظامی توانستند با صرف هزینه و زمان کمتر شبکه‌های مطلوب خود را ایجاد کنند. در میدان‌های جنگ سنتی هر سیستم یا دستگاه نظامی به طور مستقل عمل می‌کرد و ارتباط آن با سیستم‌های دیگر بسیار اندک بود. اما در میدان‌های جنگ نوین (میدان‌های جنگ بر پایه ارتباط شبکه‌ای) سیستم‌ها از طریق ارتباط حسگرهای توزیع شده با دیگر سیستم‌ها ارتباط برقرار کرده و با هماهنگی بسیار بالا عمل می‌کنند. این گونه شبکه‌ها، شناسایی و ردیابی را از طریق بالا بردن تعداد مشاهدات، بالا بردن سرعت عکس‌العمل و مواردی این چنین بهبود می‌بخشند. برای این دوره می‌توان از سیستم تشکیل شده از رادارهای متعدد که برای شناسایی هدف‌های هوایی به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازد و یا سیستمی تشکیل شده از حسگرهای صوتی برای شناسایی زیر دریایی‌ها نام برد.

دوره چهارم: تحقیقات اخیر شبکه‌های حسگر بی‌سیم

---

[1] National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA)
[2] Defense Advanced Research Projects Agency Initiatives
[3] The distributed sensor networks (DSN)
[4] Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)
[5] ARPAnet
[6] Carnegie Mellon University
[7] Massachusetts Institute of Technology

از این دوره می‌توان به عنوان شروع نسل دوم شبکه‌های حسگر بی‌سیم نام برد. پیشرفت چشمگیر در ارتباطات و محاسبات در طول سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ منجر به ایجاد نسل جدیدی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم شدند. پیشرفت در فن‌آوری‌های مدرن از جمله سیستم‌های میکرو الکترومکانیکی[۱] و نانو الکترومکانیکی[۲] باعث کاهش هزینه ساخت گره‌های حسگر در سال‌های اخیر شده است. همچنین پیشرفت استانداردهای ۸۰۲.۱۱[۳] و سیستم‌های ارتباطی دیگر مثل بلوتوث[۴]، وای‌مکس[۵] و زیگ‌بی[۶]، بستر مناسبی برای ارتباط امن و سریع را برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ایجاد کرده است. ساخت پردازنده‌های ارزان قیمت با مصرف انرژی کم، استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم را برای کاربردهای زیادی میسر ساخته است [۱۲].

۲-۲ ساختار کلی شبکه حسگر بی‌سیم

در این قسمت به بررسی ساختار شبکه حسگر بی‌سیم پرداخته می‌شود. برای درک بهتر ساختار شبکه حسگر بی‌سیم، در ابتدا تعدادی از تعاریف کلیدی ذکر می شوند.

حسگر[۷] : وسیله ای که وجود شیئ، رخداد یک وضعیت یا مقدار یک کمیت فیزیکی را تشخیص داده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. حسگر انواع مختلف دارد مانند حسگرهای دما، فشار، رطوبت، نور، شتاب سنج، مغناطیس سنج و...

کارانداز[۸] : با تحریک الکتریکی یک عمل خاصی مانند باز و بسته کردن یک شیر یا قطع و وصل یک کلید را انجام می دهد.

گره حسگر: به گره‌ای گفته می‌شود که فقط شامل یک یا چند حسگر باشد.

گره کارانداز: به گره‌ای گفته می‌شود که فقط شامل یک یا چند کارانداز باشد.

گره حسگر/کارانداز: به گره‌ای گفته می‌شود که مجهز به حسگر و کارانداز باشد.

شبکه حسگر/کارانداز[۹]: شبکه‌ای شامل گره‌های حسگر و کارانداز می‌باشد و در کاربردهایی که هدف جمع‌آوری اطلاعات و ایجاد عکس‌العمل در برابر رخدادها می‌باشد، کاربرد دارد. مانند میدان مین هوشمند.

---

[1] Microscale electromechanical (MEMS)
[2] Nanoscale electromechanical (NEMS)
[3] IEEE 802.11a/b/g
[4] Bluetooth
[5] WiMax
[6] ZigBee
[7] Sensor
[8] Actuator
[9] Sensor and Actuator Networks

شبکه حسگر[1]: شبکه‌ای که فقط شامل گره‌های حسگر می‌باشد و در کاربردهایی که هدف جمع‌آوری اطلاعات و تحقیق در مورد یک پدیده می‌باشد کاربرد دارد. مثل مطالعه روی گردبادها.

میدان حسگر/کارانداز: ناحیه‌کاری که گره‌های شبکه حسگر/کارانداز در آن توزیع می‌شوند.

چاهک[2]: گره‌ای که جمع‌آوری داده‌ها را بر عهده دارد و ارتباط بین گره‌های حسگر/کارانداز و گره مدیر وظیفه را برقرار می‌کند.

گره کاربر: گره‌ای، که شخصی بعنوان کاربر و یا مدیر شبکه از طریق آن با شبکه ارتباط برقرار می‌کند. فرامین کنترلی و پرس و جوها از طریق این گره به شبکه ارسال شده و داده‌های جمع‌آوری شده به آن بر می‌گردند.

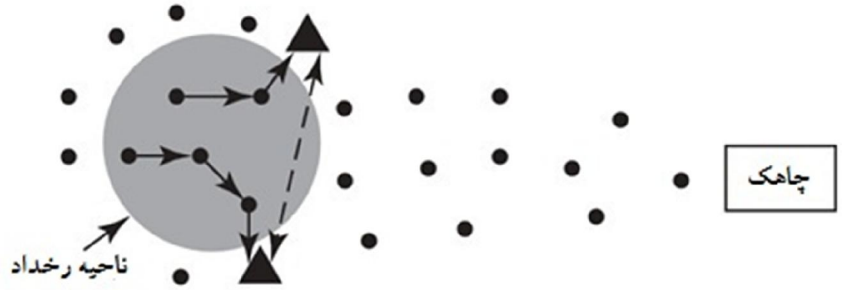
شبکه حسگر بی‌سیم: شبکه‌ای متشکل از گره‌های حسگر و کارانداز یا حسگر/کارانداز است که حالت کلی شبکه‌های مورد بحث می‌باشند. به عبارت دیگر شبکه حسگر بی‌سیم شبکه‌ای است با تعداد زیادی گره که هر گره می تواند در حالت کلی دارای تعدادی حسگر و تعدادی کارانداز باشد. در حالت خاص یک گره ممکن است فقط حسگر یا فقط کارانداز باشد. گره‌ها در ناحیه‌ای که میدان حسگر/کارانداز نامیده می‌شود با چگالی زیاد پراکنده می‌شوند. یک چاهک پایش کل شبکه را بر عهده دارد. اطلاعات بوسیله چاهک جمع‌آوری می‌شود و فرامین از طریق چاهک منتشر می‌شود. در شکل ۲-۱ ساختار کلی شبکه حسگر نشان داده شده است. در ادامه نشان داده می‌شود که مدیریت وظایف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌تواند متمرکز یا توزیع شده باشند.

شکل ۲-۱: ساختار کلی شبکه حسگر بی‌سیم

[1] Sensor Networks
[2] Sink

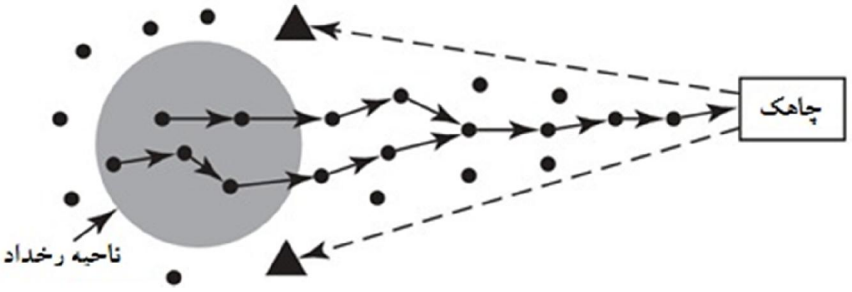
بسته به اینکه تصمیم گیری برای انجام واکنش در چه سطحی انجام شود دو معماری خودکار[1] و نیمه‌خودکار[2] برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم وجود دارند. علاوه بر معماری خودکار و نیمه‌خودکار می‌توان از معماری دیگری که از ترکیب این دو معماری ایجاد می‌شود نیز استفاده کرد.

معماری خودکار : حسگرهایی که یک رخداد یا پدیده را تشخیص می‌دهند، داده‌های دریافتی را به گره‌های کارانداز جهت پردازش و انجام واکنش مناسب ارسال می‌کنند. گره‌های کارانداز مجاور با هماهنگی با یکدیگر تصمیم‌گیری کرده و عمل می‌نمایند. در واقع هیچ کنترل متمرکزی وجود ندارد و تصمیم‌گیری‌ها بصورت محلی انجام می‌شوند. در شکل ۲-۲ معماری خودکار نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: معماری خودکار

معماری نیمه‌خودکار: در این معماری داده‌ها توسط گره‌ها به سمت چاهک هدایت شده و فرمان از طریق چاهک به گره‌های کارانداز صادر می‌شود. در شکل ۲-۳ معماری نیمه‌خودکار نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: معماری نیمه‌خودکار

[1] Automated architecture
[2] Semiautomated architecture