

پیشنهاد

ارزیابی سطوح بهینگی مسیریابی های مختلف شبکه های حسگر بی سیم چند سطحی ناهمگن بر اساس اینترنت اشیا

نویسنده: آرش احمدی اصفهانی

۲۰۲۴

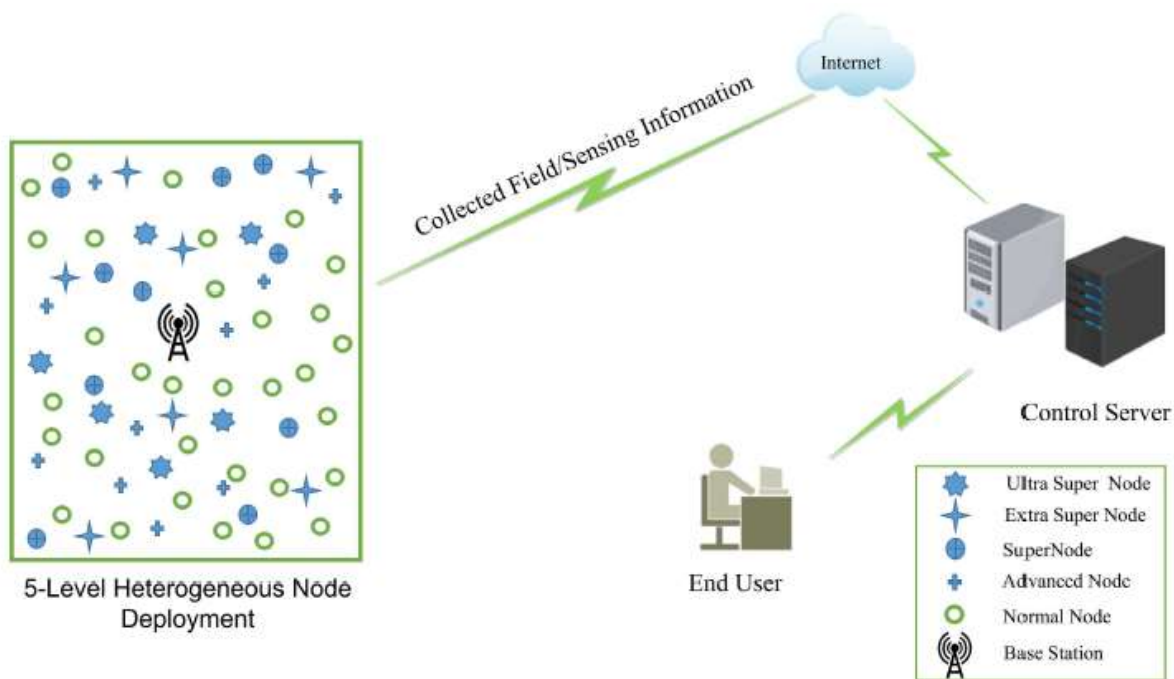
۱. کلمات کلیدی:

اینترنت اشیا، بهینه سازی شعله پروانه، خوشه بندی چند معیاره، بهینه سازی ازدحام نمک، شبکه های حسگر بی سیم.

۲. بیان مسأله:

WSN شامل بسیاری از دستگاه های حسگر کوچک و ارزان قیمت است که در بسیاری از برنامه های اخیر استفاده می شوند. می توان آن را به راحتی و کارآمد به صورت بی سیم با چندین دستگاه حسگر متصل کرد. WSN ها بسیار انعطاف پذیر هستند و به دلیل قابلیت های خود سازمان دهی به راحتی تغییر می کنند. WSN ها ترجیح داده می شوند زیرا در بسیاری از برنامه ها مانند انتقال اطلاعات چند رسانه ای، ردیابی دستگاه های چند رسانه ای، ردیابی جمعیت، بداهه سازی فرآیند تجاری، ردیابی تناسب اندام و غیره استفاده می شود. این شبکه ها برای شناسایی اطلاعات رویداد و انتقال آن به BS برای پردازش بیشتر نگهداری می شوند [۱].

برای افزودن قابلیت های بیشتر، WSN مبتنی بر اینترنت اشیا ممکن است دارای گره های حسگر با توانایی های مختلف باشد که یک نوع محبوب از HWSN مبتنی بر اینترنت اشیا را ایجاد کند. یک سناریوی نمونه از HWSN مبتنی بر اینترنت اشیا در شکل ۱ نشان داده شده است که در آن یک شبکه ۵ سطحی نشان داده شده است. ایستگاه پایه (BS) اطلاعات میدانی را از حسگرهای مستقر شده جمع آوری می کند و آنها را در یک مخزن مرکزی ذخیره می کند. کاربران نهایی می توانند با ارائه مجموعه ای از اعتبارنامه ها به داده های چنین مخزن دسترسی داشته باشند.



شکل ۱. شبکه حسگر بی سیم چند سطحی ناهمگن مبتنی بر اینترنت اشیا [۶۵].

یک HWSN مبتنی بر اینترنت اشیا سطح m به یک شبکه حسگر بی سیم زیربنایی با m نوع حسگر با عملکرد و توانایی متفاوت اشاره دارد [۲]. چنین شبکه های بی سیم شامل گره هایی با توانایی های مختلف و عملکردهای متفاوت است. به عنوان مثال، می توان آن را یک سناریوی کاربردی در نظر گرفت که در آن WSN ممکن است شامل گره هایی با محدوده های حسی مختلف، وظایف سنجش، یا توانایی های محاسباتی و غیره باشد [۳]. می توان تصور کرد که استقرار گره های حسگر با عملکرد و/یا توانایی های مختلف ممکن است منجر به شبکه ای شود که عملکرد بهبود یافته را با هزینه کمتر تسهیل می کند. به همین دلیل است که HWSN به عنوان یک نوع محبوب از شبکه های حسگر بی سیم ظاهر شده است.

بر اساس ناهمگونی گره ها، HWSN ها را می توان به سه دسته اصلی زیر طبقه بندی کرد: HWSN مبتنی بر ناهمگونی انرژی، HWSN مبتنی بر ناهمگونی محاسباتی، و HWSN مبتنی بر ناهمگونی پیوند. در HWSN مبتنی بر ناهمگونی انرژی، گره ها با انرژی اولیه متفاوتی مستقر می شوند. همچنین به شبکه هایی با حسگرهای قابل تعویض با باتری اشاره دارد. در ناهمگونی محاسباتی، گره ها ممکن است توانایی های محاسباتی متفاوتی داشته باشند. به عنوان مثال، برخی از حسگرها ممکن است واحدهای پردازش قدرتمند همراه با ظرفیت ذخیره سازی بزرگتر در مقایسه با دیگران داشته باشند. در نهایت، در نوع سوم HWSN مبتنی بر ناهمگونی پیوند، گره ها ممکن است دارای پیوندهای ارتباطی از راه دور و بسیار قابل اعتماد در مقایسه با سایر گره های شبکه باشند.

ناهمگونی انرژی به عنوان یکی اساسی و دو مورد دیگر (ناهمگونی پیوند و محاسبات) توابع ناهمگونی انرژی هستند. پیوند و ناهمگونی محاسباتی ممکن است بر طول عمر شبکه تأثیر منفی بگذارد اگر توسط ناهمگونی انرژی پشتیبانی نشود. بنابراین، ناهمگونی انرژی نگرانی اصلی است و توسط بسیاری از محققان مورد توجه قرار گرفته است.

این کار بر روی دستیابی به کارایی انرژی در لایه شبکه با پیشنهاد طرحی تمرکز دارد که مهمترین الزامات مانند خودسازماندهی و انتقال داده با مصرف انرژی را از طریق خوشه بندی در یک شبکه ناهمگن انرژی تضمین می کند.

خوشه بندی به فرآیند شناسایی تداوی های طبیعی در بین اشیاء و گروه بندی آنها اشاره دارد [۴]، [۵]. در این فرآیند، کل مجموعه گره ها بر اساس ویژگی گره یا پارامترهای شبکه مورد نیاز مانند فاصله متقابل گره ها، فاصله گره ها تا و BS (یا به طور معادل فرورفتگی)، عملکرد گره ها، و سطح انرژی گره ها در طبقه بندی آن، حسگرها را می توان به عنوان گره های عضو و سر خوشه طبقه بندی کرد. در داخل یک خوشه، اعضا باید بسته های داده را تولید کنند و برای انتقال داده فقط به سر خوشه (CH) متصل شوند. CH وظایفی مانند پردازش برنامه خاص و تجمیع داده ها را اجرا می کند. داده های خوشه ای را با استفاده از رویکرد مستقیم یا چند جهشی به BS منتقل می کند. بنابراین، خوشه بندی تضمین می کند که تنها تعداد کمی از گره ها (در اینجا سر خوشه ها) از سربار انتقال از راه دور رنج می برند. بنابراین، خوشه بندی مصرف انرژی را کاهش می دهد و طول عمر کلی شبکه را افزایش می دهد. علاوه بر این، جمع آوری داده ها را نیز فعال می کند و انرژی گره ها را بیشتر ذخیره می کند.

علاوه بر این، دو کلاس استراتژیک از تکنیک های خوشه بندی وجود دارد: خوشه بندی استاتیک [۶]، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰] و خوشه بندی پویا [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]. در تکنیک خوشه بندی ایستا، پس از تشکیل، خوشه ها برای بقیه عمر شبکه یا تا زمانی که به صورت اداری حل نشوند ثابت می مانند. بر خلاف این، خوشه ها در ابتدای هر دور در خوشه بندی پویا اصلاح می شوند. به دلیل تشکیل مکرر خوشه ها در خوشه بندی پویا، مصرف انرژی بیشتر از خوشه بندی ایستا است. با اشاره به خوشه بندی استاتیک، اگر خوشه ها به درستی طراحی نشده باشند، شبکه ممکن است از ناکارآمدی انرژی که منجر به کاهش طول عمر شبکه می شود، رنج ببرد.

با این حال، بسیاری از کارهای گزارش شده در زمینه HWSN نیاز به دانش قبلی از ناهمگونی انرژی مستقر دارند. علاوه بر این، آنها از تکنیک خوشه بندی پویا استفاده می کنند که انرژی قابل توجهی را در تشکیل خوشه ها صرف می کند. بنابراین، طرحی که مصرف انرژی را در تشکیل خوشه های متوالی کاهش می دهد و با سطوح ناهمگونی انرژی ممکن به خوبی عمل می کند، ممکن است به عنوان راه حلی برای مقابله با چالش های ذکر شده در بالا جست و جو شود.

۳. اهمیت و ضرورت تحقیق:

خوشه بندی در حال حاضر اهمیت و مقبولیت خود را در شبکه های حسگر بی سیم سنتی تا حد زیادی مشخص کرده است، به ویژه با توجه به ویژگی هایی مانند مقیاس پذیری و کارایی انرژی. بسیاری از آثار، [۸]، [۱۹]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]، [۲۶]، [۲۷]، [۲۸]، [۲۹]، [۳۰]، [۳۱]، [۳۲]، [۳۳]، [۳۴]، [۳۵]، [۳۶] قبلاً با اشاره به خوشه بندی به عنوان کلید دستیابی به اهدافی مانند مقیاس پذیری و بهره وری انرژی انجام شده است. خوشه بندی نه تنها اهمیت خود را در WSN های سنتی بلکه در HWSN مبتنی بر اینترنت اشیا برای دستیابی به بهره وری انرژی ثابت کرده است. آثار زیادی قبلاً در این زمینه گزارش شده است، مانند [۱۴]، [۱۵]،

[۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۲۰]، [۲۱]، [۲۲]، [۳۷]، [۳۸]، [۳۹]، [۴۰]، [۴۱]، [۴۲]، [۴۳]، [۴۴]، [۴۵]، [۴۶]، [۴۷]، [۴۸]، [۴۹]، [۵۰]، [۵۱]، [۵۲]، [۵۳]، [۵۴]، [۵۵]، [۵۶]، [۵۷]، [۵۸]، [۵۹]، [۶۰]، [۶۱] و [۶۲]. طرح هایی مانند SEP (پروتکل انتخابات پایداری) [۱۴]، DEEC (خوشه بندی کارآمد انرژی توزیع شده) [۱۵]، D-DEEC (خوشه بندی کارآمد انرژی توزیع شده توسعه یافته) [۱۶]، E-DEEC (خوشه بندی کارآمد انرژی توزیع شده پیشرفته) [۱۷]، ED-DEEC (Enhanced Developed [18] Distributed Energy Efficiency Clustering) DRE-SEP (SEP-Efficient انرژی باقیمانده مبتنی بر فاصله) [۲۰]، DARE-SEP (Distance Aware Residual Energy-Efficient SEP) [۲۱]، و DE-SEP (SEP آگاه از فاصله و انرژی) [۲۲] به دنبال فلسفه LEACH [۱۱] پیشنهاد شده اند. مانند LEACH، چنین طرح هایی استراتژی هایی مانند چرخش تصادفی سر خوشه ها (تضمین توزیع بار)، تجمع داده ها (برای کاهش مصرف انرژی)، و هماهنگی محلی (برای اطمینان از مقیاس پذیری و استحکام در برخورد با شبکه های پویا) را نیز اجرا می کنند [۶۵].

در حالی که WSN چالش های زیادی برای غلبه بر آن دارد، حفظ انرژی مهمترین چالش است. یک باتری کوچک که به یک دستگاه متصل است نیروی مورد نیاز برای انجام چندین عملکرد را فراهم می کند. این باتری ها زمانی که چندین عملکرد مانند پردازش و انتقال داده را انجام می دهند، به سرعت تخلیه می شوند. چنین مصرف انرژی منجر به از کار افتادن شبکه یا کاهش طول عمر می شود [۱]. بنابراین، در طول انتقال داده، بهره وری انرژی برای افزایش عمر WSN مهم است.

۴. ارزش تحقیق:

نوآوری این تحقیق ایجاد شبکه حسگر بی سیم چند سطحی ناهمگن با استفاده از الگوریتم خوشه بندی چند معیاره و الگوریتم ازدحام نمک بر اساس اینترنت اشیا است.

۵. اهداف:

هدف کلی این تحقیق ارزیابی سطح بهینه مسیریابی مختلف شبکه های حسگر بی سیم چند سطحی ناهمگن مبتنی بر اینترنت اشیا برای افزایش طول عمر شبکه و اطمینان از جمع آوری و ارتباط کارآمد داده ها است.

اهداف فرعی این کار عبارتند از:

- تجزیه و تحلیل دقیق طرح ها یا پروتکل های خوشه بندی مختلف موجود با هدف بهبود طول عمر شبکه در شبکه های حسگر بی سیم ناهمگن.
- توسعه یک راه حل خوشه بندی کارآمد انرژی که،
 - از ترکیبی از رویکردهای خوشه بندی پویا و ایستا استفاده می کند.
 - پارتیشن بندی شبکه متعادل با انرژی را تضمین می کند.
 - مقیاس پذیر به هر سطح دلخواه از ناهمگنی انرژی است به طوری که عملکرد طرح به دلیل سطوح مختلف ناهمگنی انرژی تحت تأثیر قرار نگیرد.
- مقایسه عملکرد EEHCT با طرح موجود، خوشه بندی چند معیاره و الگوریتم الهام گرفته از زیستی بهینه با توجه به پارامترها- طول عمر شبکه، مصرف انرژی و غیره.
- پایداری و تجزیه و تحلیل آماری نتایج شبیه سازی.
- تجزیه و تحلیل عملکرد EEHCT تحت سطوح مختلف ناهمگنی انرژی و پیکربندی شبکه برای تأیید مقیاس پذیری و سازگاری آن.

۶. سوالات:

سوالات این تحقیق به شرح زیر است:

- (۱) روش ها و دلایل افزایش تشخیص خطا و تحمل در شبکه های حسگر ناهمگن چندسطحی چیست؟
- (۲) چه روش هایی برای کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر در شبکه های حسگر ناهمگن چندسطحی وجود دارد؟

۷. مفروضات:

مفروضات این تحقیق عبارتند از:

- (۱) حسگرهای مستقر شده دارای انرژی محدودی هستند.
 - (۲) تمام سنسورهای مستقر شده ثابت هستند به این معنا که سنسورها از تغییر مکان خود محدود می شوند.
 - (۳) سنسورها می توانند سطوح قدرت انتقال خود را تغییر دهند.
 - (۴) حسگرها محیط را در فواصل منظم حس می کنند.
 - (۵) ایستگاه پایه ایستا است به این معنا که هرگز مکان خود را تغییر نمی دهد.
- (می توان آن را در هر جایی از شبکه قرار داد که مطابق با ماهیت برنامه باشد؛ با این حال، برای مقایسه عملکرد طرح با [۱] در مرکز قرار دارد.)
- (۶) شبکه ممکن است دارای هر تعداد گره با انرژی های اولیه متفاوت باشد.

۸. توضیحات مرتبط:

خوشه بندی پویا مستلزم تشکیل خوشه ها به طور مکرر در آغاز هر دور جدید است که ممکن است منجر به مصرف انرژی قابل توجهی شود زیرا هر گره شبکه درگیر فرآیند است. به منظور پرداختن به چالش هایی که در بالا توضیح داده شد، یک طرح جدید در اینجا پیشنهاد شده است. این طرح با خوشه بندی پویا شروع می شود، اما زمانی که خوشه های متوازن انرژی به دست می آیند، خوشه ها برای مدت زمان عملیاتی باقی مانده، ایستا اعلام می شوند. یک اختلاط مناسب از طرح های خوشه بندی پویا و استاتیک (که منجر به خوشه بندی عنوان-هیبریدی می شود) برای صرفه جویی در انرژی شبکه صرف شده در تشکیل های خوشه ای غیر ضروری و تکراری رویکردی است. علاوه بر این، برخلاف اکثر طرح های موجود، EEHCT هرگز فرآیند انتخاب CH را بر اساس نوع گره ها تعریف نمی کند. [۲۲] و [۵۱]. از این رو، می تواند با هر سطحی از ناهمگونی انرژی در شبکه مقابله کند [۶۵].

کویلا و جانا یک پروتکل مبتنی بر تکامل دیفرانسیل (DE) [۶۶] را برای افزایش طول عمر به میزان قابل توجهی از طریق نحوه متعادل کردن طول عمر CH توصیه کردند. گره هایی با حداقل ارزش تناسب به عنوان CH [۶۷،۶۸] انتخاب می شوند. بهینه سازی شعله شب پره (MF) از الگوریتم اخیر طبیعت الهام گرفته شده است که توسط نقطه افقی مرجع شب پره در طبیعت هدایت می شود [۶۹]. نوابری عرضی نشان دهنده پیشرفت پروانه به سمت ماه در یک خط مستقیم است [۱].

الف. ۱. شبکه های حسگر بی سیم مبتنی بر خوشه بندی چند معیاره و الگوریتم بهینه الهام گرفته از زیستی برای مسیریابی کارآمد انرژی

الگوریتم های الهام گرفته از زیست روش های محاسباتی هستند که رفتار موجودات طبیعی را برای حل مسائل پیچیده بهینه سازی تقلید می کنند. در این تحقیق از الگوریتم شعله شب پره و الگوریتم ازدحام سالپ برای بهینه سازی مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم استفاده شده است. الگوریتم شعله شب پره از رفتار شب پره ها و جذب آنها به منابع نور الهام گرفته شده است، در حالی که الگوریتم ازدحام سالپ از رفتار سالپ ها الهام گرفته شده است، نوعی ارگانیسم دریایی که به صورت هماهنگ حرکت می کند. این الگوریتم ها برای تجزیه و تحلیل کیفیت مسیر برای انتقال اطلاعات از سر خوشه به سینک و گسترش پایداری شبکه استفاده می شود. با ترکیب این الگوریتم ها با خوشه بندی چند معیاره، رویکرد پیشنهادی قادر است سر خوشه بهینه را انتخاب کند و مصرف

انرژی را به حداقل برساند و در عین حال طول عمر شبکه و نرخ تحویل بسته را به حداکثر برساند. این رویکرد نسبت به پروتکل های مسیریابی سنتی مانند LEACH کارآمدتر است و می تواند عملکرد شبکه های حسگر بی سیم را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد [۱].

دو الگوریتم کلیدی مورد بحث در [۱] الگوریتم شعله پروانه و الگوریتم ازدحام سالپ هستند. در اینجا توضیح مختصری از این الگوریتم ها همانطور که در مقاله ارائه شده است:

۱. الگوریتم شعله پروانه:

- الگوریتم شعله پروانه (MFO) یک الگوریتم بهینه سازی الهام گرفته از زیستی است که رفتار شب پره ها را در طبیعت شبیه سازی می کند.

- پروانه ها جذب منابع نوری مانند شعله های آتش می شوند و زاویه ثابتی را نسبت به منبع نور حفظ می کنند. در زمینه بهینه سازی، از موقعیت پروانه برای یافتن راه حل برای مسائل بهینه سازی استفاده می شود. الگوریتم MFO به دلیل کارایی آن در کارهای بهینه سازی در زمینه های مختلف تحقیقاتی و صنعتی به کار گرفته شده است [۱].

۲. الگوریتم ازدحام Salp:

- الگوریتم ازدحام سالپ (SSO) یکی دیگر از الگوریتم های بهینه سازی الهام گرفته از زیستی است که بر اساس رفتار سالپ ها، نوعی ارگانیسم دریایی است.

- سالپ ها به صورت دسته جمعی حرکت می کنند و از مفهوم حرکت چتر دریایی برای حرکت و جستجوی غذا استفاده می کنند.

- الگوریتم رفتار salps را برای بهینه سازی راه حل ها، به ویژه در زمینه بهینه سازی شبکه، شبیه سازی می کند.

- رئیس salp گروه را رهبری می کند و پیروان از رهبر پیروی می کنند که امکان کاوش کارآمد و بهینه سازی فضای راه حل را فراهم می کند.

در زمینه [۱]، این الگوریتم های الهام گرفته شده از زیست برای مسیریابی با انرژی کارآمد در شبکه های حسگر بی سیم استفاده می شوند. این مقاله عملکرد این الگوریتم ها را با تکنیک های موجود، مانند فازی PSO و LEACH، از نظر مصرف انرژی، توان عملیاتی، تأخیر انتها به انتها، تأخیر و نسبت تحویل بسته مقایسه می کند. نتایج نشان می دهد که روش مسیریابی ترکیبی با استفاده از الگوریتم شعله پروانه و الگوریتم ازدحام سالپ به حداقل مصرف انرژی و راندمان بالا در مسیریابی دست یافته است.

این الگوریتم ها در چارچوب روش شناسی بزرگ تری اعمال می شوند که شامل استقرار گره، تشکیل شبکه، خوشه بندی چند معیاره برای انتخاب CH (سر خوشه) و ارزیابی تناسب است، همانطور که در نمودار جریان مقاله و بخش روش شناسی [۱] مشخص شده است.

الف. ۲. یک تکنیک خوشه بندی ترکیبی کارآمد انرژی (EEHCT) برای شبکه های حسگر بی سیم ناهمگن چندسطحی مبتنی بر اینترنت اشیا

تکنیک خوشه بندی هیبریدی کارآمد انرژی (EEHCT) برای شبکه های حسگر بی سیم ناهمگن مبتنی بر اینترنت اشیا با استفاده از ترکیبی از رویکردهای خوشه بندی پویا و ایستا کار می کند. این طرح با خوشه بندی پویا شروع می شود، اما بعداً با تعیین خوشه های متعادل انرژی، خوشه ها ثابت اعلام می شوند و هر گونه تغییر بیشتر در تشکیل خوشه را ممنوع می کنند. عملیات کلی شبکه به دوره هایی تقسیم می شود که در آن یک دور از دو فاز مختلف، یعنی فاز راه اندازی و فاز حالت پایدار تشکیل شده است. فاز راه اندازی شبکه را به تعداد محدودی از خوشه ها جدا می کند و فاز حالت پایدار انتقال داده را در شبکه فعال می کند. جابجایی بین حالت ها بستگی به پیام های beacon-static=FALSE یا static=TRUE صادر شده توسط ایستگاه پایه دارد. EEHCT از فلسفه LEACH پیروی می کند، مانند چرخش تصادفی نقش CHs برای اطمینان از توزیع بار یکنواخت بین گره های شبکه قبل از اینکه

خوشه های متعادل انرژی را بدست آورد. با به دست آوردن خوشه های متعادل انرژی، EEHCT سر خوشه های موقت (TCHs) را برای تصمیم گیری سر خوشه ها برای دوره های بعدی معرفی می کند [۶۵]. تکنیک پیشنهادی از سه الگوریتم اصلی تشکیل شده است [۶۵]:

۱. الگوریتم انتخاب سر خوشه: این الگوریتم سر خوشه ها را بر اساس انرژی باقیمانده گره ها و فاصله آنها از ایستگاه پایه انتخاب می کند. گره هایی با انرژی باقیمانده بالاتر و نزدیک به ایستگاه پایه به عنوان سر خوشه ترجیح داده می شوند. این الگوریتم همچنین ناهمگونی شبکه را در نظر می گیرد و فرایند انتخاب سر خوشه را بر این اساس تنظیم می کند.

۲. الگوریتم جمع آوری داده ها: این الگوریتم داده های گره های حسگر را جمع آوری کرده و به سر خوشه ارسال می کند. این الگوریتم از یک رویکرد مبتنی بر آستانه برای تعیین زمان ارسال داده ها به سر خوشه استفاده می کند. آستانه بر اساس سطح انرژی گره ها و فاصله از سر خوشه تنظیم می شود.

۳. الگوریتم تشکیل خوشه: این الگوریتم خوشه ها را بر اساس سر خوشه های انتخاب شده تشکیل می دهد. گره ها بر اساس فاصله و انرژی باقیمانده به نزدیکترین سر خوشه اختصاص داده می شوند. الگوریتم همچنین ناهمگونی شبکه را در نظر گرفته و فرایند تشکیل خوشه را بر این اساس تنظیم می کند.

به طور کلی، روش پیشنهادی EEHCT با هدف بهینه سازی کارایی انرژی در شبکه های حسگر بی سیم با متعادل کردن مصرف انرژی در بین گره ها و افزایش طول عمر شبکه است. الگوریتم ها برای تطبیق با سطوح مختلف ناهمگونی انرژی در شبکه و تضمین مقیاس پذیری و سازگاری طراحی شده اند [۶۵].

۹. روش شناسی:

ابتدا یک شبکه حسگر بی سیم چند سطحی مبتنی بر اینترنت اشیا با استفاده از تکنیک EEHCT [۶۵] پیاده سازی می شود. سپس، یک شبکه حسگر بی سیم چند سطحی مبتنی بر اینترنت اشیا با استفاده از تکنیک خوشه بندی چند معیاره، الگوریتم شعله پروانه و الگوریتم ازدحام نمک [۱] پیاده سازی می شود. در پایان، دو شبکه حسگر بی سیم از نظر طول عمر شبکه، مصرف انرژی، توان عملیاتی و تأخیر سرتاسر بر اساس تعداد گره ها و تعداد سینک های متحرک مقایسه و ارزیابی می شوند.

B. Mathematical Modelling

Variables:

Let's define the following variables for the mathematical model:

N: Number of nodes in the wireless sensor network.

E_i : Initial energy of node i .

M: Advanced nodes' energy multiplier.

$P_{advanced}$: Proportional factor for advanced nodes.

P_{super} : Proportional factor for super nodes.

L: Message length.

D: Dimension of the sensing field.

B: Base station location.

S_i : Location of sensor node.

H: Number of mobile sinks.

Lifetime: Network lifetime.

EnergyConsumption: Energy consumption.

Throughput: Throughput.

EndToEndDelay: End-to-end delay.

Equations:

The following equations capture the essential parameters and relationships in the context of the provided methodology and objectives.

1. Initial Energy Calculation:

$$E_i = \begin{cases} 0.5 J, & \text{for normal node} \\ 2 \times 0.5 J, & \text{for advanced nodes} \end{cases}$$

2. Proportional Factors Calculation:

$$P_{advanced} = \begin{cases} 0.3, & \text{for normal node} \\ 0.24, & \text{for advanced nodes} \end{cases}$$

$$P_{super} = \begin{cases} 0.2, & \text{for normal node} \\ 0.36, & \text{for advanced nodes} \end{cases}$$

3. Location of Sensors:

$$S_i = (x_i, y_i) \text{ for } i = 1, 2, \dots, N$$

4. Distance Calculation:

$$Distance_{BS} = \sqrt{(x_{BS} - x_i)^2 + (y_{BS} - y_i)^2}$$

5. Energy Consumption:

$$EnergyConsumption = \sum_{i=1}^N (E_i - Distance_{BS} \times (P_{advanced} \times E_i + P_{super} \times E_i))$$

6. Throughput:

$$Throughput = \frac{\text{Number of Successfully Transmitted Bits}}{\text{Simulation Time}}$$

7. End-to-End Delay:

$$EndToEndDelay = \frac{\text{Total Transmission Time}}{\text{Number of Transmissions}}$$

8. Network Lifetime:

$$Lifetime = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{\text{Energy Consumption}}$$

Parameters [1, 65]:

Simulation Tool: OMNeT++ 6.0.1

MAC protocol: IEEE 802.16

Propagation pattern: Two-Ray ground

Dimension of the Sensing Field=100m*100m

Location Base Station= (50m, 50m)

Number of Sensors in the Sensing Field= {100, 150, 200, 250, 300}

Number of Nodes' Initial Energy=0.5 J

Advanced Nodes' Energy Multiplier=2 J

Proportional Factors for Advanced & Super Nodes= {(0.3, 0.2), (0.3, 0.2), (0.24, 0.36), (0.28, 0.42)}

Message Length=4000 bits

Number of rounds=2400