



ارائه یک الگوریتم مسیریابی سلسله مراتبی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم به منظور کاهش انرژی و افزایش طول عمر شبکه با استفاده از ساختار درختی - قطاعی

A novel hierarchical routing algorithm for wireless sensor networks in order to reduce energy consumption and increase network lifetime using a tree-sector structure

سارا نصیریان^{۱*}، فرهاد فغانی^۲

Sara Nasirian^{1,*}, Farhad Faghani²

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان
ایران

^۲ عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان ایران

چکیده

شبکه‌های حسگر بی‌سیم که از مجموعه‌ای از گره‌های حسگر ساخته شده‌اند، امروزه در حوزه‌های مختلفی به کار گرفته می‌شوند. این شبکه‌ها وظیفه‌ی حس کردن، جمع و ترکیب اطلاعات و نهایتاً ارسال آن‌ها به ایستگاه مرکزی را دارند. نظر به محدودیت‌های مختص به گره‌های سنسوری بی‌سیم نظیر قابلیت حمل یک باتری کوچک و محدود و با توجه به این حقیقت که این محدودیت‌ها می‌توانند به صورت موثری بر عملکرد این نوع شبکه‌ها اثر بگذارند، داشتن عملکردی کم مصرف یکی از ملزومات ضروری این نوع شبکه‌ها محسوب می‌شود. به منظور کاهش انرژی مصرفی و افزایش طول عمر شبکه بر آن شدیم که یک پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی جدید بر مبنای تقسیم مساحت شبکه به چندین قطاع و سطح و انتخاب سرخوشه‌ها از سطح پایین‌تر که مسافت کمتری تا ایستگاه مرکزی دارند، ارائه دهیم. برای کمینه کردن جریان معکوس داده از سمت ایستگاه مرکزی از ساختار درختی در هر قطاع استفاده کردیم. نتایج شبیه‌سازی‌ها گویای این واقعیت است که پروتکل پیشنهادی TSBC از نقطه نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه نسبت به بسیاری از پروتکل‌های متداول مسیریابی سلسله مراتبی نظیر LEACH عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند. نکته‌ی شایان ذکر دیگر در رابطه با این پروتکل که می‌تواند آن را به نحو احسن از سایر پروتکل‌ها متمایز سازد، لغو کردن یا کاهش چشمگیر جریان معکوس داده از سمت ایستگاه مرکزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

مسیریابی سلسله مراتبی، شبکه حسگر بی‌سیم، خوشه، سرخوشه، قطاع، درخت پوشای کمینه، MST



۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم^۱ که ساخته شده از تعداد زیادی گره^۲ حسگر با قابلیت هایی نظیر حس کردن وقایع و همچنین توانایی های محاسباتی و مخابراتی می باشند، در واقع نوعی از شبکه های بی سیم اقتضایی^۳ هستند. (Akyildiz و همکاران، ۲۰۰۰، ۴۲۲-۳۹۳)، (Al-Karaki و Kamal، ۲۰۰۴، ۲۸-۶) برخلاف این نوع طبقه بندی ها هنوز هم برخی از خصوصیات ریشه ای شبکه های حسگر بی سیم نظیر داشتن یک باتری کوچک و محدود ما را از استفاده از روش های متداول مسیریابی مورد استفاده در شبکه های اقتضایی باز می دارد (Al-Karaki و Kamal، ۲۰۰۴، ۲۸-۶). در نتیجه عملکرد کم مصرف گره های سنسور می تواند به عنوان یک راه حل گریزناپذیر مورد بررسی قرار گیرد، فلذا پروتکل های بهینه توان از مهم ترین راه حل های پیش رو خواهند بود. (Lotf، Hosseinzadeh و Alguliev، ۲۰۱۰، ۶۵۴-۶۵۰)

علیرغم محدودیت های زیاد شبکه های سنسوری بی سیم، نظیر حافظه و پهنای باند محدود و همین طور عدم توانایی جهت انجام محاسبات پیچیده، این شبکه ها در کاربردهای فراوان و حتی پیش بینی نشده ای به کار گرفته می شوند. در واقع گستره ی کاربری شبکه های حسگر بی سیم بسیار وسیع بوده و از کاربردهای کشاورزی، پزشکی و حتی تا کاربردهای نظامی را شامل می شود. (Han و همکاران، ۲۰۱۴، ۷۴۰-۷۳۲)

از میان تمام پروتکل هایی که به هدف متوازن ساختن مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه پیشنهاد شده اند، پروتکل های مسیریابی سلسله مراتبی^۴ صرفه جویی بسیار زیادی در مصرف انرژی از خود نشان می دهند.

در هر پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی یک سرخوشه^۵ برای هر خوشه^۶ انتخاب می شود. این سرخوشه ها اطلاعات را سایر گره ها دریافت کرده و عملیات پردازشی مختلفی روی آن ها انجام می دهند. (از جمله تجمیع^۷، ترکیب^۸ و فیلترینگ) این پردازش ها می توانند تعداد پیام های ارسالی به سمت گیرنده را به نحو قابل توجهی کاهش دهند. در نهایت پیام حاصل به سمت ایستگاه مرکزی^۹ ارسال خواهد شد. (Lotf، Hosseinzadeh و Alguliev، ۲۰۱۰، ۶۵۴-۶۵۰) Lee، Gautam و Pyun، ۲۰۰۹، ۱۲۱-۱۱۶)

انتقال داده درون هر خوشه در فاصله نسبتاً کمی اتفاق می افتد، پروتکل های مسیریابی سلسله مراتبی از جمله^{۱۰} LEACH (Chandrakasan، Heinzelman و Balakrishnan، ۲۰۰۰، ۱۰-۱) نسخه های بسط یافته آن نظیر^{۱۱} TL-LEACH و^{۱۲} EHE-LEACH (Heinzelman و دیگران، ۲۰۰۲، ۶۷۰-۶۶۰)، (Morabito، Loscri، Marano و، ۲۰۰۵، ۱۸۱۳) و^{۱۳} PEGASIS (Lindsey و Laghavendra، ۲۰۰۲، ۱۱۳۰) و^{۱۴} CCS (Han، Jung و Chung، ۲۰۰۷، ۲۶۵-۲۶۰) و^{۱۵} TSC (Lee، Gautam و Pyun، ۲۰۰۹، ۱۱۲۵)

¹ Wireless Sensor Network (WSN)

² Node

³ Ad-hoc

⁴ Hierarchical Routing Protocol

⁵ Cluster Head (CH)

⁶ Cluster

⁷ Aggregation

⁸ Fusion

⁹ Base Station (BS)

¹⁰ Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

¹¹ Tow-Level Hierarchy LEACH

¹² Enhanced heterogeneous LEACH

¹³ Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems

¹⁴ Concentric Clustering Scheme for Efficient Energy Consumption in the PEGASIS



۱۲۱-۱۲۱۱-۱۱۶) قدم های بزرگی در راستای صرفه جویی در مصرف انرژی گره های حسگر بی سیم برداشته اند. در هر حال این پروتکل های متداول مسیریابی هنوز هم باید از نقطه نظر مصرف انرژی و جریان داده معکوس از سمت ایستگاه مرکزی^{۱۶} مورد بازنگری و اصلاح قرار گیرند.

در این راستا طرح درختی قطاعی دوسطح (TSBC^{۱۷}) به منظور حذف جریان داده معکوس از سمت ایستگاه مرکزی با استفاده از ساختار درختی و همچنین توزیع یکنواخت مصرف انرژی در شبکه با استفاده از ساختار درختی قطاعی را پیشنهاد کرده ایم. به منظور کاهش انرژی مصرفی لازم برای ارسال داده جمع شده به سمت ایستگاه مرکزی از نزدیکترین گره ها نسبت به ایستگاه مرکزی (گره های سطح یک) به عنوان سرخوشه بهره برده ایم.

قسمت های بعدی مقاله به منوال زیر ادامه خواهند یافت:

بخش ۲ کارهای مرتبط را مورد بحث و بررسی قرار می دهد. در بخش ۳ مدل رادیویی استفاده شده در طرح پیشنهادی ما مورد بررسی قرار می گیرد. بخش ۴ معماری کلی و جزئیات طرح پیشنهادی TSBC را مورد بررسی قرار خواهد داد. در بخش ۵ نتایج شبیه سازی ما با نتایج شبیه سازی پروتکل معروف LEACH مقایسه خواهد شد و در نهایت در بخش ۶ نتایج نهایی هر آنچه در این مقاله مورد بحث قرار گرفته است را مورد بررسی قرار می دهیم.

۱- کارهای انجام شده

برای کاهش اتلاف انرژی و افزایش طول عمر شبکه پروتکل های مختلف مسیریابی پیشنهاد شده اند، که از این میان باید از پروتکل هایی که خوشه بندی در آنها صورت می پذیرد، به عنوان پروتکل هایی با بهترین عملکرد در زمینه صرفه جویی در مصرف انرژی نسبت به پروتکل های مسطح یاد کرد. (Ibriq و Mahgoub، ۲۰۰۴، ۷۶۶-۷۵۹) در این قسمت از مقاله در تلاش هستیم به صورت اجمالی به معرفی چندین پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی بپردازیم که در آنها پژوهشگران برای دست یافتن به صرفه جویی در مصرف انرژی گره های بی سیم تلاش فراوانی کرده اند.

روش LEACH (Chandrakasan، Heinzelman و Balakrishnan، ۲۰۰۰، ۱۰-۱): گره های حسگر خود را در خوشه بندی محلی قرار می دهند، که در آنها یک گره به عنوان سرخوشه به فعالیت می پردازد. LEACH از تعویض تصادفی گره سرخوشه به عنوان عاملی جهت پخش یکنواخت انرژی ما بین گره های مختلف شبکه بهره می گیرد.

روش TL-LEACH (Loscri، Morabito و Marano، ۲۰۰۵، ۱۸۱۳-۱۸۰۹): این پروتکل، توسعه یافته الگوریتم LEACH می باشد. TL-LEACH از دو سطح از سرخوشه ها (اولیه و ثانویه) به علاوه سایر گره های ساده بهره می جوید. در این الگوریتم در هر خوشه، سرخوشه ی اولیه با سرخوشه های ثانویه ارتباط برقرار می کند و سرخوشه های ثانویه هر کدام با گره های مربوطه در زیر خوشه هایشان ارتباط برقرار می کنند.

روش EHE-LEACH (Kumar و Tyagi، ۲۰۱۳، ۱۴۹۰-۱۴۸۵): این روش برای افزایش طول عمر شبکه های حسگر پیشنهاد شده است. در این طرح یک آستانه ثابت بر پایه فاصله برای تقسیم گره ها به دو دسته تعریف می گردد. گره هایی که در

¹⁵ Track-Sector Clustering for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks

¹⁶ Reverse flow of the data from BS

¹⁷ Tree Sector Bi-level Clustering



نزدیکی ایستگاه مرکزی قرار دارند، به صورت مستقیم با ایستگاه مرکزی در ارتباط خواهند بود و گره‌هایی که در فاصله دورتری نسبت به ایستگاه مرکزی قرار گرفته‌اند، می‌بایست از ارتباطات برپایه تشکیل خوشه استفاده کنند.

روش PEGASIS (Lindsey و Laghavendra، ۲۰۰۲، ۱۱۳۰): این الگوریتم یک ساختار زنجیره‌ای مشتمل بر تمامی گره‌ها تشکیل می‌دهد و جمع اطلاعات به صورت پیوسته در طول این زنجیره صورت می‌پذیرد. الگوریتم به معرفی این ایده می‌پردازد، که اگر گره‌ها زنجیره ای بین مبدا و مقصد اطلاعات تشکیل دهند، تنها یک گره در هر زمان ارسال فریم، به ارسال اطلاعات به ایستگاه مرکزی می‌پردازد.

روش CCS (Han ، Jung و Chung، ۲۰۰۷، ۲۶۵-۲۶۰): در این الگوریتم کل شبکه به حلقه‌های هم مرکز تقسیم می‌شود و هر کدام از این حلقه‌ها معرف یک خوشه خواهد بود. به هر کدام از این حلقه‌ها سطح خاصی نسبت داده می‌شود. (مثلاً سطح ۱ نزدیک‌ترین حلقه نسبت به ایستگاه مرکزی و ...). در هر کدام از این حلقه‌ها گره‌ها به تشکیل زنجیره‌هایی درست همانند آنچه در PEGASIS گذشت روی می‌آورند و یکی از گره‌ها به عنوان سرگره انتخاب می‌شود. بعد از انتقال اطلاعات در یک حلقه و رساندن این اطلاعات به سرگره، اینک زمان آن است که سرگره‌هایی که در حلقه‌های مجاور واقع شده‌اند، در جهت رساندن اطلاعات به ایستگاه مرکزی به همکاری بپردازند. به عنوان مثال، سرگره در سطح n اطلاعات را به سرگره واقع در سطح $n-1$ ارسال کند و این راهکار تا زمانی ادامه یابد که فرایند وصول اطلاعات به ایستگاه مرکزی با موفقیت گذرانده شود.

روش TSC (Lee ،Gautam و Pyun، ۲۰۰۹، ۱۲۱-۱۱۶): الگوریتم TSC از حلقه‌ها و قطاع‌هایی برای تشکیل خوشه‌ها استفاده می‌کند. پس خوشه ناحیه‌ای به شکل یک نوار خمیده می‌باشد که از تقاطع یک حلقه و یک قطاع مثلثی بوجود می‌آید و در پی آن در هر خوشه یک سرگره انتخاب می‌شود.

روش EECS¹⁸ (Ye و دیگران، ۲۰۰۵، ۵۴۰-۵۳۵): در این الگوریتم کاندیدهای سرخوشه شدن برای سر خوشه شدن در یک دوره خاص به رقابت می‌پردازند. این رقابت به این شکل صورت می‌پذیرد که هر کدام از گره‌های کاندید میزان انرژی باقی‌مانده خود را به سایر گره‌های همسایه که قصد شرکت در این رقابت را دارند اعلام می‌دارند. هر گره‌ای که انرژی باقی‌مانده‌اش نسبت به سایر گره‌ها بیشتر باشد، به عنوان سرخوشه انتخاب می‌گردد.

روش GSTEB¹⁹ (Han و دیگران، ۲۰۱۴، ۷۴۰-۷۳۲): در این روش در هر دوره، ایستگاه مرکزی یک گره را به عنوان گره ریشه منصوب می‌کند و ID و همچنین مختصات آن را به تمام گره‌های حسگر ارسال می‌کند. پس از آن مسیرهای شبکه یا توسط ارسال اطلاعات درخت به هر یک از گره‌ها توسط ایستگاه مرکزی و یا توسط خود گره‌ها مشخص می‌شوند. که در هر دو صورت نتیجه یکسان خواهد بود. GSTEB قابلیت تغییر ریشه و تشکیل درخت مسیریابی جدید را با تأخیر کم و مصرف کم انرژی، داراست.

روش DAIC²⁰ (Pyun و Gautam، ۲۰۱۰، ۱۲۹-۱۲۲): در این روش شبکه به چندین ردیف^{۲۱} تقسیم شده و در هر ردیف یک سرخوشه انتخاب می‌شود، و در تمامی ردیف‌ها به جز دورترین ردیف نسبت به ایستگاه مرکزی یک سرخوشه gateway نیز انتخاب می‌گردد. در این طرح برای استفاده بهینه از انرژی گره‌ها، قدرت انتقال اطلاعات خود را با توجه به فاصله تنظیم می‌کنند و همچنین تعداد سرخوشه‌ها در شبکه به صورت پویا انتخاب می‌شوند.

¹⁸ Energy Efficient Clustering Scheme

¹⁹ General Self-Organized Tree-Based Energy Balance Routing Protocol

²⁰ Distance Aware Intelligent Clustering

²¹ Tier



روش GEAR-CC^{۲۲} (Tang, Zhang و Wang, ۲۰۱۳، ۶-۱): در این روش پس از جایگیری گره‌ها، هر گره اطلاعاتی در زمینه مکان و سطح انرژی خود را به صورت مستقیم به ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. اجرای این عملیات که از نظر انرژی به صرفه نیست، در تمامی دوره‌ها لازم نخواهد بود. پس از آنکه ایستگاه مرکزی از موقعیت تمامی گره‌ها آگاه شد می‌تواند بهترین مسیریها برای ارسال اطلاعات را با حل مسئله کوتاه‌ترین مسیر مشخص کند. هرچند که طول مسیر در این روش فاصله اقلیدسی نمی‌باشد و وزنی وابسته به انرژی باقی‌مانده هر گره و هزینه ارسال اطلاعات از گره مبدأ به گره مقصد می‌باشد.

برخی از پروتکل‌های معرفی شده گام موثری در جهت جلوگیری از اتلاف انرژی و افزایش طول عمر شبکه برداشته‌اند، ولی هنوز هم تلاش‌هایی به منظور کاهش انتقال داده سرباره^{۲۳} و یا جریان معکوس داده از سمت ایستگاه مرکزی می‌تواند مثر ثمر عمل کند و ما را در دستیابی به این اهداف یاری رساند. پس به منظور کاهش انرژی مصرفی و افزایش طول عمر شبکه بر آن شدیم که طرح پیشنهادی TSBC خود را ارائه کنیم.

۲- مدل رادیویی مرتبه اول

در اینجا از یک مدل رادیویی ساده بهره گرفته‌ایم (Balakrishnan و Chandrakasan، Heinzelman، ۲۰۰۰، ۱-۱)، که در آن اتلاف انرژی در مدارات فرستنده و گیرنده برابر با $E_{elec} = 50nJ/bit$ و انرژی لازم جهت تقویت کننده فرستنده برابر با $E_{amp} = 100 pJ/bit/m^2$ خواهد بود. میزان اتلاف انرژی که در یک کانال انتقال و در طول فاصله d برای یک پیام k بیتی اتفاق می‌افتد را می‌توان به صورت زیر مدل کرد:

$$E_T(k, d) = E_{Telec}(k) + E_{Tamp}(k, d)$$

$$E_T(k, d) = E_{elec} \times k + \varepsilon_{amp} \times k \times d^2 \quad (1)$$

و برای پروسه دریافت پیام خواهیم داشت:

$$E_R(k) = E_{Relec}(k)$$

$$E_R(k) = E_{elec}(k) \quad (2)$$

در اینجا فرض را بر عدم اشباع و تقارن کامل کانال رادیویی گذاشته‌ایم. همچنین فرض کردیم که تمامی گره‌ها در طی هر دوره داده ای برای ارسال به سمت ایستگاه مرکزی خواهد داشت.

۳- ارائه روش پیشنهادی

هدف اصلی پروتکل TSBC افزایش طول عمر شبکه به وسیله کاهش دادن اتلاف انرژی علی‌الخصوص با کمینه کردن جریان معکوس داده از سمت ایستگاه مرکزی می‌باشد. در این روش، در هر قطاع یک ساختار درختی شکل می‌گیرد که گره ریشه آن یکی از گره‌های برگزیده سطح اول می‌باشد، سطحی که به ایستگاه مرکزی نزدیکتر خواهد بود. استفاده از

²² Centralized Clustering Geographic Energy Aware Routing

²³ Redundant data



ساختار درخت پوشای کمینه^{۲۴} تضمین خواهد کرد که هر گره داده خود را به نزدیکترین همسایه‌ی خود ارسال می‌کند، که در آنجا همسایه مذکور داده‌ی دریافتی را با داده‌ی خود ترکیب کرده و به همسایه‌ی دیگر خود که تنها با یک پرش قابل دستیابی است، می‌فرستد.

اکنون لازم است که "خوشه بندی دوسطحی درختی قطعی" با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. ترکیب مذکور به صورت کلی بدین معناست که یک خوشه با ادغام تمامی المان‌های مذکور نظیر، درخت‌ها و قطاع‌ها شکل گرفته و نهایتاً به دو سطح مختلف تقسیم شود.

تقسیم بندی مساحت شبکه به چندین قطاع استفاده از ساختار درختی در هر قطاع و همچنین سطح بندی کل مساحت شبکه به دو سطح انتقال مازاد داده را کاهش می‌دهد و همچنین مصرف انرژی حاصل از انتقال داده بین سرخوشه‌های دور از ایستگاه مرکزی به ایستگاه مرکزی را لغو خواهد کرد. طرح پیشنهادی جدید شامل قدم‌های زیر می‌باشد:

الف- دایره فرضی

اولین قدم کشیدن یک دایره فرضی به شعاع "فاصله دورترین گره تا ایستگاه مرکزی" می‌باشد و بدین نحو تمامی گره‌ها در دایره فرضی ما قرار خواهند گرفت.

ب- تخصیص سطح

قدم بعدی تخصیص سطح به هر گره با توجه به فاصله آن از ایستگاه مرکزی می‌باشد. نزدیکترین گره‌ها به ایستگاه مرکزی گره‌های سطح یک و سایر گره‌ها گره‌های سطح دو خواهند شد. بعد از سطح بندی تنها گره‌های سطح اول هستند که پس از برآورده کردن شرایط دیگر مجوز سرخوشه شدن را کسب خواهند کرد. پس این قدم از کار ما باعث می‌شود تا به راحتی مانع از سرخوشه شدن گره‌های دور دست شبکه شده و در پی آن اولاً از اتلاف منابع جلوگیری کنیم و ثانیاً مانع ایجاد جریان معکوس داده از ایستگاه مرکزی شویم.

ج- تخصیص قطاع

در این مرحله کل مساحت شبکه، فارغ از آنچه در رابطه با سطح بندی صورت پذیرفت، به چندین قطاع تقسیم خواهد شد. در بیشتر موارد تقسیم مساحت شبکه به ۶ قطاع مطلوب‌ترین حالت قطاع بندی خواهد بود. تعداد قطاع‌ها را میتوان همچنین بر پایه تعداد خوشه بهینه در سیستم معین کرد. این مسئله به پارامترهای مختلفی از جمله توپولوژی شبکه و نسبت هزینه محاسبات به ارتباطات در شبکه وابسته می‌باشد.

د- انتخاب سرخوشه

تا به اینجای کار ما خوشه‌های قطاع شکلی داریم که در آن‌ها تنها گره‌هایی مجوز سرخوشه شدن را دارند که در محل تقاطع هر قطاع و سطح پایینی قرار داشته باشند. آنچه واضح است، این نکته می‌باشد که برای جلوگیری از خالی شدن انرژی در یک ناحیه از شبکه بایستی از سرخوشه شدن گره‌های مجاور در دوره‌های متوالی تا حد امکان جلوگیری به عمل آید. یک سرخوشه ایده آل سرخوشه‌ای است که با بیشترین میزان انرژی در بیشترین فاصله نسبت به سرخوشه اخیر واقع شده باشد. پس برای انتخاب سرخوشه ایده آل باید مابین دو فاکتور انرژی باقی‌مانده و فاصله تا سرخوشه اخیر موازنه عادلانه‌ای برقرار شود.

$$X = E_{res-c} - \alpha * \left(\frac{1}{d^2}\right) \quad (3)$$

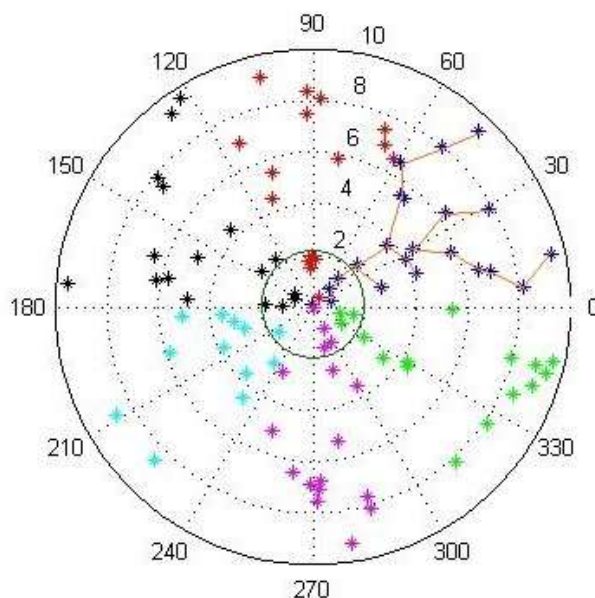


که در این فرمول E_{res-C} انرژی باقی مانده گره کاندید می باشد. همچنین d فاصله بین کاندید جدید و سرخوشه اخیر است. α مقدار ثابتی است که می تواند بر اساس تعداد تقریبی گره های سطح یک در هر قطاع، ابعاد شبکه، فاصله کمینه و بیشینه گره ها از یکدیگر و همچنین فاکتورهای دیگر انتخاب شود. تحت شرایطی که تغییر گره سرخوشه ضروری می باشد و تعدادی از گره های سطح اول برای انتخاب به عنوان سرخوشه کاندید شده اند، گره ای که بتواند بالاترین مقدار X را کسب کند، می تواند به عنوان سرخوشه دوره بعدی انتخاب شود. در مواردی حتی می توان معیار انتخاب سرخوشه را به گونه ای تغییر داد که فاصله تا سرخوشه ی خوشه های مجاور نیز بر انتخاب ما تاثیرگذار باشد این فرمول به ما کمک می کند تا با ایجاد توازن بین میزان انرژی سرخوشه های احتمالی و فاصله این گره ها تا سرخوشه اخیر مانع از خالی شدن باتری گره ها در نقاط مشخصی از شبکه شویم. فلذا زمانی که تغییر گره سرخوشه لازم باشد، یک سرخوشه احتمالی از سطح یک که در دورترین فاصله نسبت به سرخوشه اخیر واقع شده باشد و همینطور از انرژی باقی مانده نسبتاً خوبی بهره ببرد، به سرخوشگی منصوب خواهد شد. در شرایطی که تمام گره ها کار خود را با میزان مساوی از انرژی آغاز کنند، نزدیکترین گره به ایستگاه مرکزی به سرخوشگی منصوب خواهد شد. این مرحله می تواند توسط هر الگوریتم دیگری که قادر به انتخاب سرخوشه باشد، جایگزین شود.

ه- انتقال داده

وقتی پیکر بندی خوشه ها به سرانجام رسید، نوبت به انتقال اطلاعات به ایستگاه مرکزی خواهد رسید. هر گره داده خود را به گره پیشین خود در ساختار درخت ارسال می کند. در آنجا گره پیشین مذکور داده دریافتی را با داده خود ترکیب کرده و داده حاصل را به گره پیشین خودش در ساختار درخت ارسال می کند. این پروسه تا جایی ادامه می یابد که، کل داده موجود در قطاع مورد نظر به سرخوشه برسد. نهایتاً آنجا سرخوشه نیز داده خود را با داده مذکور دریافتی ترکیب کرده و حاصل را به ایستگاه مرکزی که به صورت نسبی در نزدیکترین فاصله از آن واقع شده، ارسال می دارد.

شکل (۱) می تواند تا حدودی مراحل مورد بحث در الگوریتم پیشنهادی ما را به صورت مصور نشان دهد.



شکل (۱) تصویر کلی از آنچه در TSBC انجام می شود



۴- شبیه سازی و نتایج

شبیه سازی

ما برای ارزیابی عملکرد طرح پیشنهادی TSBC از نرم افزار MATLAB R2013b استفاده کرده ایم. برای شبیه سازی یک شبکه با ۱۰۰ گره که به صورت تصادفی در یک مساحت مدور پخش شده اند، مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که ایستگاه مرکزی در مرکز این ناحیه واقع شده است. انرژی اولیه هر گره l در نظر گرفته شده است و این بدان معناست که انرژی اولیه کل شبکه مقداری برابر با l خواهد داشت. از آنجاییکه ایستگاه مرکزی در مرکز قرار گرفته است، با انتخاب ۶ قطاع، هر قطاع یک زاویه 60° درجه بر روی ایستگاه مرکزی بازتاب خواهد کرد. در هر قطاع تعداد از پیش تعیین نشده ای گره وجود دارد. اندازه هر فریم داده ۲۰۰۰ بیت در نظر گرفته شده است. انرژی مصرفی جهت ارسال یا دریافت هر بیت برابر با $50 nJ$ تنظیم شده و انرژی لازم جهت تجمیع اطلاعات برابر با $50 nJ/bit$ در نظر گرفته شده است. اتلاف انرژی جهت تقویت یک بیت از داده در مدل انتشار فضای آزاد^{۲۵} برابر با $10 PJ$ در نظر گرفته شده است و در صورتی که مدل انتشار چند مسیره^{۲۶} باشد، این مقدار به PJ 0.0013 تقلیل می یابد.

جدول (۱) متغیرهای مورد استفاده جهت شبیه سازی های کامپیوتری

مقدار	
۱۰۰	تعداد گره ها
۶	تعداد قطاع ها
۰/۵	مقدار انرژی اولیه هر گره
$50 nJ/bit$	انرژی مورد نیاز جهت پروسه دریافت
$50 nJ/bit$	انرژی مورد نیاز جهت پروسه ارسال
$5 nJ/bit$	تجمیع اطلاعات
$2000 bit$	سایز داده
$10 PJ$	تقویت کننده فرستنده (مدل انتشار فضا باز)
$0.0013 PJ$	تقویت کننده فرستنده (مدل انتشار چند مسیره)

²⁵ Free space propagation

²⁶ Multipath propagation



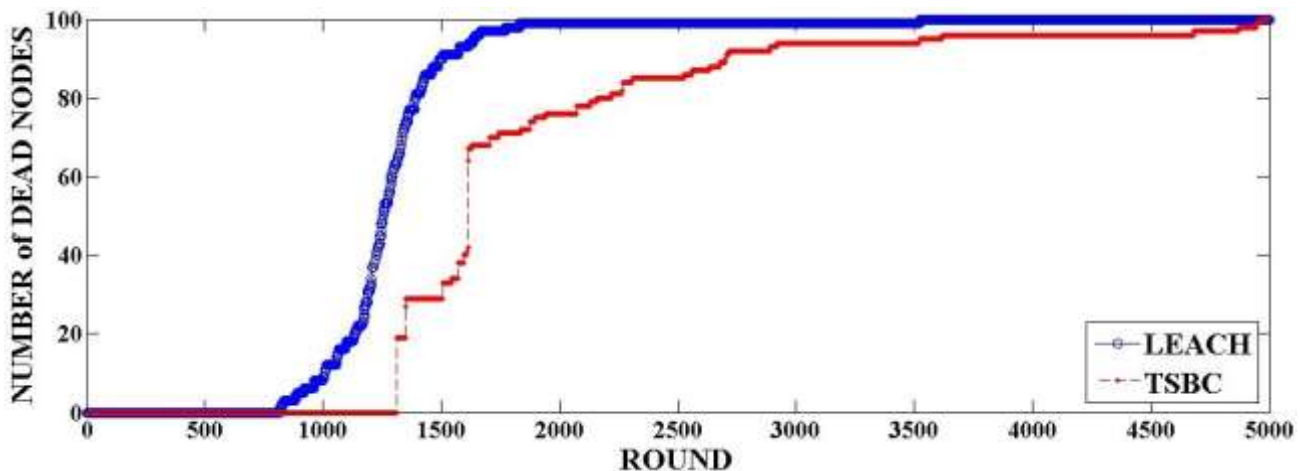
برای سادگی و با در نظر گرفتن این نکته که در این شبیه سازی تنها تعداد محدودی سرخوشه محتمل در هر قطاع وجود دارد، از فرمول مخصوص معرفی شده جهت انتخاب سرخوشه در این شبیه سازی استفاده نشده است. بدین منظور سرخوشه ها به نحوی انتخاب شده اند که بیشترین میزان انرژی باقی مانده و کمترین فاصله تا ایستگاه مرکزی را دارا باشند.

نتایج

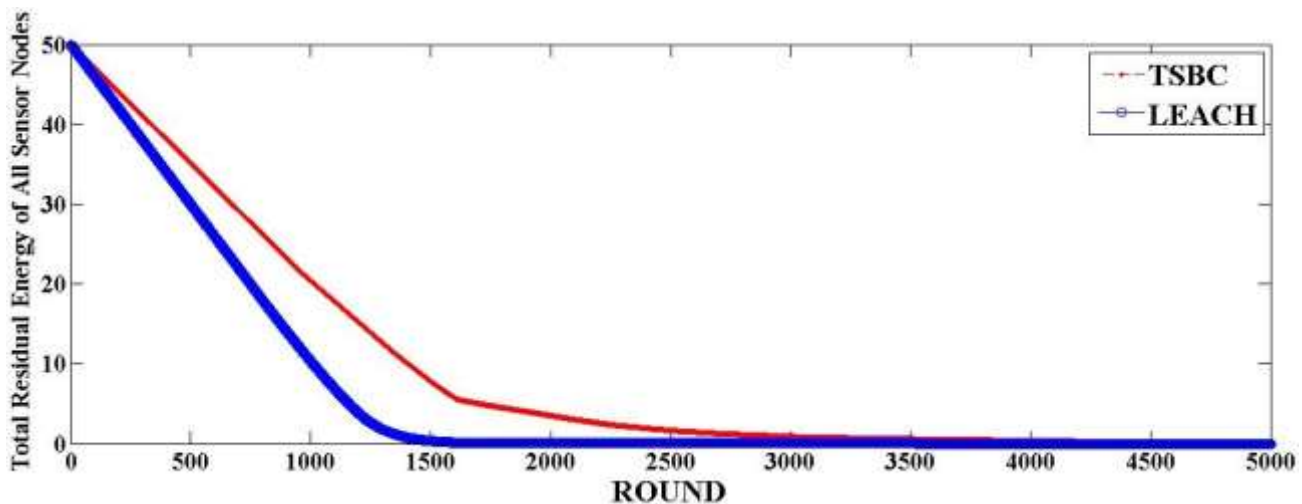
ما از دو متریک عملکردی مختلف جهت ارزیابی طرح پیشنهادی TSBC بهره گرفته ایم:

تعداد گره های مرده بر حسب شماره دوره و همچنین انرژی باقی مانده شبکه بر حسب دوره.

متریک اول که تعداد گره های مرده بر حسب شماره دوره می باشد، می تواند تا حدودی نشانگر این واقعیت باشد که تا چه زمانی شبکه قابلیت ارسال اطلاعات پیش از مرگ تمامی گره هایش را خواهد داشت. متریک دیگر که میزان انرژی باقی مانده شبکه را نشان می دهد کماکان نشانگر نرخ مصرف انرژی در شبکه خواهد بود.



شکل (۲) منحنی مقایسه ای تعداد گره های مرده بر حسب شماره دوره برای دو الگوریتم مختلف



شکل (۳) منحنی مقایسه ای کل انرژی باقی مانده در شبکه برای دو الگوریتم مختلف



ما طرح پیشنهادی TSBC خود را با LEACH که یکی از معروفترین پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های سنسوری بی‌سیم می‌باشد، مقایسه کردیم. شبیه‌سازی‌ها نشانگر این مسئله است که در طرح پیشنهادی ما حتی پس از ۳۰۰۰ دوره بعد از دوره‌ای که در آن آخرین گره در پروتکل LEACH میمیرد، هنوز هم گره زنده وجود دارد. شکل (۳) به وضوح این موضوع را نشان می‌دهد که انرژی باقی‌مانده شبکه در طرح پیشنهادی ما ۳۵۰۰ دوره پس از وضعیت مشابه در LEACH به پایان می‌رسد. تمامی این نتایج خوب با یادآوری این نکته که جریان معکوس داده از ایستگاه مرکزی با استفاده از ساختار درختی تقریباً برابر با صفر شده است، به شدت تقویت خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله ما به معرفی طرح پیشنهادی TSBC برای مسیریابی با مصرف انرژی به صرفه پرداختیم. نتایج شبیه‌سازی‌های کامپیوتری ما گویای این نکته بود که نسبت به بسیاری از پروتکل‌های مسیریابی متداول به سطح خوبی از پیشرفت در رابطه با افزایش طول عمر شبکه و کاهش نرخ مرگ گره‌ها رسیده‌ایم. طرح پیشنهادی ما با استفاده از ساختار درخت پوشای کمینه مقدار جریان داده معکوس از ایستگاه مرکزی را صفر می‌کند و یا به شدت کاهش می‌دهد. تقریباً تمام محاسبات لازم برای انجام موارد مذکور در ایستگاه مرکزی صورت می‌پذیرد، فلذا طرح پیشنهادی ما وظایف سنگین محاسباتی را بر دوش گره‌های کم انرژی و کم حافظه تحمیل نخواهد کرد. نتیجتاً طرح پیشنهادی TSBC مناسب کاربردهایی می‌باشد که در آن‌ها صرفه‌جویی در مصرف انرژی کاملاً اجباری می‌باشد. برخلاف سایر پروتکل‌های مسیریابی متداول انتقال داده سرباره به صفر و یا میزان بسیار جزئی رسیده است، چرا که با استفاده از ساختار درخت میزان جریان داده معکوس از ایستگاه مرکزی به شدت کاهش یافته است. فلذا پروتکل پیشنهادی ما مناسب‌ترین و بهترین پروتکلی است که می‌تواند در کاربردهایی مورد استفاده قرار گیرد که میزان انتقال داده سرباره باید در پایین‌ترین مقدار خود باشد.

۶- فهرست منابع

[1] Akyildiz I.F. , Su W. , Sankarasubramaniam Y. , Cayirci E. , “Wireless Sensor Networks :A Survey” ,*Computer Networks*, vol. 38, no.4, pp.393-422, Dec. 2002.

[2] Al-Karaki J. N and Kamal A.E, “Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey”, *IEEE Wireless Communications*, vol.11, no.6, pp.6-28, Dec.2004.

[3] Gautam Navin, Lee Won-Il, Pyun Jae-Young, “Track-Sector Clustering for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks”, *9th IEEE Int. Conf. on Computer and Information Technology*, vol.2, pp.116-121, 2009.

[4] Gautam Navin, Pyun Jae-Young, “Distance Aware Intelligent Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks”, *Journal of Communication and Networks*, vol.12, no.2, pp. 122-129, Apr. 2010.

- [5] Han Zhao, Wu Jie, Zhang Jie, Liu Liefeng, Tian Kaiyun, “ A General Self-Organized Tree-Based Energy-Balance Routing Protocol for Wireless Sensor Network”, *IEEE Transactions on Nuclear Sciences*, vol. 61, no.2, pp. 732-740, Apr.2014
- [6] Heinzelman W. , Chandrakasan A., and Balakrishnan H. , “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, in Proc. 33rd *Hawaii International Conf. on System Sciences* , vol. 2, pp. 1-10, Jan. 2000.
- [7] Heinzelman et al., “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks”, *IEEE Transaction on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [8] Ibriq J. , Mahgoub I., “ Cluster-based routing in wireless sensor networks: Issues and challenges,” in *Proc. Symp Performance Evaluation of Computer Telecommunication Systems*, pp. 759-766,2004.
- [9] Jung S.M., Han Y.J, and Chung T.M, “The Concentric Clustering Scheme for Efficient Energy Consumption in the PEGASIS “,in proc. 9th *International Conf. on Advanced Communication Technology* ,vol.1,pp.260-265, Feb.2007.
- [10] Lindsey S. and Raghavendra C. ,” PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems” , in proc. *IEEE Aerospace Conf.* , vol.3,pp.1125-1130, 2002.
- [10] Loscri V. , Morabito G., and Marano S.,” A Two-Level Hierarchy for Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (TL-LEACH)”in Proc. 62nd *IEEE Conf. on Vehicular Technology Conference* ,vol.3, pp. 1809-1813, 2005.
- [11] Lotf J.J., Hosseinzadeh M., Alguliev R.M.,”Hierarchical Routing in Wireless Sensor Network : a Survey”,in Proc. 2nd *International Conference on Computer Engineering and Technology* , ,Vol.3, pp. 650-654, 2010.
- [12] Tang Bo, Wang Dingcheng, Zhang Hui, “A Centralized Clustering Geographic Energy Aware Routing for Wireless Sensor Networks”, in Proc. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp.1-6, Oct. 2013.
- [13] Tyagi Sudhanshu, Kumar Gupta Sumit, “EHE-LEACH: Enhanced heterogeneous LEACH protocol for lifetime enhancement of wireless SNs”, in Proc. *Int. Conf. on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, pp. 1485-1490,2013.
- [14] Ye M., Li C., Chen G., and Wu J., “EECS: An Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks”, in Proc. 24th *IEEE International Conf. on Performance, Computing and Communication*, pp.535-540, 2005.