بهار ۱۴۰۰، دوره ۶، شماره ۱، پیاپی ۲۰
DOR :20.1001.1.2538161.1400.6.1.7.5

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۲/۲۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۷/۱۹

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه یک الگوریتم مسیریابی انرژی‌آگاه جهت متوازن‌سازی جریان ترافیک داده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم باتکیه برانتخاب بهینهٔ گره سرخوشه

میثم یداله‌زاده طبری*
گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی اسلامی واحد بابل، بابل، ایران.
پست الکترونیکی: M_tabari@baboliau.ac.ir

چکیده

دستیابی به یک الگوریتم مسیریابی با مصرف بهینه انرژی، نرخ دسترس‌پذیری بالا و همچنین توزیع بار متعادل از مهم‌ترین چالش‌های موجود در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشند. بدین منظور در این مقاله روشی بهینه جهت دستیابی به این اهداف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، ارائه شده که از دو الگوریتم بهینه‌سازی جهش قورباغه و حرکات عنکبوت‌های اجتماعی که ناظر بر رفتار نوع خاصی از عنکبوت با رفتار غیرانفرادی می‌باشد بهره می برد. در روش ارائه شده، از الگوریتم بهینه‌سازی جهش قورباغه برای خوشه‌بندی گره‌های بی‌سیم و پیدا کردن سرخوشه مناسب استفاده شده است. همچنین از ایده شدت ارتعاش عنکبوت‌ها در الگوریتم بهینه‌سازی عنکبوت‌های اجتماعی، برای بهینه‌سازی فرآیند مسیریابی مبتنی بر AODV بین سرخوشه‌ها استفاده خواهد شد. روش پیشنهادی با سناریوهای متعددی از یک شبکه حسگر بی‌سیم پیاده‌سازی و نتایج آن ارائه شده است. برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی از روشی که از AODV چند مسیره (AOMDV) برای مسیریابی بین سرخوشه‌ها استفاده می‌کند و همچنین روش موجود در یک مرجع معتبر دیگر به نام (FBR) در زمینه مسیریابی متوازن بین سرخوشه‌ها استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داده که روش پیشنهادی به میزان ٤٥,٢٪ در معیار تعداد گره‌های حسگر زنده برتری داشته است. همچنین این روش موفق به کاهش انحراف معیار بار ترافیکی و انرژی مصرفی گره‌های حسگر به میزان ۰,۱ و ۳۰۰ ژول شده است. انرژی مصرفی کل گره‌ها نیز در این روش به میزان ۳۰۰ ژول کاهش داشته است. همچنین زمان اجرای الگوریتم جهت ارسال بسته‌های داده از مبدأ به مقصد تنها به میزان ۲۰۰ میکروثانیه بیشتر از زمان به‌دست آمده از الگوریتم AOMDV بوده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه حسگر بی‌سیم، مسیریابی متوازن بار ترافیکی، خوشه‌بندی، الگوریتم عنکبوت اجتماعی، الگوریتم جهش قورباغه

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بی‌سیم از تعداد زیادی گره‌های معمولی که به آن‌ها گره‌های حسگر گفته می‌شود تشکیل شده‌اند. یکی از مهم‌ترین و ضروری‌ترین عملیات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، عملیات مربوط به مسیریابی

* نویسندهٔ مسئول

می‌باشـد. تاکنون روش‌های متفـاوت و گوناگونی جهت جمـع‌آوری، ارسـال و پـردازش داده‌ها در شـبکه‌های حسگر بی‌سـیم معرفی شده اسـت[۲،٤]. به‌عنوان یکی از پرکاربردترین ایـن روش‌ها می‌توان به خوشـه‌بندی در شـبکه‌های حسگر بی‌سیم اشـاره نمود[٥]. این پروتکل‌ها می‌توانند یک شبکه حسگر را به بهترین شکل مدیریت کنند و همچنین مصرف انرژی در ارسال و دریافت داده‌ها را به حداقل برسانند. به واسطهٔ ارتباط بی‌سیمی که وجود دارد سرخوشـه‌ها داده‌های جمع‌آوری شده را به ایستگاه پایه[1] می‌فرسـتند که این منجر به بالا رفتن مقیاس‌پذیری شبکه و کاهش افزونگی داده‌ها خواهد شـد. زیرا در هر خوشـه تنها سرخوشه است که وظیفهٔ جمع‌آوری داده‌ها از گره‌ها و ارسـال آن اطلاعات به ایستگاه پایه را بر عهده دارد. از چالش‌های بزرگی که در این نوع از پروتکل‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مطرح است می‌توان به تعیین تعداد و مکان سرخوشه‌ها، تعداد گره‌های عضو هر خوشه و مسیریابی بین سرخوشه‌ها جهت دستیابی به ایستگاه پایه اشاره کرد [۱]. الگوریتم‌های خوشـه‌بندی مرسـوم در این شبکه‌ها، ماننـد LEACH [۲] سـعی می‌کنند به‌صـورت دوره‌ای، با استفاده از یک تابع احتمال گره‌هایی را به‌عنوان سرخوشه انتخاب کنند. گره‌هایی که در هر دور سرخوشه شده‌اند با ارسال سـیگنال Join_Avd به گره‌های اطراف خود اطلاع می‌دهند. گره‌های غیرسرخوشه نیز به یکی از سیگنال‌های دریافتی برحسـب قـدرت آن‌ها پیغام Join_Req ارسـال خواهند کرد. گره سرخوشـه نیز بعد از مشـخص شـدن اعضای برنامه زمان‌بندی، جهت ارسال داده‌ها از اعضاء را مشخص می‌کند که براساس سازوکار زمان‌بندی TDMA[2] طراحی می‌شـود. در غیر از زمان ارسال گره‌ها آنتن خود را خاموش می کنند. در حالت بیدار نیز گره سرخوشـه با سرهم‌بندی، ادغام و فشرده سـازی داده‌های دریافتی از اعضاء آن را به سمت ایستگاه پایه ارسال می‌کند.

مشکل اساسـی این پروتکل و پروتکل‌های مشابه آن اسـت که در انتخاب سرخوشـه هیچ توجهـی به انرژی باقیمانده گره‌ها و یا سرجمع انرژی مصرفی آن‌ها نمی‌کنند. در بسیاری از تحقیقات سعی شده است که فرآیند انتخاب سرخوشه با کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند ژنتیک[۲۰] و یا زنبور عسـل [۸] انجام شود. همچنین با بزرگتر شدن گسـتره شبکه‌های حسگر بی‌سـیم، گره‌ها به خوشه‌هایی تقسـیم‌بندی می‌شوند که ممکن است سرخوشه‌های آن‌ها به علت دوری از ایسـتگاه پایه نتوانند یک ارتباط تک‌گامه با ایسـتگاه پایه ایجاد کنند و یا آن که برقراری این ارتباط بسیار پرهزینه باشـد. در چنین مواردی لازم است انتقال اطلاعـات به ایسـتگاه پایـه به‌صورت چندگامـه با کمک گره‌های سرخوشـه دیگر انجام شـود. با توجه به انرژی محدود گره‌ها در شـبکه‌های حسگر بی‌سیم لازم است تا الگوریتم مسیریابی مورد استفاده بین سرخوشه‌ها به‌طور متـوازن عمل کند تا باعث میرایی زودهنگام بعضی گره‌ها در مسیر نشود [۳-٤].

بـا توجه به سـادگی و حجـم عملکرد سـبکی که در پروتکل مسیریابی AODV وجود دارد، می‌توان از آن برای مسـیریابی بین سرخوشه‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده کرد [۱،٥،٦]. اما با توجه به توان پردازشی ضعیف و میرا بودن گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در بعضی مطالعـات از پروتکل مسـیریابی چندگانه در شـبکه‌های حسگر بی‌سـیم مانند AOMDV [۷] استفاده می‌شود تا در صورت از دسترس خارج شدن یک مسیر، مسیر جایگزین دیگری به سرعت انتخاب شود و هزینه‌ای بابت مسیریابی مجدد پرداخته نشـود[۸-۱۰]. با وجود عملکرد مناسب‌تر الگوریتم AOMDV در مسـیریابی بین سرخوشه‌ها نسبت به AODV، این الگوریتم اساسا توجهی به مسئله توزن بار[3] ندارد. این مسئله برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم که در آن گره‌ها دارای تـوان پردازش ضعیف و عمر باتری محدود هستند بسیار مشکل‌زا خواهد بود و بهتر است انتقال داده از سرخوشـه به ایسـتگاه پایه با در نظر گرفتن سـربار ترافیکی موجود بین گره‌ها انجام شود [۱۱-۱۲].

1- Base Station
2- Time Division Multiple Access
3- Load balancing

بـــا عنایت به مطالـــب گفته شـــده ارائه یـــک الگوریتم خوشـــه‌بندی مناســـب و همچنین یک الگوریتم مسیریابی متـــوازن جهت انتقال داده‌ها از سرخوشـــه‌ها به ایســـتگاه پایه هدف عمده این مقاله می‌باشـــد. در روش ارائه شـــده، از الگوریتم بهینه‌سازی جهش قورباغه[4] برای خوشه‌بندی گره‌های بی‌ســـیم و پیدا کردن سرخوشه مناسب استفاده شـــده است. همچنین از ایده شـــدت ارتعاش عنکبوت‌ها در الگوریتم بهینه‌ســـازی حـــرکات عنکبوت‌هـــای اجتماعی[5] بـــرای بهینه‌ســـازی فرآیند مســـیریابی مبتنـــی بر AODV بین سرخوشـــه‌ها استفاده خواهد شـــد. روش پیشنهادی با ســـناریوهای متعددی از یک شـــبکه حســـگر بی‌ســـیم پیاده‌سازی و نتایج آن ارائه شده است. برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی از روشی که از AOMDV برای مسیریابی بین سرخوشه‌ها و LEACH برای خوشه‌بندی و همچنین روش موجـــود در یک مرجع معتبر دیگر بـــه نام (FBR) در زمینه مسیریابی متوازن بین سرخوشه‌ها استفاده شده است.

ادامه این پژوهش بدین صورت ســـازماندهی می‌شود کـــه در بخش دوم، به مرور کلی روش‌های پایه و همچنین مطالعـــه موردی چند پژوهش قبلی، پرداخته می‌شـــود. در بخش ســـوم، رویکرد پیشنهادی این تحقیق، ارائه می‌گردد و در بخش چهارم، یک شبیه‌ســـازی از رویکرد پیشنهادی انجام می‌گیرد و نتایج آن با روش‌های مشـــابه پیشـــین و جدید، مورد مقایسه واقع می‌گردد. در انتها نیز نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ارائه خواهد شد.

مرور کارهای مرتبط

در ذیل به مرور برخی مطالعات انجام شـــده در زمینه موضوع مقاله می‌پردازیم

هاگو و احمـــد (۲۰۱۹) در [۸] رویکرد جدیدی را برای انتخاب گره سرخوشه بر اساس بهینه‌سازی (ABC)[6] ارائه می‌دهند. این بهینه‌ســـازی بر اســـاس انـــرژی باقی مانده، فاصلـــه درون خوشـــه‌ای و فاصلـــه از ایســـتگاه مرکزی می‌باشد. هدف از مقاله انتخاب بهینه گره سرخوشه برای هر خوشه است به‌گونه‌ای که باعث کاهش مصرف انرژی شبکه WSN شود. نویسندگان در این تحقیق به نتایج قابل قبولی دســـت یافتند اما به نظر نمی‌رســـد مقاله مورد نظر برای ابعاد بزرگ از شـــبکه قابل استفاده باشد و همچنین توجهی به همگام‌سازی بار مسیر در مسیریابی بین گره‌ها نشده است.

در تحقیـــق دیگری کـــه در مرجع [۹] در ســـال ۲۰۱۳ انجام شـــده اســـت، پروتکلی برای مســـیریابی با استفاده از خوشـــه‌بندی K-means ارائـــه داده‌اند کـــه در ابتدا یک سرخوشـــه را با کمترین مصرف انرژی انتخاب و ســـپس فرآیند مســـیریابی به کمک این سرخوشـــه برای گره‌های دیگر با همـــان الگوریتم، با پاییـــن آوردن مصرف انرژی بررســـی می‌شـــود. با توجه به این که فرآیند مســـیریابی به‌طور کلی در اینجا توسط گره سرخوشه انجام می‌شود به نظر نمی‌رســـد که این روش برای اجراهای بلند مدت از عملکرد شبکه مناسب باشد.

لـــوح و پان نیز [۱۰] یک پروتکل مســـیریابی سلســـله مراتبی به منظور کاهش مصرف انرژی در شـــبکه حسگر بی‌ســـیم را پیشـــنهاد کرده‌اند و مدل خود را با روش‌های مسیریابی دیگر، مقایسه کرده‌اند که نتایج حاکی از عملکرد بهتر روش آن‌ها نسبت به سایر روش‌های پیشنهادی است.

نویســـندگان در [۱۳] رویکرد جدیـــدی را برای انتخاب گره سرخوشه با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه می‌دهند. تابع برازندگی اســـتفاده شـــده از معیارهایی مانند انرژی باقی مانده، فاصله تا ایســـتگاه مرکـــزی و چگالی گره‌های اطراف اســـتفاده نموده اســـت. هدف از مقاله انتخاب بهینه گره سرخوشـــه برای هر خوشه است به‌گونه‌ای که باعث کاهش مصرف انرژی شـــبکه WSN شود. در این مقاله نیز توجهی به همگام‌سازی سربار ترافیک مسیر در مسیریابی بین گره‌ها نشـــده است. در [۱٤] نیز به پیدا کردن گره‌های همســـایه در شبکه حســـگر بی‌ســـیم پرداخته‌اند. آن‌ها به منظور کاهش تاخیر و کاهش توان مصرفی شبکه، روشی

4- Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA)
5- Social spider algorithm (SSA)
6- Artificial Bee Colony

جدید برای کشف همسایه در شبکه‌های بی‌سیم به کمک مسیریابی با پروتکل AOMDV پیشنهاد داده‌اند که می‌تواند گره‌های همسایه را خیلی با دقت کشف و به مدیریت منابع پروتکل HMAC بپردازد. روش ارائه شده توجهی به انرژی باقیمانده گره‌ها ندارد.

گروور و جین (۲۰۱٤) در [۱۸] روشی را برای توازن بار جریان ترافیک ارتباطی بین سرخوشه‌ها ارائه نمودند که بر مبنای خوشه‌بندی بهینه گره‌ها و ایجاد زیرساخت ارتباطی بین گره‌ها بنا نهاده شده است. روش ارائه شده با استفاده از معیارهای ارزیابی کارایی طول عمر شبکه و زمان همگرایی شبکه با کارهای پیشین مقایسه شده است. روش ارائه شده در این مقاله نیز متأسفانه برای شبکه‌های با ابعاد بالا مناسب نمی‌باشد.

با توجه به مطالب بیان شده، تاکنون تحقیقی که به مسئله انتخاب بهینه گره سرخوشه و مسیریابی بین سرخوشه‌ها به نحوی که سربار ترافیکی مسیر متوازن باشد به‌طور همزمان نپرداخته است. با توجه به این که این دو مسئله هر دو به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم وابسته به انرژی گره‌های شبکه می‌باشند لازم است که در هر کدام از دو هدف مطرح شده به آن توجه شود که در کارهای پیشین به آن بر نخوردیم.

۳- ایده پیشنهادی

روش پیشنهادی از دو دیدگاه به ارائه راه‌حل بهینه می‌پردازد. دیدگاه و نوآوری اول پیدا کردن سرخوشهٔ بهینه برای هر گره شبکه است. همان‌طور که در بخش مقدمه توضیح داده شد نقطه ضعف عمده الگوریتم‌های خوشه‌بندی مانند LEACH در آن است که انتخاب گره سرخوشه در آن تنها با استفاده از یک تابع احتمال انجام می‌شود و هیچ توجهی به مواردی مانند، انرژی باقیمانده گرهی که قصد سرخوشه شدن دارد و فاصله میان سرخوشه‌ها ندارد.

لذا در این مقاله هدف این است که تعداد خوشه‌ها و سرخوشه‌ها به گونه‌ای در کل شبکه توزیع شوند که مصرف انرژی کل شبکه به حداقل مقدار خود برسد. در الگوریتم ارائه شده از روش جستجوی بهینه مبتنی بر حرکت قورباغه‌ها [۱۵] برای این منظور استفاده شده است. دیدگاه و نوآوری دوم ارائه روشی برای حل چالش مسیریابی می‌باشد. در این رویکرد نیز از الگوریتم حرکات عنکبوت‌های اجتماعی [۱٦] استفاده شده است. روند نمای روش پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

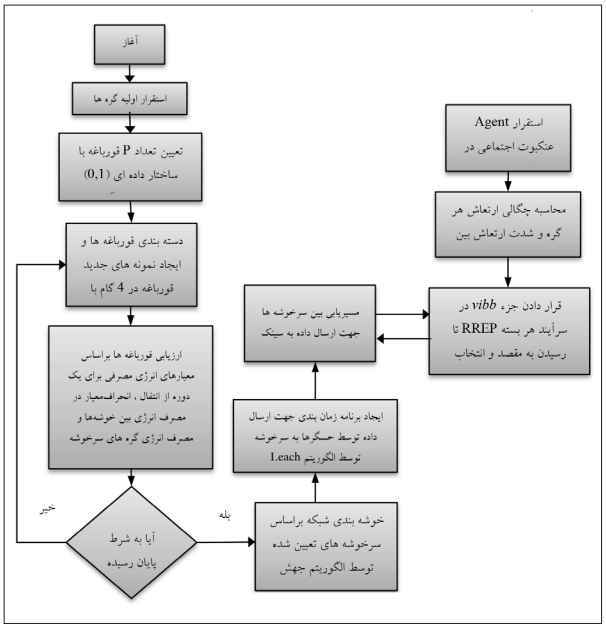
۳-۱استفاده از الگوریتم جهش قورباغه در خوشه‌بندی

در الگوریتم ارائه شده فرض می‌شود که کلیه عملیات مربوط به تشکیل و مدیریت خوشه‌ها در ایستگاه پایه صورت می‌گیرد. ایستگاه پایه با توجه به انرژی نامحدود و به‌عنوان یک مرکز پردازنده قدرتمند، می‌تواند بعد از به‌دست آوردن اطلاعات انرژی و موقعیت گره‌های شبکه، آن‌ها را به‌صورت متوازن و با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه گروه‌بندی کند. الگوریتم جهش قورباغه به این صورت عمل می‌کند که در ابتدا تعدادی قورباغه (P) که هریک حاوی یک جواب تصادفی از مسئله هستند تعریف می‌شود.

ساختار داده‌ای هر قورباغه (X_i) در اینجا به‌صورت یک آرایه به طول تعداد حسگرهای شبکه تعریف می‌شود که مقادیر آن صفر (۰) یا یک(۱) است. $X_i = (x_1, x_2, , , x_S)$ که در آن s نشان‌دهنده تعداد حسگرهای موجود در شبکه است. یک بودن خانه j–ام از آرایه به معنی سرخوشه بودن آن است. با توجه به مقدار تابع برازندگی که برای قورباغه‌ها محاسبه شده است، قورباغه‌ها به‌صورت صعودی مرتب می‌شوند (بهترین کمترین).

براساس ایده الگوریتم جهش قورباغه، قورباغه‌ها در چند دسته[۷] تقسیم می‌شوند. در اینجا هم m دسته برای نگهداری قورباغه‌ها در نظر می‌گیریم به‌طوری که هر دسته شامل n قورباغه باشد ($m=P\times n$). هر دسته یک جستجوی محلی برای مسئله می‌باشد که در اینجا مسئله

7- Memplex



شکل ۱: روندنمای روش پیشنهادی

پیدا کردن گره‌های سرخوشه مناسب برای شبکه است.

جمعیت بر اســاس میزان برازندگی محاسبه می‌شود و موقعیت بهترین قورباغه از بین کل قورباغه‌ها به‌دســت می‌آید. با تقســیم‌بندی قورباغه‌ها به چند دســته وارد فاز حالت پایدار می‌شویم.

گام۱: بهترین و بدترین قورباغه هر دســته بر اســاس تابع برازندگی تعیین می‌شــود و به ترتیب X_b و X_w نامیده می‌شود.

گام۲: موقعیت بدترین قورباغه دســته X_w با توجه به موقعیت X_b به‌صورت زیر تغییر می‌کند:

$$D = rand * (x_b - x_w) \quad (۱)$$

$$Xw_{new} = x_{wold} + D \quad (۲)$$

گام۳: بهترین جواب کل دســته‌ها X_g و جایگزین X_b در رابطه (۱) می‌شود و سپس با استفاده از رابطهٔ (۲) قورباغهٔ جدید به دســت می‌آید. در صورتــی که بهبودی در جواب حاصل شد، قورباغهٔ جدید جایگزین قورباغهٔ قبلی می‌شود و فرآیند به گام ٥ می‌رود. در غیر این صورت، گام ٤ اجرا می‌شود.

گام ٤: یک قورباغــهٔ جدید به‌صورت تصادفی تولید و جایگزین بدترین قورباغهٔ دسته می‌شود.

گام٥: گام‌های ۱ تا ٤ به تعداد مشخص تکرار می‌شود.

شرط توقف الگوریتم، حداکثر تکرار مجاز در نظرگرفته شــده اســت به گونه‌ای که فرآیند جستجو برای یک تعداد تکرار مشخص، اجرا و در نهایت موقعیت بهترین قورباغه به‌عنوان پاســخ نهایی مســئله در نظر گرفته می‌شــود که نشــان‌دهنده نمایهٔ گره‌هایی است که سرخوشه می‌شوند [۱٥]. در تعییــن معیارهــای ارزیابــی هــر قورباغــه به پارامترهایی در انتخاب بهترین سرخوشه توجه شده است که در ذیل به تعریف هر یک می‌پردازیم:

انرژی مصرفی برای یک دوره از انتقال داده: مقدار این معیار برابر جمع انــرژی مصرفی برای یک انتقال داده در یک دوره از اجرای الگوریتم است. انرژی مصرفی کل شامل دو بخش انرژی شده داخل خوشه‌ای و بین خوشه‌ای جهت انتقال داده می‌باشد که از رابطه (۳) محاسبه میشود.

$$E_{total}=E_{intra}+E_{inter} \quad (۳)$$

E_{intra} با نشــان‌دهنده انرژی مصرف شده برای یک دوره انتقال داده در داخل یک خوشه با فرض وجود n گره است که از رابطه (٤) به‌دست می‌آید.

$$E_{intra}=\sum_{i=1}^{n} E(i.CH)+E_{RX}+E_{DA} \quad (۴)$$

$E(i.CH)$ انــرژی مصرفی گــره i-ام برای ارســال داده به سرخوشه را نشان می‌دهد که لازم است برای تمام گره‌های داخل خوشه جمع شود. E_{RX} مقدار انرژی جهت دریافت اطلاعات توسط سرخوشــه را نشان می‌دهد. E_{DA} نشان‌دهنده انرژی لازم جهت جمع‌آوری داده‌ها در سرخوشه است. همچنین E_{inter} که نشان‌دهنده انرژی لازم جهت انتقال اطلاعات از سرخوشه به ایستگاه پایه است از رابطه ٥ به‌دست خواهد آمد.

$$E_{inter}=\sum_{i=1}^{m} E(i.Bs) \quad (۵)$$

$E(i.Bs)$ انــرژی لازم جهــت انتقــال داده از i-امیــن سرخوشه به ایستگاه مرکزی است و m تعداد سرخوشه‌ها را نشان می‌دهد.

براساس فرمول ارائه شده توسط هاینزلمن [۲] هر دور از اجرای فرآیند انتقال داده در شــبکه‌های حســگر مبتنی بر LEACH شــامل دو مرحله می‌باشد: مرحلهٔ راه‌اندازی و

مرحلهٔ حالت پایدار. مدل پیشنهادی او برای مصرف انرژی به‌صورت زیر ارائه شده است [۲]:

هـــر گره برای ارســـال داده‌ای L بیتی کـــه به فاصله d نسبت به خودش قرار دارد به اندازه ی E_s انرژی مصرف می‌کند که E_s از رابطهٔ (٦) به‌دست می‌آید:

$$E_s = l \cdot E_{elect} + l \in_{fs} \cdot d^2 \quad d < d_{co}$$
$$E_s = l \cdot E_{elect} + l \cdot \in_{mp} \cdot d^4 \; d \geq d_{co} \qquad (۶)$$

Eelect میزان انرژی مصرف شده در مدارات فرستنده برای ارســـال یک بیت داده اســـت که در L ضرب می‌شود. در صورتی که فاصله بین فرســـتنده و گیرنده (d) بیشتر از حد آســـتانه (d_{co}) باشد از مدل مسیر چندگانه[8] که رابطه معکوس با ضریب توان ٤ با d دارد اســـتفاده می‌شود. در غیر این صورت از مدل فضای باز[9] برای ارســـال اطلاعات اســـتفاده می‌شـــود که رابطه معکوس با ضریب توان ۲ با d دارد. ε_{mp} و ε_{fs} نیـــز به ترتیب میزان انرژی صرف شـــده در مدار تقویت کننده فرکانس[10] فرستنده جهت ارسال یک بیت داده داده در مدل مسیر چندگاه و فضای باز میباشد. از طرفـــی گره دریافت کننده این L بیـــت نیز میزان انرژی را بـــرای دریافت مصرف می‌کند که مقدار آن از رابطه (۷) به‌دست می‌آید:

$$E_r = l \cdot E_{elect} \qquad (۷)$$

انحراف معیار مصرف انرژی در بین سرخوشـــه‌های شـــبکه: کاهش انرژی کل، روی یک یا چند خوشـــه خاص ممکن اســـت روی مقدار انرژی مصرفـــی کل تاثیر زیادی بگـــذارد و آن را کاهش دهد اما این امر موجب مرگ زودتر یک گره خاص از شبکه می‌شود و پایداری شبکه را کاهش می‌دهد. بهتر اســـت مصـــرف انرژی در شـــبکه به نحوی توزیع شـــده باشد و این‌طور نباشد که یک خوشه مصرف انرژی‌اش خیلی کم و خوشـــه دیگر خیلی زیاد باشد. برای همین منظور ســـعی کرده‌ایـــم تا در روش ارائه شـــده از انحراف معیار مصرف انرژی استفاده کنیم. انحراف معیار پارامتـــری جهت اندازه‌گیری انحـــراف مصرف انرژی بین خوشه‌های موجود در شبکه اســـت. هرچه مقدار انحراف معیار کمتر باشـــد پایداری شبکه بیشتر خواهد بود. مقدار انحراف معیار مصرف انرژی از رابطه ۸ به‌دســـت خواهد آمد. $E_{cluster_i}$ نشان‌دهنده انرژی مصرف شده در خوشه i–ام است که از رابطه ٤ به‌دست خواهد آمد.

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} (\mu - E_{cluster_i})^2} \qquad (۸)$$

مقدار m در این فرمول از رابطه (۹) به‌دست می‌آید.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{m} E_{cluster}}{m} \qquad (۹)$$

میزان مصـــرف انرژی سرخوشـــه‌ها: مصرف انرژی سرخوشـــه‌ها نســـبت به گره‌های معمولی شـــبکه بسیار بیشتر می‌باشد، دلیل آن هم این است که سرخوشه‌ها باید همیشـــه به‌صورت آماده باش منتظـــر دریافت اطلاعات از سایر گره‌ها باشند و همچنین خود سرخوشه هم باید بعد از تجمیع داده‌ها آن‌ها را به ایســـتگاه پایه ارســـال کند. به همین دلیل از مجموع مصرف انرژی سرخوشه‌ها در تابع برازندگی استفاده می‌شود.

$$E_{Total\text{-}CH} = \sum_{i=1}^{m} E_{CH_i} \qquad (۱۰)$$

انرژی مصرف شده توسط گره سرخوشه CH با رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$E_{ch} = E_{Rx-member} + E_{DA} + E_{CH-BS} \qquad (۱۱)$$

$E_{Rx-member}$ انرژی دریافت اطلاعات از گره‌های عضو می‌باشـــد. E_{CH-BS} هم معرف انرژی که جهت ارســـال برای ایستگاه پایه مصرف می‌شود است

با توجه به ســـه پارامتر بیان شده تابع برازندگی برای روش پیشنهادی معادل رابطه (۱۲) خواهد شد.

$$F = W_1 \times E_Total \; W_2 \times SD + W_3 \times E_TotalCH \qquad (۱۲)$$

ضرایـــب ثابـــت W1، W2، W3 اهمیـــت هـــر یـــک از پارامترهای تابع برازندگی را مشـــخص می‌کنند که مقادیر آن‌ها در روش پیشـــنهادی برابر بـــا W1=0.5، W2=0.30 W3=0.1 می‌باشـــد، مقدار این ضرایب بـــا آزمون و خطا به‌دست آمده اند.

بعد از پایـــان اجرای الگوریتم جهش قورباغه، گره‌های سرخوشـــه از ســـاختار داده موجـــود در قورباغـــه X_b استخراج می‌شود. طریقه عضوگیری گره‌های سرخوشه،

8- Multi path
9- Free Space
10- Frequency amplifier

برنامه زمان بند TDMA، جمع آوری داده از اعضای خوشه و ارسال آن به ایستگاه پایه همانند الگوریتم پایه LEACH که در بخش مقدمه و مرجع [۱۱] توضیح داده شد، است.

۳-۲ استفاده از الگوریتم عنکبوت اجتماعی در مسیریابی

همان‌طور که در بخش مقدمه گفته شد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بزرگ که تعداد خوشه‌های متعدد و احتمالا دور از ایستگاه پایه ایجاد می‌شوند، نیازمند مسیریابی بین سرخوشه‌های ایجاد شده برای انتقال اطلاعات جمع آوری شده به ایستگاه پایه هستیم. در چنین مواردی می‌توان از الگوریتم‌های مسیریابی موجود در شبکه‌های موردی سیار استفاده کرد که معروف‌ترین آن‌ها AODV است. ایراد اصلی استفاده از پروتکل AODV در مسیریابی سرخوشه‌های شبکه‌های حسگر بی‌سیم آن است هیچ توجهی به انرژی باقیمانده گره‌ها، میزان سربار ترافیکی آن‌ها و همچنین فاصله میان گره‌های درگیر در فرآیند مسیریابی ندارند

در روش پیشنهادی که بر پایه پروتکل AODV بنا نهاده شده است، از الگوریتم بهینه‌سازی عنکبوت اجتماعی برای بهبود آن بهره گرفته شده است. مطابق با الگوریتم AODV گره مبدأ برای انتخاب بهترین مسیر به مقصد یک پیغام RREQ ای به گره‌های همسایه ارسال می‌شود. گره‌های همسایه نیز درصورتی که مسیری به مقصد مورد نظر نداشته باشند پیغام RREQ را متناظراً به همسایگانشان ارسال می کنند. این کار تا زمان رسیدن پیغام RREQ به مقصد یا گرهی که از آن اطلاع داشته باشد ادامه پیدا می‌کند. در آن صورت، پیغام RREP به سمت مبدأ ارسال می‌شود. در صورت ارسال چند RREP، AODV مسیری را انتخاب می‌کند که RREP آن زودتر رسیده باشد. در راهبرد مورد نظرمان با کمک الگوریتم بهینه‌سازی عنکبوت اجتماعی به دنبال مسیری هستیم که گره Next-Hop را با در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره، فاصلهٔ گره‌ها از هم و همچنین میزان سربار ترافیکی آن‌ها انتخاب شود. الگوریتم عنکبوت اجتماعی به فرموله‌سازی فضای جست‌وجوی مسئله بهینه‌سازی به‌عنوان تار عنکبوت می‌پردازد و هر عنکبوت اطلاعات یک مسیر را نشان می‌دهد. عنکبوت‌ها در جهت رسیدن به موقعیت منبع غذا که همان مقصد ما در مسئله است حرکت می‌کنند. زمانی که عنکبوت i که در موقعیت p_i قرار دارد ارتعاشی از خود تولید می‌کند که از رابطه (۱۳) به‌دست می‌آید [۱۶].

$$I(P_i) = \log\left(\frac{1}{f(p_i)-C}+1\right) \qquad (۱۳)$$

در این رابطه $I(P_i)$ نشان‌دهنده شدت ارتعاش حاصل از عنکبوت شماره i است. $f(p_i)$ شاخص ارزیابی کارایی[11] عنکبوت و C یک پارامترکنترل است که لازم است از کوچک‌ترین مقدار $f(p_i)$ کمتر باشد. همان‌طور که از این تابع بر می‌آید با کمتر شدن (بهینه‌تر شدن) $f(p_i)$ مقدار ارتعاش تولید شده توسط یک عنکبوت بیشتر می‌شود. عنکبوت‌ها به شدت و تحریک ارتعاش، بسیار حساس هستند. ارتعاشی که عنکبوت تولید می‌کند در سراسر تار منتشر می‌شود. این ارتعاش شامل اطلاعاتی در مورد موقعیت و میزان برازش می‌باشد. بنابراین هر ارتعاش، اطلاعات یک عنکبوت را به ما نشان می‌دهد و عنکبوت‌های دیگر می‌توانند این اطلاعات را دریافت کرده و به سمت قوی‌ترین ارتعاش که ناشی از نزدیک بودن آن عنکبوت به غذا است حرکت کنند.

با فرض وجود V عنکبوت در فضای مسئله هریک می‌توانند ارتعاش خود را به سایر عنکبوت‌ها ارسال کنند. بنابراین عنکبوت i–ام می‌تواند ارتعاش V-1 عنکبوت را دریافت کند و برحسب مسئله از یک یا چند تا از آن‌ها (براساس شدتشان) تأثیر دریافت کند. ارتعاشی که عنکبوت i–ام از عنکبوت j–ام می پذیرد توسط رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود[۱۶–۱۷].

$$I(P_i.P_j) = I(P_j) \times e^{\left(\frac{-D(P_i.P_j)}{\sigma \times r_a}\right)} \qquad (۱۴)$$

در این رابطه $I(P_j)$ بیانگر شدت ارتعاش عنکبوت j–ام، $D(P_i.P_j)$ بیانگر فاصله میان عنکبوت i و j، σ بیانگر انحراف

11- Fitness

معیار میزان ارتعاش تمام عنکبوت‌ها و r_a شاخصی است که هر چه بیشتر باشد میزان میرایی ارتعاش متقابل عنکبوت‌ها نسبت به هم بر اثر فاصله بیشتر می‌شود. در یک مسئله مبتنی بر الگوریتم عنکبوت اجتماعی یک عنکبوت می‌تواند ارتعاش یک یا چند عنکبوت را بپذیرد. در معیار ارزیابی کارایی همان‌طور که گفته شد به شاخص‌های انرژی و میزان بار ترافیکی گره‌ها توجه کرده‌ایم (شاخص فاصله در برآیند ارتعاش عنکبوت‌ها برهم تأثیر خواهد داشت که در رابطه (۱٤) به‌صورت $D(P_i.P_j)$ وجود دارد).

در راهبرد ارائه شده فرض می‌شود عامل عنکبوت اجتماعی در هر گره موجود است و عنکبوت‌ها از طریق دستکاری سرآیند بسته‌های کنترلی با هم ارتباط برقرار می‌کنند. شیوه کار به این صورت است که گره مبدأ که یکی از سرخوشه‌های موجود در شبکه است در صورت نیاز به ارسال داده به Sink، مشابه پروتکل AODV پیغام‌های RREQ را در شبکه به سمت گره‌های سرخوشه دیگر پخش همگانی می‌کند گره مقصد و یا هر گره میانی در صورت داشتن مسیر معتبر به سمت Sink در جدول مسیریابی خود، پیغام RREP را به سمت گره مبدأ ارسال می‌کند. هر گره میانی i با دریافت بسته کنترلی RREP از گره j میزان ارتعاش متقابل آن را با استفاده از رابطه ۱٤ محاسبه می‌کند. در این رابطه، $D(P_i.P_j)$ معرف فاصله میان دو عنکبوت i و j است که در اینجا از طریق محاسبه فاصله اقلیدسی میان دو گره i و j به‌دست می‌آید. همچنین همان‌طور که گفته شد $I(P_j)$ بیانگر شدت ارتعاش عنکبوت مستقر در گره j–ام است که از رابطه ۱۵ به‌دست می‌آید. جزء اصلی این رابطه، یعنی $f(p_j)$ شایستگی عنکبوت مستقر در گره j–ام را نشان می‌دهد. مقدار این پارامتر در عنکبوت مستقر در هر گره با توجه به انرژی باقیمانده از آن و میزان بار ترافیکی آن با استفاده از رابطه ۱۵ حاصل می‌شود.

C_{E_j} جزء مربوط به انرژی باقیمانده در گره j–ام است که از رابطه $(J - E_j)$ به‌دست می‌آید. با توجه به این که مقادیر کمتر $f(p_j)$ بهتر است از معکوس آن استفاده می‌کنیم. C_{T_j} نیز بیانگر جزء مرتبط با ترافیک گره j–ام است که از طریق محاسبه حجم بیت‌های ارسالی و دریافتی آن در بستر زمان است. ضرایب α و β به منظور نرمال‌سازی مقادیر C_{T_j} و C_{E_j} استفاده می‌شود.

$$f(p_j) = \alpha\left(1/C_{E_j}\right) + \beta\left(C_{T_j}\right) \qquad (۱۵)$$

به منظور پیاده‌سازی این راهبرد، جزء ارتعاش (Vibb)، در سرآیند بسته RREP گنجانده شده است. همچنین در جدول مسیریابی گره‌ها نیز این حوزه گنجانده می‌شود که نشان‌دهنده میزان سرجمع ارتعاش گره‌های موجود در مسیر تا گره مقصد است. با ارسال بسته RREP در مسیر برگشت به گره مبدأ، حوزه Vibb گره‌های میانی با هم جمع می‌شود و گره مبدأ در صورت دریافت RREPهای متعدد مسیری را انتخاب می‌کند که دارای مقدار Vibb بیشتری باشد.

۴- شبیه‌سازی و ارزیابی

شبیه‌سازی این پژوهش در محیط متلب انجام شده است. مقادیر پارامترهای استفاده شده در جدول (۱) آمده است. به منظور بررسی و ارزیابی دقیق الگوریتم ارائه شده از چند معیار ارزیابی متعدد جهت وارسی همه جنبه‌های عملکردی الگوریتم ارائه شده استفاده کرده‌ایم. معیارهای مورد بررسی شامل تعداد گره‌های حسگر بی‌سیم زنده، میزان مصرف انرژی کل شبکه، بار ترافیکی شبکه و انحراف معیار آن و همچنین زمان اجرای برنامه می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی و مقایسه دقیق‌تر الگوریتم ارائه شده، نتایج در دو روش اضافه دیگر نیز محاسبه شده است. در روش اول، از الگوریتم پایه LEACH ساده در تشکیل خوشه‌ها برای گره‌های حسگر بی‌سیم و AOMDV [۱۹] در مسیریابی گره‌های سرخوشه به منظور ارسال داده به گره سرخوشه استفاده شده است. در روش دوم نیز از الگوریتم ارائه شده در مرجع [۱۸] به نام FBR استفاده شده است. علت اصلی استفاده ار این مرجع، علاوه بر بروز و معتبر بودن آن، تطابق هدف اصلی آن با تحقیق

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

پارامترها	مقادیر
محیط شبکه	250 250x m^2
تعداد گره‌ها	50،100،...،2000
برد گره‌ها	۲۵متر
انرژی اولیه گره‌ها	0.5j
اندازه بسته داده	100 bytes
اندازه بسته کنترل	25 bytes
Eelec	50 nj/bit
fs	10 pj/bit
mp	0.0013 pj/bit
حد آستانه	۸۷متر

حاظر به منظور خوشه‌بندی گره‌های حسگر بی‌سیم و ارائه پروتکل مسیریابی بین گره‌های سرخوشه به منظور ایجاد یک مسیریابی مبتنی بر توازن بار است.

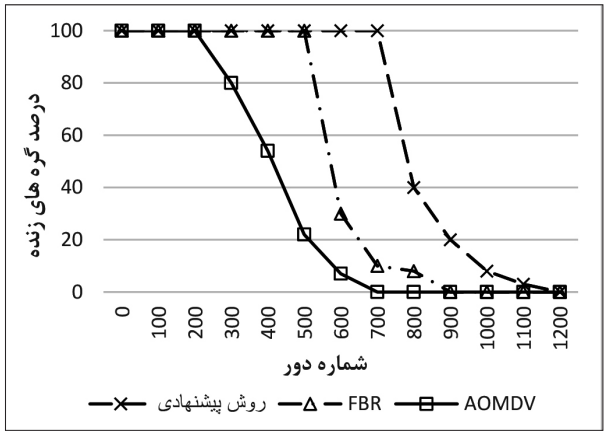
٤-١ تحلیل تعداد گره‌های حسگر زنده

در این بخش به بررسی معیار تعداد گره‌های حسگر زنده در روش پیشنهادی و دو روش مورد مقایسه می‌پردازیم. با توجه به اهمیت زمان مرگ گره‌ها در عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم به بررسی زمان مرگ ۱۰٪ گره‌ها برحسب شماره دور پرداخته‌ایم. این معیار بیشتر ناظر بر اجرای بخش اول الگوریتم پیشنهادی حاصل از اجرای خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم جهش قورباغه است. هرچند که در بخش دوم از الگوریتم پیشنهادی در مسیریابی بین سرخوشه‌ها نیز به انرژی باقیمانده گره‌ها توجه شده است. شکل (۲) درصد گره‌های حسگر زنده به ازای ۱۲۰۰ دور از اجرای الگوریتم را با فرض وجود ۵۰۰ گره در روش ارائه شده و دو روش مقایسه شده نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی، از عملکرد بهتری نسبت دو روش دیگر برخوردار است. به‌طوری که تا دور حدود ۸۰۰ از اجرای الگوریتم تقریبا تمام گره‌های شبکه در روش ارائه شده زنده هستند. روشی که از AOMDV و LEACH استفاده می‌کند به هیچ عنوان عملکرد مناسبی نداشته است. به‌طوری که در دور ٤۰۰، ۲۰٪ گره‌های شبکه مرده‌اند. الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش مقاله پایه ٤٥,۲٪ و نسبت به پروتکل AOMDV مقدار ٦۱,۲٥٪ بهبود داشته است و با توجه به انرژی باقیمانده گره‌ها، طول عمر شبکه در روش پیشنهادی این تحقیق افزایش داشته است. شکل (۳) طول عمر شبکه را برحسب شماره دور مرگ ۱۰٪ از گره‌ها را نشان می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی نسبت به روش مقاله پایه ۱۸٪ و نسبت به پروتکل AOMDV تقریبا ٦۳٪ بهبود داشته است. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است طول عمر در روش پیشنهادی از گره ۷۰۰ به بعد افزایش قابل توجهی داشته است و با افزایش تعداد گره‌های شبکه، تفاوت طول عمر شبکه وقتی ۱۰٪ گره‌ها می‌میرند، بیشتر می‌شود. این امر بخوبی تأثیر خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی گره‌ها را در روش پیشنهادی نشان می‌دهد.

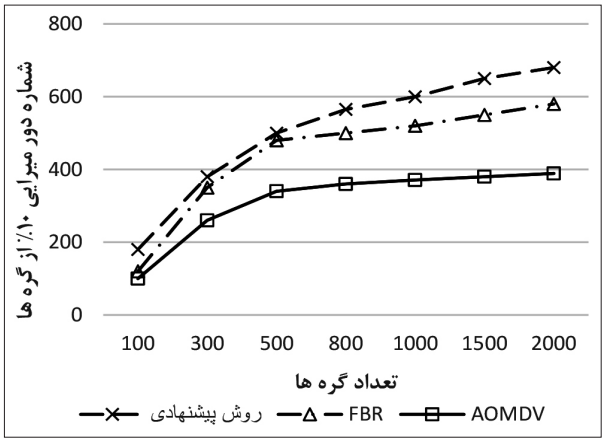
روشی که از AOMDV و LEACH استفاده می‌کند به‌طور قابل ملاحظه‌ای عملکرد نامناسبی با افزایش تعداد گره‌ها دارد. به‌طوری که به‌عنوان نمونه در صورت وجود تنها ۸۰۰ گره در دور ۳۸٥ از اجرای الگوریتم ۱۰٪ گره‌های آن مرده اند.

٤-۲ تحلیل توازن بار ترافیکی گره‌ها

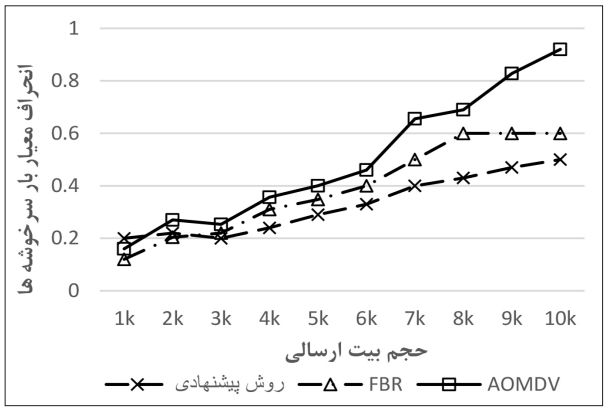
برای ارزیابی دقیق‌تر بخش دوم الگوریتم پیشنهادی که با هدف توازن بار بین گره‌های سرخوشه طراحی شده است به بررسی آن می‌پردازیم. از معیار انحراف معیار بارهای سرخوشه در مقابل تعداد گره‌های حسگر بی‌سیم استفاده کرده‌ایم. انحراف معیار بار سرخوشه، توزیع بار بین سرخوشه‌ها را نشان می‌دهد و مقادیر کمتر آن نشان‌دهنده عملکرد بهتر الگوریتم در توزیع بار ترافیکی بین سرخوشه‌ها است. برای این منظور با فرض وجود ۵۰۰ گره در شبکه حجم بسته‌های ارسالی به گره سرخوشه را متغیر فرض کرده و اثر آن را در انحراف معیار بار ترافیکی سرخوشه‌های شبکه بررسی می‌کنیم. همان‌طور



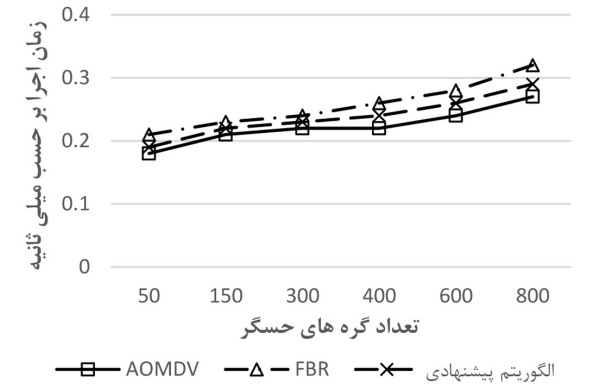
شکل ۲: نمودار مقایسه درصد گره‌های حسگر زنده



شکل ۳: طول عمر شبکه (زمان میرایی ۱۰٪ گره‌ها)



شکل ۴: انحراف معیار بار سرخوشه‌ها در مقابل حجم بیت ارسالی



شکل ۵: انرژی مصرفی با افزایش تعداد گره‌ها

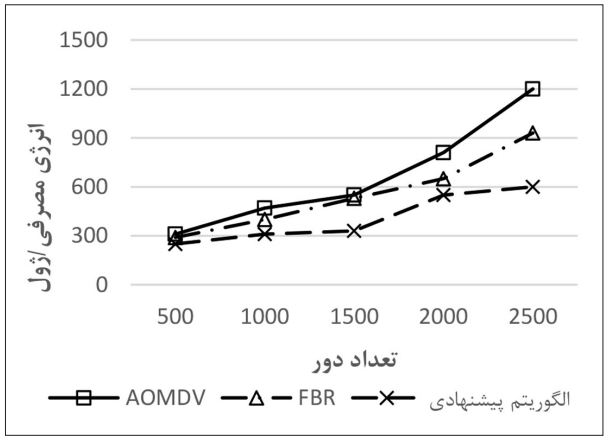
که از شکل (٤) مشخص است به‌طور کلی با افزایش حجم بیت‌های ارسالی انحراف معیار بار سرخوشه‌های شبکه افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند به علت درگیر شدن بیشتر گره‌ها با مقوله ارسال داده‌ها به سمت ایستگاه مرکزی باشد که می‌تواند منجر به عدم توازن در پخش ترافیک در شبکه شود. به نظر می‌رسد که روش پیشنهادی و پروتکل FBR به نوعی در مقابل این افزایش حجم مقاومت می کنند. در مقابل در پروتکل AOMDV به علت فقدان ساز و کار سودهی بین مسیرها مشاهده می‌شود که در مقابل افزایش اندازهٔ بسته‌ها شاهد افزایش انحراف معیار هستیم.

٤-٣ تحلیل انرژی مصرفی

شکل (٥) مصرف انرژی شبکه به ازای دوره‌های مختلف اجرای الگوریتم نشان می‌دهد. مقدار انرژی مصرفی گره‌ها در فواصل زمانی که روشن هستند با استفاده از روابط ۱ و ۲ به ازای دریافت و یا ارسال داده‌ها اندازه‌گیری می‌شود. طبیعتا انتظار داریم که با افزایش دور انرژی مصرفی کل افزایش یابد. همان‌طور که از این شکل برمی‌آید الگوریتم پیشنهادی ما از نظر مصرف انرژی، بهتر از بقیه الگوریتم‌ها عمل می‌کند. به‌طوری که در دور پایانی روش پیشنهادی ارائه شده به میزان ۳۰۰ ژول نسبت به روش FBR و ۵۹۰ ژول نسبت به روش AOMDV کمتر انرژی مصرف می‌کند. این نتیجه به این علت است که در تابع برازش روش خوشه‌بندی پیشنهادی، بیشترین اهمیت را به انرژی مصرفی داده‌ایم.

٤-٥ زمان اجرا

در شکل (٦)، زمان اجرایی الگوریتم‌ها برای ارسال یک واحد پیوسته از ارسال بسته‌ها از مبدأ به مقصد محاسبه شده است. همان‌طور که از شکل پیداست، الگوریتم



شکل ۶: زمان اجرا الگوریتم به ازای تعداد گره‌های حسگر شبکه

پیشـــنهادی این تحقیق بر حســـب زمان اجرا بهتر از FBR عمـــل می‌کند. اما الگوریتم به‌کار رفتـــه در AOMDV زمان اجرای بهتری نســـبت به بقیه روش‌هـــا دارد. دلیل این امر، کمتر بودن سربار مسیریابی می‌باشد. از این رو، AOMDV نســـبت به دیگر الگوریتم‌ها، نیاز به زمان محاسبه کمتری دارد. با اجرای شبیه‌سازی و نتایج به‌دست آمده و مقایسه با پروتکل AOMDV و پروتکل FBR، به برتری کارایی روش پیشـــنهادی در طول عمر و ترافیک بـــار و مصرف انرژی دست یافتیم. اما زمان اجرای این تحقیق نسبت به مقاله پایه بهتر و نسبت به پروتکل AOMDV بدتر است.

۵- نتیجه گیری

همان‌طور که گفته شـــد ارائه یک الگوریتم خوشه‌بندی مناســـب و همچنین یک الگوریتم مسیریابی متوازن جهت انتقال داده‌ها از سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه هدف عمده این مقاله می‌باشد. در روش ارائه شده، از الگوریتم بهینه‌سازی جهش قورباغه برای خوشـــه‌بندی گره‌های بی‌سیم و پیدا کردن سرخوشه مناسب استفاده شده است.

همچنین از ایده شـــدت ارتعاش عنکبوت‌ها در الگوریتم بهینه‌سازی حرکات عنکبوت‌های اجتماعی برای بهینه‌سازی فرآیند مسیریابی مبتنی بر AODV بین سرخوشه‌ها استفاده شد. روش پیشنهادی با سناریوهای متعددی از یک شبکه حســـگر بی‌سیم پیاده‌سازی و نتایج آن ارائه شده است. به منظور بررسی و ارزیابی دقیق الگوریتم ارائه شده از چند معیار ارزیابی متعدد جهت وارسی همه جنبه‌های عملکردی الگوریتم ارائه شـــده اســـتفاده کرده‌ایـــم. معیارهای مورد بررسی شـــامل تعداد گره‌های حسگر بی‌سیم زنده، میزان مصرف انرژی کل شبکه، توازن بار ترافیکی گره‌های شبکه و انحراف معیار آن و همچنین زمان اجرای برنامه می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی و مقایسه دقیق‌تر الگوریتم ارائه شـــده، نتایج در دو روش اضافه دیگر نیز محاســـبه شده اســـت. در نتایج مشاهده شده که روش پیشنهادی عملکرد قابل قبولی در معیارهای طول عمر شـــبکه، انحراف معیار بار، انرژی مصرفی، توزیع بار و زمان اجرا داشته است.

مراجع

1. Rajesh M, Vanishree K, Sudarshan TS. Stable route AODV routing protocol for mobile wireless sensor networks. In2015 International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet) 2015 Dec 16 (pp. 917-923). IEEE.
2. Heinzelman WB, Chandrakasan AP, Balakrishnan H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. IEEE Transactions on wireless communications. 2002 Oct 1;1(4):660-70.
3. Jelicic V, Magno M, Brunelli D, Bilas V, Benini L. Benefits of wake-up radio in energy-efficient multimodal surveillance wireless sensor network. IEEE Sensors Journal. 2014 Sep;14(9):3210-20.
4. Wang Q, Lin D, Yang P, Zhang Z. An energy-efficient compressive sensing-based clustering routing protocol for WSNs. IEEE Sensors Journal. 2019 Jan 21;19(10):3950-60..
5. Alam MK, Abd Aziz A, Latif SA, Awang A. Data Clustering Technique for In-Network Data Reduction in Wireless Sensor Network. In2019 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD) 2019 Oct 15 (pp. 317-322). IEEE.
6. Mujica G, Portilla J, Riesgo T. Performance evaluation of an AODV-based routing protocol implementation by using a novel in-field WSN diagnosis tool. Microprocessors and Microsystems. 2015 Nov 1;39(8):920-38.
7. Marina MK, Das SR. Ad hoc on-demand multipath distance vector routing. Wireless communications and mobile computing. 2006 Nov;6(7):969-88.
8. Ahmad T, Haque M, Khan AM. An energy-efficient cluster head selection using artificial bees colony optimization for wireless sensor networks. In Advances in Nature-Inspired Computing and Applications 2019 (pp. 189-203). Springer, Cham.
9. Vu TT, Nguyen VD, Nguyen HM. An energy-aware

routing protocol for wireless sensor networks based on k-means clustering. InAETA 2013: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences 2014 (pp. 297-306). Springer, Berlin, Heidelberg..
10. Loh PK, Pan Y. An energy-aware clustering approach for wireless sensor networks. International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2009 May 13;2(02):131.
11. Liu Y, Guo L, Ma H, Jiang T. Energy efficient on-demand multipath routing protocol for multi-hop ad hoc networks. In2008 IEEE 10th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications 2008 Aug 25 (pp. 572-576). IEEE.
12. Alghamdi SA. Load balancing maximal minimal nodal residual energy ad hoc on-demand multipath distance vector routing protocol (LBMMRE-AOMDV). Wireless Networks. 2016 May 1;22(4):1355-63.
13. Verma S, Sood N, Sharma AK. Genetic Algorithm-based Optimized Cluster Head selection for single and multiple data sinks in Heterogeneous Wireless Sensor Network. Applied Soft Computing. 2019 Dec 1;85:105788.
14. Karthikeyan V, Vinod A, Jeyakumar P. An Energy Efficient Neighbour Node Discovery Method for Wireless Sensor Networks. arXiv preprint arXiv:1402.3655. 2014 Feb 15.
15. Li X, Luo J, Chen MR, Wang N. An improved shuffled frog-leaping algorithm with extremal optimisation for continuous optimisation. Information Sciences. 2012 Jun 1;192:143-51. homepage:www.elsevier.com/locate/ins.2012.
16. James JQ, Li VO. A social spider algorithm for global optimization. Applied Soft Computing. 2015 May 1;30:614-27.
17. Erredir C, Riabi ML, Bouarroudj E, Ammari H. Swarm Optimization Algorithm Inspired in the Behavior of the Social-Spider for Microwave Filters Optimization. In7th African Conference on Non Destructive Testing ACNDT 2016 & the 5th International Conference on NDT and Materials Industry and Alloys (IC-WNDT-MI) 2016.
18. Tao Y, Zhang Y, Ji Y. Flow-balanced routing for multi-hop clustered wireless sensor networks. Ad hoc networks. 2013 Jan 1;11(1):541-54.
19. Grover A, Jain S. AOMDV with Multi-Tier Multi-Hop Clustering in Wireless Sensor Networks. Advanced Engineering Technology and Application, Adv. Eng. Tec. Appl. 2014;3:29-33

برای کسب اطلاعات بیشتر و تهیه کتاب
با شماره تلفن‌های زیر تماس حاصل فرمایید
۳-۸۸۸۶۱۴۲۱ (انجمن انفورماتیک ایران)
و یا برای خرید اینترنتی به وبگاه زیر مراجعه فرمایید
www.chare.ir