EBONC: یک روش جدید خوشه‌بندی آگاه از انرژی، مبتنی بر تعداد خوشه بهینه برای شبکه حسگر بی‌سیم متحرک

نسیم نوروزی، هادی طباطبایی ملاذی، محمود فضلعلی و محمود احمدی

چکیده: محدودیت انرژی یکی از چالش‌های اساسی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که طول عمر شبکه را به صورت مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. یک راه حل بهبود کارایی عمومی شبکه و توزیع یکنواخت انرژی در آن، خوشه‌بندی گره‌های شبکه است. انتخاب تعداد خوشه‌ها برای رسیدن به یک گذردهی کارای شبکه کاری بس دشوار است زیرا با افزایش تعداد سرخوشه‌ها، برای رسیدن بسته از مبدأ به مقصد، تعداد پرش‌های زیادی می‌بایست صورت گیرد. افزایش تعداد پرش‌ها باعث پردازش بیشتر اطلاعات و افزایش مصرف انرژی می‌گردد. این مقاله، یک روش خوشه‌بندی را با آگاهی از مکان و انرژی گره‌ها ارائه می‌نماید که سعی در تشکیل خوشه‌هایی با اندازه بهینه و انتخاب سرخوشه بر اساس سطح انرژی گره‌ها به منظور کاهش مصرف انرژی دارد. روش پیشنهادی محیط شبکه را به دوایر متحدالمرکزی تقسیم کرده و تعداد خوشه بهینه هر دور را به نحوی که مصرف انرژی شبکه بهبود یابد محاسبه می‌کند. در همین راستا از الگوریتم شایعه‌پراکنی به منظور تبادل انرژی بین گره‌ها استفاده می‌نماید. کارایی بهتر این روش از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه در مقایسه با روش‌های پیشین نظیر ASH از طریق شبیه‌سازی بررسی شده است. روش پیشنهادی از نظر طول عمر شبکه در حدود ۲۵٪ تا ۴۰٪ روش ASH را بهبود بخشیده است.

کلیدواژه: **شبکه حسگر بی‌سیم متحرک، خوشه‌بندی، انتخاب سرخوشه، الگوریتم شایعه‌پراکنی.**

۱- مقدمه

شبکه حسگر بی‌سیم متحرک، متشکل از تعداد زیادی گره متحرک است که در یک محیط به طور گسترده پخش شده و در هر گره تعدادی حسگر و/یا کارانداز[1] وجود دارد که از طریق حسگرها اطلاعات محیط را گرفته و از طریق کارانداز‌ها واکنش نشان می‌دهند [۱]. ارتباط بین گره‌ها به صورت بی‌سیم است، هر گره به طور مستقل و بدون دخالت انسان کار می‌کند و نوعاً از لحاظ فیزیکی بسیار کوچک است و دارای محدودیت‌هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه و منبع تغذیه می‌باشد. این گره‌ها بدون استفاده از هیچ گونه زیرساخت یا مدیریت متمرکزی یک شبکه حسگر بی‌سیم را به صورت پویا تشکیل می‌دهند. گره‌ها می‌توانند آزادانه به هر جایی از شبکه حرکت کنند، به شبکه بپیوندند یا آن را ترک کنند. این گونه شبکه‌ها با وجود کاربردهای مختلف و ویژگی‌های خاص خود به منابع غنی انرژی متصل نیستند و تنها یک منبع محدود انرژی در دسترس هر گره است که باید به طور بهینه برای پردازش و ارتباطات استفاده شود. در صورتی که برای مصرف انرژی باتری این شبکه‌ها، هیچ گونه مدیریتی لحاظ نشود، در مواردی همچون مسیریابی، دسترس‌پذیری، مقیاس‌پذیری، کیفیت سرویس، پایایی و طول عمر شبکه با مشکل روبه‌رو می‌شوند [۲].

وظیفه اصلی شبکه‌های حسگر، جمع‌آوری اطلاعات از محیطی است که در آن قرار می‌گیرند. انتقال مستقیم اطلاعات از گره‌ها به گره مرکزی هزینه‌بر و تقریباً غیر ممکن است، زیرا گره مرکزی معمولاً دورتر از منابع داده قرار دارد. از این رو معمولاً از مسیرهای چندگامی برای مسیریابی استفاده می‌شود [۳]. لذا گره‌هایی که در مسیر داده‌ها هستند مشغول انتقال داده می‌شوند و این امر درصد خرابی و تخلیه انرژی این گره‌ها را افزایش می‌دهد. برای غلبه بر این مشکل از مدل‌های خوشه‌بندی استفاده می‌شود. خوشه‌بندی یعنی گروه‌بندی گره‌ها داخل دسته‌هایی متمایز از یکدیگر به طوری که هر دسته یک سردسته (سرخوشه) داشته باشد. معمولاً گره سرخوشه انرژی بسیار بیشتری نسبت به گره‌های معمولی دارد و کارهای ویژه‌ای (مثل ترکیب و تجمیع داده‌ها) را انجام می‌دهد. همچنین تعدادی گره معمولی در هر خوشه به عنوان اعضای آن خوشه وجود دارند. گره‌های حسگر، داده‌های خود را متناوباً به سرخوشه خود ارسال می‌کنند و گره‌های سرخوشه نیز داده‌ها را جمع‌آوری کرده و آنها را به ایستگاه مبنا می‌فرستند. ارسال به ایستگاه مبنا می‌تواند به صورت مستقیم و یا به صورت واسطه‌ای با دیگر سرخوشه‌ها صورت پذیرد. اگر به دلیل افزایش بار یا هر دلیل دیگری این گره از کار بیفتد باید سرخوشه جدیدی انتخاب شود، چون سرخوشه نقش مهمی در این ساختار ایفا می‌کند. پس باید سرخوشه به بهترین نحو ممکن انتخاب شود زیرا با انتخاب اشتباه سرخوشه طول حیات شبکه کاهش می‌یابد [۴].

مسیریابی سلسله‌مراتبی یک روش کارا جهت مصرف کمتر انرژی درون یک خوشه و تجمیع و ترکیب داده‌ها در جهت کاهش تعداد پیام‌های ارسالی به ایستگاه مبنا می‌باشد. در مقابل، یک شبکه تک‌سطحی[2] ممکن است به هنگام افزایش تراکم حسگرها، باعث ایجاد اضافه بار دروازه‌ها شود. چنین اضافه باری ممکن است باعث ایجاد تأخیر در ارتباط و پیگیری ناموفق رخدادها گردد. به علاوه، این معماری تک‌سطحی برای مجموعه بزرگی از گره‌ها که منطقه وسیعی را پوشش می‌دهند، قابلیت مقیاس‌پذیری ندارد، چرا که معمولاً حسگرها قابلیت ارتباط در مسیر طولانی را ندارند. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به خصوص در کاربردهایی که به صدها یا هزاران گره نیاز باشد، مؤثر است. همچنین کاربردهایی که نیاز به تجمیع مؤثر داده‌ها دارند به طور طبیعی، داوطلب استفاده از روش

این مقاله در تاریخ ۲۷ اسفند ماه ۱۳۹۲ دریافت و در تاریخ ۱۹ خرداد ماه ۱۳۹۵ بازنگری شد.

نسیم نوروزی، وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، (email: n.norouzy@ict.gov.ir).
هادی طباطبایی ملاذی، گروه مهندسی نرم‌افزار، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، (email: h_tabatabaee@sbu.ac.ir).
محمود فضلعلی، گروه علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، (email: fazlali@sbu.ac.ir).
محمود احمدی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، (email: m.ahmadi@razi.ac.ir).

1. Actor
2. Flat

Archive of SID
www.SID.ir

خوشه‌بندی هستند. خوشه‌بندی، علاوه بر پشتیبانی از مقیاس‌پذیری شبکه و کاهش مصرف انرژی (از طریق تجمیع داده‌ها)، مزایای دیگری نیز متناسب با اهداف متفاوت دیگر دارد [۵]. به عنوان مثال می‌تواند برپاسازی مسیر درون خوشه را متمرکز و محلی نموده و در نتیجه آن، اندازه جدول مسیریابی ذخیره‌شده در هر گره را کاهش دهد. همچنین می‌تواند پهنای باند ارتباطی را حفظ نماید، زیرا حوزه تعاملات میان‌خوشه‌ای را به سرخوشه‌ها محدود نموده و از افزونگی پیام‌های تبادلی میان گره‌های حسگر جلوگیری نماید. به علاوه، خوشه‌بندی می‌تواند توپولوژی شبکه را در سطح حسگرها پایدار ساخته و سربار و مخارج کلی نگهداری از توپولوژی را کاهش دهد. همچنین سرخوشه می‌تواند استراتژی‌های مدیریتی بهینه‌شده‌ای را پیاده‌سازی کند که این کار ارتقای عملکرد شبکه و افزایش طول عمر باتری گره‌ها و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه را در پی خواهد داشت [۵].

در این مقاله الگوریتم جدیدی برای خوشه‌بندی و نگهداری خوشه‌ها در شبکه حسگر بی‌سیم متحرک به نحوی که باعث کاهش مصرف انرژی این گونه شبکه‌ها گردد معرفی می‌شود. این الگوریتم برای این که بار بر دوش سرخوشه‌های نزدیک ایستگاه مبنا را کاهش دهد، تعداد خوشه‌های بیشتر ولی با اندازه کوچک‌تری را در نزدیکی ایستگاه مبنا تشکیل می‌دهد تا این خوشه‌ها برای جمع‌آوری و ارسال داده‌های خوشه خود، انرژی کمتری را مصرف کنند و مابقی انرژی خود را صرف ارسال داده‌های رسیده از خوشه‌های دیگر نمایند. بسیاری از روش‌های خوشه‌بندی تنها یک ویژگی خاص را در نظر می‌گیرند، در حالی که الگوریتم پیشنهادی ترکیبی از ویژگی‌ها را لحاظ می‌کند. الگوریتم پیشنهادی برای انتشار اطلاعات به جای روش سیل‌آسا که مشکل انفجار (ارسال تعداد زیادی بسته در شبکه) دارد از روش شایعه‌پراکنی [۶] استفاده می‌کند. همین ویژگی الگوریتم پیشنهادی، آن را در دسته خوشه‌بندی توازن بار قرار می‌دهد و از طرفی به دلیل ارائه راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی جزء خوشه‌بندی متوازن انرژی، با لحاظ‌نمودن تعداد و اندازه خوشه بهینه در دسته الگوریتم‌های متوازن بار و با توجه به تحرک گره‌ها و ارائه راهکار برای تحرک گره‌ها در دسته خوشه‌بندی آگاه از تحرک قرار می‌گیرد [۷]. شبیه‌سازی انجام‌شده نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی تا حدود ۹۰٪ باعث بقای شبکه شده که از نظر طول عمر شبکه حدود ۴۰٪ الگوریتم ASH را بهبود بخشیده است.

در ادامه مقاله و در بخش ۲ ابتدا روش‌های خوشه‌بندی موجود و چالش‌های مطرح در آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های حرکتی گره‌های حسگر در بخش ۳ معرفی، در بخش ۴ به تعریف مسأله پرداخته و سپس در بخش ۵ مراحل انجام الگوریتم جدید با جزئیات تشریح می‌شود. کارایی این پروتکل از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه در مقایسه با پروتکل‌های پیشین نظیر ASH [۸] در بخش ۶ مورد بررسی قرار می‌گیرد و نهایتاً در بخش ۷ جمع‌بندی ارائه می‌گردد.

۲- مرور ادبیات تحقیق

در این بخش ابتدا به بررسی روش‌های خوشه‌بندی پرداخته و سپس الگوریتم ASH که یک الگوریتم خوشه‌بندی برای شبکه‌های بسیار بزرگ با تحرک بالاست را تشریح نموده و در نهایت به دلیل آن که شبکه حسگر مورد نظر یک شبکه متحرک است، مدل‌های حرکتی را نیز بیان کرده و سه مدل حرکتی را که برای تحلیل کار از آنها استفاده شده است با جزئیات بیان خواهد شد.

۲-۱ روش‌های خوشه‌بندی در شبکه حسگر

تحقیقات فراوانی در زمینه خوشه‌بندی گره‌های حسگر بی‌سیم متحرک انجام شده است که خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را از نظر مجموعه قلمرو، هزینه نگهداری، انرژی، توازن بار و تحرک به پنج دسته تقسیم می‌نماید. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی خوشه‌بندی شبکه‌های متحرک، الگوی حرکتی است که در ادامه به آن نیز پرداخته شده است [۳].

مهم‌ترین پارامترهایی که در خوشه‌بندی مطرح است عبارت از تعداد خوشه‌ها، ارتباط درون‌خوشه‌ای (در برخی مواقع ارتباط میان یک حسگر و سرخوشه آن به طور مستقیم (تک‌گام) [۹] در نظر گرفته شده است، در حالی که امروزه در اغلب موارد، ارتباط درون‌خوشه‌ای (چندگام) مورد نیاز است [۱۰]) و متحرک‌بودن گره‌ها و سرخوشه‌ها است. اگر گره‌ها و سرخوشه‌ها ساکن باشند، به طور طبیعی با وجود خوشه‌های متعادل و ثابت، مدیریت شبکه‌ای درون‌خوشه‌ای و میان‌خوشه‌ای در آن تسهیل شده است. در مقابل اگر گره‌ها و سرخوشه‌ها متحرک باشند، عضویت در خوشه برای هر گره به صورت پویا تغییر می‌کند و خوشه‌ها را مجبور می‌سازد که در هر لحظه عضوگیری کنند و احتمالاً در این صورت نیازمند مدیریت پیچیده‌تری خواهند شد. همگن‌بودن شبکه یا ناهمگن‌بودن آن، پیچیدگی الگوریتم، مبتنی بر مکان یا غیر مبتنی بر مکان بودن، تحمل‌پذیری، بیشترین عمر ماندگاری شبکه، افزایش مقیاس‌پذیری شبکه و حفظ حداکثر پوشش شبکه‌ای در طول عمر شبکه حسگر از دیگر معیارهایی هستند که در خوشه‌بندی به آن توجه می‌شود [۴].

خوشه‌بندی بر پایه مجموعه‌های قلمرو: در این روش شبکه به صورت یک گراف در نظر گرفته می‌شود و یک مجموعه قلمرو از گراف $G=(V,E)$، زیرمجموعه $S\in V$ است به گونه‌ای که هر رأس $v\in V$ یا در S باشد و یا همسایه یک رأس از S باشد. این الگوریتم‌ها به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند، خوشه‌بندی بر پایه مجموعه‌های قلمرو مستقل که در آن هیچ دو گره داخل مجموعه از مجموعه گره‌های همسایه نباشند. دسته دوم خوشه‌بندی بر پایه مجموعه‌های قلمرو همبند (CDS)[1] که تمام گره‌های سرخوشه به یکدیگر متصل باشند. دسته سوم، خوشه‌بندی بر پایه مجموعه‌های قلمرو همبند ضعیف (WCDS)[2] است که در آن برای هر زیرمجموعه S از مجموعه V زیرگراف ضعیفی مشتق شده که با $\langle S\rangle$ نشان داده می‌شود که گراف شامل رئوس S، همسایگان آنها و همه یال‌هایی است که حداقل یک سر آنها در S است [۵].

خوشه‌بندی با نگهداری کم: نقد اصلی که در خوشه‌بندی شبکه‌های متحرک وجود دارد زیادی تعداد ارسال پیام‌های نگهداری ساختار خوشه‌ها در این شبکه‌ها به دلیل تغییرات توپولوژی است. وقتی که توپولوژی شبکه به صورت متناوب تغییر می‌کند، سربار کنترلی برای نگهداری خوشه به شدت افزایش می‌یابد. بنابراین خوشه‌بندی مجدد ممکن است مقدار زیادی از پهنای باند شبکه را مصرف کند و انرژی گره متحرک به سرعت از بین رفته و در نهایت در خصوص گسترش و کارایی شبکه با مشکل روبه‌رو می‌شوند. الگوریتم‌های خوشه‌بندی LCC[3] [۱۱]، ۳hBAC[4] [۱۲]، Lin[5]

1. Connected Dominating Set
2. Weakly Connected Dominating Set
3. Least Cluster Change
4. Hop Between Adjacent Clusterhead
5. Lins Algorithm

Archive of SID

www.SID.ir

[۱۳] و PC [۱۴] از این روش خوشه‌بندی استفاده می‌کنند. در روش خوشه‌بندی PC، هر گره دارای یکی از چهار وضعیت اولیه، سرخوشه، پل ارتباطی و عادی می‌باشد. در ابتدا تمام گره‌های شبکه در وضعیت اولیه هستند و گره‌ها به همراه پیام‌هایی که می‌فرستند ادعای سرخوشه بودن هم می‌کنند. گره‌های همسایه این گره که پیام را دریافت می‌کنند اگر چنین پیامی را فقط از یک گره دریافت کرده باشند وضعیت خود را به عادی تغییر می‌دهند. اگر از چندین گره این پیام را دریافت کرده باشند وضعیت خود را به پل ارتباطی تغییر می‌دهند و عضو خوشه فرستنده پیام می‌شوند. اگر گره‌ای در طول زمان معینی که توسط زمان‌سنج تعیین می‌شود چنین پیامی را دریافت نکند، وضعیت خود را به حالت اولیه بر می‌گرداند. این روش برای شبکه‌هایی مفید است که نرخ حرکت و در نتیجه تغییرات توپولوژی در آنها زیاد است [۳].

خوشه‌بندی صرفه‌جو در انرژی: این الگوریتم‌ها با هدف متوازن‌کردن مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه ایجاد شدند که الگوریتم نزدیک‌ترین سرخوشه Ryu [۱۵] از این دسته الگوریتم‌ها می‌باشد. در این روش گره سرخوشه گره‌هایی را که حداکثر انرژی را دارند علامت‌گذاری می‌کند و برای هر گره یک یا چند سیگنال ارسال می‌شود و گره مذکور برای آن گره سرخوشه‌ای که سیگنال آن بیشترین توان را دارد و نزدیک‌تر است پاسخ می‌فرستد [۳].

خوشه‌بندی در توازن بار: این روش روی حداقل و حداکثر تعداد گره‌هایی که می‌توانند در یک خوشه قرار بگیرند، محدودیت می‌گذارد. یک تعداد بهینه‌ای گره وجود دارد که می‌تواند یک خوشه را پوشش دهد. هرگاه که اندازه خوشه از آستانه تعیین‌شده بیشتر شود تابع خوشه‌بندی مجدد فعال می‌شود تا گره‌های درون خوشه را تنظیم کند. از طرفی یک خوشه کوچک نیز باعث به وجود آمدن خوشه‌های بیشتر و افزایش طول مسیرهای سلسله‌مراتبی شده که باعث افزایش تأخیر انتها به انتها می‌گردد. در این روش دو نوع الگوریتم AMC[1] [۱۶] و IDLBC [۱۷] وجود دارد. هدف خوشه‌بندی درجه توازن بار IDLBC، ساختن خوشه‌هایی با تعداد گره بهینه است. این الگوریتم متناوباً تکرار می‌شود تا تعداد گره‌های اطراف هر سرخوشه را حول یک پارامتر که بیانگر تعداد بهینه گره‌های اطراف سرخوشه است نگه دارد [۳].

خوشه‌بندی آگاه از حرکت گره‌ها: خوشه‌بندی آگاه از حرکت با توجه به رفتار حرکتی گره‌های متحرک، شبکه را خوشه‌بندی می‌کند. ایده آن است که گره‌هایی که دارای سرعت شبیه به هم هستند در یک خوشه قرار گیرند. گره با کمترین تحرک نسبی Mobic [۱۸] جزء این دسته است. در این الگوریتم هر گره به صورت دوره‌ای یک پیام HELLO را برای اعلام حضور به همسایگان خود می‌فرستد. همه بسته‌های HELLO دارای یک سطح توان ارسالی هستند، گره‌ها فاصله تخمینی خود از دیگر گره‌ها را با توجه به شدت سیگنال دریافتی به دست می‌آورند و بعد از محاسبه فاصله تخمینی متوالی از یک گره می‌توان تحرک نسبی با آن گره را به دست آورد. هر گره، میانگین یا انحراف معیار استاندارد تحرک نسبی با گره‌های همسایه خود را که به آن شاخص تحرک گفته می‌شود محاسبه می‌کند. شاخص تحرک محاسبه‌شده برای کلیه همسایگان گره همه‌پخشی می‌شود و گره‌ای که کمترین مقدار شاخص تحرک را بین همسایگان خود داشته باشد به عنوان سرخوشه کاندید می‌شود [۳].

یکی از جدیدترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه حسگر بی‌سیم متحرک، الگوریتم ASH [۸] می‌باشد.

1. Adaptive Multihop Clustering

۲-۲ الگوریتم ASH

الگوریتم ASH [۸] بر پایه ارتباط بین گره‌ها برای ایجاد یک پوشش شبه‌استاتیک و افرازبندی مجازی شبکه، برای مدیریت شبکه‌های بزرگ با تحرک بالا به وجود آمده است. این الگوریتم در خصوص تعاملات محلی ساده بین گره‌ها و قابلیت خودسازماندهی آنها صحبت می‌کند و بدون نیاز به اطلاعاتی در خصوص موقعیت گره‌ها، جهت و سرعت حرکت گره‌ها و پیش‌بینی مسیر گره‌ها به خوشه‌بندی گره‌ها می‌پردازد. این الگوریتم از روش شایعه‌پراکنی[2] [۶] برای انتشار اطلاعات استفاده می‌کند. گره‌ها به صورت خصوصی آدرس‌دهی نمی‌شوند بلکه شبکه دارای یک سری خوشه (دامنه) متشکل از گره‌ها می‌باشد که عضویت گره‌ها داخل خوشه در حال تغییر است. خوشه‌ها در الگوریتم ASH، نیمه‌استاتیک است و سرعت آنها کمتر از متوسط سرعت گره‌ها می‌باشد. موقعیت خوشه‌ها ثابت است و فقط شکل خوشه ممکن است تغییر کند.

تعداد الگوریتم‌های خوشه‌بندی در شبکه‌های متحرک، بسیار کمتر از شبکه‌های ثابت است و حتی الگوریتم‌های موجود برای شبکه‌هایی با تعداد گره کم یا متوسط ارائه شده‌اند. الگوریتم ASH برای خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر بی‌سیم متحرک با تعداد گره زیاد (شبکه بزرگ) مطرح شده است. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله را با الگوریتم ASH مقایسه خواهیم کرد، به دلیل آن که هر دو الگوریتم برای خوشه‌بندی شبکه حسگر بی‌سیم متحرک با تعداد گره زیاد هستند و از روش شایعه‌پراکنی برای انتشار اطلاعات استفاده می‌کنند.

روش کار الگوریتم به این صورت است که در ابتدا به صورت کاملاً تصادفی به هر گره یک شناسه خوشه تخصیص می‌دهد. سپس برای هر خوشه یک نماینده و یک جرم ثابت (M) و وزن ثابت (W) در نظر گرفته که هر خوشه جرم و وزن مذکور را بین گره‌های داخل خوشه تقسیم می‌کند. بنابراین هر گره دارای یک جرم محلی m_i، یک وزن محلی w_i و یک فشار محلی m_i/w_i می‌باشد. هدف الگوریتم این است که در انتها جرم کلی همه خوشه‌ها ثابت و برابر با جرم اولیه باشد که این عمل را در سه بخش انجام می‌دهد. هر گره در الگوریتم ASH در هر دور، سه مرحله زیر را اجرا می‌کند.

مرحله اول- انتخاب شناسه دامنه[3]: در این فاز هر گره بر اساس دو پارامتر فشار و تعداد همسایه، خوشه خود را انتخاب می‌کند. یک گره زمانی می‌تواند دامنه را ترک و به دامنه دیگر بپیوندد که شرط زیر برقرار باشد [۸]

$$\left|\theta_{i,K.} - \theta_{i,\tilde{K}}\right| > \Delta \qquad (۱)$$

مقدار θ از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$\theta_{i,k} = (۱-\eta)\frac{\theta_{i,k}}{\sum_{t\in D_i} n_{i,t}} + \eta \frac{p_{i,k}}{\sum_{t\in D_i} p_{i,t}} \qquad (۲)$$

که $n_{i,k}$ تعداد همسایه‌های گره i در دامنه k، $n_{i,t}$ تعداد کل همسایه‌های گره i در دامنه‌های مجاور گره، $p_{i,k}$ مجموعه فشار همسایه‌های گره i در دامنه k، $p_{i,k}$ مجموعه فشارهای کل همسایه‌های گره i در دامنه‌های مجاور گره‌ها و η وزن رأی‌گیری اکثریت[4] را نشان می‌دهد.

2. Gossiping
3. Domain ID Selection
4. Majority Voting Weight

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ۱: مدل‌های حرکتی سنتزشده [۲۱].

مرحله دوم- برگشت جرم باقیمانده[1]: در این بخش، گره‌ای که دامنه را ترک می‌کند می‌بایست جرم خود را بین همسایه‌های قبلی توزیع کند.

مرحله سوم- انتشار جرم[2]: در این مرحله، گره‌ها تلاش می‌کنند جرم مساوی در خوشه توزیع کنند که این کار از طریق الگوریتم شایعه‌پراکنی [۶] و الگوریتم Push-Sum [۱۹] انجام می‌شود. قانون الگوریتم ASH این گونه است که جرم خوشه تا انتهای الگوریتم ثابت می‌ماند. برای ثابت‌ماندن جرم، این الگوریتم از الگوریتم Push-Sum استفاده می‌کند به این صورت که الگوریتم دارای تعدادی دوره شایعه‌پراکنی است که تعداد دورها وابسته به کاربرد است. در هر دور[3] وقتی گره iام تصمیم می‌گیرد تا اطلاعاتی را به گره‌های همسایه خود ارسال کند از روش شایعه‌پراکنی استفاده می‌کند. به صورت کاملاً تصادفی یکی از همسایه‌های خود را انتخاب کرده و بر اساس الگوریتم PushSum، نصف جرم و وزن خود را از دست داده و به گره گیرنده ارسال می‌کند و این فرایند تا انتهای دور ادامه پیدا می‌کند. در نهایت نیز هر گره با استفاده از دو پارامتر تعداد همسایه و فشار محلی، پیوستن و ترک خوشه را انجام می‌دهد. اگر خوشه‌ای تعداد گره بیشتری دارد یعنی فشار کمتری در خوشه است و باید خوشه را کوچک‌تر کند و اگر خوشه دارای تعداد گره کمتری است یعنی فشار بیشتری را متحمل می‌شود و می‌بایست خوشه بزرگ‌تری با پیوستن خوشه‌های کوچکتر تشکیل دهد. جهت انتخاب سرخوشه[4] در این الگوریتم گره‌ای که بیشترین همسایه را داشته باشد به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. الگوریتم ASH در خصوص تعداد خوشه بهینه صحبتی نکرده است و خوشه‌بندی اولیه الگوریتم کاملاً تصادفی بوده و از طرفی برای انتخاب سرخوشه به معیار انرژی آن توجهی نداشته و همین امر باعث شده است الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با لحاظنمودن موارد مطرح‌شده در کاهش مصرف انرژی از الگوریتم ASH بهتر عمل کند [۸].

۳- مدل حرکتی در شبکه حسگر بی‌سیم متحرک

مدل‌های حرکتی که در شبیه‌سازی شبکه حسگر بی‌سیم متحرک مورد استفاده قرار می‌گیرند، مدل‌های حرکتی سنتزشده هستند. این مدل‌ها تلاش می‌کند رفتار گره‌های متحرک را بدون استفاده از ردیابی و به طور واقع‌گرایانه نمایش دهند.

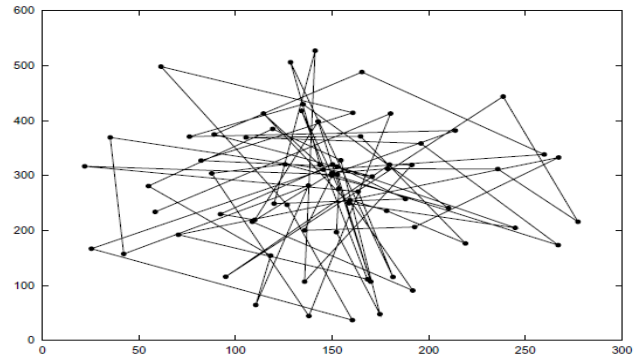
در شکل ۱ دسته‌بندی مدل‌های حرکتی سنتزشده در شبکه حسگر بی‌سیم متحرک نشان داده شده است [۲۰].

- مدل‌های تصادفی[5]: در این مدل، مقصد، سرعت و جهت حرکت هر گره متحرک به طور تصادفی و مستقل از سایر گره‌ها انتخاب می‌شود. از جمله مشکلات مدل‌های تصادفی، تغییرات ناگهانی حرکتی مثل توقف ناگهانی است.
- مدل‌های پیشینه‌نگر[6]: در این گروه از مدل‌های حرکتی، هر گره متحرک، پارامترهای حرکتی مانند سرعت و جهت حرکت را با توجه به حرکت قبلی‌اش انتخاب می‌کند.
- مدل‌های حرکتی گروهی[7]: موقعیت‌های زیادی در شبکه حسگر بی‌سیم متحرک وجود دارد که گره‌های متحرک با یکدیگر حرکت می‌کنند، این مدل در سناریوهای نظامی زیاد استفاده می‌شود.
- مدل حرکتی با موقعیت جغرافیایی[8]: در این گروه وابستگی مکانی وجود دارد، بدین معنی که الگوی حرکتی هر گره متحرک متأثر و مرتبط با الگوی حرکتی گره‌هایی است که در همسایگی آن گره وجود دارد.
- مدل حرکتی اجتماعی[9]: این دسته از مدل‌ها دربردارنده مکان‌هایی با زمینه اجتماعی هستند. منظور از مکان‌هایی با مفهوم اجتماعی،

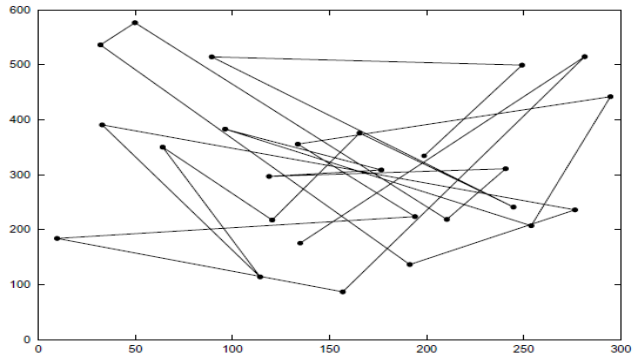
1. Residual Mass Return
2. Diffusion of Mass
3. Round
4. ClusterHead Election
5. Random Models
6. History Based Models
7. Group Models
8. Models with Geographic Restriction
9. Social Models

Archive of SID

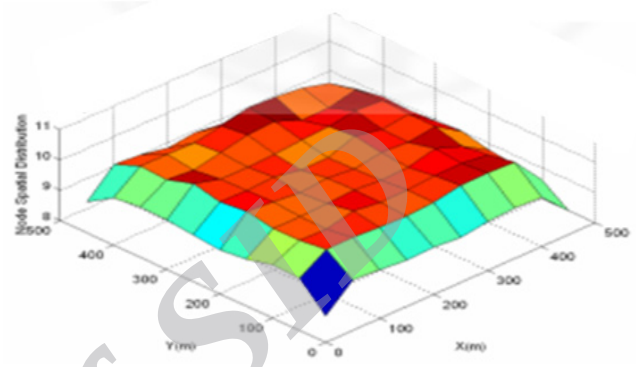
www.SID.ir



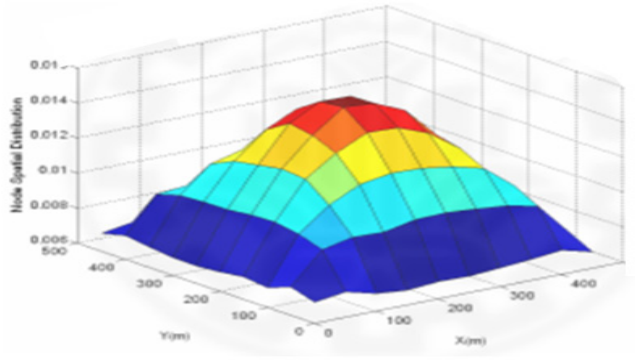
شکل ۲: شمایی از نحوه حرکت گره‌ها در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی [۲۲].



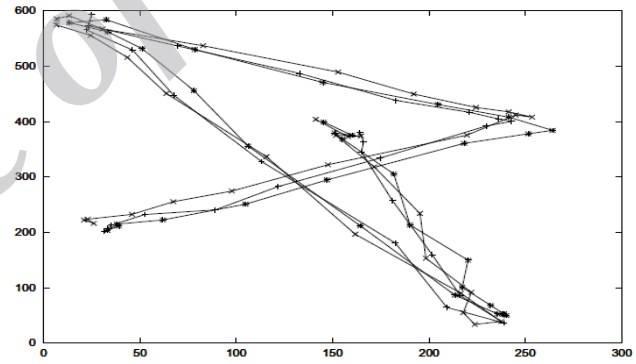
شکل ۴: شمایی از نحوه حرکت گره‌ها در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی [۲۲].



شکل ۳: توزیع مکانی گره‌ها در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی [۲۲].



شکل ۵: توزیع مکانی گره‌ها در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی [۲۲].



شکل ۶: شمایی از نحوه حرکت گره‌ها در مدل نقطه مرجع [۲۲].

مکان‌هایی هستند که اغلب انسان‌ها زمان قابل توجهی را در آن مکان‌ها می‌گذرانند [۲۰].

در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی[1] [۲۲]، ابتدا گره متحرک جهت حرکت و سرعت را از بازه‌های $[0,2\pi]$ و $[0,v_{\max}]$ به طور تصادفی انتخاب می‌کند و به مدت ثابت T شروع به حرکت می‌کند. پس از گذشت یک بازه زمانی ثابت، سرعت و جهت جدید را به طور تصادفی از بازه‌های تعیین‌شده انتخاب می‌کند و این فرایند تکرار می‌شود. این مدل یک الگوی حرکتی بدون حافظه است که اولین بار توسط انیشتین به زبان ریاضی مطرح شد و شبیه حرکت بروانی ذرات در فیزیک است. در شکل ۲ شمایی از نحوه حرکت گره‌ها در این مدل حرکتی آمده و در شکل ۳ نیز توزیع مکانی گره‌ها در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی نشان داده شده است. همان طور که مشخص است گره‌ها در این مدل به صورت یکنواخت در کل محیط شبیه‌سازی توزیع شده‌اند [۲۲].

در مدل نشانه حرکت تصادفی[2]، گره‌های متحرک ابتدا مقصد و سرعتی سرعتی را به طور تصادفی انتخاب می‌کنند. مقصد انتخاب‌شده مکانی در فضای شبیه‌سازی و سرعت انتخاب‌شده در بازه $[v_{\min}, v_{\max}]$ است. بعد از رسیدن به مقصد برای مدت زمانی مشخص متوقف می‌شوند و بعد از این مدت با انتخاب مقصد و سرعت جدیدی به حرکت خود ادامه می‌دهد. این فرایند تا پایان شبیه‌سازی ادامه پیدا می‌کند. یکی از مشکلات این مدل آن است که با گذشت زمان، گره‌ها در حوالی ناحیه خاصی از محیط جمع می‌شوند. این ناحیه بیشتر در مناطق مرکزی محیط واقع است. این پدیده مشکل توزیع غیر یکنواخت مکانی را به وجود می‌آورد. مشکل دیگر این مدل حرکتی پدیده‌ای به نام چگالی نوسانی است، بدین معنی که در این مدل متوسط تعداد همسایه‌ها برای هر گره مشخص، مرتباً در طول زمان نوسان می‌کند. در شکل ۴ شمایی از نحوه حرکت گره‌ها و در شکل ۵ نیز توزیع مکانی گره‌ها در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی نشان داده شده است [۲۲].

در مدل گروهی نقطه مرجع (RPGM)[3] [۲۳] گره‌ها به صورت گروهی گروهی حرکت می‌کنند و الگوی حرکتی در یک گروه تا حدود زیادی به هم شبیه هستند. در هر گروه یک گره به عنوان گره رهبر در نظر گرفته می‌شود و گره‌های گروه با انحراف کمی، حرکت آن را تقلید می‌کنند و در واقع رفتار گره رهبر رفتار کل گروه را تعیین می‌کند [۲۴].

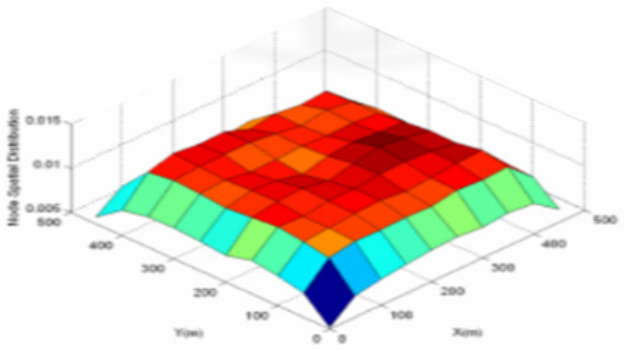
بر اساس رابطه زیر، گره‌های گروه، سرعت و جهت حرکت خود را با توجه به گره رهبر تعیین می‌کنند

$$|V_{member}(t)| = |V_{leader}(t)| + \text{random}() \times SDR \times \max_speed \quad (۳)$$

1. Random Walk
2. Random Way Point
3. Reference Point Group Mobility Model

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷: توزیع مکانی گره‌ها در مدل نقطه مرجع [۲۲].

$$\left|\theta_{member}(t)\right| = \left|\theta_{leader}(t)\right| + \text{random}() \times ADR \times \max_angle \quad (۴)$$

که V_{member} و θ_{member} به ترتیب سرعت و زاویه حرکت هر عضو از گروه، V_{leader} و θ_{leader} به ترتیب سرعت و زاویه حرکت گره رهبر، $\max_speed$ حداکثر سرعت گره رهبر در هر گروه، $\max_angle$ زاویه حرکت در بازه $[0,2\pi]$، ADR[1] انحراف زاویه هر گره گروه نسبت به گره مرجع، SDR[2] انحراف سرعت هر گره گروه نسبت به گره مرجع و Random() نشان‌دهنده تابعی با توزیع احتمال یکنواخت است. در شکل ۶ شمایی از نحوه حرکت گره‌ها و در شکل ۷ نیز توزیع مکانی گره‌ها در این مدل حرکتی نشان داده شده است [۲۵].

٤- تعریف مسئله

شبکه در نظر گرفته شده، یک شبکه حسگر بی‌سیم است که گره‌های آن به صورت متحرک در شبکه قرار گرفته‌اند ولی مکان قرارگرفتن ایستگاه مبنا ثابت و سرعت تحرک گره‌ها به میزان تحرک انسان می‌باشد. گره‌های به کار گرفته شده در محیط عملیاتی در ابتدا دارای ساختار و مشخصات یکسانی هستند، لذا شبکه همگن است و نهایتاً در طول الگوریتم مشخصات آنها نظیر انرژی و تعداد همسایه تغییر می‌کند. بسته به فاصله گره‌ها تا گره سرخوشه، شبکه می‌تواند چندگام باشد. گره سرخوشه ویژگی متفاوت از سایر گره‌ها ندارد بلکه گره‌ای است که در هر دوره زمانی از همان گره‌های معمولی انتخاب می‌شود. کلیه گره‌ها از موقعیت مکانی خود مطلع می‌باشند.

شبکه حسگر بی‌سیم متحرک، متشکل از تعدادی گره حسگر بی‌سیم متحرک و ارتباطات بین آنهاست. این شبکه را با G، مجموعه گره‌ها را با S و مجموعه ارتباطات بین گره‌ها را با E نمایش می‌دهیم (تعداد گره‌های حسگر را با n و تعداد ارتباطات بین گره‌های حسگر را با m نمایش می‌دهیم)

$$G = (S, E) \quad (۵)$$

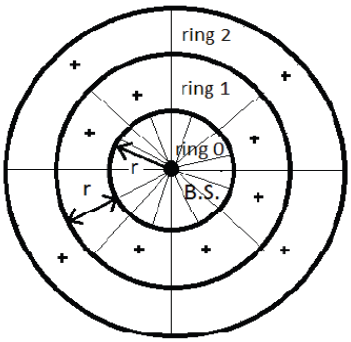
$$S = \{s_1, s_2, \ldots, s_n\} \quad (۶)$$

$$E = \{e_1, e_2, \ldots, e_m\} \quad (۷)$$

هر گره حسگر در این شبکه دارای متغیرهای ذیل می‌باشد

$$s_i = \left\{ \begin{matrix} ID_i, MACAdd_i, x_i, y_i, p_i, T_i, V_i, \theta_i, \\ ISCH_i, ClusterID_i, \{NeighborInfo\}_i \end{matrix} \right\} \quad (۸)$$

1. Angle Deviation Ratio
2. Speed Deviation Ratio



شکل ۸: تقسیم‌بندی شبکه به دورهای متحدالمرکز.

که ID_i شناسه گره iام، $MACAdd_i$ آدرس لایه MAC گره iام، x_i, y_i مختصات گره iام و p_i انرژی گره iام است. (هر گره که می‌خواهد سرخوشه شود باید توان آستانه را داشته باشد. یک سرخوشه بیشتر از یک گره عادی در خوشه انرژی مصرف می‌کند و به علاوه گره پرتوان‌تر برای ایفای نقش سرخوشه‌بودن ارجح است زیرا چنین گره‌ای احتمالاً دیرتر انرژی خود را از دست می‌دهد و در نتیجه دیرتر باعث راه‌اندازی پروسه انتخاب سرخوشه جدید می‌شود و بنابراین پایایی خوشه افزایش می‌یابد. T_i محدوده انتقال[3] گره iام، V_i سرعت گره iام (در این الگوریتم سرعت گره‌ها حداکثر برابر با ۱ m/s می‌باشد) و θ_i جهت حرکت گره iام که جهت حرکت گره‌ها در بازه $[0,2\pi]$ می‌باشد، هستند. $ISCH_i$ در صورتی که مقدارش true باشد یعنی گره iام سرخوشه است، $ClusterID_i$ شناسه خوشه گره iام را نمایش می‌دهد و $\{NeighborInfo\}_i$ مجموعه‌ای است که همسایه‌های گره iام را نشان می‌دهد (گرهی که در محدوده ارسال و دریافت یک گره قرار دارد، همسایه آن گره نامیده می‌شود).

شبکه به مجموعه‌هایی (خوشه‌هایی) افراز می‌شود به نحوی که مجموعه (خوشه) تهی نباشد و حتماً دارای عضوی در خوشه باشد، خوشه‌ها عضو مشترکی نداشته باشند و اجتماع خوشه‌ها، مجموعه شبکه اولیه را حاصل نماید (k تعداد مجموعه‌ها (خوشه‌ها) را نشان می‌دهد)

$$G = \{G_1, G_2, \ldots, G_k\} \quad (۹)$$

$$C_i \neq \varnothing \quad (۱۰)$$

$$\prod_{i=1}^{k} C_i = \varnothing \quad (۱۱)$$

$$\coprod_{i=1}^{k} C_i = G \quad (۱۲)$$

و از طرفی اهداف مسئله که توزیع یکنواخت انرژی در شبکه می‌باشد حفظ شود، مصرف انرژی در شبکه بهینه گردد و کلیه مجموعه (خوشه) بتوانند مصرف انرژی یکنواختی داشته باشند

$$E_{c_1} \cong E_{c_2} \cong E_{c_3} \cong \ldots \cong E_{c_k} \quad (۱۳)$$

٥- شرح الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر انرژی EBONC[4] با هدف خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه بر اساس سطح انرژی گره‌ها به منظور کاهش مصرف انرژی ارائه شده است. این الگوریتم محیط شبکه را به دوایر متحدالمرکزی

3. Transmission Range
4. Energy Base Clustering with Optimal Number Cluster

Archive of SID

www.SID.ir

تقسیم کرده و تعداد خوشه بهینه هر دور را از لحاظ مصرف بهینه انرژی محاسبه می‌نماید. در همین راستا از الگوریتم شایعه‌پراکنی به منظور تبادل انرژی بین گره‌ها استفاده می‌کند. این الگوریتم از پنج مرحله تشکیل شده است. مدل مصرف انرژی در شبکه به این صورت است که انرژی گره‌های عادی تنها صرف ارسال داده می‌شود و این در حالی است که انرژی گره سرخوشه برابر است با مجموع انرژی که صرف دریافت داده از گره‌های داخل خوشه و انرژی که صرف جمع‌آوری داده‌ها و ارسال داده به ایستگاه مبنا می‌شود.

سرخوشه‌هایی که نزدیک ایستگاه مبنا هستند می‌بایست داده‌های ارسالی از سرخوشه‌های دورتر از ایستگاه مبنا را هم که برای آنها ارسال می‌شود جمع‌آوری کرده و به ایستگاه مبنا ارسال نمایند. برای کاهش مصرف انرژی سرخوشه‌های نزدیک ایستگاه مبنا، تعداد بیشتری خوشه با اندازه کوچک‌تر در نزدیکی ایستگاه مبنا تشکیل می‌شود. لذا این خوشه‌ها برای جمع‌آوری و ارسال داده‌های خوشه خود انرژی کمتری مصرف کنند و مابقی انرژی خود را صرف ارسال داده‌های رسیده از خوشه‌های دیگر نمایند. به همین منظور همانند شکل ۸، فضای شبکه به دورهایی که هر دور مضرب متناظری از شعاع r است تقسیم‌بندی می‌گردد.

۵-۱ مرحله اول: تشکیل خوشه[1]

الگوریتم EBONC برای خوشه‌بندی در ابتدا مشخص می‌کند در هر دور چه تعداد خوشه باید تشکیل شود و سپس بر اساس رابطه زیر تعداد خوشه بهینه در هر دور را تشکیل می‌دهد. این رابطه از [۲۶] اقتباس شده است. در آن مقاله نشان داده شده که تعداد خوشه‌های بهینه از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد

$$(K_{opt})_i = \sqrt{\frac{۳\varepsilon_{fs} N(۲i+۱)^۲}{۲\varepsilon_{mp} R_{net}^۲((i+۱)^۶ - i^۶)}} \qquad (۱۴)$$

که $(K_{opt})_i$ تعداد بهینه خوشه در دور iام، ε_{fs} تقویت انرژی مدل فضای آزاد[2]، ε_{mp} انرژی تقویت برای مدل محوشدگی چندمسیره[3]، i شناسه دور، N تعداد گره‌های شبکه و R_{net} شعاع شبکه حسگر است.

با توجه به فرمول زیر، انرژی گره سرخوشه برابر است با مجموع انرژی که صرف دریافت داده از گره‌های داخل خوشه و انرژی که صرف جمع‌آوری داده‌ها و ارسال داده به ایستگاه مبنا می‌شود. در فرمول زیر N_i/K_i تعداد گره‌های موجود در هر خوشه را نشان می‌دهد

$$(E_{ch})_i = l(E_{elect} + E_{DA})(\frac{N_i}{K_i} - ۱) + E_{elect} + E_{DA}\varepsilon_{mp}(d_{toBS})_i^۴ \qquad (۱۵)$$

$$E[(E_{ch})_i] = l(E_{elect} + E_{DA})\frac{N_i}{K_i} + \varepsilon_{mp}\frac{r^۴((i+۱)^۶ - i^۶)}{۳(۲i+۱)} \qquad (۱۶)$$

انرژی گره‌های داخل خوشه نیز برابر است با مجموع انرژی که صرف دریافت داده از محیط و ارسال آن به گره سرخوشه می‌شود

$$E(SN)_i = L(E_{elec} + \varepsilon_{fs}(d_{toCH})_i^۲) \qquad (۱۷)$$

$$E[(E_{SN})_i] = L(E_{elec} + \varepsilon_{fs}\frac{r^۲(۲i+۱)}{۲K_i}) \qquad (۱۸)$$

انرژی هر خوشه نیز برابر است با انرژی سرخوشه و مجموع انرژی تک‌تک گره‌ها

$$E[(E_{Cluster})_i] = E[(E_{ch})_i] + (\frac{N_i}{K_i} - ۱)E[(E_{SN})_i] = E[(E_{ch})_i] + \frac{N_i}{K_i}E[(E_{SN})_i] = L(۲(E_{elect} + E_{DA})\frac{N_i}{K_i} + \varepsilon_{mp}\frac{r^۴((i+۱)^۶ - i^۶)}{۳(۲i+۱)} + \frac{\varepsilon_{fs}}{۲k_i}\frac{r^{۲(۲i+i)}}{k_i}N_i) \qquad (۱۹)$$

انرژی کل هر دور نیز برابر است با مجموع انرژی خوشه‌های داخل دور

$$E[(E_{Total})_i] = K_i E[(E_{Cluster})_i] = L((۲E_{elect} + E_{DA})N_i + K_i\varepsilon_{mp}(\frac{r^۴((i+۱)^۶ - i^۶)}{۳(۲i+۱)} + \frac{\varepsilon_{fs}}{۲k_i}r^{۲(۲i+i)}N_i)) \qquad (۲۰)$$

$$(K_{opt})_i = \sqrt{\frac{۳\varepsilon_{fs} N(۲i+۱)^۲}{۲\varepsilon_{mp} R_{net}^۲((i+۱)^۶ - i^۶)}} \qquad (۲۱)$$

در ابتدای الگوریتم، ایستگاه مبنا بر اساس رابطه بالا تعداد خوشه بهینه هر دور را محاسبه می‌کند و خوشه‌های مذکور را تشکیل داده و مختصات هر خوشه را نیز محاسبه کرده و نگهداری می‌کند.

۵-۲ مرحله دوم: انتساب نقش‌ها[4] به گره‌ها

بعد از این که ایستگاه مبنا دورها و تعداد خوشه‌های هر دور را محاسبه کرد، مشخصات خوشه‌های شبکه را به کلیه گره‌ها ارسال می‌کند. با توجه به این که گره‌های شبکه از موقعیت مکانی خود مطلع هستند با در نظر گرفتن مختصات خود و مختصات خوشه‌ها تشخیص می‌دهند که در چه خوشه‌ای قرار گیرند و شناسه خوشه خود را به روز می‌کنند. اولین سرخوشه هر خوشه را ایستگاه مبنا تعیین می‌کند ولی در دورهای بعد خود گره‌های خوشه، سرخوشه را مشخص می‌کنند. بنابراین ایستگاه مبنا بر اساس مختصات خوشه‌هایی که تشکیل داده است و موقعیت گره‌ها، گره‌ای که در مرکز ثقل خوشه است را تعیین و به عنوان سرخوشه معرفی می‌کند. در این مرحله خوشه‌های شبکه تعیین شده و سرخوشه هر خوشه نیز توسط ایستگاه مبنا مشخص شده است و حال نوبت به روز رسانی اطلاعات همسایه‌ها[5] می‌باشد.

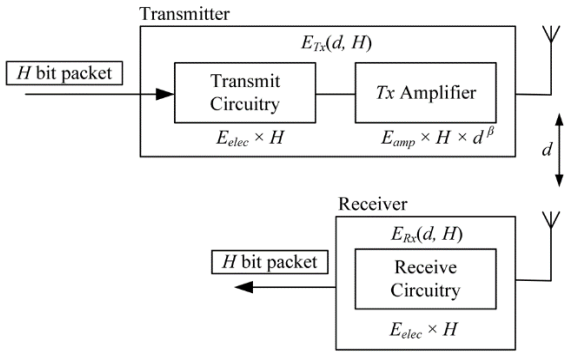
۵-۳ مرحله سوم: به روز رسانی اطلاعات همسایه

در الگوریتم EBONC، هر گره، اطلاعات گره همسایه خود را که شامل شناسه گره، آدرس MAC، انرژی و زمان به روز رسانی است دارا می‌باشد. به همین منظور، کلیه گره‌های شبکه، بسته‌ای تحت عنوان Hello به صورت شایعه‌پراکنی [۶] ارسال می‌کند. گره‌ای که بسته Hello را از همسایه خود دریافت می‌کند، شناسه گره مربوطه را در لیست همسایگان خود بررسی می‌کند و در صورتی که در لیست مذکور موجود باشد، می‌بایست updateTime گره مذکور را به روز کند و در صورتی که

1. Cluster Formation
2. Amplification Energy for Free Space Model
3. Amplification Energy for Multi Path Fading Model
4. Role Assignment
5. Update Neighbors

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۹: مدل مصرف انرژی [۲۷].

گره مذکور جزء همسایگان گره جاری نباشد باید اطلاعات گره را به عنوان همسایه جدید ذخیره نماید. از طرفی گره گیرنده انرژی خود را با انرژی گره‌ای که بسته را ارسال کرده است مقایسه می‌کند و آدرس گره‌ای که انرژی بیشتری داشته باشند را به عنوان آدرس گره کاندید برای سرخوشه‌بودن انتخاب کرده و بسته مربوطه را به همسایه دیگر ارسال می‌کند و آن همسایه نیز انرژی خود را با انرژی گره‌ای که کاندید سرخوشه‌بودن است مقایسه کرده و اگر انرژی خود بیشتر بود، خود را به عنوان کاندید معرفی می‌کند و این کار در طول خوشه ادامه پیدا می‌کند تا این که گره سرخوشه نیز از کاندید سرخوشه بودن مطلع گردد.

۴-۵ مرحله چهارم: انتخاب سرخوشه

انتخاب سرخوشه به صورت دوره‌ای اتفاق می‌افتد. بنابراین در این تحقیق، امکان چرخش نوبتی نقش سرخوشه، ایجاد شده تا بدین وسیله هزینه انرژی سرخوشه، بین همه اعضای خوشه به طور برابر توزیع شده و از مرگ زودرس گره‌های سرخوشه جلوگیری شود. در الگوریتم EBONC برای انتخاب سرخوشه این گونه عمل می‌شود که گره سرخوشه به محض ترک خوشه و یا در زمان مقرر برای انتخاب سرخوشه جدید، کاندید خود را به عنوان سرخوشه معرفی می‌کند ولی در صورتی که گره کاندید به هر دلیلی دیگر در خوشه نباشد از بین گره‌های همسایه خود گره‌ای که بیشترین انرژی را دارد به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کند. یک پیغام صادر می‌شود تحت عنوان SendClusterHeadSelection که شناسه گره سرخوشه در آن وجود دارد. گره‌ای که شناسه آن با شناسه موجود در این بسته برابر بود خودش را سرخوشه کرده و به سایر گره‌های شبکه اعلام می‌کند. در الگوریتم EBONC هدف این است که یک سرخوشه تا انتها سرخوشه نباشد بلکه نقش خود را به گره دیگری محول کند. ممکن است گره سرخوشه، مدت زمان زیادی سرخوشه بماند و به علت تحرک کم، دیرتر خوشه را ترک کند. بنابراین برای جلوگیری از مصرف بالای انرژی توسط سرخوشه، باید نقش سرخوشگی از آن گره گرفته و به گره دیگری محول شود. در الگوریتم EBONC گره سرخوشه به محض رسیدن زمان مقرر، نقش سرخوشگی خود را رها کرده و گره کاندید را به عنوان سرخوشه معرفی می‌کند. از طرفی ممکن است گره سرخوشه، خوشه جاری را ترک و یا به هر دلیلی بمیرد و در این صورت نیز تابع انتخاب سرخوشه فعال می‌شود تا گره دیگری به عنوان سرخوشه انتخاب شود.

۵-۵ مرحله پنجم: مرحله انتقال اطلاعات

بعد از تشکیل خوشه‌ها و انتخاب سرخوشه‌های هر خوشه، اکنون نوبت ارسال داده‌های دریافت‌شده توسط گره‌های عادی به سرخوشه‌های مربوط است. سرخوشه‌ها بعد از اعمال توابع اجتماع یا ترکیب داده، بسته داده را به سمت ایستگاه مبنا ارسال می‌کنند.

شکل ۹ مدل مصرف انرژی در یک گره را نمایش می دهد. انرژی مصرف‌شده به ازای انتقال k بیت داده به فاصله d به صورت رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$E_{Tx}(k,d) = E_{Tx}(k) + E_{Tx_amp}(k,d) \quad (۲۲)$$

$$E_{Tx}(k,d) = \begin{cases} k.E_{elec}(k,d) + k.\varepsilon_{friss} d^{۲} & \text{if } d < d_{crossover} \\ k.E_{elec}(k,d) + k.\varepsilon_{two-ray-amp} .d^{۴} & \text{else} \end{cases} \quad (۲۳)$$

مصرف انرژی به ازای دریافت k بیت داده به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$E_{Rx}(k,d) = E_{Rx-ele}(k) = k.E_{elec} \quad (۲۴)$$

در روابط بالا E_{elec} انرژی ارسال/ دریافت الکترونیکی k بیت (اندازه پیغام بر حسب تعداد بیت)، d فاصله بین گیرنده و فرستنده، E_{Tx_amp} انرژی تقویت (فزون‌سازی)، ε_{friss} عامل تقویت و $d_{crossover}$ فاصله آستانه‌ای است که عامل انتقال در آن تغییر می‌کند. شکل ۱۰ شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی را که شامل تمامی مراحل بیان‌شده در بالاست نشان می‌دهد.

۶- تحلیل کارایی و ارزیابی

شبیه‌سازی روش پیشنهادی توسط نرم‌افزار شبیه‌سازی NS۲[۱] [۲۸] انجام شده است. مدل‌های حرکتی نیز از طریق نرم‌افزار مبتنی بر جاوا BonnMotion [۲۹] پیاده‌سازی شده است. به منظور تحلیل کارایی، روش ASH با روش EBONC در سه مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی (RW)[۲]، نشانه حرکت تصادفی (RWP)[۳] و نقطه مرجع گروهی (Group)[۴] و با دو سناریو مقایسه شده است. در سناریوی اول، ایستگاه مبنا در مرکز محیط شبیه‌سازی و در سناریوی دوم در گوشه محیط شبیه‌سازی قرار گرفته است. ویژگی محیط شبیه‌سازی، ایستگاه مبنا و گره‌های شبکه در جدول ۱ شبکه نشان شده است.

۱-۶ ارزیابی طول عمر شبکه در پروتکل پیشنهادی

یکی از مهم‌ترین پارامترها برای مقایسه مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محاسبه پارامتر میانگین زمان زنده‌بودن گره‌ها است. مرگ گره‌های شبکه زمانی اتفاق می‌افتد که انرژی گره‌ها به اتمام رسیده باشد. پس اگر میانگین زمان زنده‌بودن گره‌ها بالا باشد نشانه این است که در آن شبکه انرژی به صورت بهینه مصرف شده است. شکل ۱۱ زمانی که ایستگاه مبنا در مرکز محیط شبیه‌سازی قرار دارد را نشان می‌دهد. در مدل حرکت گروهی، روش پیشنهادی EBONC نسبت به روش ASH، ۳۴٪ و در مدل حرکت راه‌رفتن تصادفی EBONC نسبت به روش ASH، ۲۷٪ درصد بهبود دیده می‌شود. همچنین در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی، روش پیشنهادی EBONC نسبت به روش ASH، ۱۸٪ زمان زنده‌بودن گره‌های شبکه را بهبود بخشیده است و زمانی که ایستگاه مبنا در گوشه محیط شبیه‌سازی قرار دارد (شکل ۱۲)، هر چهار مدل حرکتی روش پیشنهادی عملکرد بهتری داشتند. هنگام قرارگرفتن گره مبنا در گوشه شبکه نیز نتایج مشابهی به دست آمده است. در مدل حرکتی گروهی، روش EBONC نسبت به روش ASH، ۱۸٪ و در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی EBONC نسبت به روش ASH ۱۱٪ زمان زنده‌بودن گره‌های شبکه را بهبود بخشیده است.

1. Network Simulator
2. EBONC-RW
3. EBONC-RWP
4. EBONC-Group

Archive of SID

www.SID.ir

Algortithm EBONC
Start of Time Simulation

A. *Initialization EBONC* (N_n, N_r)

1. N_n : *number of Node*
2. N_r : *number of Ring*
3. r_i : *Radius of Ring i*
4. *Compute Radius of each Rings In Network* $(N_r, xPos_{bs})$
5. $$r_i = \frac{xPos_{bs}}{N_r} + r_{i-1}$$

B. *Cluster Formation* $(N_r, R_{net}, \varepsilon_{mp}, \varepsilon_{fs})$

1. Copmute optimal number of cluster in each ring
2. $$(K_{opt})_i = \sqrt{\frac{3\varepsilon_{fs} N (2i+1)^2}{2\varepsilon_{mp} R_{net}^2 ((i+1)^2 - i^2)}}$$
3. create cluster in Each Ring $((K_{opt})_i)$

C. *Role Assignment*

1. Send HelloPacket (id, macAddr, ClusterId, ClusterHeadId) for BS
2. BS SendClusterInfo for Every Node
3. CheckPosition() for each node
4. If $(x_i, y_i$ node i in Coordinate cluster $j)$
5. $updateClusterId_{node\ i} = ClusterId_{cluster\ j}$
6. *Update ClusterHead*
7. *End if*

D. *Update Neighbors*

1. All of Node Update UpdateTime each Neighbors
2. Update NeighborsInfo
3. SendHelloGossip $(Id_{nodei}, \ldots, UpdateTime_{nodei}, Energy_{nodei}, Id_{Candidatech}, mac_{Candidatech}, Energy_{Candidatech})$
4. $UpdateTimeNeighbors_{node\ j} = currentTime$
5. Select CandidateClusterHead with Maxenergy

E. *ClusterHead Election*

1. SelectNextClusterHead (finish time of clusterhead / if each not found ClusterHead)
2. Select CandidateClusterHead or find neighbors with max energy

F. *Data Transmission*

1. recvData()
2. MergeSenseData()
3. sendData()

Until Simulation Time is Finish

شکل ۱۰: شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی.

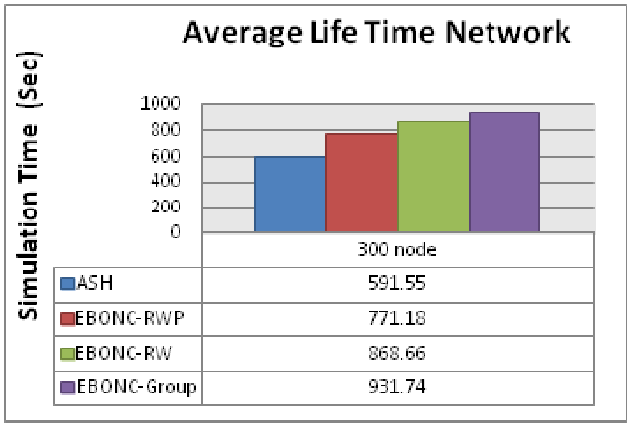
جدول ۱: مشخصات اصلی پیکربندی شبکه در نظر گرفته شده.

پیکربندی اصلی محیط شبکه		ویژگی ایستگاه مبنا	
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
پروتکل لایه انتقال	UDP	تعداد ایستگاه مبنا	۱ عدد
پروتکل مسیریابی	Leach	مکان قرارگرفتن ایستگاه مبنا	وسط صفحه / گوشه صفحه
لایه MAC	MAC/۸۰۲.۱۱	انرژی اولیه	۱۰۰ J
آنتن	Omni Antenna	محدوده انتقال	۱۰۰ متر
طول صف واسط	۲۰ بسته	مشخصات گره‌ها	
سایز محیط شبکه	۵۰۰ × ۵۰۰ متر	تعداد گره‌ها	۳۰۰
مدت زمان شبیه‌سازی	۱۰۰۰ ثانیه	انرژی اولیه	۲ ژول
		نوع پردازش	جمع‌آوری داده

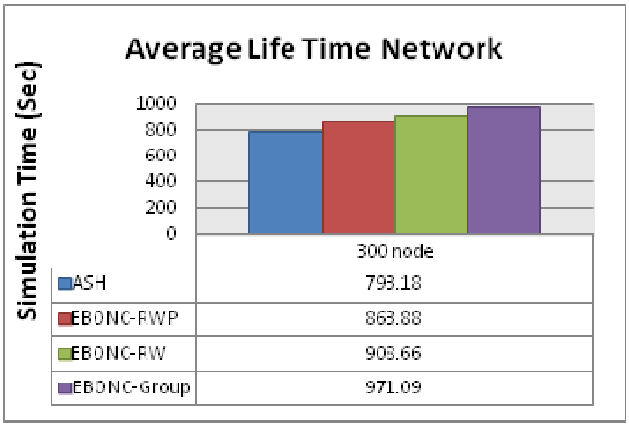
مرگ اولین و آخرین گره یکی از مهم‌ترین پارامترها جهت بررسی طول عمر شبکه است که روش پیشنهادی نتایج بسیار موفقی داشته و برتری خود را نشان می‌دهد. برای به چالش کشیدن دو روش، مقدار انرژی گره‌ها، خیلی کم و زمان شبیه‌سازی، زیاد در حد ۱۰۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده و اگر در نمودارها مرگ اولین گره اوایل زمان شبیه‌سازی اتفاق می‌افتد دلیل بر ضعف روش نیست، زیرا اگر مقدار انرژی گره‌ها افزایش یابد مطمئناً زمان بیشتری طول می‌کشد تا مرگ اولین گره اتفاق بیفتد. ولی از آنجا که برتری روش پیشنهادی و روش ASH در تعداد زیاد گره می‌باشد و برای مشاهده مرگ آخرین گره، انرژی گره‌ها، مقدار کمی لحاظ شده و با کم‌بودن انرژی اولیه گره‌ها ثابت شده که گره‌های شبکه

Archive of SID

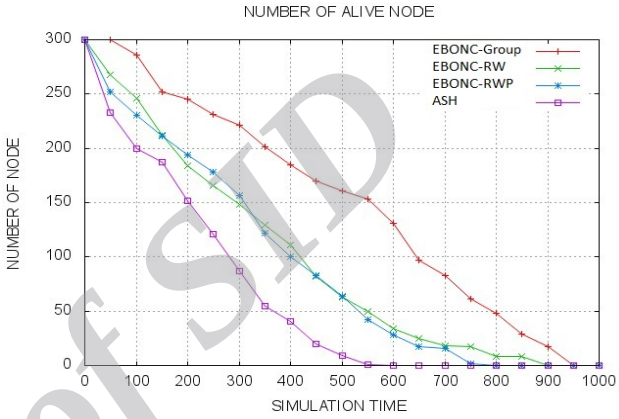
www.SID.ir



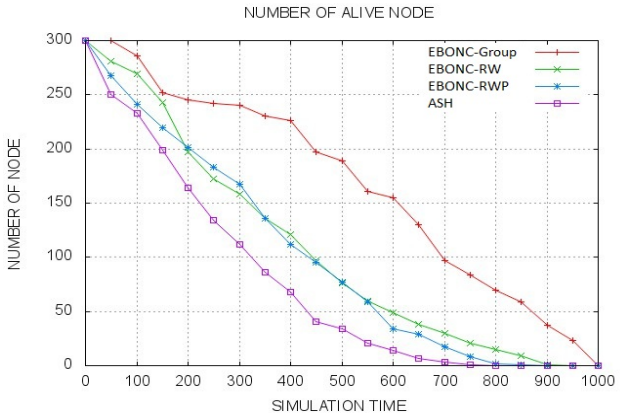
شکل ۱۱: مقایسه میانگین زمان زنده‌بودن شبکه (ایستگاه مبنا در مرکز).



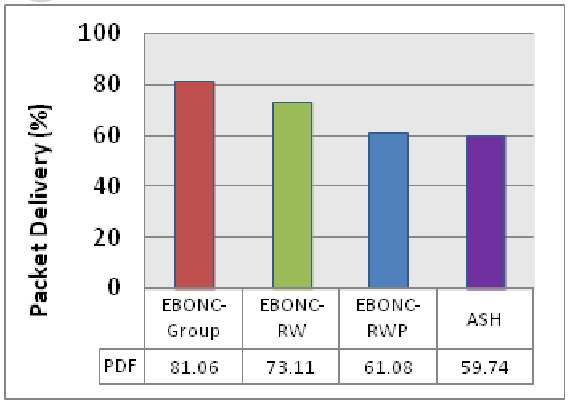
شکل ۱۲: مقایسه میانگین زمان زنده‌بودن شبکه (ایستگاه مبنا در گوشه).



شکل ۱۳: مقایسه تعداد گره زنده (ایستگاه مبنا در مرکز).



شکل ۱۴: مقایسه تعداد گره زنده (ایستگاه مبنا در گوشه).



شکل ۱۵: مقایسه کارایی دریافت بسته (ایستگاه مبنا در مرکز).

در روش پیشنهادی تا ثانیه آخر شبیه‌سازی هنوز زنده هستند (زمان مرگ اولین گره، زمانی است که در آن اولین گره شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد. زمان مرگ نیمی از گره‌ها، زمانی است که در آن نیمی از گره‌های شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار افتاده باشند. زمان مرگ آخرین گره، زمانی است که در آن آخرین گره شبکه به دلیل اتمام انرژی از کار می‌افتد) [۳۰].

شکل ۱۳ زمانی را که ایستگاه مبنا در مرکز محیط شبیه‌سازی قرار دارد نشان می‌دهد. در مدل حرکتی گروهی، EBONC بر اساس مرگ آخرین گره نسبت به ASH، ۴۰٪ و در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی EBONC نسبت به ASH، ۳۵٪ طول عمر شبکه را بهبود بخشیده است. نتایج به دست آمده در مدل حرکتی گروهی، برتری روش EBONC را در مقایسه با روش ASH نشان می‌دهد. روش ASH با وجود این که الگوریتم کارایی جهت مدیریت شبکه‌های بزرگ با تحرک زیاد است ولی به دلیل این که مدیریتی برای خوشه‌بندی و انتخاب سرخوشه شایسته با نگاه به موضوع مصرف انرژی نداشته است در زمان شبیه‌سازی بلندمدت و با کم‌بودن انرژی اولیه گره، تنها بین ۶۰ تا ۷۰ درصد طول عمر شبکه را حفظ کرده است. زمانی که ایستگاه مبنا در گوشه محیط شبیه‌سازی قرار دارد (شکل ۱۴) در مدل حرکتی گروهی EBONC، بر اساس مرگ آخرین گره، نسبت به روش ASH، ۲۵٪ و در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی EBONC نسبت به الگوریتم ASH، ۱۵٪ و در نهایت در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی EBONC نسبت به الگوریتم ASH، ۵٪ طول عمر شبکه را بهبود بخشیده است.

۶-۲ ارزیابی نرخ دریافت بسته در پروتکل پیشنهادی

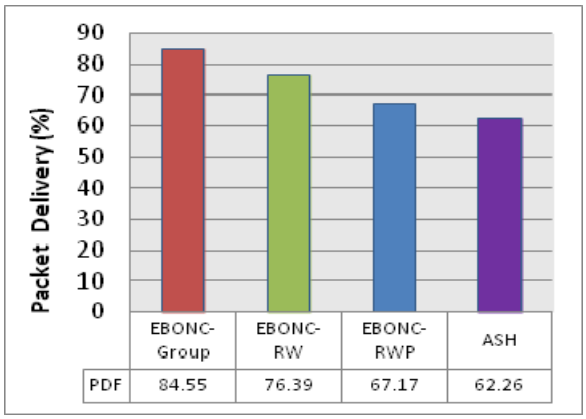
پارامتر دریافت بسته، دو روش ASH و EBONC را در شرایط یکسان با تعداد ۳۰۰ گره ارزیابی کرده است. روش EBONC در حالت گروهی بهتر از سه مدل دیگر عمل کرده و تعداد بسته دریافتی بیشتر و تعداد بسته از دست داده کمتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. شکل ۱۵ زمانی که ایستگاه مبنا در مرکز محیط شبیه‌سازی قرار دارد را نشان می‌دهد. تعداد بسته دریافتی در مدل حرکتی گروهی EBONC نسبت به ASH ۲۹٪، در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی EBONC نسبت به ASH ۸٪ و در مدل حرکتی نشانه حرکتی تصادفی EBONC نسبت به ASH ۷٪ بهبود یافته است. زمانی که ایستگاه مبنا در گوشه محیط شبیه‌سازی قرار دارد (شکل ۱۶) نیز نتایج مشابهی دیده می‌شود.

۶-۳ ارزیابی تأخیر انتها به انتها در پروتکل پیشنهادی

همان طور که نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نشان می‌دهد EBONC در حالت گروهی بهتر از سه مدل دیگر عمل کرده و حداکثر

Archive of SID

www.SID.ir

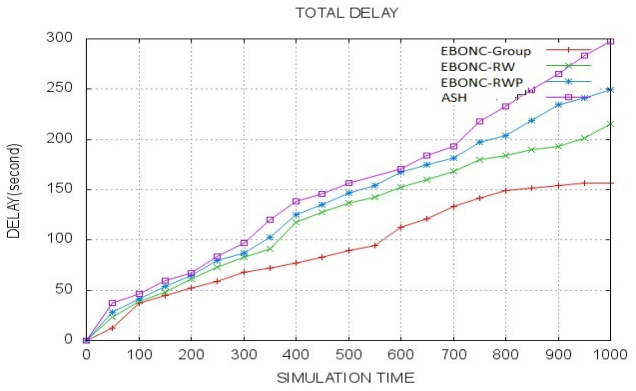


شکل ۱۶: مقایسه کارایی دریافت بسته (ایستگاه مبنا در گوشه).

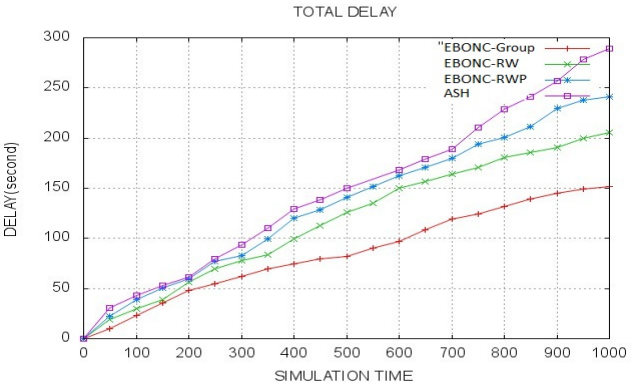
تأخیر در این مدل حرکتی در EBONC در حد ۱۵۰ ثانیه می‌باشد، در حالی که در ASH تأخیر به ۳۰۰ ثانیه نیز رسیده است. تأخیر کمتر روش پیشنهادی بدین مفهوم است که نیاز به ارسال مجدد خیلی کم می‌باشد. زمانی که ایستگاه مبنا در مرکز محیط شبیه‌سازی قرار دارد (شکل ۱۷)، تأخیر در مدل حرکتی گروهی EBONC نسبت به ASH، ۱۵۰ ثانیه و در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی EBONC نسبت به ASH، ۹۰ ثانیه کاهش یافته است. در سناریویی که ایستگاه مبنا در گوشه محیط شبیه‌سازی قرار دارد (شکل ۱۸) تأخیر در مدل حرکتی EBONC نسبت به ASH، ۱۳۰ ثانیه و در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی EBONC نسبت به ASH، ۷۵ ثانیه کاهش یافته است.

در کلیه پارامترهای ارزیابی، روش EBONC در مدل حرکتی گروهی بهتر از مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی عمل کرده است. همچنین مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی عملکردی بهتر از مدل حرکتی نشانه تصادفی حرکت داشته است. دلیل این برتری حرکت گروهی گره‌ها و کم‌بودن ترک و پیوستن گره به خوشه است. همچنین روش پیشنهادی مصرف انرژی بهینه‌ای را دارا می‌باشد ولیکن یکی از مشکلات مدل حرکتی نشانه تصادفی حرکت این است که با گذشت زمان، گره‌ها در حوالی ناحیه خاصی از محیط جمع می‌شوند. این ناحیه بیشتر در مناطق مرکزی محیط واقع است. این پدیده مشکل توزیع غیر یکنواخت مکانی در مدل نشانه حرکت تصادفی نامیده می‌شود که اولین بار توسط Bettstetter مطرح شد. این موضوع باعث می‌شود انرژی شبکه در نواحی که گره‌ها تجمع کرده‌اند سریع‌تر از بین برود و با مرگ زودرس گره‌ها در آن ناحیه مواجه شود. بنابراین الگوریتم EBONC در کلیه پارامترها بهتر از الگوریتم ASH عمل کرده است. در مدل حرکتی گروهی عملکرد بهتری نسبت به مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی و علی‌الخصوص مدل حرکتی نشانه تصادفی حرکت دارد.

با توجه به آن که گره‌ها تحرک دارند ممکن است تعداد گره‌ها در یک نیمه از محیط شبیه‌سازی بیشتر از نیمه دیگر باشد و در این صورت اگر ایستگاه مبنا در وسط محیط شبیه‌سازی قرار گیرد، خوشه‌هایی که نزدیک ایستگاه مبنا هستند و در سمتی هستند که تعداد گره‌ها بیشتر است، بار زیادی را تحمل کرده و انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. اگر ایستگاه مبنا در گوشه قرار گیرد و حتی گره‌ها در نیمه شبکه بیشتر باشند، به هر حال در مسیر حرکت داده، همه خوشه‌های نزدیک ایستگاه مبنا به دلیل آن که در مسیر مربوطه قرار دارند می‌توانند داده را به سمت ایستگاه مبنا هدایت کنند. در این صورت بار بر روی تمام خوشه‌ها توزیع شده و انرژی به صورت بهینه‌تری مصرف می‌شود. این دلایل در سایر پارامترهای دیگر شبکه نیز باعث عملکرد بهتر شده است.



شکل ۱۷: مقایسه تأخیر انتها به انتها (ایستگاه مبنا در مرکز).



شکل ۱۸: مقایسه تأخیر انتها به انتها (ایستگاه مبنا در گوشه).

۷- جمع‌بندی

روش پیشنهادی در این مقاله، یک پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر مکان برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم متحرک به منظور کاهش مصرف انرژی است. این روش از ایده محاسبه تعداد خوشه بهینه و بهره‌بردن از الگوریتم شایعه‌پراکنی برای انتشار اطلاعات استفاده نموده است. با به کارگیری پارامتر سطح انرژی و مختصات مکانی گره‌های حسگر و تعداد خوشه بهینه برای تشکیل خوشه‌هایی با سطح انرژی متوازن سعی می‌شود. برای محاسبه تعداد خوشه بهینه محیط شبکه به دوایر متحدالمرکزی با شعاع تقریباً مساوی تقسیم شده و سپس تعداد خوشه بهینه در هر دور، محاسبه و بر اساس عدد حاصل‌شده اقدام به تشکیل خوشه‌ها در هر دور می‌شود. در ادامه الگوریتم اقدام به انتساب نقش به گره‌ها کرده و با انتخاب شایسته سرخوشه بر اساس میزان انرژی بیشتر سعی در بهبود مصرف انرژی در سطح شبکه دارد. روش پیشنهادی توانسته است در مدل حرکتی گروهی، حدود ۱۸ تا ۳۴ درصد، در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی ۲۷ تا ۱۱ درصد و در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی ۷ تا ۱۸ درصد نسبت به ASH زمان زنده‌بودن گره‌های شبکه را بهبود ببخشد. در مدل حرکتی گروهی در حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد، در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی ۱۵ تا ۳۵ درصد و در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی در حدود ۵ تا ۲۰ درصد طول عمر شبکه را بهبود بخشیده است. از لحاظ تعداد بسته دریافتی نیز روش پیشنهادی در مدل حرکتی گروهی ۲۴ تا ۲۹ درصد، در مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی ۸ تا ۱۵درصد و در مدل حرکتی نشانه حرکت تصادفی، ۵ تا ۷ درصد نسبت به روش ASH بهبود داده است. در زمینه تأخیر نیز روش پیشنهادی در مدل حرکتی گروهی نسبت به ASH ۱۳۰ تا ۱۵۰ ثانیه و مدل حرکتی قدم‌زدن تصادفی نسبت به ASH، ۷۵ تا۹۰ ثانیه تأخیر را کاهش داده است.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

[1] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer Networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292-2330, Aug. 2008.

[2] J. Zheng and A. Jamalipour, *Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective*, John Wiley & Sons, 2009.

[3] J. Y. Yu and P. H. J. Chong, "A survey of clustering schemes for mobile ad hoc networks," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 7, no. 1, pp. 32-48, First Quarter. 2005.

[4] Y. Chen, A. Liestman, and J. Liu, "Clustering algorithms for ad hoc wireless networks," in *Ad Hoc and Sensor Networks*, eds. Y. Pan and Y. Xiao, ch.4, Nova Science Publishers, 2004.

[5] V. Katiyar, N. Chand, and S. Soni, "Clustering algorithms for heterogeneous wireless sensor network: a survey," *International J. of Applied Engineering Research*, vol. 1, no. 2, pp. 273-287, 2010.

[6] Y. Yan, N. H. Tran, and F. S. Bao, "Gossiping along the path: a direction-biased routing scheme for wireless ad hoc networks," in *Proc. IEEE Global Communications Conf., GLOBECOM'11*, 6 pp., Dec. 2015.

[7] R. Agarwal and M. Motwani, "Survey of clustering algorithms for MANET," *International J. on Computer Science and Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 98-104, 2009.

[8] A. Pruteanu and S. Dulman, "ASH: tackling node mobility in large-scale networks," *Computing*, vol. 94, no. 8-10, pp. 811-832, Sept. 2012.

[9] S. Chinara and S. K. Rath, "A survey on one-hop clustering algorithms in mobile ad hoc networks," *J. of Network and Systems Management*, vol. 17, no. 1-2, pp. 183-207, Jun. 2009.

[10] A. A. Abbasi and M. Younis, "A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks," *Computer Communications*, vol. 30, no. 14, pp. 2826-2841, Oct. 2007.

[11] S. S. Basurra, *et al*., "Energy efficient zone based routing protocol for MANETs," *Ad Hoc Networks*, vol. 25, issue PA, pp. 16-37, Feb. 2015.

[12] J. Y. Yu and P. H. Chong, "3hbac (3-hop between adjacent clusterheads): a novel non-overlapping clustering algorithm for mobile ad hoc networks," in *IEEE Pacific Rim Conf. on Communications, Computers and signal Processing, PACRIM,* vol. 1, pp. 318-321, Aug. 2003.

[13] C. R. Lin and M. Gerla, "Adaptive clustering for mobile wireless networks," *IEEE J. on Selected Areas in Communications,* vol. 15, no. 7, pp. 1265-1275, Sept. 1997.

[14] T. J. Kwon and M. Gerla, "Efficient flooding with passive clustering (PC) in ad hoc networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 32, no. 1, pp. 44-56, Jan. 2002.

[15] J. H. Ryu, S. Song, and D. H. Cho, "Clustering scheme for energy conservation in two-tiered mobile ad hoc networks," *Electronics Letters*, vol. 37, no. 11, pp. 700-701, May 2001.

[16] T. Ohta, S. Inoue, and Y. Kakuda, "An adaptive multihop clustering scheme for highly mobile ad hoc networks," in *Proc. 6th Int.l Symp. on Autonomous Decentralized Systems, ISADS'03,* pp. 293-300, Apr. 2003.

[17] A. D. Amis and R. Prakash, "Load-balancing clusters in wireless ad hoc networks," in *Proc. 3rd IEEE Symp. on Application-Specific Systems and Software Engineering Technology,* pp. 25-32, 24-25 Mar. 2000.

[18] P. Basu, N. Khan, and T. D. Little, "A mobility based metric for clustering in mobile ad hoc networks," in *Proc. Int. Conf. on, Distributed Computing Systems Workshop,* pp. 413-418, Apr. 2001.

[19] D. Kempe, A. Dobra, and J. Gehrke, "Gossip-based computation of aggregate information," in *Proc. 44th Annual IEEE Symp. on Foundations of Computer Science,* pp. 482-491, Oct. 2003.

[20] F. Bai and A. Helmy, "A survey of mobility models in wireless ad hoc networks," to appear on book wireless ad hoc and sensor networks.

[21] V. Vasanthi, M. Romenkumar, N. Ajithsingh, and M. Hemalatha, "A detailed study of mobility models in wireless sensor networks," *J. of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 7-14, Nov. 2001.

[22] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, Aug. 2002.

[23] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, Aug. 2002.

[24] K. E. Kannammal and T. Purusothaman, "Performance of improved directed diffusion protocol for sensor networks under different mobility models," *J. of Computer Science*, vol. 8, no. 5, pp. 694-700, 2012.

[25] R. A. Pushpa, A. Vallimayil, and V. S. Dhulipala, "Impact of mobility models on mobile sensor networks," in *Proc. 3rd Int. Conf. on Electronics Computer Technology, ICECT'11,* vol. 4, pp. 102-106, Apr. 2011.

[26] A. S. Raghuvanshi, S. Tiwari, R. Tripathi, and N. Kishor, "Optimal number of clusters in wireless sensor networks: a FCM approach," *International J. of Sensor Networks*, vol. 12, no. 1, pp. 16-24, Jul. 2012.

[27] J. A. Jiang, *et al*., "CoCMA: energy-efficient coverage control in cluster-based wireless sensor networks using a memetic algorithm," *Sensors*, vol. 9, no. 6, pp. 4918-4940, 2009.

[28] K. Fall and K. Varadhan, The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation), the VINT Project, 47, 2005.

[29] N. Aschenbruck, R. Ernst, E. Gerhards-Padilla, and M. Schwamborn, "BonnMotion: a mobility scenario generation and analysis tool," in *Proc. of the 3rd Int. ICST Conf. on Simulation Tools and Techniques, ICST'10*, Article No. 51, Mar. 2010.

[30] A. Kumar, *Design of Simulator for Energy Efficient Clustering in Mobile Ad Hoc Networks*, Doctoral dissertation, National Institute of Technology Rourkela, 2012.

نسیم نوروزی در سال ۱۳۸۵ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب و در سال ۱۳۹۲ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات خود را از دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه دریافت نمود. ایشان از سال ۱۳۹۱ در وزارت اطلاعات و فناوری اطلاعات مشغول به کار شده است و اکنون کارشناس شبکه در این مجموعه است. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شبکه‌های کامپیوتری و سیستم‌های توزیع شده می‌باشد.

هادی طباطبایی ملاذی در سال ۱۳۷۹ مدرک مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان و در سال های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی ارشد و دکترای خود را در رشته مهندسی کامپیوتر (نرم افزار) از دانشگاه اصفهان دریافت نمود. ایشان از سال ۱۳۹۱ تا کنون به عنوان استادیار در دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی مشغول به فعالیت است. از دیگر فعالیت‌های وی راه‌اندازی آزمایشگاه تخصصی سیستم‌های پردازش فراگیر در دانشکده محل خدمت می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان برنامه‌های کاربردی حوزه سلامت مبتنی بر دیدگاه اینترنت اشیاء و همچنین سیستم‌های حسگر اجتماعی می‌باشد.

محمود فضلعلی در سال ۱۳۷۹ مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه شهید بهشتی و در سال ۱۳۸۳ مدرک کارشناسی ارشد معماری کامپیوتر خود را از دانشگاه اصفهان دریافت نمود. سپس به دوره دکتری در دانشگاه شهید بهشتی وارد گردید و در سال ۱۳۸۹ موفق به اخذ درجه دکتری در مهندسی کامپیوتر گرایش معماری سیستم‌های کامپیوتری از دانشگاه مذکور گردید. دکتر فضلعلی در سال آخر دوره دکتری خود به آزمایشگاه مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی دلفت هلند پیوست و تا یکسال پس از آن به عنوان محقق پسادکتری در آن گروه در زمینه سیستم‌های با قابلیت بازپیکربندی مجدد تحقیق نمود. از سال ۱۳۹۱ در گروه علوم کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این گروه می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان پردازش موازی، سنتز سیستم‌های دیجیتال، شبکه‌های اجتماعی و پردازش تصویر می‌باشد.

محمود احمدی در سال ۱۳۷۴ کارشناسی مهندسی کامپیوتر خود را از دانشگاه اصفهان و در سال ۱۳۷۶ مدرک کاشناسی ارشد خود را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر دریافت نمود. سپس در سال ۱۳۷۷ در دانشگاه رازی کرمانشاه مشغول به کار گردید. در سال ۱۳۸۴ در دانشگاه صنعتی دلفت هلند دوره دکترا را شروع نمود و در سال ۱۳۸۹ از رساله دکتری خود دفاع نمودند. دکتر احمدی هم‌اکنون به عنوان عضو هیأت علمی در گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه رازی مشغول به کار می‌باشد. موضوعات تحقیق مورد علاقه ایشان شبکه های نرم افزار محور، فیلترهای احتمالی، پردازش سریع، معماری کامپیوتر ، اینترنت اشیا و محاسبات ابری می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir