ساخت توپولوژی انرژی‌آگاه با مکانیزم نگهداری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

حمیده عباس زاده[1] سید امین حسینی سنو[2]

۱- دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد- ایران

abbaszadeh.fum@gmail.com

۲- استادیار دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد- ایران، نویسنده مسئول

hosseini@um.ac.ir

چکیده: شبکه حسگر بی‌سیم روش کم هزینه و انعطاف پذیری برای مسائل نظارتی با دسترسی محدود و یا خطرناک به شمار می‌رود. این شبکه ها از دستگاه های بی‌سیم با منابع محدود ایجاد می‌شوند، بنابراین برای بقای شبکه باید از تمهیدات انرژی کارا استفاده نماییم. یکی از این تمهیدات کنترل توپولوژی در شبکه‌های حسگر بی سیم است، که از مکانیزم‌های ساخت و نگهداری توپولوژی تشکیل می‌شود. این مقاله به معرفی یک الگوریتم جدید ساخت توپولوژی انرژی آگاه مبتنی بر مجموعه حاکم همبند می‌پردازد. الگوریتم EA-CDS[1]، یک مکانیزم ساده ساخت توپولوژی انرژی کارای توزیع شده است که بهینه ترین زیرمجموعه متصل را می یابد، در حالی که شبکه متصل می‌ماند. این الگوریتم با بهره‌گیری از وزن مبتنی بر پارامتر، اجازه می‌دهد اپراتور شبکه طول مسیر ها را برای حفظ توپولوژی (از نظر انرژی و تداخل) بررسی نماید. همچنین برای حفظ اتصال شبکه و تخلیه نشدن انرژی گره هایی که دائما در مسیر ارسال بسته ها قرار دارند از الگوریتم نگهداری توپولوژی DGTRec[2] نیز توام با آن استفاده شده است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که پروتکل EA-CDS از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه (به تعویق انداختن زمان مرگ اولین گره) و نیز تعداد پیام ارسالی نسبت به دو پروتکل مشابه (EECDS[3] و CDS-RULE-K[4]) برتری دارد.

همچنین جهت اطمینان خاطر بیشتر از نتایج بدست آمده، شبیه‌سازی توسط نرم افزار متلب نیز انجام شده است و نتایج بدست آمده نتایج حاصل از اجرای شبیه سازATARRAYA را تایید می‌نماید.

کلمات کلیدی: کنترل توپولوژی، ساخت توپولوژی، نگهداری توپولوژی، الگوریتم EA-CDS، شبیه ساز آتارایا

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۲/۸/۱۰

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۲/۱۹

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر سید امین حسینی سنو

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران، مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی کامپیوتر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

۱- مقدمه

در شبکه های بی سیم با چیدمان تصادفی ممکن است شبکه بیش از حد متراکم یا پراکنده شود، در این صورت یک گره می تواند با استفاده از حداکثر توان با همسایه های خود مستقیما ارتباط داشته باشد. اما توان بالا نیاز به انرژی زیادی دارد. همچنین وجود تعداد زیاد همسایه باعث بروز تداخل می شود. از طرفی در شبکه های پراکنده تاخیر زیادی وجود دارد که تمام این موارد باعث افزایش مصرف انرژی می شود. به منظور پاسخگویی به این چالش ها می توان از کنترل توپولوژی (TC[۵])، استفاده کرد.

کنترل توپولوژی یکی از مهم ترین تکنیک های مورد استفاده در شبکه های حسگر بی سیم (WSN[۶]) به منظور کاهش مصرف انرژی و تداخل رادیویی است. با مکانیسم های ارتباطی چند پرشه و عملیات انرژی کارآمد کنترل توپولوژی بوجود می آید. کنترل توپولوژی گراف حاصل از اتصال لینک های ارتباطی بین گره ها را کنترل نموده و مصرف انرژی و تداخل رادیویی را کاهش می دهد.

طبقه بندی کنترل توپولوژی بر اساس ویژگی های مختلف انجام می شود. یکی از این ویژگی ها نحوه تولید توپولوژی شبکه است که می توان؛ توپولوژی را توزیع شده، محلی و یا متمرکز تولید کرد. ویژگی دیگر ساختار شبکه تولید شده این است که می تواند مسطح[۷]، سلسله مراتبی[۸] یا خوشه[۹] ای باشد. میزان توان انتقال گره ها یکی دیگر از ویژگی های مهم است. در کنترل توپولوژی همگن[۱۰]، تمام گره ها از توان انتقال یکسانی استفاده می کنند در حالی که در کنترل توپولوژی غیر همگن[۱۱]، گره ها می توانند توان انتقال مختلفی داشته باشند. اطلاعاتی که برای ایجاد توپولوژی شبکه مورد استفاده قرار می گیرند می تواند برای طبقه بندی نیز استفاده شوند. این گزینه ها عبارتند از: اطلاعات مربوط به محل گره ها، جهت گره ها و گره های همسایه. ولی در نهایت با هر طبقه بندی که در نظر بگیرید اهمیت کنترل توپولوژی در این است که کارایی سیستم را در زمینه های مختلف افزایش می دهد، خصوصاً روی مصرف انرژی و میزان تداخل بسیار تاثیر گذار است.

۲- مرور مطالعات پیشین

WSN معمولا از تعداد زیادی گره تشکیل شده است. هر گره دارای یک واحد پردازش، یک فرستنده و گیرنده رادیویی، واحد حسگر، واحد توان (باتری) است که معمولا ظرفیت کمی دارد [۱]. با توجه به محدودیت منابع گره ها و ارتباط گره ها با محیط (خطرناک و نامعین) و پدیده های فیزیکی امکان شارژ یا تعویض گره ها ممکن نیست، لذا استفاده از یک الگوریتم صرفه جویی انرژی ضروری است. که یکی از بهترین روشها برای گسترش طول عمر این نوع سیستم ها، مکانیزم کنترل توپولوژی انرژی کارا می باشد.[۲].

اخیراً چیدمان حسگر در WSN، توجه قابل ملاحظه ای را به خود جلب کرده است [۳]. اغلب مطالعات مساله چیدمان را به عنوان یک مساله با قابلیت پوشش یا مساله حفظ اتصال فرموله کرده اند [۴]. هدف از طراحی چیدمان WSN، پوشش منطقه تحت نظارت با کمترین تعداد حسگر و حصول اطمینان از اتصال شبکه است [۵].

ونگ و همکاران در مطالعه تحلیلی خود [۶] چارچوبی را برای پوشش و طول عمر WSN به کمک توزیع گاوسی دو بعدی دنبال می کنند. توزیع گاوسی به کارگیری یک استراتژی بسیار موثر در کاربردهای شبکه حسگر بی سیم است که می تواند طول عمر شبکه را به طور قابل ملاحظه ای افزایش دهد.

شیو و همکاران در تحقیق خود [۷]، از الگوریتم تقسیم و غلبه برای چیدمان بر اساس مثلث بندی استفاده کرده اند که تعداد حسگرها و مختصات X-Y تمام حسگرهایی که چیده شده اند را مورد بررسی قرار می دهد.

در روش دیگری به نام کنترل توپولوژی انرژی کارا توزیع شده (DETC)[۱۲]، فاز ساخت توپولوژی پس از استقرار حسگرها آغاز می شود. این الگوریتم برای شبکه های خانگی ماشین به ماشین (M2M)[۱۳] توسعه داده شده است [۸].

در روش پارتیشن بندی تطبیقی نیز برای زمانبندی گره ها در شبکه های حسگر بی سیم، کنترل توپولوژی با هدف کاهش مصرف انرژی اعمال شده است [۹].

در روش قابلیت اتصال مبتنی بر پارتیشن بندی (CPA)[۱۴]، گره ها بر اساس قابلیت اتصال اندازه گیری شده (به جای قابلیت اتصال حدسی بر اساس موقعیت آنها) تقسیم می شوند. در این روش اتصال گره های ستون فقرات شبکه تضمین می شود و برای کاهش مصرف انرژی، توپولوژی شبکه با تعدادی هماهنگ کننده جهت حفظ اتصال شبکه ساخته شده است [۱۰]. با کاهش تعداد هماهنگ کننده ها، چرخه وظیفه به طور متوسط کاهش می یابد و عمر باطری افزایش می یابد.

در روش کنترل توپولوژی مرحله ای (STC)[۱۵] مصرف انرژی کاهش می یابد در حالی که اتصال شبکه حسگر بی سیم ناهمگن بدون استفاده از اطلاعات مربوط به مکان گره ها، حفظ می شود [۱۱]. این طرح می تواند در انتشار چند جهته یا زمانی که از دست دادن جهت در منطقه مورد نظر یکنواخت نیست، مورد استفاده قرارگیرد.

درالگوریتم کنترل توپولوژی که مبتنی بر مجموعه حاکم همبند (CDS)[۱۶]می باشد، در مرحله اول، توپولوژی شبکه ایجاد می شود. گره آغازگر اولین گره همسایه خود را کشف می کند و به همین ترتیب گره همسایه نیز گره همسایه خود را کشف و این مرحله تا کامل شدن توپولوژی شبکه ادامه می یابد. در مرحله دوم برای کاهش اندازه توپولوژی از بین گره های همسایه فقط تعدادی در ایجاد توپولوژی شرکت می کنند و یک ستون فقرات مجازی از گره های متصل (CDS) تشکیل می دهند. در مرحله سوم نیز با کمک فرآیند نگهداری

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.14- No.2 Summer 2017

توپولوژی پویا در زمان لازم براساس پارامترهای تعریف شده شامل، سربار پیام، سربار انرژی، انرژی باقیمانده، زمان همگرایی (ساخت مجدد توپولوژی)، منطقه تحت پوشش، تعداد گره های غیر متصل، متوسط طول ستون فقرات مجازی، تغییراتی در CDS ایجاد می شود و عمر شبکه افزایش می یابد[۱۲]. برای ایجاد الگوریتم کارآمدتر در فاز ساخت توپولوژی از پیام های کمتری نسبت به سایر روشها استفاده می شود و با کمک مرحله نگهداری توپولوژی به اتصال خوبی دست می یابد و پوشش بهتری فراهم می شود.

۳- کنترل توپولوژی

شبکه حسگر بی سیم بیشتر با هدف جمع آوری اطلاعات در محیط های غیرقابل دسترس و خطرناک در ازای باتری اولیه با انرژی بسیار محدود مستقر شده است و این امر به مشکل طول عمر شبکه حسگر بی سیم اشاره دارد. در طول جمع آوری داده ها، گره(حسگر) بخشی از انرژی باتری خود را صرف انتقال، دریافت و هدایت بسته ها می کند. از این رو باید روشهای خلاقانه ای برای به حداکثر رساندن طول عمر هر باتری، یا حداقل عمر تعدادی از باتریها طراحی شوند.

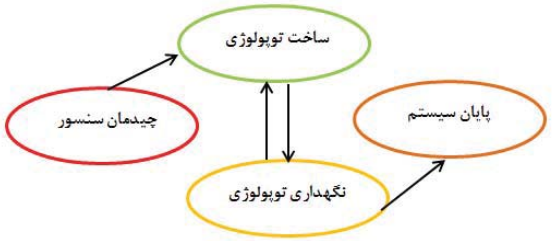
در این میان روشهای متعددی از جمله روشهای ذکر شده در بخش ۲ قابل استفاده می باشند ولی با توجه به مطالعات اخیر و به طور خاص روش مورد نظر در این مقاله، گره ها از طریق کنترل توپولوژی کارایی بهتری از خود نشان می دهند و توانایی تنظیم محدوده انتقال رادیویی، سوییچ کردن به حالتهای مختلف عملیاتی یا حتی تصمیم گیری درباره پیوستن به ستون فقرات شبکه را دارند. این ویژگی ها پارامترهایی هستند که برای کاهش توپولوژی، جهت رسیدن به صرفه جویی در مصرف انرژی و طول عمر شبکه به کار می روند. یعنی به جای اینکه تمام نودها (گره ها) انتقال را انجام دهند، اینکار فقط توسط گره هایی که لازم است با هم اتصال داشته باشند تا بتوانند داده ها را به مقصد برسانند انجام می شود. در نتیجه سایر گره ها بیهوده انرژی از دست نمی دهند و اینکار باعث افزایش طول‌عمر باتری و درنتیجه طول عمر شبکه می شود [۱۳].

به طور کلی، همانطور که در شکل ۱ دیده می شود می توان کنترل توپولوژی را به عنوان یک فرآیند تکرار شونده، نشان داد [۱۴]. کنترل توپولوژی سه فازدارد: چیدمان حسگر یا مقدار دهی اولیه، ساخت توپولوژی و نگهداری توپولوژی.

فاز اول: فاز چیدمان حسگر است که برای تمام کاربرد های شبکه حسگر بی سیم مشترک است. در این مرحله، گره ها خودشان را کشف کرده و از حداکثر توان انتقالشان برای ساخت توپولوژی اولیه استفاده می کنند.

فاز دوم: فاز ساخت یک توپولوژی جدید است، که در این مرحله با حفظ اتصال، یک توپولوژی جدید ایجاد می شود. هدف اصلی ساختن یک توپولوژی است که موجب صرفه جویی انرژی شده و قابلیت اتصال شبکه را با احتمال بالا حفظ کند.

فاز سوم: بعد از فاز ساخت توپولوژی فاز نگهداری توپولوژی شروع می شود. در طول این مرحله، گره ها بر وضعیت توپولوژی نظارت می کنند تا در صورت کاهش سطح انرژی از حد معینی در برخی گره ها یا سایر فاکتورهای تعریف شده در زمان مناسب فاز ساخت توپولوژی جدید را آغاز کنند. در طول عمر شبکه این چرخه معمولاً چند بار تکرارمی شود، تا زمانی که انرژی گره ها تخلیه شود.



شکل(۱): چرخه کنترل توپولوژی

۴- طبقه بندی کنترل توپولوژی

به طور کلی بر اساس چرخه کنترل توپولوژی، کنترل توپولوژی از دو فرآیند تشکیل شده است (شکل ۲ [۱۵,۱۶,۱۷].

اولین فرآیند شامل آن دسته از الگوریتم هایی است که مسئول کاهش توپولوژی اولیه هستند که ما به این مرحله ساخت توپولوژی گفته می شود.

پس از چیدمان اولیه حسگرها در مکانهای غیرقابل دسترس یا خطرناک ، که محل گره ها تصادفی است، مدیر هیچ کنترلی بر طراحی شبکه ندارد. به عنوان مثال، برخی از مناطق ممکن است بسیار متراکم باشند و تعداد بالای گره ها در این مناطق باعث افزایش تداخل و همچنین افزایش تعداد پیامهای ارتباطی می شود و در نتیجه چندین کپی از اطلاعات یک گره ایجاد می شود که مدیر نمی تواند کمکی به بهبود وضعیت موجود نماید. با این حال، مدیر روی برخی از پارامترهای شبکه کنترل دارد مانند: قدرت انتقال گره ها ، حالت گره ها (فعال یا خواب)، نقش گره ها (سر خوشه، دروازه، معمولی یا منظم) و غیره که با تغییر این پارامترها، می تواند توپولوژی شبکه را تغییر دهد.

برای ساخت توپولوژی الگوریتم های ساخت توپولوژی بر اساس تغییر محدوده انتقال گره ها، خاموش کردن برخی گره های شبکه، ایجاد یک ستون فقرات ارتباطی، خوشه بندی، اضافه کردن گره های جدید به شبکه برای حفظ اتصال، وجود دارد.

برخی از الگوریتم های ساخت توپولوژی بر اساس محدوده ارسال (Tx)[۱۷] کار می کنند که می توانند مبتنی بر هندسه، همسایه، جهت و غیره باشند، مثل گراف گابریل (GG)[۱۸]، KNeigh[۱۹]، XTC[۲۰] [۱۸]. برخی دیگر از الگوریتم ها بر اساس روش سلسله مراتبی کار می کنند

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

که خود بر دو نوع هستند: مبتنی بر CDS مثل CDS- Rule K و مبتنی بر خوشه مثل HEED[۲۱] [18].

دومین فرآیند یعنی مرحله نگهداری توپولوژی شامل آن دسته از الگوریتم هایی است که توپولوژی کاهش یافته حاصل از مرحله ساخت توپولوژی را درصورتی که تشخیص داده شود توپولوژی حاضر، دیگر نمی تواند خدمات نامبرده را ارائه دهد(یعنی با توجه به پارامترهای تعریف شده و مورد نظر سیستم مثل سطح پوشش یا انرژی یا تداخل) بر اساس الگوریتم نگهداری توپولوژی تعریف تغییر می یابد. لذا کنترل توپولوژی یک فرآیند پیوسته است که از ساخت توپولوژی تا تعمیر و نگهداری توپولوژی تکرار می شود. این فرآیند تا زمانی که شبکه منابع بیشتری برای ارائه خدماتی که به خاطر آن طراحی شده است را نداشته باشد ادامه می یابد. به عبارتی " زمانی که توپولوژی کاهش یافته فعلی دیگر بهینه نباشد تعمیر و نگهداری توپولوژی به عنوان فرآیندی تعریف می شود که در آن توپولوژی شبکه مورد بازیابی، چرخش و یا بازسازی قرار می گیرد" و این تغییر نقش گره برای افزایش طول عمر شبکه لازم است [۱۵,۱۶,۱۷].

فرآیند نگهداری توپولوژی به صورت سراسری و محلی، پویا و استاتیک، بر اساس زمان، انرژی، چگالی، تصادفی و غیره امکانپذیر است[۱۵,۱۶,۱۷].

بر اساس روشهای فوق الگوریتم های نگهداری توپولوژی عبارتند از:

- سراسری

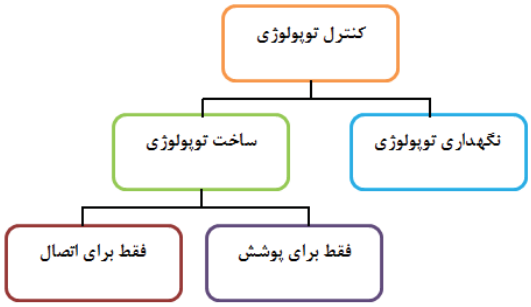
۱-ایجاد مجدد توپولوژی سراسری پویا(DGTRec[۲۲]): به صورت دوره ای، تمام گره های غیر فعال از خواب بیدار شده و توپولوژی کاهش یافته موجود در شبکه مجدداً تنظیم می شود و پروتکل ساخت توپولوژی اعمال می شود.

۲-چرخش(تغییر) توپولوژی سراسری استاتیک[۲۳] (SGTRot): در ابتدا، پروتکل ساخت توپولوژی بیش از یک توپولوژی کاهش یافته ایجاد می کند سپس، به صورت دوره ای، تمام گره های غیر فعال را از خواب بیدار کرده و توپولوژی کاهش یافته فعلی را با بعدی عوض می کند.

۳-ایجاد مجدد و چرخش توپولوژی سراسری ترکیبی (HGTRotRec)[۲۴]: مانند SGTRot کار می کند، اما زمانی که توپولوژی کاهش یافته فعال حاضر سطح معینی از قطعی ارتباط را تشخیص می دهد، پروتکل ساخت توپولوژی را فرا می خواند و دوباره نوعی دیگر از توپولوژی کاهش یافته خاص را ایجاد می نماید.

- محلی

DL-DSR[۲۵]: این پروتکل، الگوریتم مسیریابی بر اساس منبع مسیریابی پویا (DSR[۲۶]) است، که دوباره مسیری از گره قطع شده (هنگامی که یک گره با شکست مواجه می شود)، را ایجاد می کند.



شکل(۲): طبقه بندی کلی کنترل توپولوژی

۴-۱- مجموعه حاکم همبند(CDS)

بسیاری از روشهای سلسله مراتبی با استفاده از مفهوم مجموعه حاکم همبند (CDS)، یک ستون فقرات مجازی می سازند. در شبکه های حسگر بی سیم با توجه به خاصیت همه پخشی گره های بی سیم یک ارسال می تواند توسط تمامی گره های همسایه دریافت شودو با توجه به محدودیت منابع این شبکه ها، روش مسیریابی چندپخشی یک رویکرد موثر جهت کاهش مصرف منابع شبکه می باشد که در این روش فقط برای تعداد محدود و معینی از گره های همسایه ارسال انجام می شود نه برای همه گره های همسایه [۱۹,۲۰و۱۸].

با توجه به تعریف، مجموعه حاکم همبند عبارت است از زیر مجموعه ای از گره های شبکه به طوری که هر گره از شبکه یا متعلق به این زیر مجموعه بوده و یا حداقل مجاور به یک گره از گره های این مجموعه می باشد. از آنجا که این ساختار همبند است، می تواند به عنوان یک ستون فقرات مجازی برای مسیریابی و انتشار بسته ها مورد استفاده قرار گیرد.

به این ترتیب که ابتدا پیغام ها از مبدأ به گره ای که در مجموعه حاکم همبند (CDS) قرار دارد فرستاده می شوند. سپس، از طریق گره های عضو این مجموعه به گره ای از CDS که نزدیکتر به مقصد است، هدایت شده و در نهایت به مقصد می رسند و با توجه به انرژی محدود گره ها در این شبکه ها، CDS ها می توانند نقش مهمی در مدیریت انرژی گره ها ایفا کنند. به این ترتیب که گره هایی که در CDS قرار ندارند، می توانند به حالت خواب رفته و ارسال بسته ها در شبکه توسط گره های عضو CDS انجام گیرد. ولی باید توجه داشت که اگر دائم از یک مجموعه حاکم همبند استفاده شود انرژی گره های موجود در آن مجموعه حاکم همبند به سرعت کاهش می یابد و حتی ممکن است به علت استفاده بیشتر از یک یا چندین گره، اتصال از بین برود به همین دلیل باید به نحوی این مجموعه حاکم همبند را هر از گاهی بر اساس پارامترهای مورد نظر سیستم تغییر دهیم و همیشه و مداوم از یک مسیر ارسال انجام نشود تا از تمام منابع موجود در شبکه تا حد ممکن و قابل ملاحظه استفاده شود و مرگ اولین گره دیرتر رخ دهد تا قطعی در شبکه ایجاد نگردد چون گاهی مرگ اولین گره به

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

دلیل قرار گرفتن در محل خاصی باعث می شود تا اتصال کل شبکه مختل شود یا طول عمر شبکه تا حد زیادی کاهش یابد.

در نظر داشته باشید که در این مقاله محل قرارگیری گره‌ها خطرناک و غیر قابل دسترس در نظر گرفته شده است، مثل رصد کردن یک منطقه وسیع که شیمیایی شده است و حضور عامل انسانی غیرممکن و خطرناک است، لذا برای حفظ اتصال وپوشش کامل منطقه مذکور ما نیاز به ریختن گره‌های بیش از حد داریم چون با پرتاب گره ها توسط هلیکوپتر یا هر وسیله دیگر ممکن است گره‌ها بسیار غیر قابل پیش بینی و ناهنجار قرار گیرند، به صورتی که در قسمتی تراکم بسیار بالا داشته باشیم ولی در جایی دیگر گره‌ها در مناطق کور قرار گیرند و به هیچ وجه قابل استفاده نباشند یا حتی در قسمتی دیگر آنقدر پراکندگی شدید باشد که تک تک گره های موجود برای حیات و حفظ کل شبکه بسیار ضروری باشند. بنابراین به تاخیر افتادن مرگ اولین گره در چنین شرایطی بسیار حائز اهمیت خواهد بود چون ممکن است همین گره در شاهراه اصلی ما باشد [۲۱,۲۲,۲۳].

۴-۲- الگوریتمDGTRec

درالگوریتم ساخت توپولوژی جدید از الگوریتم نگهداری توپولوژی DGTRec در کنار الگوریتم ساخت توپولوژی استفاده می شود [15,16,17]. DGTRec مانند سایر روشهای نگهداری توپولوژی عمل می کند، فقط در این روش هرگاه انرژی گره به آستانه انرژی بحرانی از قبل تعریف شده، برسد باید ساخت مجدد توپولوژی از گره ای دیگر ادامه یابد [۲۳,۲۴].

الگوریتمهای نگهداری توپولوژی معمولا از سینک یا یکی از گره های فعال شروع می شوند. رویدادی که در گره معمولی اتفاق افتاده است به صورت یک پیام هشدار به گره سینک ارسال خواهد شد. هنگامی که این پیغام به گره سینک می رسد، در صورتی که شرایط برای تغییر گره و شروع روند چرخش کافی باشد تصمیم به چرخش می گیرد. در غیر اینصورت، گره پیام را نادیده می‌گیرد. در حالتی که سینک ببیند که چرخش لازم است، سینک پیام تنظیم مجدد را ارسال می کند و اگر آن تنها سینک توپولوژی باشد، برنامه اجرای جدیدی از پروتکل ساخت توپولوژی که ابتدا برای کاهش توپولوژی استفاده کرده بود را مجددا تنظیم و زمانبندی می‌کند. هنگامی که یک گره پیام تنظیم مجدد دریافت می کند، آن را بلافاصله به تمام همسایگان ارسال می‌کند، سپس گره تمام اطلاعات توپولوژی کاهش یافته فعلی را از بین می‌برد و به حالت اولیه پروتکل ساخت توپولوژی تغییر شکل می دهد و منتظر اجرای جدید می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی این مقاله EA-CDS، شروع الگوریتم نگهداری از گره ای است که سطح انرژی آن به آستانه بحرانی رسیده باشد .

۵- مدل شبکه

فرض می کنیم N گره حسگر یکسان بصورت تصادفی در منطقه تحت نظارت توزیع شده اند. گراف شبکه به صورت G(V, E) نشان داده می شود. V مجموعه ای از رئوس برای نمایش گره ها و E مجموعه ای از لبه‌ها برای نمایش ارتباطات هستند. تمام گره‌ها محدوده انتقال یکسان، توان باتری کافی برای حس کردن، محاسبات و فعالیت های ارتباطی دارند. به هر گره u در شبکه یک هویت منحصربه‌فرد تخصیص داده شده است (IDu) و تمام گره‌ها، داده ها را ارسال (مسیریابی) می کنند.

در روش متداول فرض می‌شود که برد ارتباطاتی هر سنسور یک دایره با شعاع ثابتRc است. فاصله بین گره u وV ، d(u,v) است. اگر $d(u,v) \leq Rc$ باشد، یک لینک مستقیم بین U و V وجود دارد و هر گره حسگر می تواند از گره های حسگر دیگر در داخل محدوده ارتباطی خود پیام ها یی دریافت کند. ضمناً، سیگنال‌های ارتباطی بی سیم از یک فرستنده به یک گیرنده از طریق یک کانال رادیویی ارسال می شود و تضعیف سیگنال اجتناب ناپذیر است. این تضعیف، معمولا به عنوان از دست رفتن مسیر کانال شناخته شده است و مستقیماً با فاصله بین فرستنده و گیرنده، فرکانس عملیا ت و عوامل دیگر بستگی دارد. مطالعات تجربی جالب روی قابلیت اتصال انجام شده، نشان می دهند که قابلیت اتصال کاملا بر اساس فاصله تعیین نمی‌شود اما در عوض، احتمالی برای ارتباط موفق است که با محو شدن تداخل، تحت تاثیر قرار می گیرد. با توجه به نسبت دریافت بسته ها، منطقه نظارت شده می تواند به سه منطقه ساختاربندی شود : منطقه موثر، منطقه انتقالی و منطقه واضح . موقعیت ها در منطقه موثر با درصد بالایی از موفقیت قابل دسترسی هستند، در منطقه انتقالی، نسبت قابلیت دسترسی واریانس بالایی دارد. لذا این لینک‌های بی‌سیم لینک‌های متناوب نامیده می‌شوند. بسته در منطقه واضح تقریبا غیرقابل دسترسی است. بنابراین، رابطه بین طول عمر سیستم و قابلیت اطمینان لینک یک مسئله مهم است.

برای هر لینک $e=\{u,v\} \in E$ ،u وv گره های حسگر هستند، بنابراین $\lambda_{u,v} \in (0,1]$ احتمال اینکه یک بسته با موفقیت از راس u به v تحویل داده شده را نشان می‌دهد، جایی که در آن نماد، $\lambda_{u,v}$ احتمال قابلیت دسترسی لینک است. ما فرض می‌کنیم که یک نود از سینک از طریق گره‌های دیگر قابل دسترسی است. برای تکمیل مدل شبکه، تعاریف زیر استفاده می‌شوند:

۵-۱- محاسبه محدوده ارتباطی (CTR)

برای تغییر محدوده ارتباطی گره ها، CTR یا محدوده انتقال بحرانی استفاده می شود. CTR(n) به عنوان حداقل محدوده ارتباطی که توپولوژی متصل تولید می کند تعریف می شود. فرمول نظری برای محاسبه CTR ارائه شده از فرمول ۱ بدست می آید که بر اساس این فرمول، با داشتن حداقل ۱۰ گره در یک محدوده ارتباطاتی برابر با ۶۳

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

متر است. پس اگر تعداد گره ها را بیشتر کنیم باز با همین محدوده ارتباطی اتصال برقرار است.

$$CTR(n) = \sqrt{\frac{\ln(n) + f(n)}{n\pi}}$$

$$1 \times CTR(10) = \sqrt{\frac{ln(10) + ln(ln(10))}{10\pi}}$$

$$= 1 \times \sqrt{0.0998} \times area\ side$$

$$= 0.315 \times 200 = 63\ m \qquad (۱)$$

بنابر این با داشتن حداقل ۱۰ گره در مساحت مثلا ۲۰۰ متر ، حداقل محدوده ارتباطاتی بنا به فرمول برابر با ۶۳ متر است. پس اگر تعداد گره ها را بیشتر کنیم باز با همین محدوده ارتباطی اتصال به به عبارتی اگر تعداد متغیری گره داشته باشیم برای اینکه بتوانیم تمام مساحت مورد نظر خود را پوشش دهیم باید کمترین تعداد گره ها را در نظر بگیریم و از این فرمول محدوده ارتباطی را برای این شبکه کم تراکم بدست آوریم که این عدد برای تراکم بالای همان مساحت صد در صد جوابگو است. ولی برای جلوگیری از تداخل و همپوشانی بالای گره ها برای محاسبه CTR در توپولوژیهای متراکم و کاهش یافته در الگوریتم پیشنهادی ساخت و نگهداری توپولوژیEA-CDS از روابط ۲ و ۳ استفاده می شود:

- **CTR توپولوژی متراکم**

initial CTR =0.01 CTR

Penrose-santi = 13.971354875716

CTR step=0.01 CTR

santi and Blough = 40.7549266646829

(۲)

- CTR **توپولوژی کاهش یافته**

Initial i =4 initial k=0.5 CTR

Penrose-santi 31.597727317006

Final I =10 final k=1

CTR santi and Blough = 40.7549266646829

Step=0.1 L=100 n=sqrt(l)=10

R = k*l^(3.4)*sqrt(log2(l))=40.7549266646829 (۳)

۵-۲- مدل انرژی

با توجه به گراف شبکه G(V, E) ، محاسبات ریاضی الگوریتم ساخت توپولوژی انرژی آگاه EA-CDS در فرمول ۴ نشان داده شده است:

$$\text{Total spent energy ratio} = \frac{\text{Total initial energy - Total final energy}}{\text{Total initial energy}}$$

(۴)

به منظور مقایسه نتایج پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های مشابه پیشین، از مدل انرژی مطابق روابط ۵ استفاده شده است که این مدل فرض می کند یک بسته k بیتی از فرستنده به گیرنده در فاصله d ارسال می شود:

$$ETx(k, d) = Eelec - Tx(k) + \epsilon amp - Tx(k, d)$$

$$ETx(k, d) = Eelec \times k + \epsilon amp \times k \times d^{2}$$

(۵)

که ETx(k,d) انرژی مصرف شده توسط فرستنده برای ارسال بسته k بیتی روی فاصله d است و Eelec–Tx(k) انرژی مصرف شده الکتریکی خود فرستنده است. ϵamp– Tx(k,d) انرژی مصرفی تقویت کننده ها است. به همین ترتیب بر اساس رابطه ۶ برای گیرنده نیز حساب می شود :

$$ERx(k) = Eelec - Rx(k) \qquad (۶)$$

$$ERx(k) = Eelec \times k$$

۵-۳- طرح ساخت توپولوژی EA-CDS

کنترل توپولوژی با تغییرات شبکه سازگار می شود و اجازه می دهد مکانیزم های صرفه جویی در انرژی برای طولانی تر شدن طول عمر شبکه افزایش یابد. فرض می کنیم هر گره حسگر در ابتدا با مقدار انرژی یکسانی مجهز شده است. در فاز ساخت توپولوژی، ویژگی توپولوژیک قابلیت اعتماد و انرژی کارآمد در حالی که اتصال حفظ می شود در شبکه فراهم شده است. هر گره تلاش می کند تا زیر گرافی با احتمال بالای قابلیت دسترسی گره برای ساخت توپولوژی با احتمال بالای قابلیت دسترسی شبکه بسازد. هر گره الگوریتم ساخت توپولوژی را اجرا می کند، شبه کد الگوریتم ساخت توپولوژی EA-CDS در ادامه آورده شده است.

Procedure:

1. VH = {Sink}
2. Start with Sink : Discover its Neighborhood NH
3. For each node v ϵ NH calculate the energy metric
4. Sort node in NH in descending order of the energy metric
5. While NH is not empty
6. Select v ϵ NH with maximum energy metric and outside the coverage area of other node in the Neighborhood

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

If sink and v are not connected in HCDS then

VH = VH U {v}

End if

NH= NH\{v}

7. End while

8. If all v's in VH & energy threshold is enough then

Go Step2

Else Start rotate & Trriger New Scheduling Go Step 2

9. HCDS = (VH, EH)

۶- الگوریتم پیشنهادی(EA-CDS)

فرض می کنیم N گره حسگر یکنواخت بصورت تصادفی در منطقه تحت نظارت توزیع شده اند. گراف شبکه به صورت G(V, E) نشان داده می شود. V مجموعه ای از رئوس برای نمایش گره ها و E مجموعه ای از یال ها برای نمایش ارتباطات هستند. تمام گره ها دارای محدوده انتقال یکسان، توان باتری کافی برای حس کردن، محاسبات و فعالیت های ارتباطی هستند. به هر گره u عضو v در شبکه یک هویت منحصر به فرد تخصیص داده شده است و تمام گره ها، داده ها را ارسال می کنند [۲۵,۲۶].

الگوریتم EA-CDS پیشنهادی، که یک مکانیزم ساخت توپولوژی ساده، توزیع شده و انرژی کارآ است، زیر مجموعه حاکم همبند (CDS) را می یابد و به نوبه خود گره های غیر ضروری را خاموش می کند، در حالی که شبکه متصل می ماند و پوشش های ارتباطی کامل با حداقل تداخل ارائه می شود. الگوریتم EA-CDS از یک متریک وزنی مبتنی بر انرژی استفاده می کند که اجازه می دهد اپراتور شبکه را از نظر طول شاخه ها (فاصله) برای پایداری و دوام CDS (انرژی و تداخل) بررسی کند.

کنترل توپولوژی انرژی کارا هدفش این است که یک زیر گراف از گراف اصلی G برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در حالی که اتصال حفظ شود، ارائه دهد [۲۷]. همچنین مواقعی، گره های فعال از نظر انرژی باقیمانده تست می شوند که اگر انرژی آنها کافی نباشد با استفاده از روش نگهداری الگوریتم DGTRec اتصال شبکه حفظ می گردد.

در سایر الگوریتمهای ساخت توپولوژی بر اساس مجموعه حاکم همبند، از چیدمان اولیه گره ها در مسیر مقصد یک توپولوژی کاهش یافته به صورت ستون فقرات مجازی(CDS) تصادفی ایجاد می شود و سپس بر اساس معیارهایی چون زمان سپری شده، انرژی مصرفی یا انرژی باقیمانده گره ها یک الگوریتم نگهداری از پیش تعریف شده برای حفظ اتصال شبکه استفاده می شود[۲۶,۲۷,۳۰].

ولی در الگوریتم ساخت پیشنهادی همانطور که CDS را ایجاد می کنیم، در هر محدوده ارتباطی وضعیت گره های همسایه در جهت مقصد بر اساس میزان انرژی باقیمانده گره ها، میزان تداخل و فاصله گره ها از جایی که CDS ادامه می یابد بررسی می شوند که اگر برنامه ریزی اولیه گره ها برای ساخت و ادامه CDS مطلوب نباشد تغییراتی در آن ایجاد می شود و برای همسایه های این رنج ارتباطی به صورت پیامی ارسال می شود، تا زمانبندی و نحوه ایجاد CDS از این پس این گونه باشد و مرگ اولین گره بدین ترتیب به تعویق خواهد افتاد. پس الگوریتم نگهداری در این روش ساخت توپولوژی، همگام با ایجاد CDS وضعیت گره ها را نیز بررسی می کند.

۶-۱- روش کار

برای ایجاد CDS لازم است بدانید که در محدوده ارتباطی گره های همسایه، دورترین گره پوشش ارتباطی بهتری ارائه می دهد چراکه دورترین گره در یک محدوده ارتباطی، تعداد بیشتری گره را پوشش می دهد و میزان تداخل را کم می کند یعنی وقتی بر اساس دورترین گره در یک محدوده ارتباطی در مجموعه حاکم همبند، محدوده ارسال و دریافت را تعریف می کنید، در نتیجه اکثر گره ها تحت پوشش قرار می گیرند و برای ایجاد CDS تعداد پیامهای کمتری رد و بدل می شود. در نتیجه میزان تصادم وتداخل کم می شود. در شکل ۳ ماشین حالت متناهی، ایجاد CDS در الگوریتم EACDS را نشان می دهد و به ترتیب زیر CDS ایجاد می شود:

۱. سینک یا هر گره ای که انرژی بیشتری دارد یک پیام اولیه Hello ارسال می کند.

۲. هر همسایه ای که پیام Hello را دریافت می کند، اگر این نود توسط گره دیگری هنوز پوشش داده نشده باشد، وضعیت خود را تحت پوشش این گره قرار می دهد و فرستنده را به عنوان والد قبول می کند و جوابی با عنوان پیام تشخیص والد به آن برمی گرداند. در غیر این صورت اگر گره توسط گره دیگری پوشش داده شده بود بررسی های لازم انجام می شود که آیا فاصله از این گره بیشتر است یا گره قبلی که اگر فاصله از گره قبلی بیشتر باشد از پیام Hello صرف نظر می کند و در غیر این صورت جوابی به والد بر می گرداند.

۳. نود والد مهلتی را برای دریافت جواب از همسایه ها مقرر می کند.

٤. زمانی که مهلت تعیین شده در ۳ منقضی شود، اگر هیچ پیام تشخیص والدی دریافت نکند یعنی هیچ گره ای وجود ندارد که تحت پوشش این گره قرار گیرد، پس خاموش می شود. در غیر این صورت پیام هایی که از فرزندان دریافت نموده را بر اساس متریک انتخابی به صورت نزولی مرتب

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

می کند و پیام شناخت فرزندان (شامل لیست مرتب شده) را به تمام فرزندان خود می فرستد.

۵. هنگامی که گره های فرزند لیست را دریافت می کنند متناسب با موقعیت خود در لیست برای دریافت پیام خواب از نودهای خواهر و برادر خود مدتی را تنظیم می کنند.

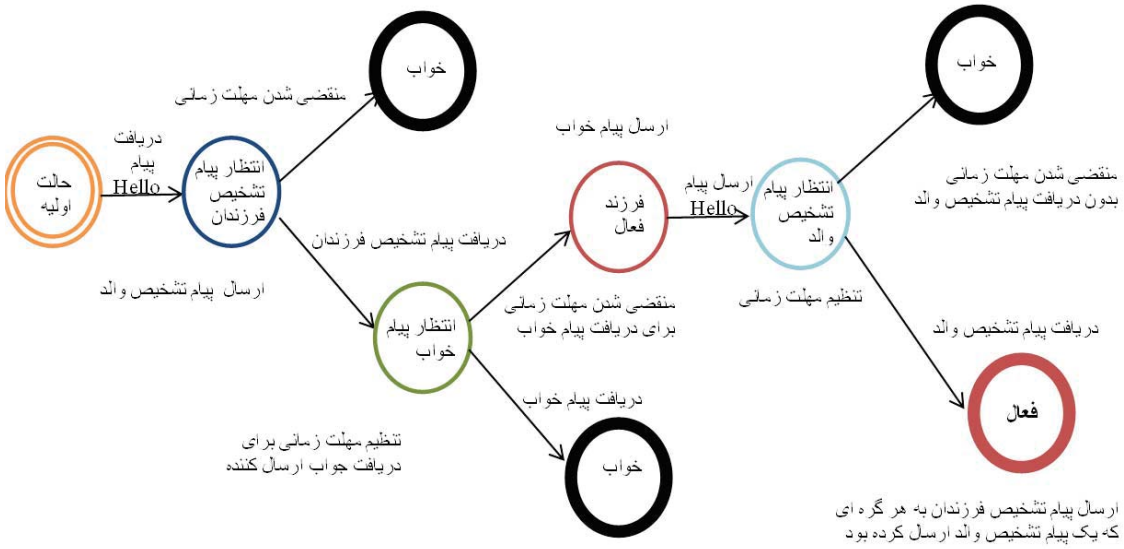
٦. زمانی که این مهلت به پایان برسد، اگر گره یک پیام خواب دریافت کرده باشد، یعنی گره ای با شرایط بهتر آماده عضو شدن در CDS بوده است بنابراین خود را خاموش می کند. در غیر این صورت یک پیام خواب به گره های خواهر و برادر خود ارسال می کند تا خاموش شوند. سپس خودش به یک والد جدید تبدیل شده و به صورت زیر شروع می کند به جستجوی فرزندان برای ادامه تشکیل CDS.

۷. گره ارسال کننده پیام خواب، میزان انرژی باقیمانده را محاسبه می کند. اگر انرژی از آستانه تعریف شده کمتر نبود ساعت را برای ارسال پیام Hello تنظیم می کند و فرآیند ساخت خود را به ترتیب قبل ادامه می دهد. در غیر این صورت، اگر کمتر باشد و نیاز به چرخش توپولوژی باشد تصمیم به چرخش می گیرد و برنامه اجرای ساخت ای به CDS بپیوندد و در آستانه بحرانی انرژی قرار دارد تکرار می شود.

در الگوریتم EA-CDS هیچ گونه دانش قبلی در مورد موقعیت یا جهت گیری گره ها وجود ندارد، بنابراین، گره یک نمای هندسی دقیق از توپولوژی ندارد. با این حال، گره می تواند بر اساس توان سیگنال دریافتی فاصله گره را تعیین کند و این اطلاعات برای انتخاب یک ستون فقرات مجازی CDS بهینه کافی است.

به طور کلی در الگوریتم EA-CDS پس از همسایه یابی گره والد مدت زمان مقرری را برای دریافت پاسخ از همسایگان خود تعیین می کند. پارامترهای هر فرزند به والد ارسال و در یک لیست ذخیره می شود. هنگامی که این مدت زمان به پایان می رسد، گره والد لیست را بر اساس پارامتر انتخابی به صورت نزولی مرتب می کند .

سپس گره والد یک پیام فرزندیابی که شامل لیست کامل ذخیره شده از تمام فرزندان خود است را پخش می کند. زمانی که گره های مورد نظر لیست را دریافت کردند، مهلت زمانی آنها را متناسب با موقعیت خود در لیست مرتب شده تنظیم می کنند. در این مهلت زمانی ، گره ها منتظر پیام خواب از خواهر و برادرانشان هستند. اگر یک گره پیام خواب در مهلت زمانیش دریافت کند، خاموش می شود،



شکل(۳): ماشین حالت متناهی نشان دهنده تغییرات در الگوریتم EA- CDS

توپولوژی که قبلا برای کاهش توپولوژی استفاده کرده بود را به کمک الگوریتم نگهداری توپولوژی DGTRec دوباره زمانبندی می کند و آن را در غالب پیام Hello بلافاصله به تمام همسایگان ارسال می کند و سپس گره تمام اطلاعات توپولوژی کاهش یافته فعلی را از بین می برد و به حالت اولیه ساخت توپولوژی تغییر شکل داده و منتظر اجرای جدید می شود. و این عمل هر بار که قرار است گره چون به این معنی است که یکی از خواهرانش واجد شرایط بهتری برای تبدیل شدن به بخشی از CDS است.

بر اساس این طرح، بهترین گره با توجه به پارامتر ابتدا یک پیام خواب ارسال می کند ، سپس گره های دیگری که در محدوده اش هستند را مسدود می کند. حالا، این گره خاص؛ گره والد جدید می شود و روند جستجوی فرزندان را شروع می کند. به شرط اینکه انرژی

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

کافی داشته باشد در غیر اینصورت باید الگوریتم نگهداری توپولوژی DGTRec را برای ایجاد توپولوژی کاهش یافته جدید به کار ببرد.

همانطور که توضیح داده شد، گره هایی که یک پیام Hello از گره والد دریافت کرده اند، شاخص توان سیگنال دریافتی (RSSI)[۲۷] را از روی توان سیگنال دریافتی محاسبه می کنند و سپس متریک محاسبه می شود که در پیام شناخت والد به والد فرستاده می شود.

پس از دریافت پارامترهای تمام فرزندان، گره والد یک لیست مرتب ایجاد می کند و می فرستد که در پایان، تعیین می کند که کدام گره ها بخشی از CDS خواهند بود. الگوریتم EA-CDS گره جدید CDS را با استفاده از پارامتر انتخابی بدست آمده از انرژی باقی مانده گره، تداخل گره و فاصله از والد بر اساس معادله ۷ محاسبه می کند:

$$Mc,p=Wi*1/IA(c)+We*Ec/Emax+Wd*RSSIp/RSSImin \quad (۷)$$

که در آن c گره کاندید و p گره والد آن است، Wi[۲۸] وزن تداخل گره، We[۲۹] وزن انرژی باقی مانده در گره است، Ec انرژی باقی مانده در گره است، $Emax$ حداکثر انرژی اولیه است، Wd[۳۰] وزن فاصله از گره والد (پوشش دهی) است، $RSSIp$ توان سیگنال دریافت شده از گره والد است، و $RSSImin$ حداقل RSSI برای اطمینان از اتصال، است که توسط حساسیت گیرنده داده شده است .

معادله ۱ یک مقدار بین ۰ و ۱ تولید می کند که به هر یک از همسایه ها در روند انتخاب گره های جدید در CDS اختصاص داده می شود، مقدار متریک بالاتر، اولویت بالاتر است. متریک انتخابی اولویت را به گره هایی با انرژی بالاتر وتداخل کمتر و فاصله دورتر از گره والد می دهد. اثر نهایی این انتخاب این است که CDS ای با حداقل تداخل، گره فعال کمتر و پوشش بهتر داریم.

با این حال، دستکاری وزن ها می تواند معیارهای مختلف مورد نیاز را برآورده سازد، هدف اصلی الگوریتم پیشنهادی ما کاهش مصرف انرژی شبکه است. پس، وزن پارامتر انرژی اگر ۱ باشد یعنی حداکثر ارزش خود را دارد ولی در این صورت دیگر پارامترها تداخل و پوشش و بی اثر می شوند واگر پوشش ارتباطی بهینه سازی شود در نتیجه ارتفاع متوسط گره ها در CDS (تعداد پرشها) نیاز به کاهش دارند، پس پارامتر فاصله باید به شدت وزن بگیرد و پارامتر انرژی و تداخل بی اثر خواهند شد.

به این ترتیب ممکن است اگر گره های کم انرژی درCDS باشند، باعث شکست اولیه گره ها شود و در نتیجه طول عمر شبکه کاهش یابد. از سوی دیگر، همچنین اگر قابلیت اطمینان نیز مورد نظر است، انرژی باید وزن بیشتری داشته باشد.

در نتیجه در الگوریتم ارائه شده، میانگین و تعادل این جوانب مورد نظر بوده است و مقدار وزنی ۰،۴ برای اهمیت انرژی و۰،۴ برای اهمیت پوشش دهی (تعداد نودهای فعال) و مقدار ۰،۲ برای میزان تداخل (پیامهای رد و بدل شده) در نظر گرفته شده است .

۷- شبیه‌سازی و ارزیابی EA-CDS

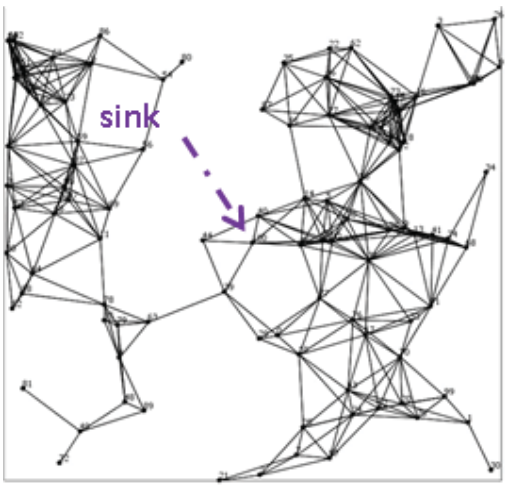
۷-۱- شبیه سازی در آتارایا

برای شبیه سازی از نرم افزار خاص کنترل توپولوژی در شبکه های حسگر بی سیم به نام ATARRAYA استفاده شده است که رویدادگرا و مبتنی بر جاوا می باشد [۱۵،۱۶]. جدول ۱ خلاصه ای از پارامترهای مورد استفاده شبیه سازی در ارزیابی کارایی مکانیسم کاهش مصرف انرژی پیشنهادی را نشان می دهد.

جدول (۱): پارامترهای شبیه سازی

پارامترها	مقادیر
ناحیه چیدمان	۳00m× 300m
تعداد نودها	۱۰-۲۰-۴۰-۶۰-۸۰-۱۰۰
محدوده انتقالی	۶۴
توزیع گره ها	همگن(۳۰۰× ۳۰۰)
تعداد نمونه ها برای توپولوژی	۶۰ نمونه
حداکثر انرژی	۱ ژول
انرژی آستانه(Threshold)	۲۰٪ کل انرژی
تعداد سینک	۱
وزنهای EA-CDS	W1=0.4,W2=0.4,W3=0.2

در سناریوی شبیه سازی، ابتدا شبکه ای کاملا متصل و پرتراکم ایجاد می شود. شکل ۴ شبکه ایجاد شده بدون اعمال کنترل توپولوژی وقتی تمام گره ها با هم در ارتباطند را نشان می دهد.

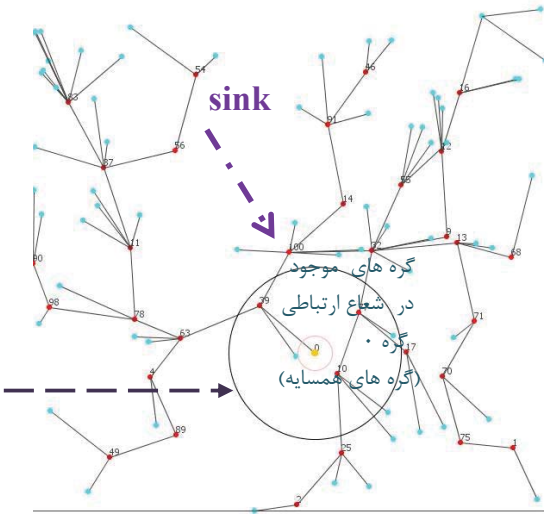


شکل(۴): شبکه بدون اعمال کنترل توپولوژی

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

بنابراین با اعمال الگوریتم ساخت توپولوژی EA-CDS فقط گره های لازم با الگوی انتخاب که قبلا گفته شد تشکیل یک CDS می دهند که در شکل ۵ نمایش داده شده است و وضعیت گره ها به صورت رنگی در توپولوژی کاهش یافته نشان داده شده است.





شکل(۵): توپولوژی کاهش یافته بعد از اعمال کنترل توپولوژی

در سناریوی شبیه سازی توسط آتارایا به ازای هر گره متغیرهای زیر ارائه می شوند :

- شناسه گره
- آدرس گره که برابر است با شناسه گره (اگر در شاخه آخرین گره باشد مقدار -۱ می گیرد)
- موقعیت جغرافیایی نسبت به محور مختصات (اینجا ۳۰۰ در ۳۰۰ متر)
- مقدار انرژی اولیه که ما فرض می کنیم هر گره خواهد داشت
- شعاع ارتباطی
- شعاع حسگری
- بسته های ارسال شده
- بسته های دریافت شده
- مدت زمان ارسال بسته
- مدت زمان دریافت بسته
- متغیرهای لازم مسیریابی برای اجرای نگهداری توپولوژی
- وضعیت روشن بودن گره
- شماره گره های دروازه از گره برای تبادل اطلاعات تا سینک (مسیر CDS) و نیز گره ای که پیش فرض برای CDS اولیه انتخاب شده است که به تدریج بر اساس اعمال نگهداری توپولوژی(TM) ممکن است تغییر کند.
- تعداد همسایه ها و وضعیت آنها مثل میزان انرژی و فاصله تا گره و غیره نیز برای الگوریتم ساخت لازم است تا در صورت لزوم برای تغییر توپولوژی(CDS)از آنها استفاده شود.

نتایج حاصل از شبیه سازی فوق نشان می دهد که نقطه کور وجود ندارد و همه نقاط پوشش داده شده اند و میانگین سطوح قابل پوشش دهی برای هر گره(فرزندان) تا ۴ سطح بوده و میانگین تعداد همسایه برای هر گره تقریبا ۸ و تعداد کل گره های فعال CDS از سینک ۳۴ دستگاه است. تعداد پیامهای رد و بدل شده قابل مشاهده است. همچنین تعداد نود تخلیه شده (مرده) و نودی که دیگر متصل نباشد و قطعی در شبکه ایجاد شود تا این مرحله وجود نداشته ومیزان انرژی اولیه ۱ ژول به ازای هر گره است بنابراین برای کل شبکه ۱۰۰۰۰۰میلی ژول خواهد بود (۱۰۰ گره داریم). میزان انرژی باقیمانده در کل شبکه و میزان انرژی مصرف شده در کل شبکه نیز دیده می شود که بسیار ناچیز می باشد(تقریبا ۳۵۱ میلی ژول) و خطای جدی در شبیه سازی نداشتیم . آزمایش های فوق ۵ بار تکرار شده است و میانگین بدست آمده است.

در ادامه به بررسی تاثیر الگوریتم EA-CDS در کاهش مصرف انرژی شبکه های حسگر بی سیم می پردازیم.

برای ارزیابی الگوریتم ساخت توپولوژی انرژی آگاه EA-CDS سه پارامتر اصلی استفاده می شود: تعداد نودهای فعال در شبکه حاصل، تعداد پیامهایی که در فرآیند ساخت CDS شرکت دارند، مقدار انرژی مصرفی. که مورد اول نشان می دهد که چطور الگوریتم انرژی آگاه تعداد گره های فعال را با افزایش تعداد نودها و بالا رفتن تراکم شبکه کاهش می دهد ولی اتصال و پوشش شبکه حفظ می شود. مورد دوم میزان کارایی الگوریتم از نظر بالاسری(میزان تداخل) را نشان می دهد و مورد سوم نشان دهنده میزان مصرف انرژی است.

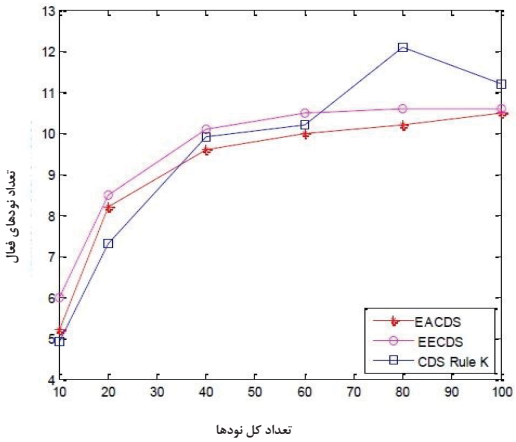
در طول شبیه سازی فرض می شود که نودها در فضای دو بعدی مستقر هستند و گراف اولیه متصل بوده و مصرف انرژی در حالت غیر فعال ناچیز در نظر گرفته شده است و فاصله می تواند توسط RSSI (شاخص طول سیگنال دریافتی) محاسبه شود[۳۰].

گره ها به صورت یکنواخت در یک منطقه ۳۰۰ × ۳۰۰ متر مربع توزیع شده است. نتایج از ۶۰ شبکه تصادفی با تعداد گره های مختلف و محدوده انتقال ثابت (تغییر چگالی گره ها) مشتق شده اند و از دو

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.14- No.2 Summer 2017

الگوریتم ساخت توپولوژی مبتنی بر CDS با نامهای EECDS و CDS Rule-K برای ارزیابی پروتکل پیشنهادی استفاده شده است که با سناریو های کم تراکم، تراکم متوسط و بالا انجام می شود. تغییر درجه گره و تراکم شبکه از طریق افزایش تعداد گره ها انجام می شود.

چنانچه درشکل ۶ می بینید درجه گره ها (تعداد همسایه ها) بر اساس افزایش تعداد گره ها تغییر می کند، الگوریتم ها در ابتدا از تعداد زیادی گره فعال برای ساخت CDS با توجه به پراکندگی گره ها و کم بودن تعداد کل گره ها استفاده می کنند و به تدریج که تراکم گره ها بیشتر می شود، تعداد گره های فعال کمتر می شود. همچنین این تعداد در EA-CDS کمی از بقیه کمتر است. چون در EA-CDS محدوده (ارتباطی) انتقالی هر گره بر اساس پوشش دهی دورترین گره در این محدوده برآورد می شود و تعداد گره هایی که پوشش داده می شوند بیشتر می شود در نتیجه برای ایجاد ارتباط با سایر گره ها درCDS، تعداد گره های فعال کمتری نیاز است.

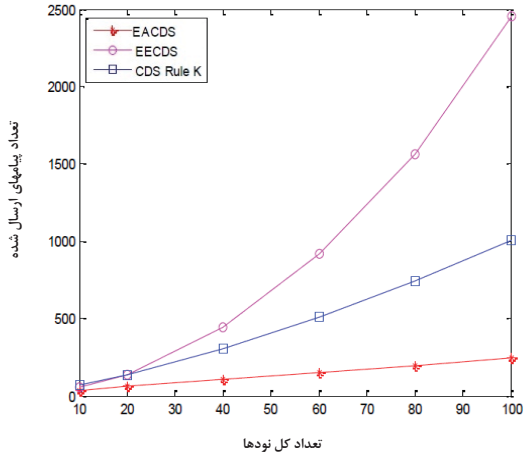


شکل(۶): تعداد نودهای فعال نسبت به کل گره ها

به همین منظور برای تغییر محدوده ارتباطی گره ها، CTR[۳۱] یا محدوده انتقال بحرانی استفاده می شود. CTR(n) به عنوان حداقل محدوده ارتباطی که توپولوژی متصل تولید می کند، تعریف می شود که فرمول نظری آن برای محاسبه بر اساس معادله ۸ قابل محاسبه است [26]:

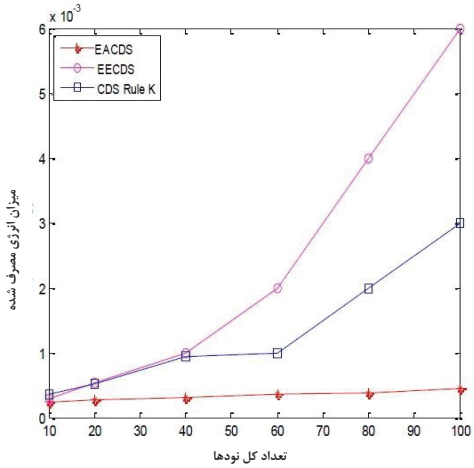
$$CTR= \sqrt{(\ln(n)+f(n))/n\pi} \qquad (۸)$$

در شکل ۷ می بینیم که الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم ها از تعداد کمتری پیام برای ساخت CDS استفاده می کند. یعنی حتی وقتی که تراکم شبکه زیاد می شود بازهم چون با تعداد گره فعال کمتری (بر اساس فاصله دورترین گره در رنج ارتباطی)پوشش انجام می شود و شبکه در سطوح بالا گره های کمتری دارد، بنابراین تعداد گره های کمتری برای اتصال به CDS باهم رقابت خواهند داشت.



شکل(۷): تعداد پیامهای ارسالی نسبت به کل گره ها

در شکل ۸ می بینیم که نسبت انرژی مصرفی در الگوریتم EACDS با تغییر تعداد گره ها زیاد تفاوتی ندارد و این متوازن بودن مصرف انرژی در گره ها را نشان می دهد.



شکل(۸): میزان انرژی مصرفی به تعداد کل گره ها

چون ما اجازه نمی دهیم که از یک مسیر دائما CDS به وجود آید و سپس چک کنیم که آیا دوباره می توان از این مسیر استفاده کرد؟

سپس یک الگوریتم نگهداری توپولوژی را روی کل CDS اعمال کنیم و طول عمر کل شبکه را افزایش دهیم. البته در این روش ممکن است به علت تمام شدن باطری برخی گره های حیاتی قطعی در شبکه ایجاد شود و علی رغم داشتن انرژی در سایر گره ها به دلیل اینکه در محدوده ارتباطی یکدیگر قرار ندارند نمی توانند به هم بپیوندند و CDS را کامل و متصل حفظ کنند.

به همین دلیل بهتر است که عمر هر گره را تا جایی که می توانیم افزایش دهیم تا در نهایت طول عمر کل شبکه افزایش یابد، بنا براین همزمان که در حال ساخت توپولوژی کاهش یافته هستیم، چک می کنیم که این گره نسبت به سایر همسایه های موجود در این

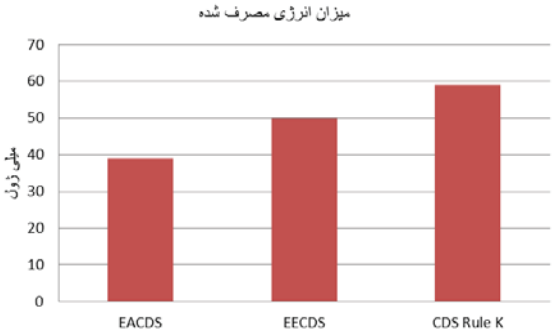
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

محدوده ارتباطی برای ادامه CDS چقدر دوام می آورد تا به حد انرژی آستانه(۲۰٪ کل انرژی اش) برسد ولازم است که در این محدوده ارتباطی برای ادامه CDS تغییر مسیر داده و از الگوریتم نگهداری توپولوژی استفاده نماییم. تاثیر الگوریتم نگهداریDGTRec وقتی که همزمان با الگوریتم ساخت توپولوژی اعمال می شود کاملا مشهود است.

۷-۲- شبیه سازی در متلب

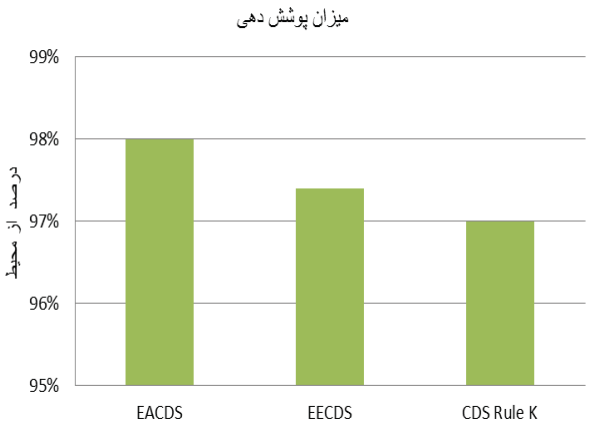
جهت اطمینان خاطر بیشتر شبیه سازی توسط نرم افزار متلب نیز انجام گرفت و نتایج بدست آمده از شبیه سازی در متلب نیز ارزیابی حاصل از شبیه ساز آتارایا را تایید می نماید.

از نظر مصرف انرژی، نتایج حاصل در شکل ۹ نیز کارایی بالای الگوریتم EACDS را از نظر صرفه جویی در مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه حسگر بی سیم ثابت نمود.



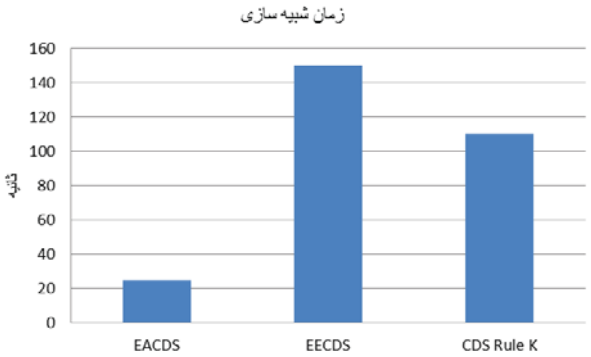
شکل(۹): مقایسه میزان مصرف انرژی برحسب میلی ژول

همچنین میزان پوشش دهی شبکه توسط الگوریتم پیشنهادی نسبت به دوالگوریتم دیگر بهتر ارزیابی گردید و چنانچه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.الگوریتم EACDS درصد بالاتری از محیطی که شبکه حسگر بی سیم در آن قرار گرفته را پوشش دهی می کند.



شکل(۱۰): مقایسه درصد پوشش دهی

همچنین زمان شبیه سازی نیز در الگوریتم EACDS به مراتب کمتر از دو الگوریتم دیگر می باشد که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل(۱۱): مقایسه مدت زمان شبیه سازی برحسب ثانیه

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله جهت کاهش مصرف انرژی و تداخل به تشریح الگوریتم پیشنهادی جدیدی که یک الگوریتم ساخت توپولوژی مبتنی بر مجموعه حاکم همبند(CDS) همراه با الگوریتم نگهداری توپولوژی همزمان با مرحله ساخت توپولوژِی پرداخته شده است (در روشهای دیگر ابتدا توپولوژی کاهش یافته به کمک الگوریتم ساخت ایجاد می شود سپس الگوریتم نگهداری بنا به معیارهای راه اندازی اعمال می شود) ولی در این الگوریتم حین ساخت با توجه به معیارهای راه اندازی برای تک تک گره هایی که قرار است به CDS بپیوندند در صورت کاهش انرژی گره از آستانه مورد نظر، این وظیفه به گره دیگری که شرایط بهتری دارد محول می شود. الگوریتم مذکور براساس پارامتر مبتنی بر مصرف انرژی و فاصله گره‌ها و تداخل، CDS موردنظر را تشکیل می دهد. و زمانی که انرژی باقیمانده گره ها به حد معینی برسد که احساس شود با شرکت در مجموعه حاکم همبند موجب قطعی در اتصال می شود، از روش چرخش DGTRec استفاده می کند که باعث می شود زمانبندی و برنامه ریزی ساخت توپولوژی بر اساس پارامترهای جدید(آستانه انرژی) تنظیم شود و گره هایی با انرژی بیشتر و تداخل کمتر برای ساخت CDS استفاده شوند. در این صورت اتصال همیشه حفظ می شود. نتایج شبیه‌سازی پروتکل جدید نشان می دهد که پروتکل EA-CDS از لحاظ افزایش طول عمر مفید شبکه (به تعویق انداختن زمان مرگ اولین گره) و نیز تعداد پیام ارسالی نسبت به دو پروتکل مشابه (EECDS و CDS-RUKE-K) برتری آشکاری دارد.

۹- مراجع

[1] Raghunathan V, Schurgers C, Park S, Srivastava MB. "Energy-aware wireless microsensor networks," IEEE Signal Processing Magazine 2002,pp.40–50.

[2] Ren H, Meng MQ-H. "Game–theoretic modeling of joint topology control and power scheduling for wireless heterogeneous sensor networks." IEEE Transactions on

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

[۱۷] P. Wightman and M. Labrador, "A3: A topology control algorithm for wireless sensor networks," IEEE Globecom 2008, Nov.

[18] I. Stojmenovic" Algorithms and Architectures", Edited
ISBN 0-471-68472-4 Copyright # 2005 John Wiley & Sons, Inc.

[19] B. Gao, Y. Yang, and H. Ma, "A new distributed approximation algorithm for constructing minimum connected dominating sets in wireless ad hoc networks," International Journal of Communication Systems, 2005, vol. 18, no. 8, pp. 743–762.

[20] Z. Yuanyuan, X. Jia, and H. Yanxiang, "Energy efficient distributed connected dominating sets construction in wirelesssensor etworks," in Proceeding of the ACM International Conferenceon Communications and Mobile Computing, 2006, pp. 797–802.

[21] Deshpande A., Montiel C., McLauchlan L. "Wireless Sensor Networks—A Comparative Study for Energy Minimization Using Topology Control." Proceedings of the 2014 Sixth Annual IEEE Green Technologies Conference (GreenTech); Corpus Christi, TX, USA. 3–4 April 2014; pp. 44–48.

[22] Satyam Gupta, Gunjan Gupta," Simulation Time and Energy Test for Topology Construction Protocol in Wireless Sensor Networks" in Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEEI) Vol. 3, No. 2, June 2015, pp. 89~92 ,ISSN: 2089-3272.

[23] U. Tiberi. Fischione, K.H. Johansson , M.D. Di Benedetto." Energy-efficient sampling of networked control systems over IEEE 802.15.4 wireless networks".© 2012 Elsevier Ltd.

[24] A Karthikeyan, T Shanker, V Srividhya, Siva Charan Reddy V, Sandeep Kommineni." Topology Control Algorithm for Better Sensing Coverage with Connectivity in Wireless Sensor Networks." Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2013; vol 52, no.3, p۳۰۸.

[25] B. Gao, Y. Yang, and H. Ma, "A new distributed approximation algorithm for constructing minimum connected dominating sets in wireless ad hoc networks," International Journal of Communication Systems, vol. 18, no. 8, pp. 743–762, 2005.

[26] Hassaan Khaliq , Sajjad Rizvi, Muhammad Saleem, Syed Ali Khayam,Veselin Rakocevic, Muttukrishnan Rajarajan, " Evaluation and improvement of CDS-based topology control for wireless sensor networks,"The Journal of Mobile Communication, Computation and Information, Vol. 19, No. 1, January 2013, Publisher Springer US,ISSN: 1022-0038 (Print) 1572-8196 (Online).

[27] Chiranjib Patra, Samiran Chattopadhyay, Matangini Chattopadhyay, and Parama Bhaumik, "Analysing Topology Control Protocols in Wireless Sensor Network Using Network Evolution Model," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol 2015, Article ID 693602, 8 pages, 2015. doi:10.1155/2015/693602.

[28] P. Santi. "Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks",chapter 9 Distributed Topology Control: Design Guidelines. John Wiley and Sons, Ltd, 2005.

[29] M.A. Labrador, P.M. Wightman, "Topology Control in Wireless Sensor Networks",© Springer Science + Business Media B.V. 2009.

[30] Dongsoo Kim, Eric Noel, K. Wendy Tang," WSN Communication Topology Construction with Collision Avoidance and Energy Saving" The 11th Annual IEEE Automation Science and Engineering 2009; vol. 6 no. 4 ,pp.610–25.

[3] K. C. Baumgartner, S. Ferrari, and T. Wettergren, "Robust Deployment of Ocean Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, 2009, vol. 9, no. 9, pp. 1029-1048.

[4] Zhu C, Zheng C, Shu L, Han G. "A survey on coverage and connectivity issues in wireless sensor networks". Journal of Network and Computer Applications 2012;vol. 35, no.2, pp.619–32.

[5] Tan G, Jarvis SA, Kermarrec A-M." Connectivity-guaranteed and obstacle-adaptive deployment schemes for mobile sensor networks". IEEE Transactions on Mobile Computing 2009,vol.8, no.6, pp.836–48.

[6] Wang D, Xie B, Agrawal DP. "Coverage and lifetime optimization of wireless sensor networks with Gaussian distribution". IEEE Transactions on Mobile Computing 2008;vol.7no.12, pp.1444–58.

[7] Shiu L-C, Lee C-Y, Yang C-S. "The divide-and-conquer deployment algorithm based on triangles for wireless sensor networks". IEEE Sensors Journal 2011;vol.11, no.3, pp. 781–90.

[8] Lee C-Y, Yang Chu-Sing. "Distributed energy-efficient topology control algorithm in home M2M networks". International Journal of Distributed Sensor Networks 2012: Volume 2012, Article ID 387192, 8 pages
doi:10.1155/2012/387192.

[9] Ding Y, Wang C, Xiao Li. "An adaptive partitioning scheme for sleep scheduling and topology control in wireless sensor networks". IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 2009;vol.20, no.9,pp.1352–65.

[10] Ma J, Gao M, Zhang Q, Ni LM. "Energy-efficient localized topology control algorithms in IEEE 802.15.4-based sensor networks". IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 2007; vol.18, no.5, pp.711–722.

[11] Sethu H,GeretyT." A new distributed topology control algorithm for wireless environments with non-uniform pathloss and multipath propagation" . AdHoc Networks 2010;vol. 8, no.3, pp.280–294.

[12] S. Rizvi, H. K. Qureshi, S. Ali Khayam, V. Rakocevic, and M. Rajarajan, ―A1: An energy efficient topology Energy Reduction: An Extension of Topology Control for Street Light Scenario International Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (ICEECS-2014) ISBN: 978-3-643-24819-07, Nagpur, 15th June, 2014.

[13] Azrina Abd Aziz, Y. Ahmet S¸ekercio˘glu, Paul Fitzpatrick, and Milosh Ivanovich." A Survey on Distributed Topology Control Techniques for Extending the Lifetime of Battery Powered Wireless Sensor Networks". IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, ACCEPTED FOR PUBLICATION. 1553-877X/12/$25.00 _c 2012 IEEE.

[14] Chao-Yang Lee a, Liang-ChengShiu b, Fu-TianLin a,c, Chu-SingYang ."Distributed topology control algorithm on broadcasting in wireless sensor network". Journal of Network and Computer Applications . 36 (2013) 1186–1195. Elsevier Ltd.

[15] P. Wightman and M. Labrador, "Atarraya: a simulation tool to teach and research topology control algorithms for wireless sensor networks," ICST 2nd Int. Conf. on Simulation Tools and Techniques, Feb. 2009.

[16] Pedro M. Wightman1 and Miguel A. Labrador, "Topology Maintenance: Extending the Lifetime of Wireless Sensor Networks" , 978-1-4244-4388-8/09/$25.00 ©2009 IEEE.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.2 Summer 2017

CCNC - Smart Spaces and Wireless Networks ,978-1-4799-2355-7©2014IEEE.

[31] Hosseinpoor M, Parvin H. Using a Subset of Primary Clusters to Construct a Consensus Partitioning. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2016; 13 (2) :163-184.

[32] Razmjoo Ghalae S, Ghazvini M. Improving Channel Access in WLANs by Dynamic Tuning of Contention Window and Transmission Opportunity. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2016; 13 (2) :29-60.

زیرنویس‌ها

[1] Energy aware - Connected Dominating Set
[2] Dynamic Global Topology Recreation
[3] Energy Efficient Connected Dominating Set
[4] Connected Dominating Set under Rule K
[5] Topology Control
[6] Wireless Sensor Network
[7] Flat
[8] Hierarchical
[9] Clustered
[10] Homogeneous
[11] Non-homogenous
[12] Distributed energy-efficient topology control
[13] Machine-to-machine
[14] Connectivity based Partition Approach
[15] Step Topology Control
[16] Connected Dominating Set
[17] Transmission Range
[18] Gabriel Graph
[19] K Neighbor
[20] By the date of submission the authors have not yet been able to agree on the meaning of the letter "X" in "XTC". The candidate list comprisesterms such as "exotic", "extreme", "exceptional", or "exemplary", but also "extravagant" or even "extraterrestrial". Consensus has however been achieved concerning the pronunciation of the algorithm name.X Topology Control
[21] Hybrid Energy-Efficient Distributed clustering
[22] Dynamic Global Topology Recreation
[23] Static Global Topology Rotation
[24] Hybrid Global Topology Rotation and Recreation
[25] Dynamic Local DSR-based TM
[26] Dynamic Source Routing
[27] Received Signal Strength Indicator
[28] Weight Interference
[29] Weight Energy
[30] Weight Distance
[31] Critical Transmission Range

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.2.3.6]