

## NDB<sup>k</sup>TC: کنترل توپولوژی و مصرف انرژی در شبکه‌های موبایل ادهاک توسط اتصال k-یال مبتنی بر چگالی گره‌ها

محسن حیدریان<sup>۱</sup>، ناصر اکبری<sup>۲</sup>

۱استادیار دانشکده فناوری اطلاعات و مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، heydarian@azaruniv.ac.ir

۲کارشناسی ارشد فناوری اطلاعات، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۰

### چکیده

در شبکه‌های اقتصادی متحرک، Mobile Ad hoc Network (MANET)، گره‌های شبکه متحرک هستند و در نتیجه توپولوژی شبکه بسیار متغیر و غیرقابل پیش‌بینی است. لذا در این شبکه‌ها به الگوریتم‌های کنترل توپولوژی بصورت پویا بسیار احساس نیاز می‌شود؛ زیرا عدم کنترل مناسب توپولوژی باعث می‌شود کارایی شبکه، مصرف انرژی در گره‌ها و اتصال‌پذیری شبکه در وضعیت نامطلوبی قرار گیرند. یک توپولوژی شبکه k-edge connected است اگر با حذف هر k-1 یال دلخواه، شبکه اتصال‌پذیری خود را حفظ کند. ما در این مقاله به مطالعه استراتژی‌های کنترل توپولوژی در شبکه‌های MANET می‌پردازیم که مبتنی بر مفهوم k-edge connectivity هستند. ایده اصلی ما در این تحقیق، افزایش کارایی شبکه، کاهش مصرف انرژی در گره‌ها و حفظ اتصال‌پذیری شبکه بر اساس مفهوم چگالی گره در شبکه است. ایده جدید، مفهوم چگالی گره را بر اساس یک رابطه جدید محاسبه می‌کند که شامل فاکتورهای ذیل است: سرعت نسبی گره‌ها، فاصله گره‌ها، تعداد گره‌ها و شعاع ارسالی گره‌ها. این رابطه تعریف‌های قبلی چگالی گره را بهبود می‌بخشد. همچنین این اولین باری است که از مفهوم چگالی گره بصورت پویا و در مبحث کنترل توپولوژی محلی استفاده می‌شود. ما نشان می‌دهیم که روش جدید ما نسبت به روش‌ها موجود، معیارهای کارایی شبکه را بهبود می‌بخشد. به ویژه روش جدید می‌تواند کارایی الگوریتم‌های مسیریابی چندپراکنی را افزایش دهد.

### کلید واژه

کنترل توپولوژی محلی، k-edge connectivity چگالی گره، شبکه‌های MANET، مصرف کمینه انرژی.

### مقدمه

انرژی و ایجاد کم‌ترین تداخل بین گره‌ها حفظ کند. لذا در شبکه‌های MANET برای حفظ اتصال‌پذیری شبکه و انجام انتقال داده‌ها، مثلاً بصورت همه‌پراکنی، از کنترل توپولوژی استفاده می‌شود. هدف، حفظ اتصال‌پذیری با هزینه‌های انرژی متوسط و تداخل پایین بین گره‌ها است [۳] و [۴]. نسخه‌های محلی الگوریتم‌های کنترل توپولوژی نظارت گره مرکزی را حذف کرده هزینه‌ها را کاهش می‌دهند. لذا این الگوریتم‌ها در شبکه‌های MANET، مورد توجه قرار گرفته‌اند.

دسته‌ای از الگوریتم‌های کنترل توپولوژی موجود، اتصال توسط یک یال را تضمین می‌کنند؛ بدین معنی که، با قطع شدن فقط یک یال، ممکن است اتصال‌پذیری شبکه از بین برود. پس این الگوریتم‌ها برای MANET‌ها عملی نیستند. از این الگوریتم‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: درخت پوشای کمینه محلی [۵]، گراف همسایگی نسبی، RNG، [۶] و درخت محلی کوتاه‌ترین

در شبکه‌های کامپیوتری، همبستگی اعضای شبکه یعنی گره‌ها، لینک‌ها و غیره را توپولوژی شبکه می‌نامند که ترتیب اتصال و ارتباط بین آن‌ها را تعیین می‌کند [۱]. در شبکه‌های اقتصادی متحرک، گره‌ها همیشه در حال حرکت هستند. با حرکت گره‌ها بعضی از لینک‌های موجود بین آن‌ها حذف شده و بعضی لینک‌های جدید تشکیل می‌شوند؛ به عبارت دیگر، توپولوژی شبکه تغییر می‌کند. یک شبکه را متصل گویند اگر و تنها اگر بین هر دو گره دلخواه از آن حداقل یک مسیر وجود داشته باشد [۲]. پس با تغییر توپولوژی، ممکن است شبکه اتصال‌پذیری خود را از دست بدهد و منفصل شود که در این صورت به چند زیر توپولوژی کوچک‌تر و منفصل تقسیم می‌شود. پس باید تدبیری اندیشید تا اتصال‌پذیری شبکه حفظ شود و شبکه کارایی لازم را داشته باشد. شبکه‌ای کارا است که اتصال‌پذیری خود را با صرف کم‌ترین میزان

## کارهای انجام شده و نقاط ضعف آنها

درخت پوشای کمینه، MST، و RNG [۶] رویکردهایی هستند که بیشتر الگوریتم‌های کنترل توپولوژی در شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم مبتنی بر آنها می‌باشند [۱۰]. هدف MST یافتن درختی در گراف داده‌شده است طوری که همه رأس‌های گراف را شامل بوده و دارای کم‌ترین مجموع وزن یال‌ها باشد. Li و همکارانش در [۵] الگوریتمی مبتنی بر MST با نام LMST معرفی کرده‌اند. در حقیقت LMST نسخه محلی MST می‌باشد که در آن ابتدا هر گره با استفاده از حد اکثر قدرت ارسالی، یک پیام "hello" شامل ID و محل کنونی خود ارسال می‌کند. توجه داشته باشید که هر گره با استفاده از GPS محل کنونی خود را می‌داند. سپس، هر گره با استفاده از اطلاعات دریافتی، گراف محلی خود را تشکیل داده و درخت پوشای کمینه را با بکارگیری الگوریتم Prim [۱۱] محاسبه می‌کند. گره‌هایی از این درخت که در فاصله یک گامی گره قرار دارند، به‌عنوان همسایه‌های گره مفروض نگه داشته می‌شوند. همچنین Li و همکارانش در [۱۲] الگوریتمی با نام درخت پوشای کمینه محلی-k (LMST<sub>k</sub>) معرفی کرده و مدعی شده‌اند که درجه گره‌ها حد اکثر ۶ می‌باشد؛ این می‌تواند مجادله و تداخل را در سطح MAC کاهش دهد.

هدف الگوریتم RNG معرفی شده در [۶] توسط Toussaint حذف یال‌های اضافه است. یال (u,v) اضافه است اگر گرهی مانند w وجود داشته باشد بطوریکه وزن هر یک از یال‌های (w,u) و (w,v) کمتر از وزن یال (u,v) باشد. آقای Cartigny و همکارانش در [۱۳] نشان داده‌اند که در یک گراف، توپولوژی بدست‌آمده از LMST زیرگرافی از توپولوژی حاصل از RNG است. با هدف ارائه یک الگوریتم تلفیقی، Li و همکارانش در [۱۲] ساختاری با کم‌ترین وزن با نام گراف ضمنی MST و RNG، IMRG، معرفی کرده‌اند که از هر دو مورد MST و RNG استفاده می‌کند.

به عنوان تلفیقی دیگر از MST و RNG دو الگوریتم پروتکل همه‌پراکنی گرای مبتنی بر RBOP، RNG، و پروتکل همه‌پراکنی گرای مبتنی بر LMST، LBOP، در [۱۴] معرفی شده‌اند. در این الگوریتم‌ها همه‌پراکنی در گره مبدأ آغاز شده و با پیروی از قانون حذف همسایه‌ها، بر روی توپولوژی حاصل از RNG و LMST پخش می‌شود.

یکی دیگر از الگوریتم‌های درخت پوشا برای کنترل توپولوژی، درخت کوتاه‌ترین مسیر (SPT) می‌باشد. بر این اساس Rodoplug Meng در [۱۵] الگوریتمی بر این اساس ارائه داده‌است. در این الگوریتم یالی مانند (u,v) اضافه در نظر گرفته می‌شود اگر بین رئوس u و v مسیری با طول ۲ گام مثل [u,w,v] وجود داشته باشد طوری که:

$$\text{Weight} \{(u,w) + (w,v)\} < \text{Weight} \{(u,v)\}$$

با هدف بهبود رابطه فوق، Li و Halpern در [۷] الگوریتم فوق را

مسیر [۷] برای MANET‌ها الگوریتم‌های کنترل توپولوژی قابل اعتمادی از جمله زیرگراف پوشای محلی با تحمل خطا، FLSS [۸] توپولوژی محلی قابل اعتماد مبتنی بر درخت، LTRT [۹]، معرفی شده‌اند. الگوریتم‌های نامبرده می‌توانند اتصال توسط k-یال، k-edge connectivity، را فراهم کنند. اتصال توسط k-یال بدین معنی است که با حذف k-1 یال دلخواه، شبکه اتصال‌پذیری خود را از دست ندهد [۲]. ایراد این الگوریتم‌ها این است که برای کل شبکه از یک k، به منظور ایجاد افزونگی، استفاده می‌کنند. اما به دلیل متفاوت بودن سرعت حرکت گره‌ها در بخش‌های مختلف شبکه، ممکن است یک افزونگی غیرضروری در توپولوژی ایجاد شود؛ به عبارت دیگر، در بخش‌هایی از شبکه که سرعت حرکت گره‌ها پایین است، k بزرگ ممکن است نیاز نباشد.

هرچه مقدار k برای یک گره بزرگ‌تر باشد، بدین معنی است که آن گره باید با تعداد زیادی از گره‌های دیگر به صورت مستقیم ارتباط داشته باشد؛ و در نتیجه، مصرف انرژی و تداخل افزایش پیدا می‌کند. پس، هرچه مقدار k کوچک‌تر باشد، بهتر است. لذا یافتن یک k کوچکتر برای یک گره خود یک چالش محسوب می‌شود. برای حل مشکل گفته شده در الگوریتم‌های بالا، در [۱۰] روشی پویا با نام DLTRT جهت محاسبه k پیشنهاد شده است. مولفان [۱۰] بمنظور محاسبه k مناسب برای هر بخش از شبکه بصورت پویا، از سرعت حرکت گره‌ها و قانون احتمال استفاده کرده‌اند. روش مذکور در محاسبات خود، بدترین شرایط را در نظر می‌گیرد؛ بدین معنی که، فرض می‌کند همه گره‌های موجود در یک بخش از شبکه با بیش‌ترین سرعت موجود در آن بخش، حرکت می‌کنند. به عقیده نگارنده مقاله، همیشه التزام به استفاده از بدترین شرایط لازم نیست و می‌توان از شرایط واقعی موجود، بیش‌ترین بهره را برد. ایده این مقاله برای عملی کردن بیش‌ترین بهره، استفاده از مفهوم چگالی گره است که این تحقیق آن را برای اولین بار در مبحث کنترل توپولوژی محلی مطرح می‌کند. این مقاله یک فرمول جدید برای محاسبه چگالی گره ارائه می‌دهد که تعریف و کاربرد چگالی گره در زمینه شبکه‌های متحرک را بهبود می‌بخشد.

بخش‌های بعدی مقاله به صورت زیر سازماندهی شده‌است. ابتدا بعضی از کارهای انجام شده در زمینه الگوریتم‌های کنترل توپولوژی محلی در بخش ۲ ارائه شده و نقاط ضعف آنها بیان می‌شود. سپس بخش ۳ بطور خلاصه به معرفی الگوریتم DLTRT می‌پردازد. در بخش ۴ روش جدید مبتنی بر چگالی گره را تشریح می‌شود. نتایج عددی پیاده‌سازی و مقایسه‌ها در بخش ۵ نشان داده می‌شوند. بخش ۶ افزایش کارایی الگوریتم‌های مسیریابی توسط Node Density Based k-edge connected Topology Control (NDB<sup>k</sup>TC) را نشان می‌دهد. نتیجه‌گیری مقاله در بخش ۷ انجام شده و در نهایت در بخش ۸ تحقیقات و کارهای آینده بیان می‌شود.

با توجه به این موضوع Rigat Azzeddine و همکارانش در [۲۰] الگوریتمی با نام SFL معرفی کرده‌اند. آن‌ها الگوریتم LTRT را طوری تغییر داده‌اند که اتصال توسط  $k$ -یال را به جای  $k+1$  بار همه‌پراکنی، تنها با ۲ بار همه‌پراکنی، تضمین می‌کند. در نتیجه پیچیدگی SFL کمتر از LTRT می‌باشد (جدول ۱ را ببینید).

جدول ۱. پیچیدگی زمانی الگوریتم‌ها

الگوریتم	پیچیدگی
LMST	$O(m+n \log n)$
RNG	$O(n \log n)$
LSPT	$O(m+n \log n)$
FLSS	$O(m(m+n))$
LTRT	$O(k(m+n \log n))$
SFL	$O(2(m+n \log n))$

### الگوریتم DLTRT

طبق تحقیقات H. Nishiyama و همکارانش در [۱۰]، الگوریتمی با نام الگوریتم LTRT پویا، DLTRT، ارائه شده است. اساس این الگوریتم، مفهوم اتصال توسط  $k$ -یال و توجه به واقعیت متفاوت بودن سرعت حرکت گره‌ها در بخش‌های مختلف شبکه است. در این روش سه احتمال  $\rho$ ،  $\rho_{global}$  و  $\rho_{local}$  محاسبه می‌شود. این احتمالات به ترتیب معادل احتمال خارج شدن گرهی از محدوده گرهی دیگر، احتمال غیر متصل شدن شبکه و احتمال از دست رفتن همه لینک‌های مستقیم یک گره می‌باشند. یک شبکه غیرمتصل است اگر و تنها اگر در کل شبکه حداقل یک گره وجود داشته باشد طوری که همه لینک‌های متصل به همسایه‌هایش را از دست داده‌باشد. برای محاسبه  $k$  از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\rho^k \leq \rho_{local} \quad (1)$$

کوچک‌ترین مقدار  $k$  ای که نامساوی بالا را ارضاء کند، به عنوان  $k$  مناسب برای گره در نظر گرفته می‌شود.

در ابتدای کار، هر گره به‌صورت دوره‌ای یک پیام "hello" شامل ID گره، مکان کنونی گره، و سرعت کنونی گره را به حداقل گره محدوده ارسالی خود، به صورت همه‌پراکنی، می‌فرستد. سپس گره  $u$  با جمع‌آوری پیام‌های مشابه دریافتی از گره‌های همسایه، گراف محلی خود را می‌سازد.

حال فرض می‌شود که همه گره‌های همسایه گره  $u$  با حداقل سرعت،  $v_{max}$ ، حرکت می‌کنند. پس  $t$  حداکثر فاصله‌ای که گره  $v$  می‌تواند در مدت زمان  $\Delta t$  ثانیه حرکت کند، برابر خواهد بود با  $r=2*v_{max}*\Delta t$  (شکل ۱ را ببینید). اگر محدوده ارسالی گره  $u$  را با  $R$  نشان دهیم، طبق [۵] احتمال خارج شدن گره  $v$  از محدوده پوششی گره  $u$  بعد از  $\Delta t$  ثانیه،  $\rho$ ، با توجه به رابطه  $r$  و  $R$  از یکی

با استفاده از الگوریتم دایجکسترا [۱۶] از  $k$  گام به  $k$  گام توسعه داده‌اند.

الگوریتم‌هایی که تا حالا معرفی شدند، اگرچه ساده بوده در شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم، عملی هستند، ولی توپولوژی حاصل از آن‌ها متصل توسط ۱ یال است (1-connected)؛ یعنی، با حذف فقط یک یال ممکن است شبکه اتصال‌پذیری خود را از دست بدهد. بنابراین در مطالعات بعدی محققین روی استراتژی‌هایی با تحمل‌پذیری خطا تمرکز شده‌اند. در اینجا منظور از خطا، از بین رفتن بعضی از لینک‌های موجود در شبکه است که ممکن است اتصال‌پذیری شبکه را از بین ببرد.

محققین برای افزودن قابلیت تحمل‌پذیری خطا به الگوریتم‌های کنترل توپولوژی، از مفهوم  $k$ -edge connectivity استفاده می‌کنند. هدف  $k$ -edge connectivity این است که اتصال‌پذیری شبکه با گذشت زمان و با احتمال از بین رفتن بعضی از لینک‌های شبکه، تضمین شود.

در همین راستا، Bahramgiri و همکارانش در [۱۷] الگوریتمی با نام  $CBTC(\alpha)$  برای تضمین اتصال توسط  $k$ -یال معرفی کردند. اساس این الگوریتم، کنترل توپولوژی مبتنی بر مخروط، CBTC، معرفی شده توسط Li و دیگران در [۱۸] است. هدف از الگوریتم فوق، محاسبه حداکثر قدرت انتقال (ارسال) برای گره دلخواهی مانند  $u$  است بطوریکه در یک مخروط با زاویه  $\alpha$  در محدوده ارسالی گره  $u$  حداقل یک گره وجود داشته باشد. آن‌ها ثابت کرده‌اند که اگر  $\alpha < 2\pi/3k$  باشد، الگوریتم فوق اتصال  $k$ -connected را تضمین می‌کند. همچنین Li و Hou در [۸] الگوریتم FLSS را معرفی کرده‌اند. ایده آنها اضافه کردن یالی با کوچک‌ترین وزن به مجموعه‌ای از یال‌ها می‌باشد، تا زمانیکه اتصال توسط  $k$ -یال تضمین شود. ایراد FLSS پیچیدگی بالای آن است (جدول ۱ مشاهده شود).

الگوریتم LTRT در [۹] توسط Miyao و همکارانش معرفی شده است. الگوریتم LTRT نسخه محلی الگوریتم توپولوژی قابل اعتماد مبتنی بر درخت، TRT، پیشنهاد شده توسط Ansari و دیگران در [۱۹] می‌باشد. پیچیدگی LTRT،  $O(k(m+n \log n))$  بوده (جدول ۱ مشاهده شود) و از نظر عملی بودن بهتر از FLSS است. ایراد LTRT این است که برای تضمین اتصال توسط  $k$ -یال، برای کل شبکه از  $k$  ثابت و یکسان استفاده می‌کند. در نتیجه یک مصرف انرژی غیرضروری در بخش‌هایی از شبکه که سرعت حرکت گره‌ها پایین است، ایجاد می‌شود.

برای رفع این ایراد، اخیراً H. Nishiyama و همکارانش در [۱۰] الگوریتم DLTRT را که نسخه پویای LTRT است، معرفی کرده‌اند. در این الگوریتم با توجه به سرعت حرکت گره‌ها در هر بخش از شبکه، و احتمال خارج شدن گرهی از محدوده گره مبدأ بعد از یک زمان خاص،  $k$  مناسب آن بخش محاسبه می‌شود.

می‌شود. بعلاوه، به جای استفاده از LTRT بعنوان الگوریتم متصل توسط k-یال، از الگوریتم SFL [۲۰] استفاده می‌شود، زیرا از پیچیدگی پایین تری برخوردار است.

### چگالی گره: تعریف و کاربرد

قبل از شرح الگوریتم پیشنهادی به بررسی مفهوم چگالی گره و نحوه محاسبه آن می‌پردازیم. تحقیقاتی که از مفهوم چگالی گره در شبکه‌ها استفاده کرده‌اند، مانند [۲۱] و [۲۲]، چگالی یک گره را

به صورت  $\frac{n}{N}$  و یا چگالی شبکه را به صورت  $\frac{N\pi R^2}{A}$  تعریف کرده‌اند. در این تعاریف n تعداد همسایه‌های گره، N تعداد کل

گره‌های شبکه، R میانگین شعاع گره‌ها در شبکه، و A مساحت شبکه می‌باشد. در این روش‌ها دو ایراد وجود دارد:

روش‌هایی که از فرمول‌های مذکور برای محاسبه چگالی استفاده کرده‌اند، چگالی را یک عدد ثابت در نظر گرفته و از آن بصورت سراسری استفاده می‌کنند. در حالیکه همانند سرعت حرکت گره‌ها، چگالی گره نیز در بخش‌های مختلف شبکه مقدار یکسانی ندارد.

در این تعاریف به فاصله و سرعت نسبی گره‌های متحرک توجه نشده است. در حالیکه این دو مورد نقش مهمی را در پایداری توپولوژی محلی گره ایفا می‌کنند.

در این مقاله برای اولین بار از مفهوم چگالی گره به صورت پویا (شامل حرکت گره‌ها و فاصله بین گره‌ها) در مبحث کنترل توپولوژی محلی استفاده می‌شود که قبل از این در هیچ روشی به این شیوه استفاده نشده است و دو ایرادی که در بالا به آن‌ها اشاره شده رفع خواهد شد. بدین ترتیب که اولاً، چگالی گره بصورت محلی برای هر گره محاسبه می‌شود و این محاسبه چگالی، بصورت پویا صورت می‌پذیرد. پویا بودن در اینجا بدین معنی است که در هر مرحله از بروزرسانی توپولوژی، چگالی هر گره با توجه به شرایط و اطلاعات جدید محاسبه می‌شود. دوماً، فرمول جدیدی برای محاسبه چگالی گره ارائه می‌شود که در آن به همه موارد تاثیرگذار بر چگالی گره و پایداری توپولوژی توجه خواهد شد.

فرمول پیشنهادی از فاکتورهای ذیل برای محاسبه چگالی گره استفاده می‌کند: (۱) تعداد همسایه‌های گره، (۲) فاصله گره‌های همسایه از گره مفروض، (۳) سرعت نسبی گره‌های همسایه نسبت به گره مفروض، و (۴) شعاع ارسالی گره. رابطه چگالی گره با تعداد همسایه‌های آن رابطه‌ای مستقیم است؛ یعنی، هرچه تعداد همسایه‌های یک گره بیشتر باشد، چگالی آن گره بیشتر است. چگالی گره با فاصله و سرعت نسبی همسایه‌ها نسبت به گره و نیز شعاع ارسالی گره، رابطه‌ای معکوس دارد؛ بدین معنی که، اگر گره، همسایه‌های خود را با استفاده از شعاع ارسالی کم‌تری پوشش داده باشد، و فاصله و سرعت این همسایه‌ها نسبت به گره کم‌تر باشد،

از روابط زیر بدست می‌آید:

$$0 < r < R$$

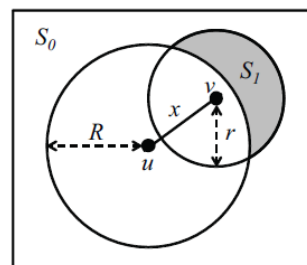
$$\rho = \int_{R-r}^R \frac{2xS_1}{S_0r^2} dx, \quad (2)$$

اگر  $R \leq r < 2R$ :

$$\rho = \frac{\pi(r+R)}{S_0r^2}(r-R)^3 - \int_{r-R}^R \frac{2xS_1}{S_0r^2} dx, \quad (3)$$

اگر  $r \geq 2R$ :

$$\rho = \frac{\pi(r^2 - R^2)R^2}{S_0r^2}. \quad (4)$$

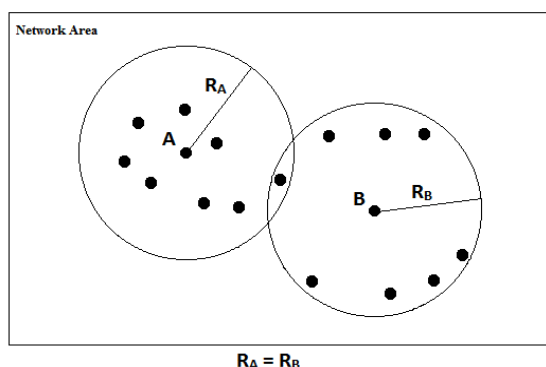


شکل ۱. محاسبه احتمال خارج شدن گره v از محدوده پوششی گره u بعد از  $\Delta t$  ثانیه [۱۰].

### روش پیشنهادی جدید بر اساس چگالی گره

در بخش قبل به معرفی الگوریتم DLTRT پرداختیم. با این که این الگوریتم ضعف‌های الگوریتم‌های قبلی را برطرف می‌کند، اما خودش ضعف دیگری دارد. مؤلفان DLTRT در محاسبات خود از بدترین حالت استفاده می‌کنند؛ یعنی، فرض می‌کنند همه گره‌های موجود در یک بخش از شبکه با بیش‌ترین سرعت موجود در آن بخش، در حال حرکت هستند. اما به عقیده نگارنده مقاله می‌توان شرایط واقعی تری از محیط اطراف گره را مورد استفاده قرار داده و کارایی شبکه را بیشتر افزایش داد.

برای محقق ساختن هدف مذکور، از مفهوم چگالی گره در شبکه استفاده می‌شود. روش جدید برای محاسبه k از استدلال‌های [۱۰] استفاده می‌کند، با این تفاوت که در اینجا مراحل محاسبه و همه‌پراکنی چگالی به الگوریتم پیشنهاد شده اضافه می‌شود. در حقیقت استفاده از مفهوم چگالی، ایده اصلی و نوآوری در این مقاله می‌باشد. در حقیقت ایده استفاده از چگالی این است که در بخش‌های چگال‌تر شبکه، توپولوژی پایدارتر می‌باشد. در نتیجه، گره‌ها می‌توانند مصرف انرژی را با کاهش شعاع ارسالی خود، کاهش دهند. برای این کار یک فرمول جدید برای محاسبه چگالی گره ارائه می‌شود، که در ادامه این بخش به بررسی آن پرداخته



شکل ۲. دو گره متحرک با شعاع ارسالی و تعداد همسایه‌های برابر اما چگالی متفاوت

- فرایند ۱:** کنترل توپولوژی پویا مبتنی بر چگالی در هر گره
- ۱: آغاز حلقه
  - ۲: سرعت کنونی را محاسبه کن.
  - ۳: یک پیام "hello" را همه‌پراکنی کن.
  - ۴: گراف محلی را همانند شکل ۳ تشکیل بده.
  - ۵:  $\rho$  را بر اساس گراف محلی و با استفاده از یکی از فرمول‌های (۲) تا (۴) محاسبه کن.
  - ۶: مقدار بهینه  $k$  را با استفاده از فرمول (۱) محاسبه کن.
  - ۷: چگالی را با استفاده از فرمول (۵) محاسبه کن.
  - ۸: چگالی و  $k$  را داخل یک پیام، همه‌پراکنی کن.
  - ۹: نزدیک‌ترین گره همسایه از لحاظ چگالی را انتخاب کن.
  - ۱۰: اگر  $k_i$  گره انتخاب شده از  $k_i$  محاسبه شده کوچک‌تر باشد،  $k_i$  گره انتخاب شده را بعنوان  $k_i$  جدید جایگزین کن.
  - ۱۱: یک الگوریتم متصل توسط  $k$ -یال را اجرا کن.
  - ۱۲: شعاع ارسالی تعیین شده را در طول بازه روزرسانی توپولوژی حفظ کن.
  - ۱۳: پایان حلقه

**مراحل ۱ الی ۶:** در روش جدید ابتدا هر گره یک پیام "hello" را بصورت همه‌پراکنی به حداکثر برد ارسالی می‌فرستد. این پیام شامل ID، مکان کنونی، سرعت کنونی و جهت حرکت گره می‌باشد. وقتی گره‌ی  $u$  مانند گره  $u$  اطلاعات ارسالی گره‌های دیگر را دریافت کرد، گراف محلی خود را همانند شکل ۳ ایجاد می‌کند. بدین ترتیب که رئوس گراف متشکل از گره  $u$  و گره‌های همسایه‌ای است که اطلاعات آن‌ها به گره  $u$  رسیده است. بین هر دو رأس موجود در گراف حاصل، یالی وجود دارد که طول آن برابر فاصله اقلیدسی رئوس دو سر آن می‌باشد. این فاصله را می‌توان با استفاده از اطلاعات مربوط به مکان هر یک از گره‌ها محاسبه کرد. تابع وزن مورد استفاده برای وزن‌دهی یال‌ها در بخش پیوست قرار داده شده است. فرض ما بر این است که هر گره برای آگاهی از اطلاعات مکانی خود مجهز به GPS می‌باشد.

چگالی گره بیش‌تر خواهد بود.

بر اساس تحلیل بالا، ما فرمول جدید زیر را برای محاسبه چگالی گره پیشنهاد می‌کنیم:

$$D_u = \frac{n_u^2}{(N-1) \sum_{i=1}^{n_u} (x_{iu} + v_{iu})} \cdot \left( \frac{R_{\max} - R_u}{R_{\max}} \right)^2 \quad (5)$$

که در آن  $n_u$  تعداد همسایه‌های گره  $u$ ،  $N$  تعداد کل گره‌های شبکه،  $x_{iu}$  فاصله گره  $i$  از گره  $u$  و  $v_{iu}$  سرعت نسبی گره  $i$  نسبت به گره  $u$  است. همچنین  $R_u$  شعاع ارسالی گره  $u$  و  $R_{\max}$  حداکثر شعاع ارسالی می‌باشد. همانطور که از فرمول (۵) می‌توان دید، هرچه تعداد همسایه‌های گره بیشتر باشد، سرعت نسبی و فاصله همسایه‌ها نسبت به گره پایین‌تر باشد، و شعاع ارسالی گره نسبت به شعاع ارسالی ماکزیمم، کمتر باشد، چگالی گره افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، بیشترین چگالی گره زمانی است که همه گره‌های شبکه در محدوده ارسالی گره مورد نظر بوده و سرعت نسبی آن‌ها نسبت به گره، صفر باشد، و نیز شعاع ارسالی گره در پایین‌ترین حد ممکن قرار داشته باشد.

حال فرض می‌کنیم دو گره  $A$  و  $B$  بصورت شکل ۲ در شبکه وجود داشته باشند. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تعداد همسایه‌های هر دو گره برابر هستند. فرض می‌شود شعاع ارسالی گره‌های  $A$  و  $B$  برابر بوده و میانگین سرعت حرکت گره‌های همسایه گره  $B$  بیشتر از همسایه‌های گره  $A$  باشد. اگر چگالی گره  $A$  فقط با توجه به تعداد همسایه‌ها محاسبه کنیم، چگالی  $B$  و  $A$  برابر خواهد بود، در حالیکه این از نظر منطقی درست نیست؛ زیرا معلوم است که توپولوژی محلی گره  $B$  بعلاوه بالا بودن فاصله و سرعت بالای حرکت گره‌های همسایه، خیلی ناپایدارتر از توپولوژی محلی گره  $A$  می‌باشد.

پس ما با ارائه فرمول جدید، فرمول (۵)، تعریف چگالی گره در شبکه‌های متحرک را تغییر داده و آن را بهبود بخشیده‌ایم. در ادامه به بررسی فرایند روش پیشنهادی جدید و الگوریتم آن می‌پردازیم.

## الگوریتم و گام‌های روش جدید

الگوریتم روش پیشنهادی جدید بصورت فرایند ۱ می‌باشد که در ادامه تشریح خواهد شد.

روی یک لپ تاپ با مشخصات Core i5, 4,500,1 و طبق پارامترهای جدول ۲ انجام می‌شود. در این شبیه سازی محاسبه مقادیر احتمال و انتگرال نیز الزامی است که توسط نرم افزار Matlab بهتر انجام می شود تا نرم افزارهای شبیه سازی دیگر مانند NS2. طبق [۱۰] برای شروع کار، چون نرخ اتصال پذیری مورد نیاز را ۸۰٪ در نظر گرفتیم،  $\rho_{local} = 0.0022$  قرار می‌دهیم.

جدول ۲. پارامترهای شبیه‌سازی و مقادیر آنها

پارامتر	مقدار
ابعاد محیط	۱۰۰۰*۱۰۰۰ (متر)
حداکثر محدوده ارسالی	۲۵۰ متر
تعداد گره‌ها	۱۰۰
بازه بروزرسانی توپولوژی	۱۰ ثانیه
میانگین سرعت حرکت گره‌ها	۰ الی ۲۵ (m/s)
نرخ اتصال پذیری مورد نیاز	۸۰٪

تعداد ۱۰۰ گره بصورت تصادفی و یکنواخت در یک محدوده با ابعاد ۱۰۰۰\*۱۰۰۰ متر مربع قرار داده می‌شوند. حداکثر شعاع ارسالی گره‌های شبکه ۲۵۰ متر می‌باشد. هر یک از گره‌ها می‌توانند با سرعتی بین ۰ الی ۲۵ متر بر ثانیه و در جهتی دلخواه حرکت کنند. نرخ اتصال پذیری مورد نیاز را ۸۰٪ در نظر گرفته‌ایم. بازه بروزرسانی توپولوژی برای همه گره‌ها به ۱۰ ثانیه تنظیم شده است؛ یعنی، هر گره بعد از گذشت ۱۰ ثانیه از توپولوژی قبلی، توپولوژی خود را بروزرسانی می‌کند. برای حرکت گره‌ها از مدل حرکتی Random way point [۲۳] استفاده کرده‌ایم. در ادامه نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود.

### مقایسه نرخ اتصال پذیری

دو گره را متصل گویند اگر بین آنها حداقل یک مسیر وجود داشته باشد. یک شبکه متصل است اگر و تنها اگر هر دو گره دلخواه از آن شبکه، متصل باشند [۲]. طبق این تعریف، برای محاسبه نرخ اتصال پذیری شبکه از فرمول زیر استفاده می‌شود [۱۰] با این فرض که N تعداد گره‌های موجود در شبکه می‌باشد.

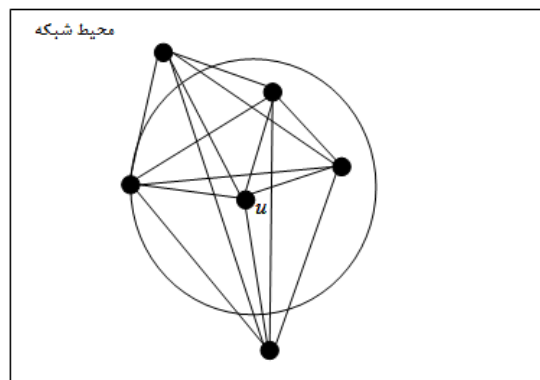
$$C = \frac{\sum_{u,v \in N} c_{uv}}{|N|(|N|-1)} \quad (6)$$

که در آن

$$c_{uv} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } u \neq v \text{ و } u \text{ و } v \text{ متصل باشند} \\ 0 & \text{وگرنه} \end{cases}$$

احتمال  $\rho$  و مقدار k با روش گفته شده در بخش ۳، محاسبه می‌شود.

می‌توان با استفاده از اطلاعات مربوط به مکان هر یک از گره‌ها محاسبه کرد. تابع وزن مورد استفاده برای وزندهی یال‌ها در بخش پیوست قرار داده شده است. فرض ما بر این است که هر گره برای آگاهی از اطلاعات مکانی خود مجهز به GPS می‌باشد. احتمال  $\rho$  و مقدار k با روش گفته شده در بخش ۳، محاسبه می‌شود.



شکل ۳. گراف محلی گره u

**مراحل ۷ الی ۱۰:** هر گره، چگالی خود را با استفاده از فرمول (۵) محاسبه کرده و آن را به همراه k محاسبه شده‌اش، به حداکثر محدوده ارسالی همه‌پراکنی می‌کند. گره u با دریافت این اطلاعات از گره‌های همسایه، چگالی خود را با چگالی آن‌ها مقایسه کرده و نزدیک‌ترین همسایه از لحاظ چگالی را انتخاب می‌کند. اگر k آن گره همسایه کوچک تر بود، k آن را بعنوان k جدید جایگزین می‌کند. اکنون با استفاده از k بدست آمده، یک الگوریتم متصل توسط k-یال بمنظور تعیین شعاع ارسالی جدید اجرا می‌شود. در فرایند پیشنهاد شده می‌توان از هر الگوریتم متصل توسط k-یال استفاده کرد. ما در اینجا بدلیل پایین بودن پیچیدگی الگوریتم SFL [۲۰] (جدول ۱ را ببینید) را بکار می‌گیریم. بعد از اجرای الگوریتم فوق، هر گره شعاع ارسالی تعیین شده را تا شروع فرایند بروزرسانی توپولوژی بعدی حفظ می‌کند. در اینجا منظور از بروزرسانی توپولوژی، یک بار اجرای کامل فرایند ۱ می‌باشد.

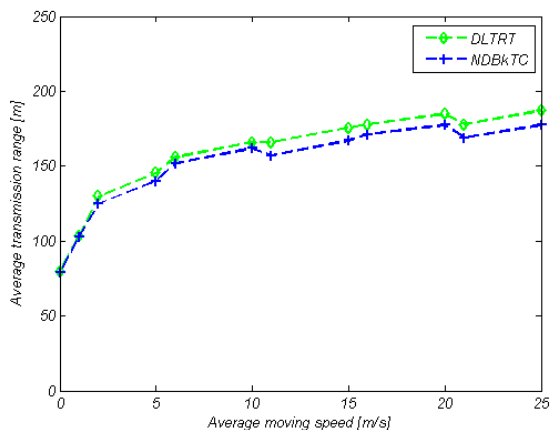
### مقایسه: محاسبات شبیه‌سازی‌ها و نتایج عددی

در این بخش روش جدید طبق فرایند ۱ که در بخش قبل معرفی شد، شبیه‌سازی می‌شود. سپس با استفاده از نتایج بدست آمده، روش پیشنهادی، یعنی NDB<sup>k</sup>TC با DLTRT معرفی شده در [۱۰] مقایسه می‌شود. معیارهای مقایسه عبارتند از: نرخ اتصال پذیری، میانگین شعاع ارسالی و درجه گره.

شبیه‌سازی مورد نظر در مقاله در محیط Matlab R2012a و بر

### مقایسه میانگین شعاع ارسالی

همانطور که قبلاً گفتیم با کاهش مقدار  $k$  در روش جدید، شعاع ارسالی تعیین شده برای گره‌ها کاهش می‌یابد. شکل ۶ میانگین شعاع ارسالی در DLTRT و NDB<sup>k</sup>TC را نشان می‌دهد.



شکل ۶. میانگین شعاع ارسالی روش پیشنهادی در مقایسه با DLTRT

در شکل ۶ می‌توانید مشاهده کنید که با افزایش میانگین سرعت حرکت گره‌ها، اختلاف شعاع ارسالی بین DLTRT و NDB<sup>k</sup>TC افزایش می‌یابد؛ علت این است که، در سرعت‌های پایین اختلاف  $k$  مابین همسایه‌ها کم بوده و در نتیجه مقدار  $k$  تغییر چشم‌گیری نخواهد داشت.

ولی با افزایش سرعت حرکت گره‌ها، مقدار اختلاف  $k$  در بین گره‌های همسایه نیز افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، میزان کاهش  $k$  در گره‌ها با روش مبتنی بر چگالی بیش‌تر خواهد شد. طبق [۲۴] میزان مصرف انرژی در شبکه برابر است با:

$$E = \sum_{u \in N} (R_u)^\alpha \quad (7)$$

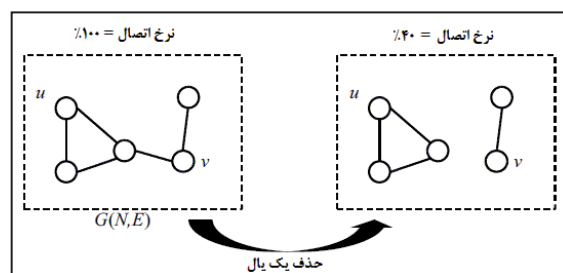
که در آن  $R_u$  شعاع ارسالی گره  $u$  و  $\alpha$  گرادیان فاصله-قدرت یا همان عنصر افت مسیر می‌باشد. در محیط‌های بدون مانع  $\alpha=2$  در نظر می‌گیرند [۲۴]. بر اساس فرمول (۷) هرچه شعاع ارسالی گره‌های شبکه کم‌تر باشد، میزان مصرف انرژی نیز حداقل با نسبت توان ۲ کاهش پیدا می‌کند، و برعکس. پس روش پیشنهادی جدید ما با کاهش میانگین شعاع ارسالی در شبکه، میزان مصرف انرژی در شبکه را پایین می‌آورد.

### مقایسه درجه گره

درجه یک گره عبارتست از تعداد همسایه‌های مستقیم گره؛ یعنی، گره‌هایی که توسط یک یال به گره مورد نظر متصل می‌باشند. درجه گره را می‌توان به دو صورت بررسی کرد. درجه گره منطقی و درجه گره فیزیکی [۱]. درجه گره منطقی برابر تعداد گره‌های

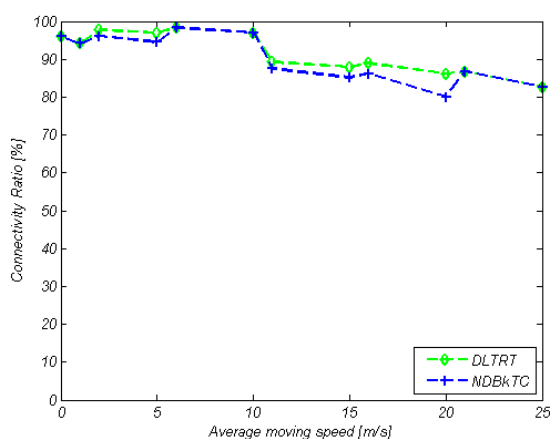
فرض کنید گراف  $G(N,E)$  بصورت شکل ۴- سمت چپ باشد. همانطور که مشاهده می‌کنید همه گره‌های گراف  $G$  دوه‌دو متصل هستند؛ پس طبق فرمول (۶) نرخ اتصال‌پذیری گراف  $G$  در این حالت برابر ۱۰۰٪ می‌باشد. حال اگر یکی از یال‌ها را همانند شکل ۴- سمت راست حذف کنیم، طبق فرمول (۶) نرخ اتصال‌پذیری گراف  $G$  برابر ۴۰٪ خواهد شد.

هدف ما در اینجا این است که ببینیم آیا نرخ اتصال‌پذیری مورد نیاز با استفاده از روش پیشنهادی ما حفظ می‌شود یا خیر. شکل ۵ نرخ اتصال‌پذیری روش پیشنهادی جدید و الگوریتم DLTRT را نشان می‌دهد.



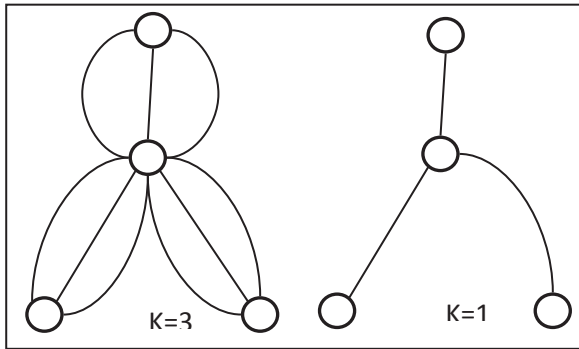
شکل ۴. تغییر نرخ اتصال‌پذیری با حذف یک یال

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌کنید، نرخ اتصال‌پذیری روش جدید در مقایسه با الگوریتم DLTRT در مواردی پایین‌تر می‌باشد؛ ولی همچنان نرخ اتصال‌پذیری مورد نیاز را برآورده می‌سازد. علت پایین بودن نرخ اتصال‌پذیری در روش جدید ما کاهش مقدار  $k$  می‌باشد. با کاهش مقدار  $k$  در گره، تعداد دفعاتی که الگوریتم  $k$ -edge connected اجرا می‌شود، یعنی مرحله ۱۱ در فرایند ۱، کم می‌شود.



شکل ۵. نرخ اتصال‌پذیری روش پیشنهادی در مقایسه با DLTRT

در نتیجه شعاع ارسالی تخصیص داده شده به گره کاهش پیدا می‌کند. با کاهش شعاع ارسالی گره‌ها، تعداد یال‌های بین آن‌ها نیز کاهش پیدا کرده و نرخ اتصال‌پذیری پایین می‌آید.



شکل ۸. گراف با اتصال ۱-یال همان درخت است و برای یک الگوریتم مسیریابی چند پراکنی یک گراف کارآمد و مناسب محسوب نمی‌شود. اما گراف با اتصال ۳-یال برای مسیریابی چندپراکنی کارآمدتر است.

متناقض با الگوریتم‌های مسیریابی چندپراکنی عمل می‌کنند و کارآمدی الگوریتم‌های چندپراکنی را کاهش می‌دهند (k بزرگتر به معنای کارایی بیشتر در الگوریتم‌های مسیریابی است). لذا باید تلاش کرد الگوریتم‌های اتصال k-edge را تقویت نمود تا کارآمدی الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های MANET را کاهش ندهند.

این بخش نشان می‌دهد الگوریتم جدید NDB<sup>k</sup>TC به دلیل استفاده بهتر از چگالی گره، تا حد زیادی تناقض با الگوریتم‌های مسیریابی چندپراکنی را کاهش می‌دهد و در مقایسه با سایر الگوریتم‌های مسیریابی در MANET این یک امتیاز بزرگ است.

دو مشکل اساسی دیگر که در شبکه‌های MANET با آنها مواجه هستیم عبارتند از افزایش طول عمر شبکه (Lifetime) و خروجی (Throughput) یا نرخ انتقال داده (Data Rate) شبکه که همگی تابعی از پارامترهای زیر هستند:

(۱) میزان انرژی ذخیره شده یا باقی مانده در باتری گره‌های شبکه: اگر انرژی گره‌های شبکه را زودتر تخلیه کنیم، گره‌ها و شبکه زودتر خاموش می‌شوند که باید از آن پرهیز نمود.

(۲) گستردگی یا بزرگی شبکه (تعداد لینک‌ها و گره‌های شبکه): مسیرهای طولانی‌تر انرژی بیشتری برای انتقال بسته‌ها مصرف می‌کنند. لذا مسیرهای انتقال کوتاه‌تر مفیدترند.

(۳) تعداد بسته‌هایی که پروتکل مسیریابی برای انتخاب مسیر تولید می‌کند: به عبارت دیگر الگوریتم مسیریابی باید بار اضافی کمتری در شبکه تولید کند.

این بخش از مقاله نشان می‌دهد که الگوریتم جدید NDB<sup>k</sup>TC می‌تواند با تلفیق شدن با یک الگوریتم مسیریابی چندپراکنی، طول عمر شبکه و نرخ انتقال آن را در مقایسه با سایر الگوریتم‌های مسیریابی در MANET افزایش دهد.

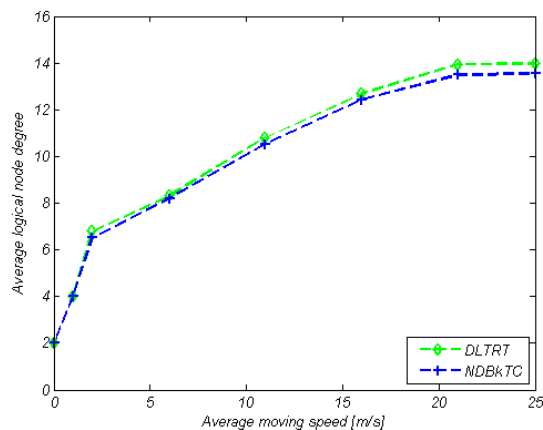
### انتخاب الگوریتم مسیریابی

**الگوریتم OMMR:** یکی از الگوریتم‌های چندپراکنی که از مسیرهای حلقه‌دار برای انتقال پیام‌های چندپراکنی استفاده می‌کند الگوریتم Optimal Multicast Multichannel Routing

همسایه‌ای است که الگوریتم آن را مشخص می‌کند؛ در واقع تعداد همسایه‌های منطقی. درجه گره فیزیکی برابر تعداد گره‌های همسایه موجود در محدوده ارسالی گره می‌باشد. با کاهش درجه گره در شبکه، تداخل نیز کاهش پیدا می‌کند. شکل ۷ درجه گره منطقی را در DLTRT و NDB<sup>k</sup>TC را نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۷ می‌بینید، درجه گره منطقی در روش پیشنهادی، کم‌تر از DLTRT است. این اختلاف با افزایش سرعت حرکت گره‌ها بیشتر می‌شود. زیرا در این حالت بدلیل افزایش اختلاف سرعت مابین گره‌های همسایه، اختلاف k محاسبه شده نیز افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه تعداد دفعات اجرای الگوریتم k-edge connected کاهش پیدا کرده و تعداد همسایه‌های منطقی نیز کم می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که روش جدید، درجه گره فیزیکی را نسبت به DLTRT حداکثر به اندازه ۱،۳ گره کاهش می‌دهد. در واقع در NDB<sup>k</sup>TC به علت کاهش محدوده ارسالی، درجه گره فیزیکی نیز کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۷. درجه گره روش پیشنهادی در مقایسه با DLTRT

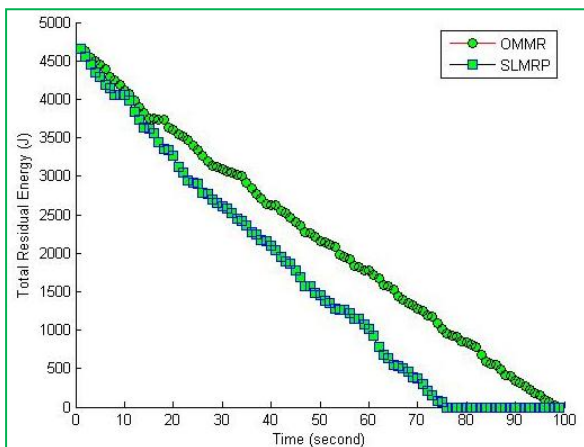
### مقایسه طول عمر و انرژی مصرفی شبکه

در شبکه‌های MANET، الگوریتم‌های k-edge connectivity تلاش می‌کنند درجه، تعداد اتصالات، تداخل و شعاع ارسالی گره‌ها را کاهش دهند. از طرف دیگر الگوریتم‌های مسیریابی به ویژه الگوریتم‌های چندپراکنی تلاش می‌کنند از تعداد بالهای بیشتر و شعاع ارسالی بزرگتری استفاده کنند تا مسیرهای کارآمدتری را برای ارسال بسته‌های اطلاعاتی انتخاب کنند. یعنی هر چه k بزرگتر باشد، الگوریتم مسیریابی نیز کارآمدتر خواهد بود زیرا مسیرهای بیشتری برای انتخاب در دسترس خواهد بود.



1000	تعداد گره‌ها
1000m * 1000m	ابعاد شبکه
50m	حداکثر شعاع ارسالی هر گره
5j	حداکثر انرژی هر گره
0.0005J	مصرف انرژی برای عبور یک بسته از یک گره
1012Byte	اندازه یک بسته
Random Way	حرکت گره‌ها
1Mbps	حداکثر نرخ انتقال داده
10	حداکثر نشست‌های چندپراکنی در ثانیه
10 Second	بازه بروزرسانی توپولوژی
0-25 m/s	میانگین سرعت حرکت گره‌ها

با توجه به اینکه الگوریتم‌های NDBkTC و OMMR و SLMRP از محاسبات ریاضی نظیر انتگرال و حل دستگاه برنامه‌ریزی خطی مبتنی بر سیمپلکس استفاده می‌کنند، لذا شبیه سازی را با حفظ شرایط یکسان در Matlab انجام می‌دهیم. ابتدا دو الگوریتم OMMR و SLMRP را بدون اعمال NDBkTC به شبکه، اعمال می‌کنیم و طول عمر شبکه و نرخ انتقال داده شبکه را اندازه‌گیری می‌کنیم.



شکل ۹. الگوریتم SLMRP سریعتر از الگوریتم OMMR انرژی گره‌های شبکه را به صفر می‌رساند یا به دلیل خاموش کردن سریعتر تعدادی از گره‌های شبکه، سریعتر اتصال پذیری شبکه را از بین می‌برد.

توجه شود تابع هدف در مدل ریاضی OMMR در مقایسه با SLMRP تاخیر و پهنای باند مصرفی در مسیرهای انتقال را بیشتر کاهش داده و از مسیرهای درختی حلقه دار استفاده می‌کند لذا انرژی گره‌ها را بیشتر حفظ می‌کند (شکل ۹). طبق شکل ۱۰ مشاهده می‌شود نرخ انتقال داده نیز در دو الگوریتم زیاد است که رفته رفته به دلیل کاهش انرژی گره‌های شبکه، کاهش زیادی می‌یابد.

(OMMR) که در [۲۵،۲۶،۲۷] ارائه شده و مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم OMMR با استفاده از یک مدل بهینه سازی خطی مسیر بهینه چندپراکنی بین یک مبدا و چند مقصد را برپا می‌کند که یک درخت حلقه دار است و حتی می‌تواند همه اتصالات شبکه و پهنای باند موجود را در یک نشست چندپراکنی مورد استفاده قرار دهد.

الگوریتم OMMR سعی می‌کند بیشترین تعداد بسته را در کمترین زمان ممکن با کمترین پهنای باند مصرفی از شبکه عبور دهد اما سعی نمی‌کند کمترین انرژی و کمترین تعداد اتصال را مورد استفاده قرار دهد همچنین بسته‌های اطلاعاتی را در نقاط انشعاب مسیر توسط گره‌های واقع بر انشعاب چندبرابر سازی می‌کند. با توجه به اینکه در شبکه‌های MANET و MPLS و MobileIP توپولوژی شبکه به صورت گراف قابل ترسیم است، لذا این الگوریتم در این شبکه‌ها به خوبی برای مسیریابی قابل استفاده است [۲۷]. مشاهده می‌شود که OMMR توجهی به مصرف بهینه انرژی در گره‌ها ندارد هر چند به عنوان یک تحقیق جدید می‌توان با ایجاد قیده‌های خطی جدید در مدل ریاضی آن، آن را به کمینه کردن انرژی مصرفی در گره‌ها متعهد کرد.

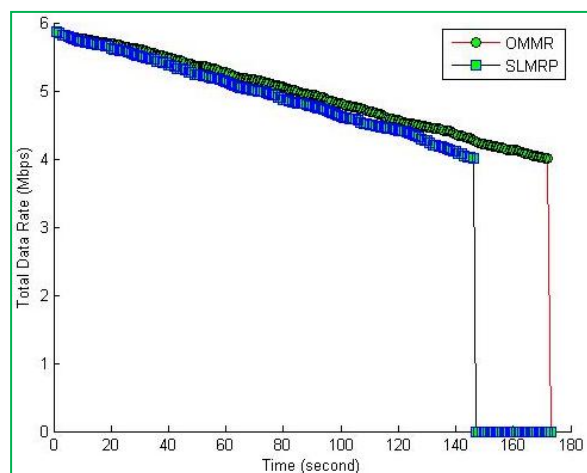
#### الگوریتم scheduled-links multicast routing protocol

این الگوریتم [۲۸] یک الگوریتم مسیریابی چندپراکنی است که از GPS برای مکان یابی گره‌ها استفاده می‌کند و با استفاده از مختصات، اندازه سرعت و جهت حرکت گره، مدت زمانیکه دو گره A و B متصل می‌مانند را محاسبه می‌کند.

این بدان معنا است که هر اتصال و هر مسیر ساخته شده مهلت انقضای مشخصی دارد که طول عمر اتصال یا مسیر نامیده می‌شود. گره‌ها از شعاع ارسالی استفاده می‌کنند و با همگی با ساعت GPS همزمان هستند. هر مسیر در مدت طول عمرش فعال است و پس از آن منقضی می‌شود.

گره‌های شبکه از یک مکانیزم بالانس ترافیک و انتخاب مسیرهای فعال برای انتقال داده استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر SLMRP یک الگوریتم زمانبندی مسیرها و بالانس ترافیک است که سعی می‌کند بیشترین سازگاری را بین استفاده از مسیرهای شبکه و تغییرات توپولوژی برقرار کند که نتیجه آن کارآمدی بیشتر شبکه است. مشاهده می‌شود که SLMRP توجهی به مصرف بهینه انرژی گره‌های شبکه ندارد. هر چند می‌توان به عنوان یک تحقیق جدید، زمانبندی مسیرها را نسبت به انرژی گره‌ها نیز متعهد کرد.

برای مشاهده تاثیرگذاری NDBkTC بر طول عمر شبکه و نرخ انتقال داده در دو الگوریتم OMMR و SLMRP شبکه شبیه سازی زیر را مد نظر قرار می‌دهیم:



شکل ۱۲. الگوریتم NDB<sup>k</sup>TC مانع از افزایش سرعت انتقال داده کل در الگوریتم های OMMR و SLMRP شده اما در عوض طول عمر شبکه را افزایش می دهد و شبکه به صورت سریع و ناگهانی خاموش نمی شود.

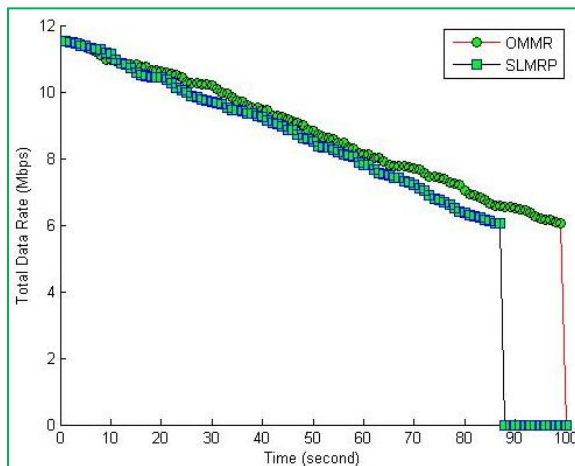
عدم توجه به مصرف انرژی در یک شبکه MANET می تواند طول عمر و حجم داده عبور کرده از شبکه را کاهش دهد. اگر انرژی کل گره‌های شبکه مقدار ثابت 5000J در نظر بگیریم، به طور متوسط NDB<sup>k</sup>TC می تواند طول عمر شبکه در الگوریتم‌های OMMR و SLMRP را ۳۷ درصد و حجم داده عبور کرده از شبکه را ۷ درصد افزایش دهد. به عبارت دیگر NDB<sup>k</sup>TC تعداد اتصالات شبکه، شعاع ارسالی گره‌ها، مصرف انرژی گره‌ها، تداخل و نرخ انتقال بسته‌ها را در الگوریتم‌های مسیریابی چندپراکنی کاهش می دهد اما این کاهش را توسط افزایش طول عمر شبکه جبران کرده و عملکرد این الگوریتم‌ها را بهبود می بخشد.

### نتیجه گیری

در این مقاله ما به مسئله تاثیر حرکت گره‌ها بر اتصال پذیری شبکه‌های اقتضایی متحرک پرداخته و الگوریتم‌های کنترل توپولوژی را که k-edge connectivity را تضمین می کنند، تحلیل کردیم. ایرادات الگوریتم‌های موجود را برشمردیم و برای رفع این ایرادات روش جدیدی را که مبتنی بر مفهوم چگالی گره است، ارائه دادیم. در این روش برای اولین بار در بحث کنترل توپولوژی محلی در شبکه‌های اقتضایی متحرک از مفهوم چگالی گره به صورت پویا استفاده کردیم. برای بهبود تعریف چگالی گره که در تحقیقات قبلی بصورت یک عدد ثابت برای کل شبکه بکار رفته بود، فرمول جدیدی برای محاسبه آن پیشنهاد دادیم. در این فرمول جدید سعی کردیم تا از همه فاکتورهای تاثیرگذار بر چگالی گره و پایداری توپولوژی استفاده کنیم. در واقع، هدف ما استفاده بهینه از اطلاعات موجود در محاسبات است، بجای آن که همیشه بدترین حالت‌ها را در نظر بگیریم.

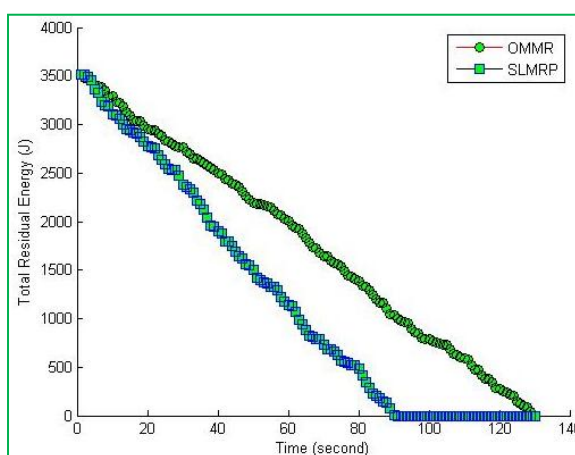
ما روش جدید خود را با روش DLTRT مقایسه کردیم. فاکتورهای مورد استفاده در این مقایسه عبارتند از درصد اتصال پذیری شبکه،

حال قبل از هر بار اجرا کردن الگوریتم‌های OMMR و SLMRP، یک بار الگوریتم NDB<sup>k</sup>TC را به گراف شبکه اعمال می کنیم تا ضمن تضمین اتصال پذیری شبکه، تعداد اتصالات در دسترس و نیز شعاع ارسالی گره‌ها کاهش یابد.



شکل ۱۰. هر دو الگوریتم OMMR و SLMRP حریصانه پهنای باند شبکه و انرژی گره‌ها را مصرف می کنند فلذا سرعت انتقال داده زیاد اما طول عمر شبکه کوتاه است.

این امر باعث می شود الگوریتم‌های OMMR و SLMRP به صورت حریصانه نتوانند پهنای باند و انرژی گره‌ها را مصرف کنند. شکل ۱۱ و شکل ۱۲ نشان می دهند الگوریتم NDB<sup>k</sup>TC می تواند طول عمر و نرخ انتقال داده الگوریتم‌های OMMR و SLMRP را پایدارتر کرده و کارایی آنها را بهبود بخشد.



شکل ۹. در مقایسه با شکل ۹، با اجرای NDB<sup>k</sup>TC قبل از OMMR و SLMRP، انرژی کل گره‌ها دیرتر تخلیه شده و طول عمر شبکه افزایش می یابد.

چگالی گره محاسبه شده برای گره، شعاع ارسالی کنونی گره، میانگین سرعت حرکت گره‌های همسایه، میانگین فاصله گره‌های همسایه از گره مفروض و تعداد گره‌های همسایه. سپس ادامه الگوریتم اجرا شده و شعاع ارسالی جدید برای گره بدست می‌آید. این شعاع ارسالی را بعنوان مولفه مربوط به گره، در بردار هدف ذخیره می‌کنیم. برای هر گره این فرایند را اجرا کرده و تا پایان زمان شبیه سازی این کار را تکرار می‌کنیم.

فرض کنید تعداد گره‌های شبکه  $N$  گره، مدت زمان شبیه‌سازی  $T$  ثانیه و بازه برزورسانی توپولوژی  $\Delta t$  ثانیه باشد. تعداد نمونه‌های موجود در مجموعه داده در پایان هر شبیه‌سازی برابر  $(T/\Delta t)*N$  نمونه خواهد بود. حال اگر شبیه‌سازی را  $M$  بار تکرار کنیم به تعداد  $M*(T/\Delta t)*N$  نمونه خواهیم داشت. می‌توانیم شبکه عصبی را با  $80\%$  از مجموعه داده بدست آمده، بعنوان مجموعه داده آموزشی، آموزش دهیم. مابقی نمونه‌ها را برای تست صحت آموزش شبکه عصبی بکار می‌بندیم. حال شبیه‌سازی جدیدی را با استفاده از شبکه عصبی آموزش دیده اجرا می‌کنیم. اگر نتایج بدست آمده در مقایسه با روش پیشنهادی در این مقاله کارایی برابری داشته باشد، ما توانسته‌ایم با حفظ کارایی، بار محاسباتی را بطور کامل از کنترل توپولوژی حذف کنیم.

بهبود فرمول چگالی گره و وارد کردن فاکتورهای جدید به آن: فرمول جدیدی که در این مقاله برای محاسبه چگالی گره ارائه دادیم از چهار فاکتور سرعت حرکت گره‌ها، فاصله گره‌ها، تعداد گره‌ها و شعاع ارسالی گره استفاده می‌کند. این فرمول جدید را برای استفاده در شبکه‌های MANET و مسئله کنترل توپولوژی در این شبکه‌ها پیشنهاد دادیم. در انواع دیگری از شبکه‌ها، مانند شبکه‌های Mobile IP، و یا در مسائل دیگری از شبکه مانند مسیریابی، ممکن است برای استفاده از مفهوم چگالی گره نیاز باشد تا از فاکتورهای جدیدی مانند انرژی گره یا ویژگی‌های کیفیت خدمات دهی در فرمول آن استفاده کنیم. بنابراین، می‌توان بخشی از تحقیقات آینده را به بررسی کاربرد مفهوم چگالی گره در انواع دیگری از شبکه‌ها و مسائل اختصاص داده و فرمولی متناسب با آن شبکه و مسئله برای چگالی گره تعریف کرد.

## پیوست ۱

در محاسبه درخت پوشای کمینه، MST، برای یک گراف اگر وزن تعدادی از یال‌ها برابر باشد، درخت حاصله ممکن است منحصر بفرد نباشد. این می‌تواند کارایی الگوریتم را تحت تاثیر قرار دهد. برای اجتناب از این حالت، تابع وزن زیر را برای محاسبه وزن یال‌های شبکه (لینک‌های بین گره‌های شبکه) مورد استفاده قرار می‌دهند.

میانگین شعاع ارسالی گره‌ها و درجه منطقی و فیزیکی گره‌ها. نتایج نشان دادند که روش ما با حفظ اتصال مورد نیاز شبکه، فاکتورهای کارایی شبکه را بهبود می‌بخشند. این روش جدید می‌تواند سرآغاز استفاده از مفهوم چگالی گره بصورت پویا در شبکه‌های بی‌سیم متحرک باشد. همچنین نشان دادیم روش جدید کارایی الگوریتم‌های مسیریابی چندپراکنی را افزایش می‌دهد.

## کارهای آینده

در این تحقیق ما از مفهوم چگالی گره جهت بهبود فاکتورهای کارایی در مبحث کنترل توپولوژی شبکه‌های اقتضایی متحرک استفاده کردیم. اگر چه روش جدید پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد، ولی باز می‌توان با استفاده از تکنیک‌های دیگری آن را بهبود داد. در تحقیقات آینده سعی در بهبود روش جدید خواهیم داشت. از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ترکیب مفهوم چگالی گره با تکنیک‌های خوشه‌بندی: در روش جدید پیشنهاد شده در این مقاله، از چگالی گره مربوط به گره‌های همسایه جهت تعیین مقدار بهینه  $k$  در مفهوم  $k$ -edge connectivity استفاده شده است. خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی یکی از تکنیک‌های خوشه‌بندی است. در خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی یک گره می‌تواند یک خوشه جدید تشکیل دهد و یا عضو یک خوشه موجود شود. شرط تشکیل خوشه جدید توسط یک گره این است که آن گره  $in\ orde$  در محدوده تحت پوشش خود، تعداد مشخصی همسایه داشته باشد. این فرایند در هر گره اجرا شده و خوشه‌ها تا جای ممکن ادغام می‌شوند.

نسخه‌های محلی الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی ارائه شده‌اند که می‌توان از آن‌ها در بهبود روش پیشنهادی بهره برد. ایده جدید می‌تواند استفاده از اطلاعات خوشه‌ها جهت تعیین مقدار بهینه  $k$  باشد.

استفاده از شبکه‌های عصبی: همانطور که در بخش ۵ مشاهده کردید، روش پیشنهادی جدید در این مقاله فاکتورهای کارایی شبکه را نسبت به روش‌های موجود بهبود می‌بخشد. لذا شعاع ارسالی تعیین شده توسط این روش برای هر گره از شبکه نسبت به روش‌های قبلی بهتر است. می‌توان تکنیک شبکه عصبی را به صورتی که در ادامه شرح می‌دهیم مورد استفاده قرار داد.

برای استفاده از شبکه‌های عصبی باید یک مجموعه داده جهت آموزش آن داشته باشیم. برای ساخت این مجموعه داده بصورت زیر عمل می‌کنیم. ابتدا یک شبکه اقتضایی متحرک را طبق توضیح گفته شده در مقاله، شبیه‌سازی کرده و با استفاده از الگوریتم ارائه شده برای روش جدید، آن را اجرا می‌کنیم. پس از آن که چگالی هر گره محاسبه شد، یک بردار ویژگی برای آن گره ایجاد می‌کنیم. مولفه‌های این بردار می‌توانند بصورت ذیل باشند:

- [12]X. Li, Y. Wang, and W. Song, "Applications of k-local MST for topology control and broadcasting in wireless ad hoc networks", IEEE Trans. Parallel and Distrib. Syst., vol. 15, no. 12, pp 1057–1069, Dec. 2004.
- [13]J. Cartigny, D. Simplot, and I. Stojmenovic, "Localized minimum-energy broadcasting in ad-hoc networks", in Proc. 2003 IEEE INFO-COM, pp. 2210–2217, 2003.
- [14]J. Cartigny, F. Ingelrest, D. Simplot-Ryl, and I. Stojmenovic, "Localized LMST and RNG based minimum-energy broadcast protocols in ad hoc networks", Ad Hoc Networks, vol. 3, no. 1, pp. 1-16, 2005.
- [15]V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum energy mobile wireless net-works,"IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 17, no. 8, pp. 1333–1344, Aug. 1999.
- [16]E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs", Numerische Mathematik, vol. 1, no. 1, pp. 269–271, Dec. 1959.
- [17]M. Bahramgiri, M. T. Hajiaghayi, and V. S. Mirrokni, "Fault-tolerant and 3-dimensional distributed topology control algorithms in wireless multi-hop networks", Wireless Network, vol. 12, no. 2, pp. 179–188, Mar. 2006.
- [18]L. Li, J. Y. Halpern, P. Bahl, Y. Wang, and R. Wattenhofer, "Analysis of a cone-based distributed topology control algorithm for wireless multihop networks", in Proc. 2001 ACM PODC, pp. 264–273, 2001.
- [19]N. Ansari, G. Cheng, and R. Krishna n, "Efficient and reliable link state information dissemination", IEEE Commun. Lett., vol. 8, no. 5, pp. 317–319, May 2004.
- [20]R. Azzeddine and W. Dong, "A simple fault-tolerant local topology control algorithm for sensor networks", IEEE conference on Industrial electronics and applications (ICIEA), pp. 1161-1166, July. 2012.
- [21]Ch. Bettstetter, "On the minimum node degree and connectivity of a wireless multihop network", MOBIHIC'02, EPF Lausanna, Switzerland, pp. 80-91, June. 2002.
- [22]N. Bulusu, D. Estrin, L. Girod, J. Heidemann, "Scalable coordination of wireless sensor networks: self-configuring localization systems", in Proc. Of the international symposium communication theory and applications (ISCTA'01), UK, pp. 1-6, 2001.
- [23]Mao, Shiwen, Fundamentals of communication networks, Cognitive Radio Communications and Networks, pp. 201-234, 2010.
- [24]Steffen Wolf, Optimization problems in self-organization networks, Logos Verlag Berlin GmbH, pp. 160-161, 2010.
- [25]Isazadeh, A., & Heydarian, M., "Optimal multicast multichannel routing in computer networks", Computer Communications, vol. 31, pp. 4149–4161, 2008.
- [26]Heydarian, M., "A new high performance approach: merging optimal multicast sessions for supporting multisource routing", Supercomputing, vol. 63, pp. 871–896, 2013.
- [28]Gholizadeh, S., Abdullah, A., Othman, M., Hanapi, Z. M., & Heydarian, M., "Optimized performance data transmission in Mobile IP networks", Supercomputing, vol. 70, pp. 906–929, 2014.
- [29]Hasan Abdulwahid, BinDai, BenxiongHuang, Zijing Chen, "Scheduled-links multicast routing protocol in MANETs", Journal of Network and Computer Applications, vol. 63, pp. 56–67, 2016.

$$w(u_1, v_1) > w(u_2, v_2)$$

$$\iff d(u_1, v_1) > d(u_2, v_2)$$

$$\text{or } (d(u_1, v_1) = d(u_2, v_2) \&\& \max\{id(u_1), id(v_1)\} > \max\{id(u_2), id(v_2)\})$$

$$\text{or } (d(u_1, v_1) = d(u_2, v_2) \&\& \max\{id(u_1), id(v_1)\} = \max\{id(u_2), id(v_2)\} \&\& \min\{id(u_1), id(v_1)\} > \min\{id(u_2), id(v_2)\})$$

در این روابط  $w$  وزن یال و  $d$  معادل تابع فاصله اقلیدسی می‌باشد.

## پیوست ۲

RNG	Relative Neighborhood Graph
FLSS	Fault-tolerant Local Spanning Sub-graph
DLTRT	Dynamic LTRT
LTRT	Local Tree-based Reliable Topology
MST	Minimum Spanning Tree
LMST	Local MST
IMRG	Incident MST and RNG Graph
SFL	Functionality Similarity Level

## مرجع‌ها

- [1]Paolo Santi, Topology control in ad hoc and sensor networks, John Wiley & Sons, 16-100, 2005.
- [2]B. Bollobas, Modern graph theory, vol. 184 of Graduate Texts in Mathematics, 1998.
- [3]J. Pan, L. Cai, Y. Hou, Y. Shi, and X. Shen, "Optimal base-station locations in two-tiered wireless sensor networks", IEEE Trans. Mobile Comput., vol. 4, no. 5, pp. 458–473, Sep. 2005.
- [4]J. Zhang, J. Chen, and Y. Sun, "Transmission power adjustment of wireless sensor networks using fuzzy control algorithm", Wireless Communication and Mobile Computing (Wiley), vol. 9, no. 6, pp. 805–818, June 2009.
- [5]N. Li, J.C. Hou, and L. Sha, "Design and analysis of an MST-based topology control algorithm", IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 4, no. 3, pp. 259–270, May 2005.
- [6]G. Toussaint, "The relative neighborhood graph of finite planar set", Pattern Recognition, vol. 12, no. 4, pp. 261–268, 1980.
- [7]L. Li and J. Y. Halpern, "Minimum energy mobile wireless networks revisited", in Proc. 2001 IEEE ICC, pp. 278–283, 2001.
- [8]N. Li and J. C. Hou, "Localized fault-tolerant topology control in wire-less ad hoc networks", IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, vol. 17, no. 4, pp. 307–320, Apr. 2006.
- [9]K. Miyao, H. Nakayama, N. Ansari, and N. Kato, "LTRT: an efficient and reliable topology control algorithm for ad-hoc networks", IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 8, no. 12, pp. 6050-6058, Dec. 2009.
- [10]H. Nishiyama, T. Ngo, Nirwan Ansari, N. Kato, "On Minimizing the Impact of Mobility on Topology Control in Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Transaction On Wireless Communications, vol. 11, no. 3, pp. 1158-1166, March. 2012.
- [11]Prim, R. C. "Shortest connection networks and some generalizations", Bell System Technical Journal, vol. 36, no. 6, pp. 1389–1401, November 1957.