

## مقایسه الگوریتم‌های مسطح‌سازی GG و RNG در روش‌های مسیریابی

### جغرافیایی شبکه‌های بی‌سیم

حمیدرضا شهبازی فراهانی<sup>۱\*</sup>، مسعود صبائی<sup>۲</sup>

\*نویسنده مسئول، دریافت: ۹۹/۰۲/۲۸، بازنگری: ۹۹/۰۳/۲۵، پذیرش: ۹۹/۰۴/۲۱

<sup>۱</sup> پژوهشگر، مهندسی فناوری اطلاعات، پژوهشکده علوم کامپیوتر، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

#### چکیده

در تحقیقاتی که تاکنون در زمینه الگوریتم‌های جغرافیایی گزارش شده است، به دو روش مسطح‌سازی GG و RNG به‌صورت یکسان نگاه شده است، درحالی‌که گراف حاصل از این دو روش خصوصیات متفاوتی را ارائه می‌کنند. در این مقاله، بررسی دقیق این دو روش مسطح‌سازی و مطالعه اثر آن‌ها بر الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی موردنظر قرار گرفته است. تلفی اولیه این است که چون گراف مسطح‌شده به روش GG دارای تعداد لبه بیشتری است، استفاده از آن به‌صورت وجه پیمایی منجر به تولید تعداد گام‌های بیشتری خواهد شد، ولی نتایج شبیه‌سازی پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در بیشتر موارد گام‌های بلند روش RNG خطر به بیراهه رفتن را افزایش و مسیرهای نسبتاً بلندتری را برای پیمایش تا گره مقصد پیشنهاد می‌دهد. در مقابل و در مواردی که الگوریتم جغرافیایی مورد استفاده رسیدن تا مقصد را تضمین نمی‌کند، تعداد موارد مسیریابی ناموفق با استفاده از گراف مسطح شده GG اندکی بیشتر از موارد مشابه به روش مسطح‌سازی RNG خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** گراف مسطح، مسیریابی جغرافیایی، قاعده سمت راست، GG، RNG

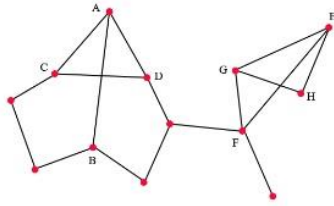
#### ۱- مقدمه

تاکنون الگوریتم‌های گوناگونی به‌عنوان الگوریتم مسیریابی جغرافیایی پیشنهاد شده است که همه آن‌ها با استفاده از گراف متناظر شبکه و گونه‌ای از روش‌های پیمایش گراف کار می‌کنند. در اغلب قریب به اتفاق این الگوریتم‌ها ترکیبی از پیمایش حریصانه (greedy) و روش وجه پیمایی (face-routing) مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه که روش مسیریابی مبتنی بر پیمایش حریصانه بسیار ساده و در برخی موارد سریع هستند ولی در عمل نمی‌توانند رساندن بسته داده به مقصد را تضمین کنند. همچنین، در شبکه‌ای با تعداد n گره، حداقل تعداد مراحل رسیدن به مقصد  $\Omega(n)$  است که چندان بهتر از حالت پیمایش همه گره‌های شبکه نیست. در مقابل الگوریتم‌های مبتنی بر وجه پیمایی نه‌تنها رسیدن به مقصد را تضمین می‌کنند بلکه این عمل حداکثر با هزینه  $O(c^2)$  انجام می‌شود که در آن c نمایانگر هزینه کوتاه‌ترین مسیر میان گره مبدأ و مقصد است [۲]، [۳]، [۴].

در مرکز الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی مبتنی بر وجه پیمایی، وجه قرار دارد. یک وجه ناحیه‌ی پیوسته‌ای است که در گراف مسطح متناظر گراف اصلی شبکه ایجاد می‌شود. همچنین، یک گراف مسطح گراف‌یست که از حذف لبه‌های متقاطع گراف اصلی شبکه به دست می‌آید. در اغلب الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی ابتدا بسته‌های داده به روش حریصانه از گره‌ای به گره نزدیک‌تر به مقصد

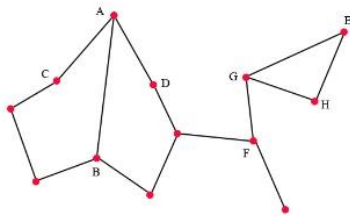
روش مسیریابی جغرافیایی روشی است که به‌جای استفاده از آدرس IP گره مقصد و جدول مسیریابی در ارسال بسته‌های داده، از موقعیت جغرافیایی گره‌ها سود می‌برد. کاربرد اصلی این‌گونه از مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم با قابلیت تحرک گره‌ها است. گره‌ها در این نوع از شبکه‌ها فقط از موقعیت جغرافیایی خود و همسایگان بی‌واسطه و نیز موقعیت جغرافیایی گره مقصد آگاهی دارند و ارسال بسته را بدون آگاهی از توپولوژی شبکه و یا استفاده از روش کشف پیش‌دستانه (Prior Route Discovery) انجام می‌دهند [۱]، [۲]. به‌عبارت‌دیگر، هر گره در تعیین گره میانی بعدی برای ارسال بسته داده فقط به اطلاعات محلی در لحظه ارسال نیازمند است. عدم نیاز به ساخت و نگهداری جدول مسیریابی و نیز عدم نیاز به ثبت و ضبط تغییراتی که در هر لحظه در شبکه پیش می‌آید از جمله دلایلی است که باعث اقبال به روش مسیریابی جغرافیایی در شبکه‌های پویا مثل شبکه موردی متحرک (Mobile Ad Hoc Networks) و شبکه موردی وسایل نقلیه (Vehicular Ad Hoc Networks) و شبکه‌های حسگر بی‌سیم متحرک (Mobile Wireless Sensor Networks) شده است.

عضو شبکه بی‌سیم موردی است و یال‌ها نشان‌دهنده این است که دو گره در دامنه انتقال پیام یکدیگر قرار دارند.



شکل ۱- نمایش یک شبکه بی‌سیم به صورت گراف

گراف مسطح به گرافی گفته می‌شود که هیچ یالی، یال دیگر را به جز در رئوس در نقطه دیگری قطع نکند. به عنوان مثال گراف ارائه شده در شکل (۱) مسطح نمی‌باشد زیرا یال‌های AB و CD همین‌طور یال‌های EF و GH یکدیگر را در نقاط غیر رأس قطع می‌کنند. شکل (۲) همان گراف شکل (۱) می‌باشد که با حذف دو یال مسطح شده است.



شکل ۲- گراف مسطح شده شکل ۱

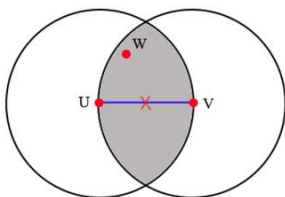
## ۲-۲- گراف RNG

گراف RNG به این شکل تعریف می‌شود: یال  $(u, v)$  بین دو رأس  $u$  و  $v$  در صورتی وجود دارد که فاصله بین آن‌ها که با  $d(u, v)$  نمایش داده می‌شود کمتر یا مساوی فاصله هر گره دیگر مانند  $w$  از گره‌های  $u$  و  $v$  باشد. با استفاده از نمادهای ریاضی می‌توان گراف RNG را به صورت زیر تعریف کرد:

$$\forall w \neq u, v: d(u, v) \leq \max [d(u, w), d(v, w)]$$

شکل (۳) یک گراف RNG را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود یال  $(u, v)$  در گراف RNG در صورتی وجود دارد که هیچ گره‌ای در ناحیه خاکستری رنگ وجود نداشته باشد. ناحیه خاکستری رنگ هم عبارت است از اشتراک دو دایره به مراکز  $u$  و  $v$  و به شعاع  $d(u, v)$ . اگر در ابتدا یک گراف متصل وجود داشته باشد و از آن گراف RNG استخراج شود، گراف حاصل نیز متصل خواهد بود زیرا در صورتی یال  $(u, v)$  از گراف اصلی حذف می‌شود که یک گره  $w$  در محدوده  $u$  و  $v$  وجود داشته باشد.

در گراف شبکه بی‌سیم هر گره یک مجموعه  $N$  از همسایه‌های خود را دارد. اگر گره‌های  $u$  و  $v$  در محدوده یکدیگر باشد آنگاه این دو هر گره دیگر در ناحیه رنگی از شکل (۳) را در محدوده خود خواهند داشت. لذا با استفاده از الگوریتم (۱) می‌توان یک گراف را به گراف RNG تبدیل کرد [۱۱]، [۱۲].



شکل ۳- گراف RNG

دست‌به‌دست می‌شوند. روش وجه پیمایی آنگاه آغاز می‌شود که بسته داده به گره‌ای رسیده است که همسایه نزدیک‌تر از خویش به مقصد ندارد. این گره را گره Local Maxima می‌نامند. روش فرستادن بسته داده از گره Local Maxima به سمت مقصد بر روش وجه پیمایی استوار و در الگوریتم‌های مختلف، متفاوت است [۲].

الگوریتم GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [۳]، [۴] از اولین و معروف‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی است. این الگوریتم در دو حالت حریمانه و جبرانی (Recovery Mode) کار می‌کند. حالت قراردادی حالت حریمانه است که هر گره پس از رسیدن یک بسته داده و با ارزیابی فاصله اقلیدسی همه همسایه‌ها، نزدیک‌ترین همسایه به گره مقصد را به عنوان گره بعدی انتخاب می‌کند. در صورتی که چنین گره‌ای وجود نداشته باشد الگوریتم به حالت جبرانی تغییر و در حاشیه وجهی که پیشروی حریمانه در آن متوقف شده است و با استفاده از قانون دست راست - که برگرفته از حرکت در سمت راست دیوار در برون‌رفت از هزارتوهاست - کار فرستادن بسته داده به سمت گره مقصد را دنبال می‌کند.

پس از انتشار مقاله GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)، کارایی این الگوریتم مورد ارزیابی پژوهش‌های مختلف قرار گرفته است و نشان داده شده است که این الگوریتم از نقطه نظر مقیاس‌پذیری و کارایی در محیط‌های فشرده عملکرد خوبی دارد. اما ضعف این الگوریتم در محیط‌هایی با آرایش خاص و خلوت مثل شبکه‌های موردی وسایل نقلیه (VANETs) در جاده‌ها نیز گزارش شده است [۲]. از آن زمان تاکنون، الگوریتم‌های بسیار زیادی به عنوان الگوریتم جغرافیایی برای محیط‌های مختلف گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به الگوریتم‌های AFR [۵] و OAFR [۶] اشاره کرد. برای شبکه‌های موردی وسایل نقلیه نیز الگوریتم‌های Geo-LU [۷]، CLWPR [۸] و DGF-ETX [۹] ارائه شده است.

فارغ از آنکه چه الگوریتمی برای چه نوع شبکه‌ای به کار گرفته شده باشد، مرحله اول مسطح‌سازی گراف شبکه است که با استفاده از یکی از دو روش Gabriel Graph (GG) و Relative Neighbourhood Graph (RNG) انجام می‌شود. نوع الگوریتم مسطح‌سازی تأثیر بسزایی در کارایی مسیریابی جغرافیایی دارد که تاکنون کمتر به آن پرداخته شده است. در این مقاله، کارایی این دو روش را با استفاده از الگوریتم GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) و تحت شرایط کاری متفاوت مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

ساختار دیگر بخش‌های مقاله به شرح زیر است. جزئیات مسطح‌سازی GG و RNG در فصل دوم ارائه می‌شود. همچنین قاعده سمت راست در پیمایش گراف مسطح در این فصل توضیح داده می‌شود. در فصل سوم، نخست جزئیات مطالعه مقایسه‌ای مبتنی بر شبیه‌سازی ذکر و سپس به ارائه نتایج از زوایای گوناگون پرداخته می‌شود. فصل پایانی به نتیجه‌گیری مقاله می‌پردازد. و نیز مواردی را به عنوان پژوهش آتی ارائه می‌کند.

## ۲- الگوریتم‌های GG و RNG

یکی از مراحل مهم در مسیریابی‌های جغرافیایی تبدیل گراف شبکه به یک گراف مسطح می‌باشد. در ادامه دلیل این موضوع و نیز نحوه تبدیل یک گراف به گراف مسطح بیان خواهد شد.

### ۲-۱- گراف واحد، گراف مسطح

گراف واحد به گرافی گفته می‌شود که در آن لبه‌ها بر مبنای فاصله رئوس تشکیل شده است. در این نوع گراف چنانچه فاصله دو گره از مقدار مشخصی کمتر یا مساوی باشد یک لبه بین آن دو گره وجود خواهد داشت. در گرافی که یک شبکه بی‌سیم را نشان می‌دهد این مقدار مشخص دامنه انتقال امواج رادیویی گره‌ها خواهد بود [۱۰]. شکل (۱) مثالی از این نوع گراف است که هر گره نمایشگر یک

الگوریتم ۱- مسطح‌سازی به روش RNG

```

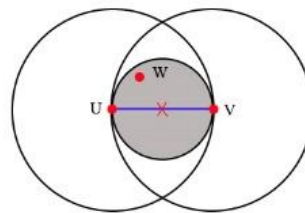
for all v ∈ N do
  for all w ∈ N do
    if (w <> v) and
      (d(u, v) > max[d(u, w), d(v, w)])
      eliminate edge (u, v)
    end if
  end for
end for
    
```

۳-۲- گراف GG

در گراف GG به شرطی یک یال بین دو رأس  $u$  و  $v$  که در دامنه انتقال یکدیگر قرار دارند - وجود دارد که در دایره به قطر  $\overline{uv}$  هیچ گره دیگری وجود نداشته باشد. به بیان ریاضی می‌توان گراف GG را به صورت زیر تعریف کرد:

$$\forall w \neq u, v: d^2(u, v) \leq [d^2(u, w) + d^2(v, w)]$$

شکل (۴) یک گراف GG را نشان می‌دهد. از شکل پیداست در صورتی یال  $(u, v)$  در گراف GG وجود دارد که هیچ گره‌ای در ناحیه خاکستری رنگ وجود نداشته باشد. ناحیه خاکستری رنگ عبارت است از دایره‌ای به قطر  $\overline{uv}$ . به همان دلیل که برای گراف RNG توضیح داده شد، در صورتی که گراف اصلی متصل باشد زیرگراف GG منتج شده از گراف اصلی نیز متصل خواهد بود.



شکل ۴- گراف GG

مشابه گراف RNG می‌توان از الگوریتم (۲) برای استخراج گراف GG از گراف اصلی استفاده کرد [۹].

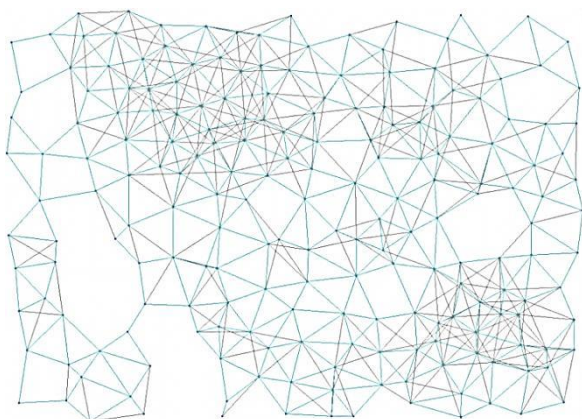
الگوریتم ۲- مسطح‌سازی به روش GG

```

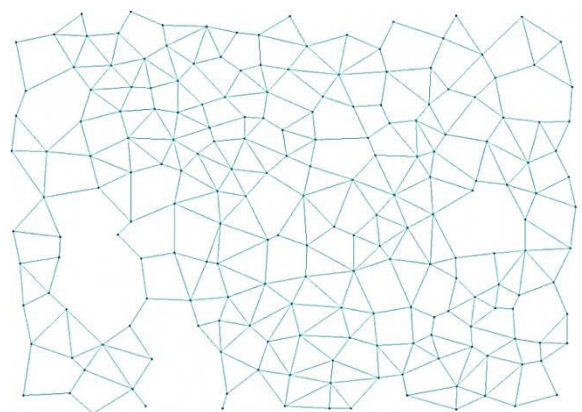
m = midpoint of uv
for all v ∈ N do
  for all w ∈ N do
    if (w <> v) and (d(m, w) > d(u, m))
      eliminate edge (u, v)
    end if
  end for
end for
    
```

۴-۲- مقایسه گراف GG و RNG

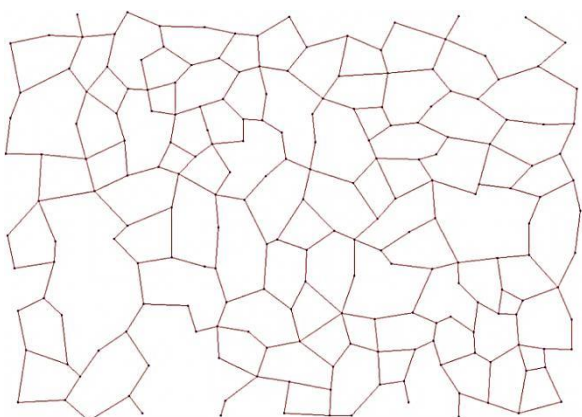
شکل (۵) مقایسه‌ای از یک نمونه گراف اصلی که دو زیرگراف RNG و GG از آن استخراج شده است را ارائه می‌دهد. از تعاریف گراف‌های RNG و GG می‌توان نتیجه گرفت گراف RNG زیرگرافی از گراف GG می‌باشد. به دلیل اینکه RNG و GG تعداد متفاوتی از یال‌های گراف اصلی را حذف می‌کنند، فشردگی در این دو متفاوت است [۱۳]. شکل (۵) شبکه‌ای از ۲۰۰ گره که در ناحیه‌ای به ابعاد ۱۰۰۰ در ۷۰۰ متر پراکنده شده‌اند را نشان می‌دهد. دامنه انتقال هر گره ۱۰۰ متر فرض شده است. شکل (۵) (ب) و (ج) گراف‌های مسطح متناظر GG و RNG آن را نشان می‌دهد.



(الف) گراف اصلی



(ب) گراف GG



(ج) گراف RNG

شکل ۵- گراف اصلی با ۲۰۰ گره، دامنه انتقال ۱۰۰ و ابعاد ۷۰۰ \* ۱۰۰۰ متر

۵-۲- قاعده سمت راست و هدف از مسطح‌سازی

شکل (۶) قانون سمت راست را نمایش می‌دهد. این قانون می‌گوید زمانی که از گره  $y$  به گره  $x$  رسیدیم، یال بعدی که انتخاب می‌شود، عبارت است از یالی که وقتی نسبت به یال  $(y, x)$  در گره  $x$ ، خلاف جهت عقربه ساعت حرکت می‌کنیم به آن می‌رسیم. بدین ترتیب قاعده دست راست کلیه اضلاع یک چند ضلعی بسته (وجه) را در جهت عقربه ساعت پیمایش می‌کند [۱۴]، [۱۵]. در شکل (۶) مسیری که پیمایش می‌شود عبارت است از:  $y \rightarrow z \rightarrow x \rightarrow y$ .

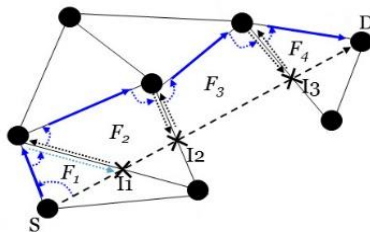
متأسفانه قاعده سمت راست همیشه محیط یک چند ضلعی بسته را پیمایش نمی‌کند. در گرافی که یال‌ها یکدیگر را قطع می‌کنند این پیمایش ممکن است در حلقه بیفتد. چنین گراف‌هایی همان گراف‌های غیر مسطح هستند که قبلاً درباره آن

الگوریتم ۳- جلورانی بسته به کمک قاعده سمت راست

```

Right-Hand-Forward(p, nin)
bin = NORM(ATAN2(self.l.y - nin.y, self.l.x - nin.x))
δmin = 3π
for each (a, l) in N do
  if a <> nin then
    ba = NORM(ATAN2(self.l.y - l.y,
                    self.l.x, l.x))
    δb = NORM(ba - bin)
    if δb < δmin then
      δmin = δb
      amin = a
    end if
  end if
end for
end if
end for
    
```

تابع NORM زاویه را نرمال کرده و به بازه  $[0, 2\pi]$  منتقل می‌کند. تابع  $ATAN2(y, x)$  مقدار Tang معکوس  $y/x$  را محاسبه می‌کند.



شکل ۸- وجه‌پیمایی در پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی

### ۳- ارزیابی روش‌های مسطح‌سازی GG و RNG

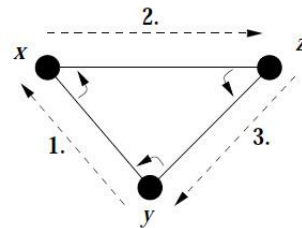
#### ۳-۱- شرایط محیط شبیه‌سازی

نرم‌افزاری به‌منظور مطالعه موضوع مقاله امکان‌سنجی، طراحی و پیاده‌سازی گردید. نرم‌افزار فوق توسط زبان C# و در محیط برنامه‌نویسی Microsoft Visual Studio 2017 تهیه شد. هدف این نرم‌افزار شبیه‌سازی پروتکل مسیریابی جغرافیایی وجه‌پیمایی بوده است. در این شبیه‌سازی فرض شده است که گره‌ها در بعد ارتفاع اختلاف ناچیزی دارند و با این فرض می‌توان شبیه‌سازی را در محیط دوبعدی انجام داد. ناحیه شبیه‌سازی دارای ابعاد  $1270 * 720$  می‌باشد. تولید شبکه در شبیه‌سازی به‌صورت تصادفی و با دو مدل توزیع یکنواخت و نرمال انجام گرفته است.

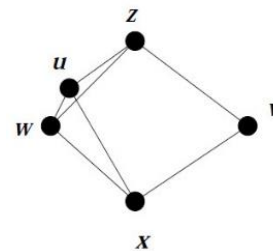
#### ۳-۲- پارامترهای تعریف شده در شبیه‌سازی

اولین پارامتر قابل تعریف در شبیه‌سازی تعداد گره می‌باشد. این تعداد هر چه بیشتر باشد شبکه فشرده‌تر و هر چه کمتر باشد، شبکه از فشردگی کمتر برخوردار است. دومین پارامتر قابل تعریف در شبکه دامنه انتقال است. این مقدار هر چه بیشتر باشد، امکان اینکه یک گره همسایه‌های بیشتری داشته باشد نیز افزایش می‌یابد. ترکیب تعداد گره‌های شبکه و دامنه انتقال می‌تواند منجر به متصل بودن یا غیر متصل بودن گراف شود. به دلیل اینکه در شبکه بی‌سیم موردی متصل بودن شبکه مهم می‌باشد، لازم است تعداد گره‌های شبکه و دامنه انتقال، متناسب انتخاب شوند. نکته‌ای که باید در اینجا به آن اشاره شود این است که در ابتدا به نظر می‌رسد ناحیه شبیه‌سازی ثابت در نظر گرفته شده است ولی با تغییر دادن تعداد گره‌ها و دامنه انتقال می‌توان تغییر ابعاد ناحیه شبیه‌سازی را تداعی کرد. در هر بار اجرای شبیه‌سازی تعداد دفعاتی که شبکه به‌صورت تصادفی تولید می‌شود نیز قابل تعریف است.

شکل (۷) نمونه‌ای از گراف غیر مسطح را نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود اگر از گره  $x$  به سمت گره  $u$  حرکت کنیم و با استفاده از قاعده سمت راست حرکت ادامه داده شود، مسیر طی شده به‌صورت  $x \rightarrow u \rightarrow z \rightarrow w \rightarrow u$  خواهد بود. واضح است این مسیر کل یال‌های چند ضلعی  $xuzw$  را پیمایش نکرد. مشکل در این است که یال‌های  $(w, z)$  و  $(x, u)$  یکدیگر را قطع می‌کنند. یال  $(w, z)$  از گراف حذف شود در این صورت مسیر طی شده برابر:  $x \rightarrow u \rightarrow z \rightarrow v \rightarrow x$  خواهد بود که موردنظر است.



شکل ۶- قاعده دست راست برای پیمایش یک وجه



شکل ۷- گراف غیر مسطح

به همین دلیل است که در شبکه‌های بی‌سیم زمانی که از پروتکل‌های جغرافیایی برای مسیریابی استفاده می‌شود و وجه‌پیمایی، صورت می‌گیرد، ابتدا گراف شبکه را مسطح کرده، یال‌های اضافی را حذف و سپس کار مسیریابی با استفاده از قاعده سمت راست به‌درستی صورت می‌گیرد. به این ترتیب پیمایش یک وجه دچار حلقه نخواهد شد [۱۵].

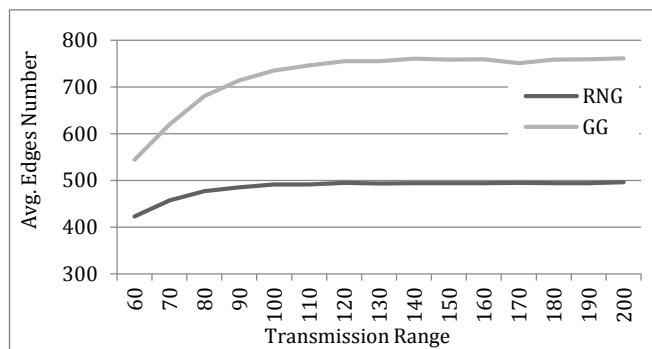
چنانچه گراف، یک شبکه کامپیوتری بی‌سیم موردی را مدل کرده باشد، آنگاه هر گره تنها با استفاده از اطلاعات مکانی گره‌های همسایه اولاً قادر است با کمک الگوریتم‌هایی که در بخش‌های ۲-۲ و ۳-۲ ارائه شد، گراف اصلی را به گراف مسطح مانند RNG یا GG تبدیل کند و ثانیاً صرفاً با دانستن اطلاعاتی مکانی همسایه‌ها و با کمک قاعده سمت راست نسبت به جلورانی بسته‌های رسیده، اقدام کند. چگونگی جلورانی بسته‌ها با استفاده از قاعده دست راست در الگوریتم (۳) نشان داده شده است [۹]. در این شبه کد  $bin$  جهت یالی است که بسته از آن رسیده است و  $bout$  جهت یالی است که بسته از آن خارج خواهد شد. در واقع یالی به‌عنوان گام بعدی جلورانی انتخاب می‌شود که مقدار  $bin - bout$  کمینه باشد. زوایا در بازه  $[0, 2\pi]$  تعریف می‌شوند.  $p$  بسته‌ای را نشان می‌دهد که از همسایه  $n_{in}$  دریافت شده است.  $N$  فهرست همسایه‌ها می‌باشد.

#### ۲-۶- وجه‌پیمایی در پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی

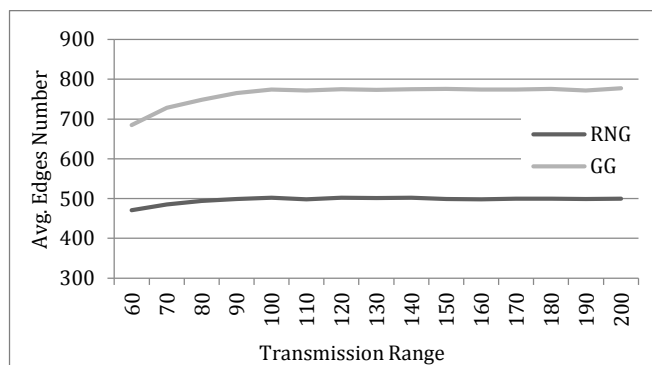
در وجه‌پیمایی پیمایش وجوهی که خط مبدأ - مقصد را قطع می‌کنند آن قدر ادامه می‌یابد تا بسته به مقصد برسد. در هر وجه پیمایش یال‌های آن وجه آن قدر ادامه می‌یابد تا به یالی برخورد شود که خط مبدأ - مقصد را قطع می‌کند. در این حالت پیمایش وجه جاری متوقف و وجه مجاور بعدی برای پیمایش انتخاب می‌شود [۳]، [۴]. شکل (۸) چنین حالتی را نشان می‌دهد. در هر وجهی به‌منظور پیمایش یال‌ها از قاعده سمت راست استفاده می‌گردد. در این شکل وجوهی که پیمایش می‌شود عبارت است از:  $F1, F2, F3, F4$ .

میانگین تعداد گام کمتر به مقصد می‌رسد. در ابتدای نمودار از آنجاکه دامنه انتقال کوچک است برای طی کردن مسیر تعداد گام‌های بیشتری لازم است و به مرور که دامنه انتقال افزایش می‌یابد تعداد گام کاهش یافته و از یک مرحله به بعد میانگین تعداد گام برای رسیدن از مبدأ به مقصد ثابت می‌ماند و با افزایش دامنه انتقال دیگر کاهش نمی‌یابد. علت هم این است که با افزایش دامنه انتقال گراف‌های RNG و GG تغییر زیادی نمی‌کنند.

شکل (۱۱) مقایسه کارایی گراف‌های RNG و GG را در مسیریابی جغرافیایی وجه پیمایی، در شبکه‌ای که دارای دامنه انتقال ثابت ۱۰۰ و با تعداد گره‌های مختلف نشان می‌دهد. در شکل (الف) شبکه با توزیع مکانی یکنواخت و در شکل (ب) با توزیع مکانی نرمال ایجاد شده است. در این دو نمودار نیز GG کارایی بهتری نسبت به RNG دارد. نمودار (الف) نشان می‌دهد در ابتدا که تعداد گره‌ها کم است چون فاصله گره‌ها از یکدیگر بیشتر است پس احتمال اینکه گراف به صورت زیرگراف‌های جدا از هم باشد زیاد است و بنابراین اگر مقصد در دسترس باشد با تعداد گام کمتر می‌توان از مبدأ به مقصد رسید. زمانی که تعداد گره‌ها به ۲۰۰ می‌رسد، گراف به شکل متصل درمی‌آید ولی به دلیل اتصالات نسبتاً کم گراف گاهی لازم است برای رسیدن به مقصد یال‌های زیادی پیمایش شود. پس از آن وقتی تعداد گره‌ها به ۳۰۰ می‌رسد، اتصالات گراف به حدی می‌رسد که برای رسیدن به مقصد نیاز به دور زدن‌های زیاد درون گراف نمی‌باشد. و از آن به بعد نمودارها با شیب ملایم ادامه می‌یابند. که طبیعی است با افزایش تعداد گره‌ها و در نتیجه تعداد یال‌ها میانگین تعداد گام‌های لازم برای رسیدن به مقصد بیشتر خواهد شد. در نمودار (ب) چون تراکم گره‌ها در وسط بیشتر است، اگر مبدأ و مقصد در میانه‌های گراف باشد با تعداد گام کم می‌توان مسیر را طی کرد در غیر این صورت برای پیمایش مسیر تعداد گام بیشتری لازم است. زمانی که شبکه دارای حدود ۳۰۰ گره است اتصالات به تعداد مناسب بین گره‌ها برقرار است و میانگین تعداد گام برای رسیدن به مقصد مینیمم می‌شود. از آن به بعد مانند نمودار (الف) با افزایش تعداد گره‌ها و در نتیجه تعداد لبه‌ها، تعداد گام برای رسیدن به مقصد با شیب مثبت افزایش می‌یابد.



شکل (الف) توزیع مکانی یکنواخت



شکل (ب) توزیع مکانی نرمال

شکل ۹- مقایسه تعداد یال‌های گراف‌های RNG و GG

در این مطالعه هر گره دو جدول مسیریابی را نگهداری می‌کند. یکی جدول مسیریابی با روش GG و دیگری جدول مسیریابی با روش RNG. به دلیل اینکه پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی بدون حالت هستند، هر گره اطلاعات محلی خودش را نگه می‌دارد و تنها از موقعیت همسایه‌های خودش با خبر می‌باشد و دیدی از توپولوژی کلی شبکه ندارد، لذا اندازه این دو جدول کوچک خواهد بود. به همین دلیل است که پروتکل‌های مسیریابی جغرافیایی مقیاس‌پذیر می‌باشند. و با افزایش اندازه شبکه نیاز به افزایش توانمندی سخت‌افزاری و شبکه‌ای گره‌ها نیست.

در هر بار اجرای شبیه‌سازی مطالعه روی کلیه مسیرهای ممکن در شبکه صورت می‌گیرد. به عنوان مثال در شبکه‌ای با ۳۰۰ گره، هر گره امکان تبادل بسته با ۲۹۹ گره دیگر را دارد. لذا برای این شبکه تعداد  $۳۰۰ * ۲۹۹ = ۸۹,۷۰۰$  مسیریابی در حالت RNG و همین تعداد مسیریابی در حالت GG انجام گرفته نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شود. جدول (۱) بخش کوچکی از خروجی نرم‌افزار را نشان می‌دهد که در صد بهبود تعداد گام‌ها در ارسال یک بسته از گره ۱ به کلیه گره‌های دیگر را در روش GG در مقایسه با روش RNG نشان می‌دهد.

جدول ۱- نمونه کوچکی از خروجی شبیه‌ساز روی شبکه‌ای با ۳۰۰ گره و دامنه انتقال ۱۰۰

S.	D.	RNG Hop Count	GG Hop Count	RNG - GG	Improv. %
1	2	24	17	7	29.2%
1	3	21	15	6	28.6%
1	4	22	16	6	27.3%
1	5	11	10	1	9.1%
1	6	49	23	26	53.1%
1	7	24	15	9	37.5%

### ۳-۳- بررسی کارایی روش‌های مسطح‌سازی GG و RNG

در این بخش به این سؤال پاسخ داده می‌شود که در مجموع و به طور میانگین کدام روش کارایی بهتری دارد و با تعداد گام کمتر می‌توان از مبدأ به مقصد رسید. همچنین در مواقعی که پروتکل مسیریابی رسیدن بسته به مقصد را تضمین نمی‌کند، میانگین ارسال ناموفق در هر یک از روش‌های GG و RNG مقایسه خواهد شد. و نیز میانگین حافظه مورد نیاز برای هر یک از روش‌های مسطح‌سازی مقایسه می‌گردد.

### ۳-۴- مقایسه تعداد یال‌ها در گراف‌های GG و RNG

نمودارهای شکل (۹) میانگین تعداد یال‌های زیرگراف‌های GG و RNG در شبکه‌هایی با ۴۰۰ گره را نشان می‌دهد. در شکل (الف) شبکه با توزیع مکانی یکنواخت تولید شده است و در شکل (ب) شبکه با توزیع مکانی نرمال ایجاد شده است. نمودارهای فوق تعداد یال‌ها نسبت به دامنه انتقال را نشان می‌دهد. در نمودار فوق از یک مرحله‌ای به بعد با افزایش دامنه انتقال اگرچه بدیهی است، تعداد یال‌های گراف اصلی افزایش خواهد می‌یابد ولی تعداد یال‌های گراف RNG و نیز گراف GG ثابت خواهد ماند. مشخص است همواره تعداد یال‌ها در گراف RNG کمتر از تعداد یال‌ها گراف GG می‌باشد. زیرا گراف RNG زیرمجموعه‌ای از گراف GG می‌باشد.

### ۳-۴-۱- مقایسه میانگین تعداد گام‌ها در گراف‌های GG و RNG

شکل (۱۰) کارایی روش‌های مسطح‌سازی RNG و GG را در مسیریابی جغرافیایی وجه پیمایی نشان می‌دهد. در نمودارهای (الف) و (ب) تعداد گره‌ها ثابت و برابر ۴۰۰ در نظر گرفته شده است. نحوه تولید شبکه در شکل (الف) دارای توزیع مکانی یکنواخت و در شکل (ب) دارای توزیع مکانی نرمال می‌باشد. مشاهده می‌شود که در هر دو نمودار استفاده از GG نسبت به RNG کارایی بهتری دارد و بسته با

دارای توزیع مکانی نرمال می‌باشد. مشاهده می‌شود که بهبود، با افزایش دامنه انتقال رشد دارد و از جایی به بعد مقدار آن ثابت می‌شود. علت هم این است که از جایی به بعد زیرگراف‌های RNG و GG ثابت خواهد بود.



(الف) توزیع مکانی یکنواخت

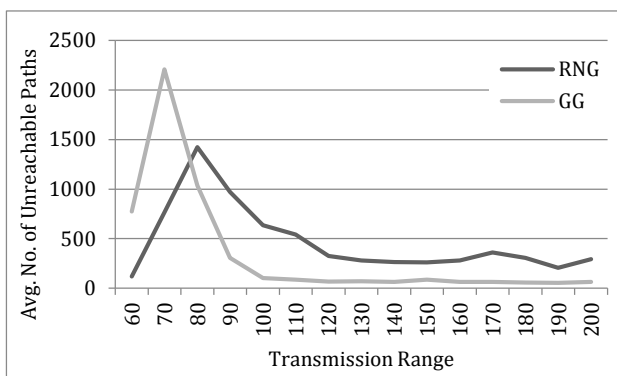


(ب) توزیع مکانی نرمال

شکل ۱۲- درصد بهبود روش GG نسبت به RNG در مسیریابی جغرافیایی

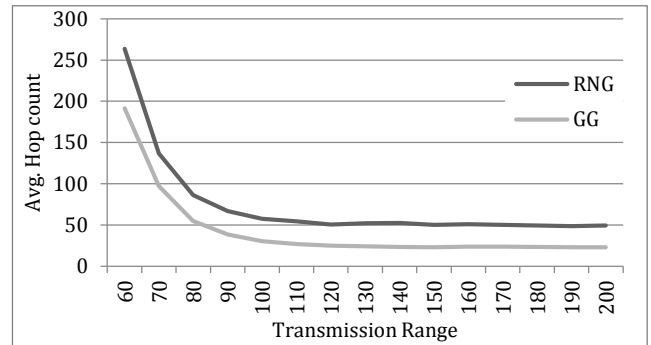
### ۳-۴-۲- مقایسه تعداد ارسال‌های ناموفق در گراف‌های GG و RNG

شکل (۱۳) تعداد دفعات ارسال ناموفق را در مقابل افزایش دامنه انتقال در دو روش GG و RNG با توزیع گره یکنواخت مقایسه می‌کند. توزیع گره‌ها در این سناریو یکنواخت بوده است.

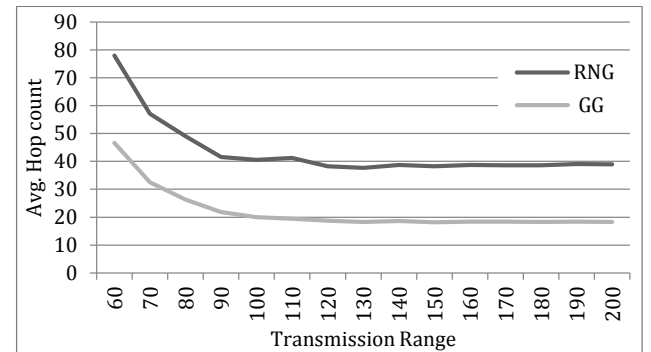


شکل ۱۳- مقایسه تعداد موارد ارسال ناموفق در توزیع مکانی یکنواخت

هنگامی که دامنه انتقال بسیار کوتاه است (تا مرز ۷۵ متر) تعداد موارد ارسال ناموفق GG به مراتب بیشتر از موارد مشابه در روش RNG است. علت این است که تعداد لبه‌های گراف GG و در نتیجه تعداد وجوه آن در این حالت بسیار بیشتر از تعداد وجوه گراف RNG است. و به این علت احتمال اینکه تعداد وجوه بیشتری توسط

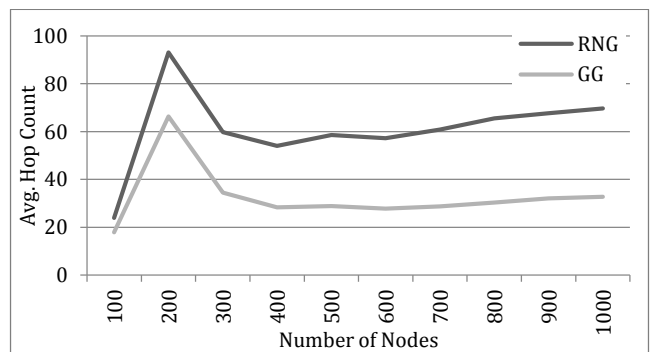


(الف) توزیع مکانی یکنواخت

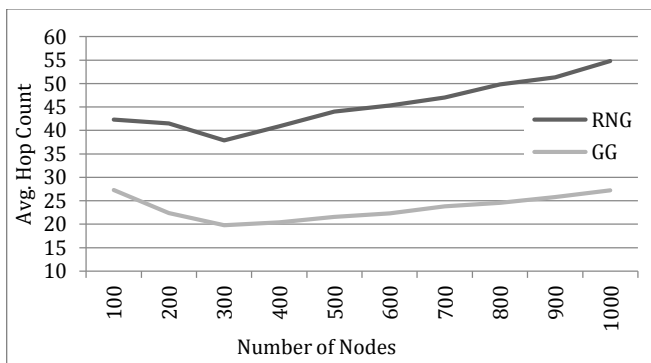


(ب) توزیع مکانی نرمال

شکل ۱۰- مقایسه کارایی در روش‌های RNG و GG



(الف) توزیع مکانی یکنواخت

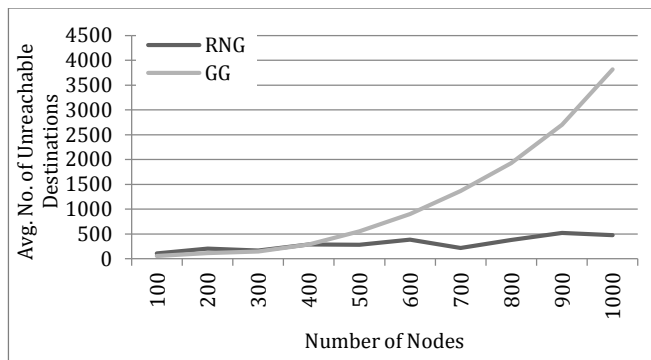


(ب) توزیع مکانی نرمال

شکل ۱۱- مقایسه کارایی در روش‌های RNG و GG

در شبکه‌هایی با دامنه انتقال ۱۰۰

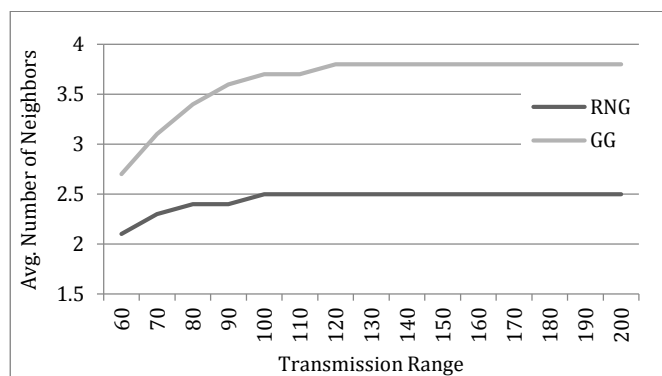
شکل (۱۲) درصد بهبود استفاده از مسطح‌سازی GG نسبت به RNG را نشان می‌دهد. در شکل (الف) شبکه دارای توزیع مکانی یکنواخت و در شکل (ب) شبکه



شکل ۱۶- تعداد موارد ارسال ناموفق در مقابل تغییرات اندازه شبکه در توزیع مکانی نرمال

### ۳-۴-۳- مقایسه حافظه مورد نیاز در گراف‌های GG و RNG

اشکال (۱۷) و (۱۸) نتایج شبیه‌سازی از نظر میانگین میزان حافظه مصرفی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی واضح است که به دلیل اینکه گراف RNG زیرمجموعه‌ای از گراف GG است، میانگین تعداد همسایه‌ها در گراف GG نسبت به گراف RNG، بیشتر است. بنابراین اگرچه از نظر تعداد گام نشان داده شد که روش GG از روش RNG بهتر است ولی حافظه مورد نیاز روش GG از روش RNG بیشتر است. نمودارهای شکل (۱۸) نشان می‌دهد که در حالت‌های مختلف وقتی که تعداد گره‌ها ثابت است و دامنه انتقال تغییر می‌کند و یا زمانی که دامنه انتقال ثابت است و تعداد گره‌ها متغیر است و از هر یک از روش‌های توزیع تصادفی یکنواخت و یا نرمال جهت تولید شبکه استفاده شود، مقدار حافظه مورد نیاز هر گره برای نگهداری اطلاعات همسایه‌ها در روش‌های GG و RNG به یک مقدار پایدار خواهد رسید. منظور از حالت پایدار این است که با افزایش تعداد گره‌ها و یا دامنه انتقال بر تعداد همسایه‌ها افزوده نخواهد شد.



(الف) توزیع مکانی یکنواخت



(ب) توزیع مکانی نرمال

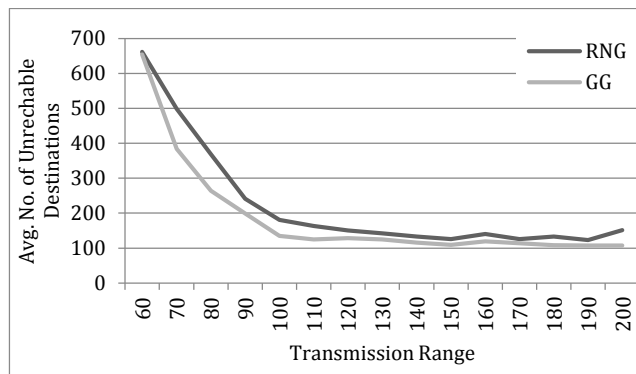
شکل ۱۷- میانگین حافظه مصرفی - تعداد گره ثابت

محور مبدأ - مقصد قطع شوند، بیشتر است. باید به یاد داشت که علت عدم موفقیت در وصول به مقصد در روش مسیریابی وجه‌پیمایی در آن است که استفاده از قاعده دست راست (یا چپ) با محدودیتی که در قانون تعویض وجه اعمال شده است، باعث می‌شود که یکی از وجوهی که توسط محور قطع می‌شود به‌صورت نامحدود پیمایش شود. بنابراین هر چه تعداد وجوه قطع شده توسط این محور بیشتر باشد احتمال تکرار پیمایش لبه‌های یک وجه بیشتر می‌گردد. با افزایش دامنه انتقال، همچنان که در شکل مشاهده می‌شود، تعداد موارد ارسال ناموفق در روش GG به‌تندی رو به کاستی می‌گیرد و به‌سوی تعدادی ثابت گرایش پیدا می‌کند. زیرا تعداد وجوه قطع شده توسط محور مبدأ - مقصد، با افزایش دامنه انتقال کاهش می‌یابد.

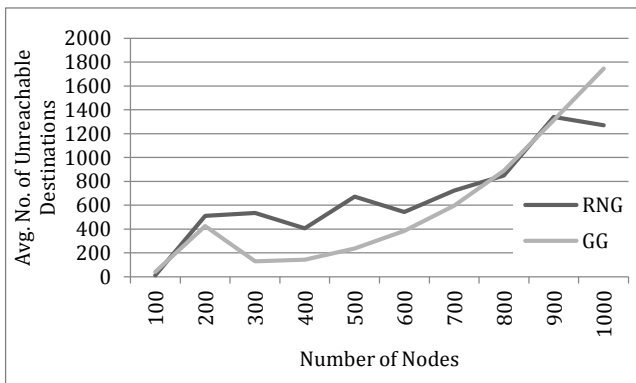
تغییر توزیع گره‌ها به توزیع مکانی نرمال باعث تمرکز بیشتر گره‌ها در ناحیه مرکزی می‌گردد. در گراف RNG با توجه به اینکه انتخاب لبه‌های کمتری برای ادامه مسیر وجود دارد، امکان بیراهه رفتن بیشتر می‌شود بنابراین همان‌گونه که در شکل (۱۴) نشان می‌دهد، تعداد ارسال‌های ناموفق در گراف RNG بیشتر خواهد بود.

چند وضعیت را می‌توان متصور شد. یکی اینکه با افزایش تعداد گره‌های شبکه احتمال قطع وجوه بیشتر توسط محور مبدأ - مقصد افزایش می‌یابد و در نتیجه انتظار می‌رود موارد ارسال ناموفق در روش GG، که دارای تعداد لبه بیشتری می‌باشد، فزونی یابد. این مورد با تغییر توزیع گره‌ها به توزیع مکانی نرمال و با تمرکز بیشتر گره‌ها در ناحیه مرکزی تشدید و تعداد موارد ارسال ناموفق با افزایش تعداد گره‌های شبکه به‌شدت زیاد می‌شود. وضعیت دوم اینکه با کم شدن تعداد لبه‌ها در گراف RNG احتمال بیراهه رفتن و در نتیجه دور زدن مجدد یک یال از وجه جاری بیشتر می‌شود. گاهی همین وجود یال کمتر باعث می‌شود در پیمایش یک وجه دور صورت نگیرد و وجوه روبه‌جلو پیمایش شود.

اشکال (۱۵) و (۱۶) موارد ارسال ناموفق در روش‌های GG و RNG هنگامی که تعداد گره‌های شبکه افزایش می‌یابند را به ترتیب در توزیع مکانی یکنواخت و نرمال نشان می‌دهند.



شکل ۱۴- مقایسه تعداد موارد ارسال ناموفق در توزیع مکانی نرمال



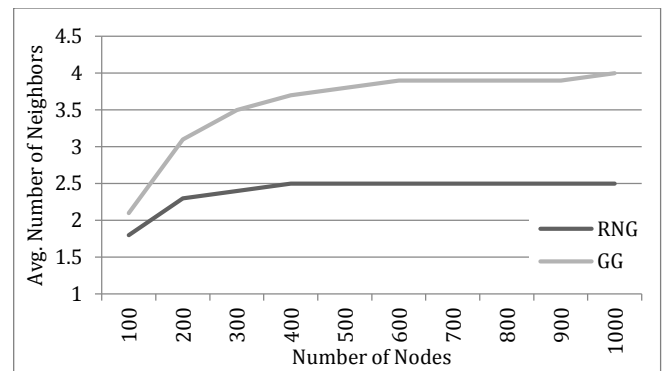
شکل ۱۵- تعداد موارد ارسال ناموفق با تغییر اندازه شبکه در توزیع مکانی یکنواخت

تعداد موارد ارسال ناموفق، در شرایطی که تعداد وجوه قطع شده توسط محور مبدأ - مقصد بسیار زیاد است، مثل شبکه‌ای مترام با توزیع نرمال گره‌ها، روش RNG نسبت به روش GG برتری دارد.

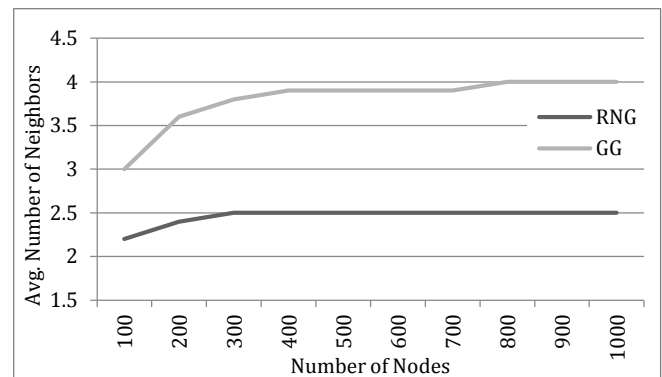
به‌عنوان فعالیت‌های پژوهشی آتی و در امتداد این پایان‌نامه می‌توان به بررسی اثر روش‌های مسطح‌سازی در الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی دیگر، مثل الگوریتم‌های GFG و OFR اشاره کرد. همچنین مطالعه اثر این روش‌ها بر شبکه‌هایی که گره‌ها در آن به‌صورت خاصی آرایش گرفته‌اند، مانند شبکه‌های VANET در محیط شهری (Urban)، می‌تواند مفید واقع شود.

## مراجع

- [1] S. Boussoufa-Lahlaha, F. Semchedinea, and L. Bouallouche-Medjkounea, "Geographic routing protocols for Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANETs): A survey," *Vehicular Communications*, Vol. 11, pp. 20 - 32, 2018.
- [2] F. Cadger, K. Curran, J. Santos, and S. Moffett, "A Survey of Geographical Routing in Wireless Ad-Hoc Networks," *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, VOL. 15, NO. 2, pp. 621 - 653, 2013.
- [3] B. Karp, and H.T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," *Proceedings of the 6th international conference on Mobile computing and networking*, ACM, p. 243-254, 2000.
- [4] B. Karp, *Geographic Routing for Wireless Networks*, PhD Thesis, Harvard University, 2000.
- [5] F. Kuhn, R. Wattenhofer, and A. Zollinger, "Asymptotically optimal geometric mobile ad-hoc routing," *Proceedings of the 6th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications (Dial-M'02)*, Atlanta, GA, USA, 2002.
- [6] F. Kuhn, R. Wattenhofer, and A. Zollinger, "Worst-case optimal and average-case efficient geometric ad-hoc routing," *Proceedings of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC' 03)*, USA, 2003.
- [7] O. Alzamzami, and I. Mahgoub, "Link utility aware geographic routing for urban VANETs using two-hop neighbor information," *Ad Hoc Networks*, Volume 106, 2020.
- [8] K. Katsaros, M. Dianati, R. Tafazolli, and R. Kernchen, "CLWPR; a novel cross-layer optimized position based routing protocol for VANETs," *Vehicular Network-ing Conference (VNC)*, pp. 139-146, 2011.
- [9] O. Alzamzami, and I. Mahgoub, "An enhanced directional greedy forwarding for VANETs using link quality estimation," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 1-7, 2016.
- [10] A. C. Souza, C. Castro, J. Garcia, L. Torres, L. Jaimes, and B. Jaimes, "Improving the Efficiency of Gabriel Graph-based Classifiers for Hardware-optimized Implementations," *XXII Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA)*, Colombia, Apr 24 - 26, 2019.
- [11] P. Wan, and C. Yi, "On the Longest Edge of Gabriel Graphs in Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol 18, Issue: 1, pp. 111-125, 2007.
- [12] S. Ruhrop, H. Kalosha, A. Nayak, and I. Stojmenovic, "Message-Efficient Beaconless Georouting with Guaranteed Delivery in Wireless Sensor, Ad Hoc, and Actuator Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 18 (1), 2010.
- [13] A. Arshad, Z. Hanapi, S. Subramaniam, and R. Latip, "Performance Evaluation of the Geographic Routing Protocols Scalability," *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, Malaysia, 2019.
- [14] D. Das and R. Misra, "Improved geographic scheme for greedy perimeter stateless routing," *IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)*, pp. 68-73, India, 2013.
- [15] Test D. Das and R. Misra, "Improved k-hop Neighbourhood Knowledge Based Routing in Wireless Sensor Networks," *The 2nd International Conference on Advanced Computing, Networking and Security*, pp. 136-141, Mangalore, India, 2013.



الف) توزیع مکانی یکنواخت



ب) توزیع مکانی نرمال

شکل ۱۸- میانگین حافظه مصرفی - دامنه انتقال ثابت

## ۴- نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های جغرافیایی ابتدا از روش حریصانه در نزدیک شدن به گره مقصد استفاده می‌کنند. ولی در بسیاری از موارد روش حریصانه در میانه راه از پیشروی بازمی‌ماند و گره‌ای را به‌عنوان گره بعد در یافتن مسیر به‌سوی مقصد نمی‌یابد. در چنین مواردی الگوریتم‌های جغرافیایی از الگوریتمی دیگر، که معمولاً بسیار پیچیده‌تر از الگوریتم حریصانه هستند، بهره می‌برند. این الگوریتم‌ها معمولاً با تکیه بر گراف مسطح شده و پیمودن وجوه تشکیل شده میان گره جاری و گره مقصد، کار وصول بسته به مقصد را به سرانجام می‌رسانند. مسطح‌سازی یک گراف بدان لحاظ انجام می‌شود که لبه‌هایی که بالقوه می‌توانند موجب تشکیل حلقه در مسیر ارسال یک پیام از مبدأ به مقصد شوند، از گراف اصلی حذف گردد. الگوریتم‌های GG و RNG دو الگوریتمی هستند که برای مسطح‌سازی یک گراف پیشنهاد شده‌اند. هر کدام از الگوریتم‌های فوق در حذف لبه‌ها و مسطح‌سازی به روشی متفاوت عمل می‌کنند به‌گونه‌ای که گراف مسطح شده حاصل از یکدیگر متفاوت است. بنابراین نقش گراف مسطح‌شده در مسیریابی جغرافیایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این مقاله دو روش GG و RNG با یکدیگر مقایسه شده و با استفاده از یک نرم‌افزار شبیه‌ساز تعداد متوسط گام‌های لازم برای ارسال یک پیام از یک گره به گره‌ای دیگر، در شبکه‌های مختلف با تعداد گره‌های متفاوت، دامنه انتقال متغیر و آرایش گوناگون محاسبه و ارائه شده است. از الگوریتم وجه پیمایی در این مقاله استفاده شده است که در مرحله پیمایش وجوه از قانون دست راست با اعمال محدودیت‌هایی بهره می‌برد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که برخلاف تصور اولیه، روش GG هر چند با گام‌هایی کوتاه‌تر مسیر مبدأ - مقصد را طی می‌کند ولی در نهایت و به‌صورت میانگین موفق‌تر از روش RNG عمل می‌کند.

همچنین اثر روش مسطح‌سازی در الگوریتم‌های مسیریابی جغرافیایی که وصول به مقصد را تضمین نمی‌کنند، مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده‌ایم از نظر

**حمیدرضا شهبابی فراهانی** تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در رشته ریاضی کاربردی در دانشگاه اصفهان و در مقطع کارشناسی ارشد در رشته مهندسی فناوری اطلاعات - شبکه‌های کامپیوتری در دانشگاه صنعتی امیرکبیر به انجام رسانده است. تحقیقات موردعلاقه نامبرده شبکه‌های کامپیوتری، شبکه‌های حسگر بی‌سیم و ارزیابی



کارایی و شبیه‌سازی پروتکل‌های مرتبط می‌باشد.

آدرس پست الکترونیک ایشان عبارت است از:

shahrabi@ipm.ir

**مسعود صبائی** تحصیلات خود را در رشته مهندسی کامپیوتر در مقطع کارشناسی در دانشگاه صنعتی اصفهان و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران) به انجام رسانده است. دکتر صبائی از سال ۱۳۸۲ تاکنون، عضو هیئت‌علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر هستند.



زمینه‌های تحقیقاتی ایشان عبارت‌اند از: مدیریت شبکه‌های مخابراتی و کامپیوتری، شبکه‌های نرم‌افزار محور، شبکه‌های حسگر بی‌سیم و اینترنت اشیا.

آدرس پست الکترونیک ایشان عبارت است از:

Sabaei@aut.ac.ir

# A Comparative Study of GG and RNG Planarization Algorithms in Geographic Routing for Wireless Networks

Hamidreza Shahrabi Farahani<sup>1</sup>, Masoud Sabaei<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Computer Science, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Computer Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

---

## Abstract

Over the past few years, geographic routing has attracted much attention mainly due to the availability of positioning systems, such as GPS. In geographic routing, a node does not need to maintain topological information but only the information about its connections with immediate neighbours. A packet, upon arriving at every node, is forwarded toward its destination using the positioning information of destination node and also the limited information about connections with neighbouring nodes available at the current node. Therefore, geographic routing is more suitable for large-scale networks as no any complex route discovery algorithm is required to be implemented.

Many geographic routing protocols have been proposed so far. In almost all of these algorithms, a greedy approach is employed in the first phase to get the packet closer to the destination if possible. Over the next phase, a face forwarding algorithm is usually used to bypass the void area using a planarized graph. The Gabriel Graph (GG) and the Relative Neighbourhood Graph (RNG) are two algorithms to generate planar subgraphs. Both of these subgraphs are computed efficiently based on local geometric arrangement. However, their outcomes are not the same and consequently nodes might be reached by a short path in one subgraph become far apart in another.

In this paper, the effect of these two planarization algorithms on geographic routing is studied. Despite the initial expectations that RNG can reach the destination using lower number of hops on average as it has lower number of edges, the result of our extensive simulation study demonstrates that GG outperforms RNG in terms of the number of hops taken between source and destination on average. Furthermore, we show the effect of RNG to slightly increase the number of failures in those geographic routing protocols which do not guarantee delivery of packets, such as GPSR routing algorithm.

**Keywords:** Planar Graph, Geographic routing, Right-hand rule, GPSR, GG, RNG.