

موقعیت‌یابی مبتنی بر پرش با استفاده از حسگرهای مرجع دارای دو شعاع ارتباطی متفاوت

فرهاد پارسایی‌نژاد^۱ دانشجوی کارشناسی‌ارشد، رضا قاضی‌زاده^۱، استادیار

۱-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران،
parsaienejadfarhad@birjand.ac.ir, rghazizade@birjand.ac.ir

چکیده: با توجه به ماهیت شبکه‌های حسگر بی‌سیم و تصادفی بودن توزیع حسگرها، کارایی صحیح شبکه مستلزم مکان‌یابی حسگرها است. گروهی از روش‌های مکان‌یابی، روش‌های مبتنی بر پرش هستند. اساس کار در این روش‌ها، به‌دست آوردن فاصله حسگرهای مجهول از مرجع برحسب اندازه پرش است. در این مقاله روشی مبتنی بر پرش، بر پایه روش DV-Hop معرفی شده است. در این مدل گره‌های مرجعی که دارای دو شعاع ارتباطی متفاوت هستند، می‌توانند حسگرهای واقع در نواحی که خطای زیادی تولید می‌کنند را شناسایی کرده و با قراردادن مقدار مناسب برای فاصله آن‌ها، میانگین خطای مکان‌یابی را به مراتب نسبت به روش DV-Hop کاهش دهند. عملکرد این مدل تحت شرایط مختلفی از قبیل تغییر شعاع ارتباطی، تراکم حسگرهای مرجع و مجهول و مقادیر مختلف پارامتر غیریکنواختی انتشار (DOI) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که با استفاده از روش پیشنهادی، می‌توان علاوه بر افزایش اتصال شبکه، با تعداد کم حسگرهای مرجع به دقت بالایی دست یافت.

واژه‌های کلیدی: موقعیت‌یابی مبتنی بر پرش، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، موقعیت‌یابی مشارکتی.

Hop-Based Localization Using Anchor Nodes with Two Communication Ranges

F. Parsaie Nejad¹, R. Ghazizadeh¹

1-Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran,

Abstract: Due to the nature of wireless sensor networks and the random distribution of Nodes in the network, sensor Nodes should locally calculate their locations accurately. A Lots of localization methods are introduced in the literature. One group of them is range-free based localization. In these methods, to find the distance between sensors and anchor Nodes, hop size is calculated. In this paper, a range-free based method which is based on DV-hop method is proposed. In the introduced scheme, anchor Nodes with two different radius communication ranges find the Nodes whose location causes a lot of errors. Therefore, by reducing the impact of those sensor Nodes on the Hop size computation, the Nodes can compute their location more accurately than the one introduced in DV-Hop methods. Performance of the proposed method is evaluated in different conditions, such as various communication ranges, density of the anchor and target sensor Nodes and different degrees of irregularities (DOI). Simulation results show that the proposed method can increase the network connectivity, and reduce the required number of anchor Nodes to achieve high accuracy.

Keywords: Hop based localization, wireless sensor networks, cooperative localization.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۱۵ و ۱۳۹۳/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰

نام نویسنده مسئول: فرهاد پارسایی‌نژاد

نشانی نویسنده مسئول: ایران - بیرجند - دانشگاه بیرجند - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

بهتری نسبت به روش‌های دیگر فراهم می‌گردد. در ادامه این مقاله، در بخش ۲ موقعیت‌یابی DV-Hop تشریح می‌شود، در بخش ۳ مناطق ایجادکننده خطا در روش‌های مبتنی بر پرش شناسایی می‌گردند و راهکارهای مناسب برای کاهش خطا ارائه می‌شود و در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مروری بر موقعیت‌یابی DV-Hop

اساس کار روش DV-Hop شمارش تعداد پرش بین مرجع حسگرها است. به‌طور کلی روش DV-Hop دارای سه مرحله است [۵]،

در مرحله اول مرجع‌ها پیامی را که حاوی کد شناسایی و شمارنده پرش است، منتشر می‌کنند. شمارنده پرش نشانگر تعداد پرشی است که پیام از مرجع تا گره دریافت‌کننده پیام، انجام داده است. حسگرها با دریافت پیام، محتویات شمارنده پرش را ذخیره کرده، یک واحد به آن اضافه نموده و سپس پیام به‌روزشده را پخش می‌کنند. این کار تا جایی که پیام به تمام حسگرها برسد، ادامه پیدا می‌کند. برای حذف پیام‌های تکراری، مقدار شمارنده پرش پیام دریافتی با مقداری که قبلاً ذخیره شده مقایسه می‌گردد و در صورت بیش‌تر بودن شمارنده، پیام دریافتی نادیده گرفته می‌شود. بدین ترتیب فاصله بین حسگرها بر حسب تعداد پرش بین آن‌ها به‌دست می‌آید.

در مرحله دوم، گره‌های مرجع مانند i و j بر اساس فاصله بین خود (d_{ij}) و تعداد پرش بین آن‌ها (h_{ij})، میانگین اندازه پرش را محاسبه می‌نمایند.

$$Hopsiz_e = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_{ij}} \quad (1)$$

(X_i, Y_i) مختصات حسگر i هستند. سپس گره‌های مرجع، پیامی را با محتوای کد شناسایی حسگر مرجع و میانگین اندازه پرش منتشر می‌کنند و هر حسگر، پیام دریافتی را مجدداً منتشر می‌نماید درحالی‌که اندازه پرش اولین پیام دریافتی را به‌عنوان میانگین اندازه پرش خود در شبکه در نظر می‌گیرد. در نهایت حسگر j فاصله خود را از گره مرجع i با استفاده از رابطه زیر تخمین می‌زند:

$$d_{ij} = Hopscount_{ij} \times Hopsiz_e \quad (2)$$

در مرحله سوم، حسگرهای مجهول فاصله خود را با حسگرهای مرجع، با روش مثلث‌بندی محاسبه می‌کنند و با روش حداقل مربعات (MS) [۱۰] مختصات نهایی به‌دست می‌آید.

از دلایل ایجاد خطا در این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۲، ۳ و ۷].

در سیستم‌هایی که دارای توزیع یکنواخت هستند و تراکم گره در آن‌ها زیاد است، مسیر پرش تقریباً به‌صورت خط مستقیم بین مبدا و مقصد و نحوه پخش‌شدن پیام از حسگر مرکزی همگن است (شکل ۱). اما از آنجایی که حسگرها دارای توزیع دلخواه هستند لزوماً کوتاه‌ترین مسیر، کم‌ترین پرش را ندارد.

مکان‌یابی حسگرها، یکی از چالش‌های مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. در این راستا، روش‌های متعددی معرفی شده‌اند که اولویت استفاده از این روش‌ها بسته به شرایط جغرافیایی و نوع کاربرد مشخص می‌شود. به‌طور کلی روش‌های موقعیت‌یابی را می‌توان به دو دسته برد آزادⁱ [۱] و برد پایهⁱⁱ [۲] طبقه‌بندی کرد. در اکثر شبکه‌های حسگر چندپرشی [۳] موقعیت‌یابی در دسته برد آزاد قرار می‌گیرد. اساس کار این روش‌ها، به‌دست آوردن اندازه پرش و تعداد پرش بین مبدا و مقصد است. یکی از چالش‌های مطرح‌شده در این روش‌ها چگونگی به‌دست آوردن اندازه پرشی است که کم‌ترین خطا را ایجاد می‌کند. روش‌های زیادی تاکنون در این زمینه معرفی شده‌اند [۳-۱]. در این مقاله اثبات شده است که دلیل اصلی ایجاد خطا، حسگرهای واقع‌شده در شعاع ارتباطی حسگرهای مرجع هستند. باید توجه کرد که حسگرها در مناطق مختلف محدوده ارتباطی حسگرهای مرجع، میزان خطای غیریکسانی ایجاد می‌نمایند.

یکی از روش‌های مبتنی بر پرش، روش DV-Hop [۲] است. اساس کار این روش، به‌دست آوردن میانگین پرش در شبکه است. در این روش، هرچقدر شعاع ارتباطی کوچک‌تر باشد، دقت میانگین پرش بالاتر می‌رود و به همان اندازه اتصال شبکه کاهش می‌یابد، که این نیز منجر به ایزوله‌شدن تعدادی از گره‌ها می‌شود و یکپارچگی شبکه از بین می‌رود. یکی دیگر از مشکلات در این روش، استفاده از میانگین پرش حسگرهای مرجع به‌عنوان میانگین پرش در کل شبکه است. دیگر منبع ایجاد خطا، عدم انتخاب مسیر مستقیم پرش از مبدا به مقصد است. به‌دلیل بالا بودن تراکم یا داشتن شعاع ارتباطی بزرگ در شبکه‌های تحت اتصال کامل، مسیر به‌صورت تقریبی خط مستقیم را طی می‌کند و علت این امر شعاع ارتباطی بزرگ یا تراکم بالای حسگرها است. همچنین، روش‌هایی معرفی شده‌اند که بر اساس مشخصات آماری و احتمالی توزیع حسگرها در محیط و میزان پراکندگی آن‌ها در نواحی مختلف عمل می‌نمایند [۴-۶]. این روش‌ها تا حدودی کاستی‌های روش DV-Hop را جبران کرده‌اند و بیش‌تر آن‌ها با توجه به انجام‌دادن روش DV-Hop در دو مرحله سعی در کاهش بار ترافیکی دارند. به‌عنوان مثال در [۵] سعی شده است با استفاده از اندازه‌گیری توان دریافتی در روش DV-Hop، خطا کاهش داده شود که این کاهش خطا مستلزم هزینه زیادی است. اما باید توجه داشت که میزان بهبود کارایی آن‌ها اندک است. نکته‌ای که در اکثر این روش‌ها مشترک است تلاش آن‌ها برای ایجاد ضرایبی بر اساس تراکم حسگرها و یا موقعیت حسگرهای مرجع در محیط است که با استفاده از آن‌ها میانگین پرش را وزن‌دهی می‌کنند. آن‌چه در اکثر این روش‌ها نادیده گرفته شده است، پیدا کردن منبع اصلی ایجاد خطا است که با تمام این راهکارها باز هم کارایی آن‌ها چندان تغییری نمی‌کند.

در روش پیشنهادی، با شناسایی این نقاط ضعف و ارائه راه‌حلی مناسب، بخش بزرگی از خطای شبکه کاهش داده شده است و کارایی

در این بخش، عوامل تأثیرگذار بر اندازه میانگین پرش، مورد مطالعه قرار گرفته است. اما قبل از آن، مدل غیریکنواختی انتشار، برای در نظر گرفتن اثرات محیطی، معرفی می‌شود.

۳-۱- غیریکنواختی انتشار سیگنال در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

غیریکنواختی انتشار [۹]، یک مشخصه غیرقابل چشم‌پوشی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. منظور از غیریکنواختی در محدوده رادیویی، تضعیف غیریکنواخت سیگنال در مسیرهای متفاوت انتشار است. چندین تحقیق وجود دارد که چگونگی تغییر مشخصات شعاع رادیویی در مسیرهای مختلف و درصد نامتقارن بودن مسیر را بر اساس میانگین فاصله بین گره‌ها نشان می‌دهد [۸ و ۹].

در مسیرهای متفاوت، انتشار امواج به صورت گسترده‌ای تصادفی و بی‌قاعده، اما تغییرات آن‌ها به صورت پیوسته است. بر این اساس مدل غیریکنواختی رادیویی $(RIM)^{iii}$ تعریف می‌شود. این مدل بر پایه مشخصات غیریکنواختی انتشار و مشخصات دستگاه‌ها از قبیل تفاوت در قطعات و میزان سطوح باتری حسگرها فرمول‌بندی می‌شود.

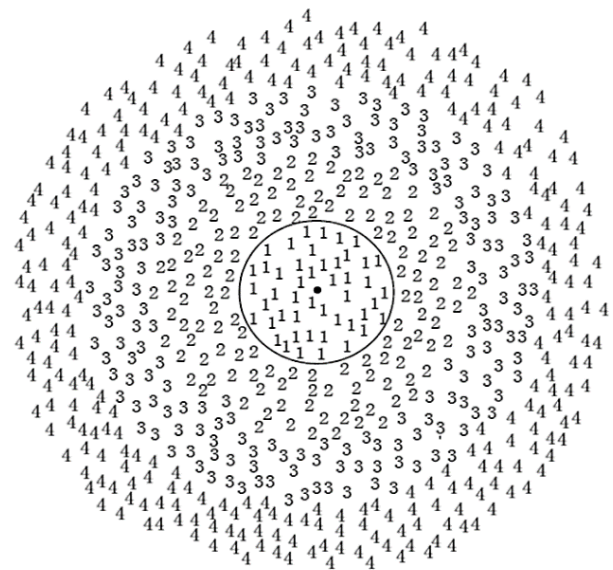
در مدل RIM، فرض بر این است که سه مشخصه اصلی سیگنال‌های رادیویی از جمله ناهمگرایی، پیوستگی تغییرات و همگن بودن وجود دارد که این مشخصات معمولاً به وسیله مدل‌های رادیویی همگرا نادیده گرفته می‌شوند. با توجه به غیریکنواختی انتشار امواج رادیویی، درجه غیریکنواختی $(DOI)^{iv}$ در توان سیگنال دریافتی به شکل زیر اعمال می‌شود [۸]:

$$\begin{aligned} \text{Received Signal Strenght} \\ = \text{Sending Power} \\ - \text{DOI Adjust PathLoss} \\ + \text{Fading} \end{aligned} \quad (3)$$

پارامتر DOI به صورت حداکثر درصد اتلاف مسیر بر تغییر واحد درجه در مسیر انتشار امواج تعریف می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، زمانی که DOI برابر صفر باشد، هیچ‌گونه تغییراتی وجود ندارد و انتشار به صورت یکنواخت است. در صورت افزایش مقدار DOI شعاع ارتباطی غیریکنواخت‌تر می‌شود.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، دو مشخصه انتشار امواج رادیویی در شبکه حسگر بی‌سیم، غیریکنواختی و پیوستگی تغییرات هستند. بنابراین پارامتر اتلاف محیط در معادله (۳) برپایه مقدار DOI به‌دست می‌آید که در آن DOI برابر است با [۹]:

$$DOI \text{ Adjust PathLoss} = PathLoss \times k_i \quad (4)$$



شکل (۱): شماره‌گذاری حسگرهای همسایه بر اساس تعداد پرش بین آن‌ها

از آنجایی که تراکم حسگرها در نواحی مختلف اتفاقی است و حسگرها فاصله خود را از مرجع‌ها برحسب میانگین پرش آن‌ها و یا میانگین پرش کل شبکه محاسبه می‌کنند، پس برای حسگرهای متفاوت، ممکن است خطاهای متفاوتی رخ دهد.

هر اندازه که فاصله حسگرهای مرجع از هم زیاد شود طبیعتاً تعداد پرش‌های بین آن‌ها نیز زیادتر می‌شود و از آنجایی که در محاسبه پرش مقداری خطا وجود دارد، خطا در شبکه انباشته می‌شود.

اگر شعاع ارتباطی حسگرها به منظور کوتاه‌تر کردن طول پرش‌ها کم شود، مشکل عدم اتصال بعضی از حسگرها در شبکه به‌وجود می‌آید و بعضی از حسگرها در شعاع ارتباطی هیچ حسگر دیگری قرار نمی‌گیرند. بنابراین، بایستی مصالحه‌ای بین اندازه شعاع ارتباطی و میزان اتصال شبکه برقرار کرد. از طرف دیگر، حسگرهایی که در شعاع ارتباطی مرجع قرار دارند، یکی از منابع تولید خطا محسوب می‌شوند. در بخش ۳ چگونگی ایجاد خطا در این ناحیه بررسی شده و راه‌حل مناسب برای داشتن اتصال کامل و افزایش دقت مکان‌یابی ارائه می‌گردد.

۳- شناسایی منابع ایجاد کننده خطا

در روش‌هایی که وابسته به اندازه‌گیری پرش هستند، با کاهش شعاع ارتباطی، میانگین پرش به‌دست آمده از دقت بیش‌تری برخوردار می‌شود. اما با توجه به نیاز به اتصال کامل، کاهش بیش از اندازه شعاع ارتباطی مقدور نیست. علاوه بر این حسگرهایی که در مناطق مختلف شبکه قرار دارند به یک اندازه خطا تولید نمی‌کنند. با شناسایی مناطق پر خطا، می‌توان با ایجاد راه‌حل مناسب، خطا را به اندازه قابل توجهی کاهش داد.

همان‌طور که اشاره شد، یکی از منابع خطا، استفاده از میانگین پرش یکسان برای کل شبکه است. بدین منظور روش‌هایی پیشنهاد شده‌اند که با میانگین‌گیری از میانگین پرش حسگرهای مرجع، خطای مورد نظر کاهش می‌یابد [۱۰-۱۲]. اما در [۱۳] بر اساس حداقل کردن خطای تخمین فاصله، میانگین پرشی به‌دست می‌آید که بیش‌ترین کاهش خطا را نسبت به روش‌های مشابه دیگر دارد. این میانگین به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Hops_{size}_i = \frac{\sum_{j \neq i} d_{ij} H_{cij}}{\sum_{j \neq i} H_{cij}^2} \quad (6)$$

d_{ij} فاصله بین حسگرهای مرجع i و j و H_{cij} تعداد پرش بین آن‌ها است. با توجه به این‌که روش ارائه‌شده در [۱۳]، میزان خطای ناشی از اندازه میانگین پرش و غیریکنواختی تراکم حسگرها را به حداقل رسانده، در این مقاله، در تمامی محاسبات از آن استفاده شده است.

با بررسی تأثیر شعاع ارتباطی، تراکم حسگرهای مرجع و مجهول و عوامل محیطی بر مقدار میانگین پرش، می‌توان محدوده تغییرات آن را به‌دست آورد و با استفاده از این اطلاعات، مناطقی را که حسگرهای واقع‌شده در آن ایجاد خطا می‌کنند، شناسایی نمود. به این منظور آزمایشی ترتیب داده شده است که هدف از انجام آن، بررسی تغییرات مقدار میانگین پرش در شبکه‌های تحت اتصال کامل است. به این ترتیب که در یک ناحیه 100×100 مترمربع، حسگرها توزیع شده‌اند و میانگین اندازه پرش با فرمول ۶ محاسبه شده است. در این آزمایش، تغییرات میانگین پرش بر حسب تراکم حسگرها در محیط، تحت شعاع‌های ارتباطی متفاوت (R)، بررسی شده‌اند.

• بررسی تغییر شعاع ارتباطی در میانگین پرش:

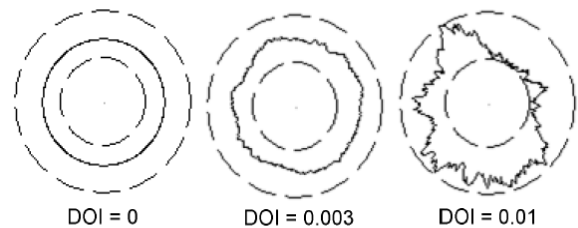
شکل (۴) محدوده تغییرات میانگین پرش را برحسب تعداد گره نشان می‌دهد. پارامتر ANR ، نشانگر نسبت شعاع ارتباطی حسگرهای مرجع به شعاع ارتباطی حسگرهای مجهول است. مشاهده می‌شود که در صورت داشتن اتصال کامل در شعاع ارتباطی ثابت و ثابت‌بودن نسبت تعداد گره‌های مرجع به تعداد کل گره‌ها، با تغییر تعداد حسگرها، تغییرات میانگین پرش تقریباً ثابت می‌ماند. اما با افزایش شعاع ارتباطی، میانگین پرش نیز افزایش می‌یابد. پس می‌توان از این آزمایش نتیجه گرفت که در شبکه‌هایی که دارای اتصال کامل هستند شعاع ارتباطی، عامل مؤثر بر اندازه میانگین پرش است. در حالی که، تعداد گره‌ها اثر چندانی بر میانگین پرش ندارد.

علت نتیجه به‌دست‌آمده این است که در شبکه‌های تحت اتصال کامل، تراکم حسگرها بالاست و مسیر پیام در اکثر موارد، تقریباً به‌صورت مسیر مستقیم است. در این حالت افزایش تراکم حسگرها دیگر اثر محسوسی بر کاهش خطا ندارد. همان‌چنان که در نتایج به‌دست‌آمده نیز این مورد نشان داده شده است.

در معادله (۴)، K_i نشانگر تغییرات اتلاف محیط در جهت‌های مختلف است. K_i مقدار متفاوت در راستای هر زاویه دارد و به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود [۸]:

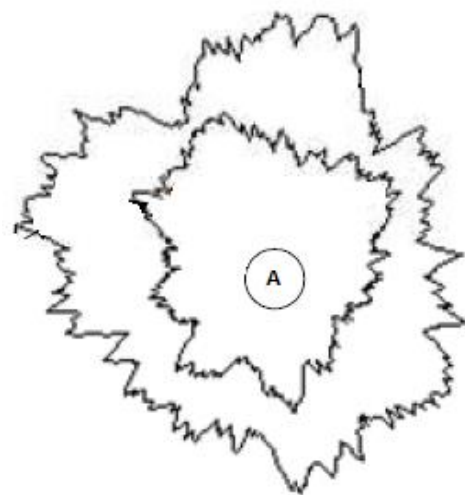
$$k_i = \begin{cases} 1 & \text{if } i = 0 \\ k_{i-1} \pm Rand \times DOI & \text{if } 0 < i < 360 \forall i \in N \end{cases} \quad (5)$$

که در آن همواره شرط $|k_0 - k_{359}| \leq DOI$ برقرار است. بنابراین در ۳۶۰ جهت متفاوت، مقدار برای K_i ایجاد می‌شود. بر اساس معادله (۵)، به‌صورت تصادفی مسیر انتشار از نقطه شروع $i=0$ کامل می‌شود.



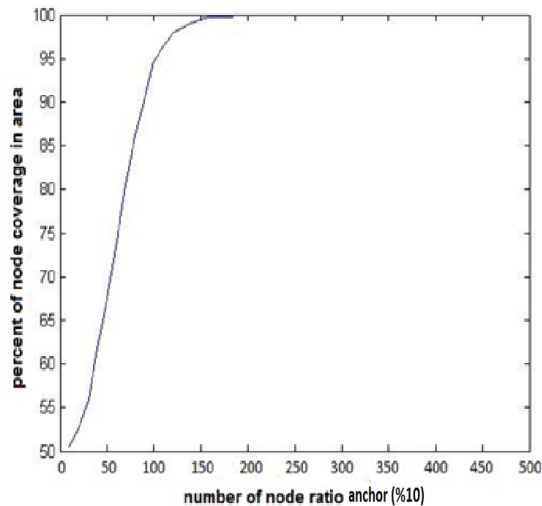
شکل (۲): چگونگی انتشار سیگنال در مدل RIM بدون در نظر گرفتن Fading

در شکل (۳) چگونگی انتشار سیگنال در مدل RIM با در نظر گرفتن اثر فیدینگ نشان داده شده است و تفاوت آن با حالت بدون در نظر گرفتن فیدینگ مشهود است [۸].



شکل (۳): چگونگی انتشار سیگنال حول حسگر A در مدل RIM با در نظر گرفتن Fading

۲-۳. بررسی اثر تغییر شعاع ارتباطی، تراکم حسگرهای مرجع و عوامل محیطی بر مقدار میانگین پرش



شکل (۶): میزان اتصال گره‌ها با افزایش تعداد آن‌ها

می‌توان نتیجه گرفت که تغییر تعداد حسگرهای مرجع و همچنین تراکم گره‌ها در مقدار میانگین پرش تأثیر محسوسی در شبکه‌های دارای اتصال کامل ندارد و تغییرات شعاع ارتباطی در شبکه عمده‌ترین عامل تعیین میانگین پرش محسوب می‌شود.

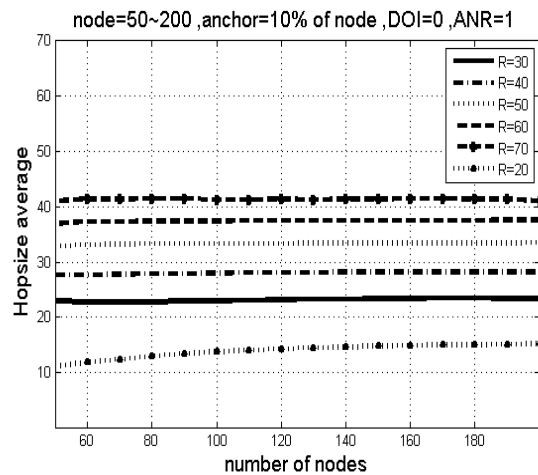
از نتایج آزمایش‌ها در این بخش می‌توان نتیجه گرفت که برای داشتن اتصال کامل در شبکه باید شعاع ارتباطی از حدی کم‌تر نباشد و این حد بستگی به تعداد حسگرهای موجود در شبکه دارد. علاوه بر این، افزایش شعاع ارتباطی بیش‌ترین تأثیر را در افزایش اندازه میانگین پرش دارد و به هر اندازه که شعاع ارتباطی بزرگ‌تر شود، دقت میانگین پرش نیز کم‌تر می‌شود.

همان‌طور که مشاهده شد، در شبکه‌های دارای اتصال کامل، تغییر تراکم حسگرها، تأثیر محسوسی در میانگین اندازه پرش ایجاد نمی‌کند و هر چه قدر که تراکم زیاد شود این تغییرات نیز کم‌تر می‌شوند.

برای تایید نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها، می‌توان از تابع احتمال نحوه فرارگیری گره‌ها در مناطق مختلف شعاع ارتباطی استفاده نمود [۱۴]. اگر مساحت این ناحیه برابر L^2 باشد و تعداد N حسگر در این محیط پراکنده شده باشد چگالی گره‌ها به‌صورت $\lambda = \frac{N}{L^2}$ تعریف می‌شود. در این صورت احتمال کوچک‌تر بودن اندازه پرش (Hopsize) از مقدار E با استفاده از فرمول (۷) به دست می‌آید.

$$p(\text{Hopsize} < E) = e^{-\lambda \pi (r^2 - E^2)} \quad (7)$$

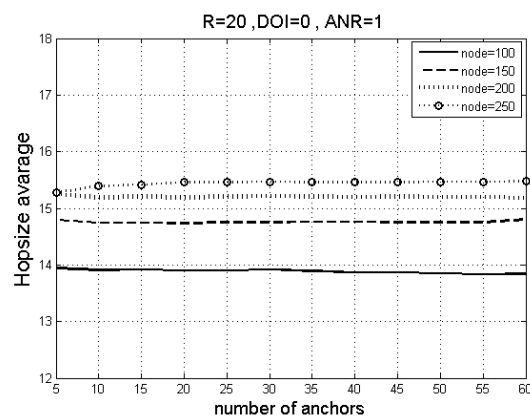
به‌عنوان مثال در صورتی که $L=100$ و $N=100$ شعاع ارتباطی $r=30$ متر باشد، احتمال کوچک‌تر بودن اندازه پرش برحسب شعاع ارتباطی در حالت‌های مختلف محاسبه شده است که نمودار زیر نتایج آن را نشان می‌دهد:



شکل (۴): میانگین پرش با تغییر تراکم حسگرها در شعاع ارتباطی متفاوت

• بررسی تأثیر تراکم حسگرهای مرجع در میانگین پرش:

در این قسمت، محدوده تغییرات میانگین پرش برحسب تراکم گره‌ها و مرجع‌ها بررسی شده است. هدف، نشان دادن تأثیر ناچیز تراکم گره‌ها و مرجع‌ها در شبکه‌های تحت اتصال کامل و شعاع ارتباطی ثابت، در تعیین اندازه پرش است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود با تغییر تراکم مرجع‌ها میانگین پرش تغییری نمی‌کند و با تغییر تراکم گره‌ها بیش از ۱۵۰ گره - محدوده تغییرات میانگین پرش کوچک است. برای اثبات این موضوع آزمایشی ترتیب داده شده است که در شعاع ۲۰ متر با افزایش تعداد گره‌ها، میانگین اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. مشاهده می‌شود که در این شرایط برای داشتن اتصال کامل، حداقل تعداد گره‌ها ۱۵۰ است (شکل ۶).



شکل (۵): میانگین پرش برحسب تراکم حسگرهای مرجع در تراکم‌های مختلف حسگرها

مرجع، $A_i Info = [(A_i, X_i, Y_i), \sum_{H_c}^i, Hopsiz_i]$ را که در آن، (X_i, Y_i) مختصات مرجع و $Hopsiz_i$ و $\sum_{H_c}^i$ به ترتیب اندازه پرش و تعداد پرش مراجع تا A_i هستند، پخش می‌نماید. واضح است که مقدار $\sum_{H_c}^i$ در شروع، صفر است. هر حسگر که پیام را دریافت می‌کند، اطلاعات را ذخیره نموده و شمارنده تعداد پرش را به‌روز کرده و پیام به‌روز شده را پخش می‌کند. به هر حال اگر پیام دریافتی تکراری باشد، میدان شمارنده پرش با تعداد پرش ذخیره‌شده مقایسه می‌شود. در صورتی که مقدار دریافتی کمتر باشد، مقدار جدید ذخیره می‌شود و در غیراین‌صورت بسته دریافتی حذف می‌گردد. هنگامی که یک گره حداقل از سه گره مرجع اطلاعات را دریافت کرد، می‌تواند به محاسبه موقعیت خود بپردازد.

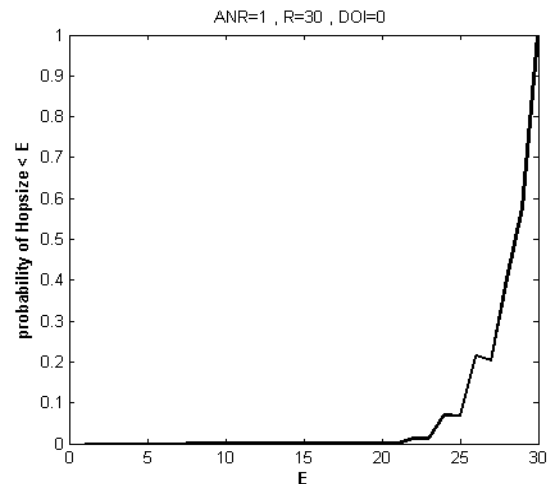
Hop based Algorithm

```
comment:  $p = [(A_i, X_i, Y_i), \sum_{H_c}^i, Hopsiz_i]$ 
 $\sum_{H_r}^i \leftarrow \sum^i$ ;

if new( $A_i$ )
    Record( $A_i, X_i, Y_i$ );
    Count + 1;
    then
        Update
        {
 $\sum_{H_c}^i = \sum_{H_r}^i + 1$ ;
 $Pt = [(A_i, X_i, Y_i), \sum_{H_c}^i, Hopsiz_i]$ ;
        }
        Rebroadcast( $pt$ );
    else if ( $\sum_{H_r}^i < \sum_{H_c}^i$ )
        then
            Update
            {
 $\sum_{H_c}^i = \sum_{H_r}^i + 1$ ;
 $Pt = [(A_i, X_i, Y_i), \sum_{H_c}^i, Hopsiz_i]$ ;
            }
            Rebroadcast( $pt$ );
    else Ignore( $p$ );
    if (Count >= 3)
        Trilateration();
```

شکل (۸): شبه‌کد موقعیت‌یابی مبتنی بر پرش در شبکه

حال می‌توان با استفاده از حسگرهای دارای دو شعاع ارتباطی خطای موقعیت‌یابی را کاهش داد. شکل (۹) توزیع تصادفی از حسگرهای مرجع را با دو شعاع ارتباطی در شبکه نشان می‌دهد. در این شکل گره‌هایی که در مرکز دایره‌های هم‌مرکز قرار گرفته‌اند، گره‌های مرجع هستند. با کمک این مرجع‌ها می‌توان حسگرهای واقع‌شده در فاصله کمتر از $R/2$ را شناسایی کرد. بدین صورت که حسگر مرجع پیامی را با شعاع ارتباطی $R/2$ می‌فرستد و حسگر i که در این محدوده واقع شده، پیام را دریافت می‌کند و فاصله خود را تا مرجع i ، $R/4$ قرار می‌دهد.



شکل (۷): احتمال مقادیر متفاوت میانگین اندازه پرش

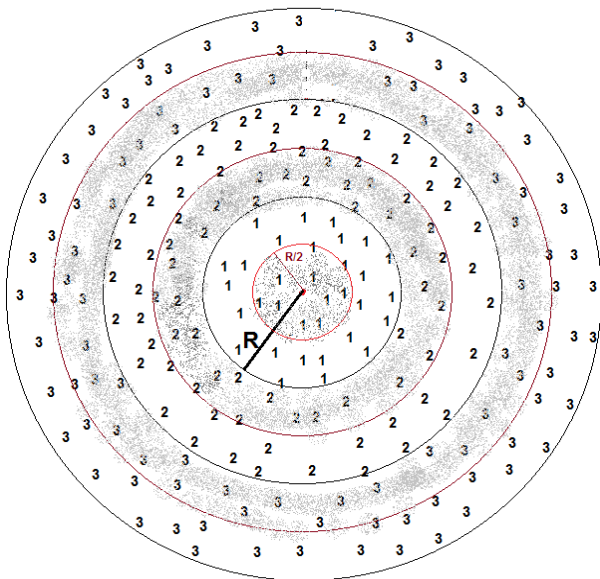
مشاهده می‌شود که در این مثال احتمال کوچک‌تر بودن میانگین پرش از $2R/3$ بسیار کم‌تر است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده می‌شود که عامل اساسی در تعیین میانگین پرش، اندازه شعاع ارتباطی است. از نتایج آزمایش‌ها در این قسمت، می‌توان نتیجه گرفت که محدوده تغییرات اندازه پرش بین $2R/3$ است. به همین ترتیب نقاط کوچک‌تر از $R/2$ بیش‌ترین فاصله را از میانگین پرش خواهند داشت و به همین دلیل بیش‌ترین خطا را ایجاد خواهند کرد.

۴- روش پیشنهادی

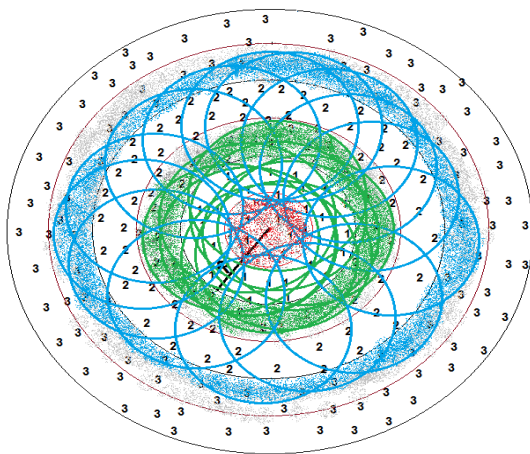
در بخش قبل یکی از مناطقی که در اکثر روش‌های مبتنی بر پرش ایجاد خطا می‌کند، شناسایی شد. همان‌طور که قبلاً ذکر آن رفت می‌توان به‌وسیله حسگرهای مرجع دارای دو شعاع ارتباطی، بخش قابل توجهی از این مناطق را پوشش داد. برای توضیح نحوه عملکرد روش پیشنهادی، می‌توان مراحل و نحوه تصحیح خطا را به شکل زیر خلاصه کرد:

در مرحله آغازین، هر حسگر یک پیام با نام "سلام" را به همسایه‌های خود ارسال می‌کند و به‌این‌ترتیب خود را معرفی می‌نماید. با مبادله این پیام، گره‌های حسگر، همسایه‌های خود را شناسایی کرده و مشخصات آن‌ها را ذخیره می‌نمایند. لازم به‌ذکر است که مبادله این پیام در سطح یک پرش محدود است.

بعد از مرحله آغازین، گره‌های مرجع برای محاسبه اندازه پرش، پیامی را منتشر می‌نمایند که دارای میدان تعداد پرش هستند. گره‌های دریافت‌کننده پیام، این میدان را به‌روز نموده و پخش مجدد می‌نمایند. این فرآیند در بخش ۲ توضیح داده شده است. درنهایت گره‌های مرجع با محاسبه اندازه پرش بر اساس رابطه (۶)، بایستی آن را به اطلاع گره‌های حسگر برسانند تا هر گره بتواند موقعیت خود را بر اساس الگوریتم [۱۰] (trilateration) محاسبه نماید. بنابراین طبق شبه‌کد شکل (۸) می‌توان ادامه کار را به‌صورت زیر بیان نمود:



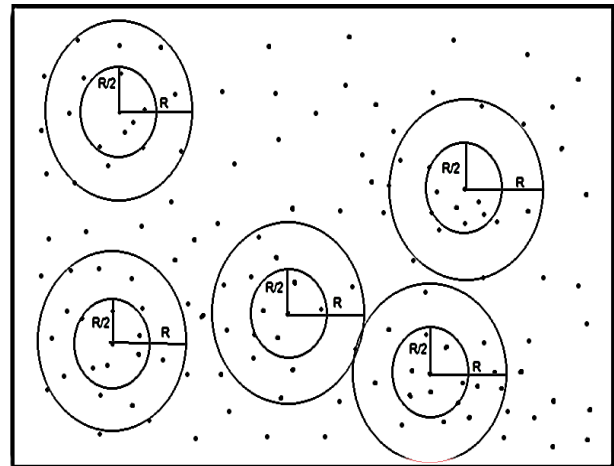
شکل (۱۰): شناسایی حسگرهای واقع شده در ناحیه ایجادکننده خطا
و $(r < R/2)$ و $(R < r < 3R/2)$ و لایه های بالاتر



شکل (۱۱): شناسایی حسگرهای واقع شده در لایه های بالاتر با استفاده از
حسگرهای شناسایی شده در $R < R/2$

بدین صورت می توان تعداد زیادی از حسگرهای موجود در لایه های بالاتر را شناسایی نمود. تعمیم این روش از لحاظ تئوری مشکلی ندارد و به بهترین شکل ممکن انجام می شود و به دقت بالایی می رسد، اما عامل غیریکنواختی انتشار سیگنال در محیط های عملی، باعث ایجاد محدودیت در تعمیم این روش می شود.

پایه سازی عملیاتی روش پیشنهادی به این صورت است که ابتدا حسگر مرجع i پیامی را با شعاع ارتباطی $R/2$ ارسال می نماید و حسگرهای دریافت کننده این پیام، فاصله خود را با این مرجع برابر $R/4$ قرار خواهند داد و به اصلاح تعیین موقعیت خود خواهند پرداخت. سپس این حسگرها، پیام را مجدداً به شبکه ارسال می نمایند و حسگرهای دریافت کننده این پیام که شمارنده پرش برابر ۲ با مرجع i دارند فاصله خود را برابر $5R/4$ قرار خواهند داد و موقعیت خود را



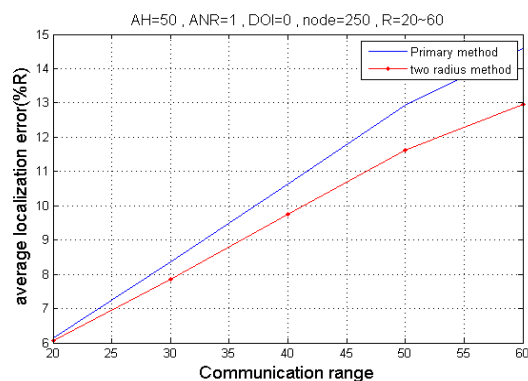
شکل (۹): توزیع تصادفی حسگر با استفاده از حسگرهای مرجع دارای دو شعاع ارتباطی

همان طور که در ادامه نشان داده می شود، با استفاده از این روش بدون استفاده از اندازه گیری مشخصات سیگنال، می توان حسگرهای واقع شده در ناحیه با شعاع کمتر از $R/2$ را شناسایی نمود و علاوه بر افزایش اتصال شبکه، به دقت بالایی دست یافت.

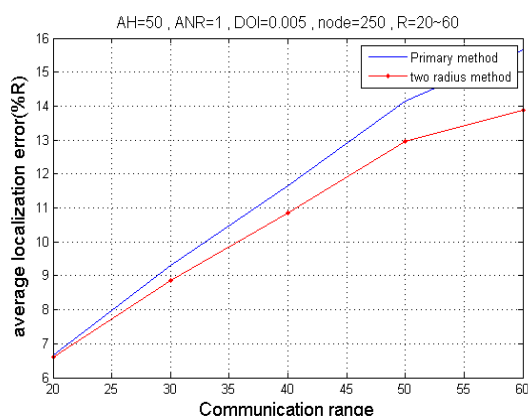
حال می توان این روش را تعمیم داد، بدین صورت که گره هایی که در داخل شعاع $R/2$ قرار گرفته اند، می توانند تعدادی از گره هایی را که در فاصله بین دو شعاع R و $3R/2$ قرار دارند، شناسایی کنند. اگر حسگرهای واقع شده در ناحیه $R/2$ مرجع نام، همسایگانی داشته باشند که با مرجع نام تعداد ۲ پرش فاصله داشته باشند، این گره ها در ناحیه بین این دو شعاع R و $3R/2$ قرار دارند. بنابراین فاصله این گره ها از حسگر مرجع i برابر $5R/4$ در نظر گرفته می شود. از این گره های شناسایی شده نیز برای شناسایی تعدادی از گره های موجود با اندازه پرش ۳ می توان استفاده کرد و این روش را همچنان برای شعاع های بالاتر ادامه داد. اما بایستی به این نکته اشاره نمود که ممکن است گره هایی را که در لایه های بالاتر قرار دارند نتوان به این صورت مکان یابی کرد. در این صورت مکان یابی اولیه ای که انجام شده است معتبر خواهد بود.

به طور کلی، همان طور که در شکل (۱۰) مشخص است، نواحی که در آن حسگرها دارای بیشترین خطا هستند (نواحی هاشور خورده) و حسگرهای موجود در آن مناطق را می توان شناسایی کرد. بنابراین اگر گره ی شناسایی شده در ناحیه هاشور خورده k ام قرار داشته باشد، فاصله آن از مرجع i برابر با $d_i = (k - \frac{3}{4}) \times R$ می شود.

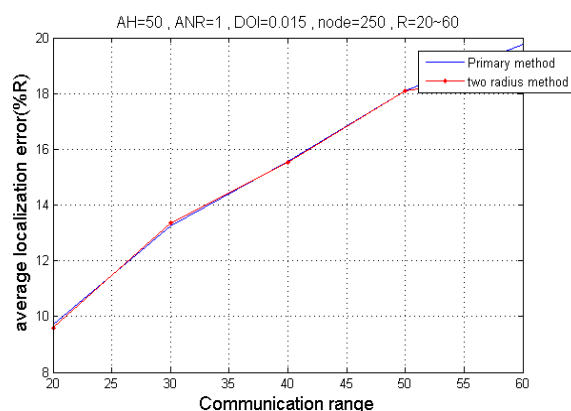
شکل (۱۱) چگونگی تعمیم روش و شناسایی گره های موجود در این نواحی را به کمک شناسایی حسگرهای موجود در ناحیه $R/2$ به تصویر کشیده است.



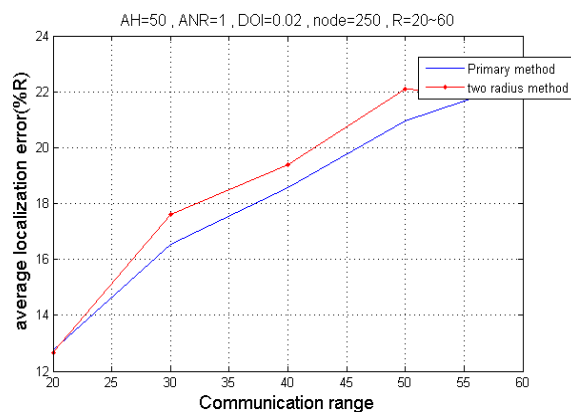
(الف)



(ب)



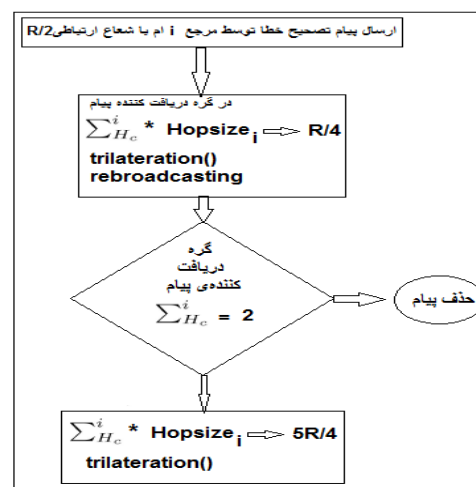
(ج)



(د)

شکل (۱۳): مقایسه میزان خطای روش پیشنهادی با روش DV-Hop تحت مقادیر مختلف DOI و تغییر شعاع ارتباطی حسگرها در محیط

اصلاح خواهند کرد. شبه‌کد این فرآیند در شکل (۱۲) برای تصحیح خطا در دو لایه، نشان داده شده است.



شکل (۱۲): تصحیح مختصات گره‌های تولیدکننده خطای زیاد

۵- شبیه‌سازی روش پیشنهادی و نتایج

شبیه‌سازی‌ها با نرم‌افزار MATLAB انجام شده و از مدل RIM برای شبیه‌سازی غیریکنواختی انتشار سیگنال استفاده شده است. در مدل‌کردن غیریکنواختی انتشار سیگنال از اثر فیدینگ چشم‌پوشی شده است.

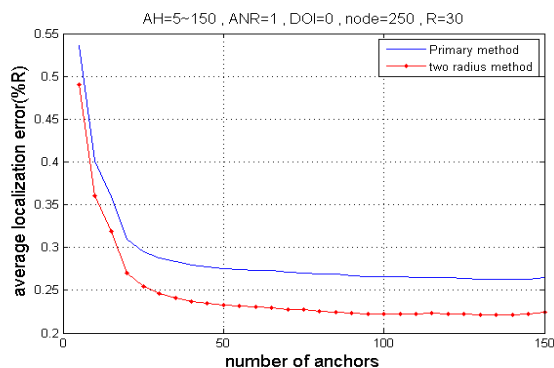
تعداد ۲۵۰ حسگر در محیطی مربعی به ابعاد 100×100 مترمربع به صورت تصادفی پخش شده‌اند و شعاع ارتباطی $30m$ فرض شده و نتایج بر اساس متوسط‌گیری از ۱۰۰۰ مرتبه تکرار آزمایش به دست آمده است. در تمامی آزمایش‌ها میانگین اندازه پرش با استفاده از فرمول (۶) محاسبه شده است.

شکل (۱۳) میزان خطا در شبکه را بر اساس افزایش شعاع ارتباطی حسگرها، در چهار مقدار DOI و شعاع ارتباطی ۲۰ تا ۶۰ متر نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش شعاع ارتباطی، دقت روش ارائه‌شده افزایش می‌یابد. در روش اولیه برای رسیدن به میزان اتصال بهتر باید شعاع ارتباطی افزایش یابد و با افزایش شعاع، به‌مراتب تعداد پرش‌ها نیز کم می‌شود و باعث کاهش دقت مقدار میانگین اندازه پرش می‌گردد. روش پیشنهادی، علاوه بر میزان اتصال بهتر، در شعاع ارتباطی بالا نیز کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد. به دلیل این که با افزایش شعاع ارتباطی، فاصله بین R و $R/2$ افزایش پیدا می‌کند و تداخل ناشی از غیریکنواختی انتشار سیگنال در این نواحی کم می‌شود. در شکل (۱۳-ج) با مقدار بالای DOI میزان خطای روش‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شده و در شکل (۱۲-د) روش ارائه‌شده خطای بیشتری را نشان می‌دهد. اما باید توجه داشت مقدار DOI به‌ندرت بیش‌تر از ۰/۱۵ می‌شود [۹]. پارامتر AH نشانگر تعداد حسگرهای مرجع است.

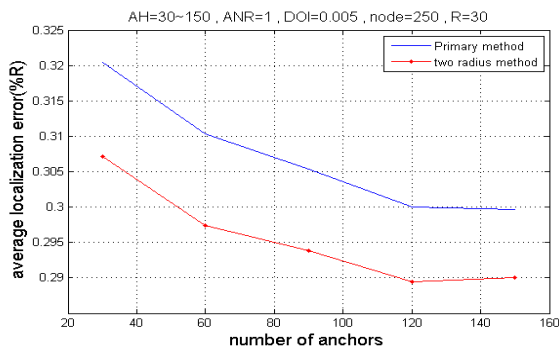
یکی دیگر از معیارهای ارزیابی یک روش، بررسی کارایی آن در تراکم‌های متفاوت حسگرها است. در شکل (۱۴) نتایج آزمایش‌های تحت تغییر تعداد گره‌ها در محیط و مقادیر مختلف DOI نشان داده شده است. در این آزمایش تعداد گره‌ها از ۱۰۰ تا ۳۰۰ تغییر می‌کند. در مقدار DOI برابر با ۰/۰۲ به دلیل داشتن دو شعاع ارتباطی، روش ارائه‌شده افت بیشتری دارد. اما لازم به ذکر است که مقدار $DOI=0/02$ حداکثر میزان آن است و محیط‌های بسیار خشن و ناهموار دارای چنین مقدار DOI هستند و در شرایط عادی مقدار آن بین ۰ تا ۰/۰۱۵ است [۹].

شکل (۱۵) تغییرات خطای مکان‌یابی را برحسب تراکم حسگرهای مرجع تحت ۵ مقدار متفاوت DOI نشان می‌دهد. نتایج حاکی از برتری روش ارائه‌شده است.

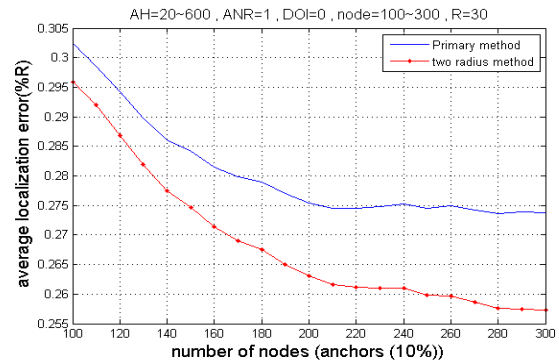
شکل (۱۶) مقایسه هر دو روش را با یکدیگر در مقادیر متفاوت DOI در شعاع‌های ارتباطی ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که در نتایج شبیه‌سازی می‌توان دید، با افزایش مقدار DOI ، دقت هر دو روش کاهش می‌یابد. در شرایط وجود حداکثر میزان DOI ، کارایی هر دو روش تقریباً با هم برابر می‌شود. این امر به دلیل وجود دو شعاع ارتباطی در روش ارائه‌شده است که باعث می‌شود بیش‌تر تحت تأثیر DOI قرار بگیرد. در نتایج حاصل از شکل (۱۶) مشاهده می‌شود که می‌توان با افزایش شعاع ارتباطی، اثر DOI بر روش ارائه‌شده را کاهش داد.



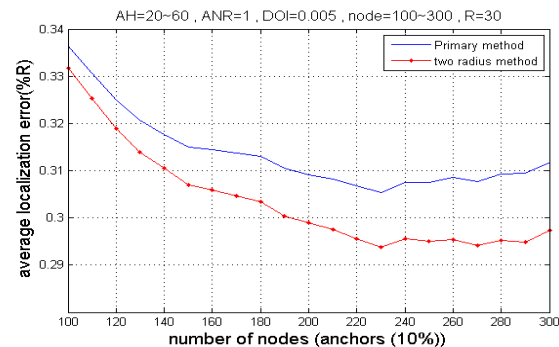
(الف)



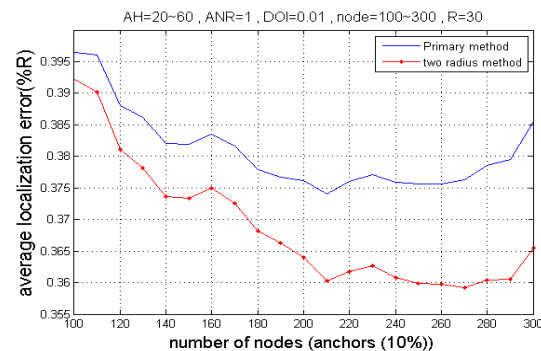
(ب)



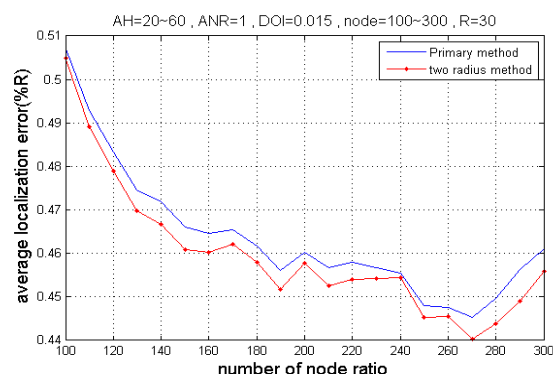
(الف)



(ب)

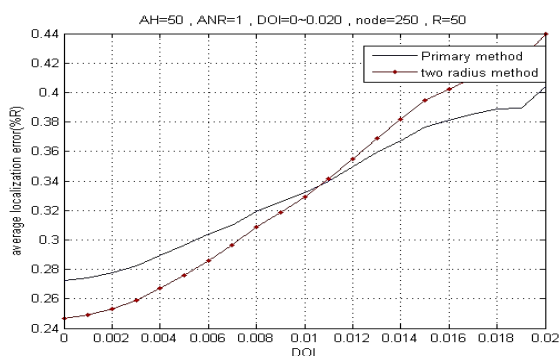


(ج)

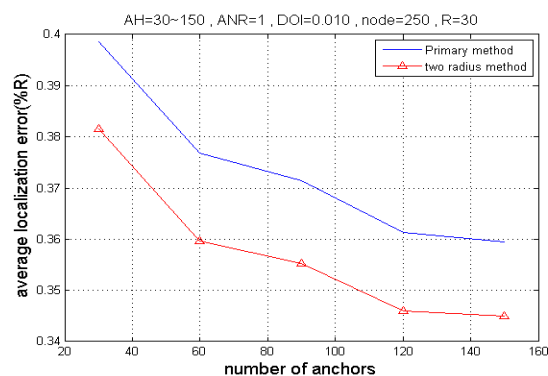


(د)

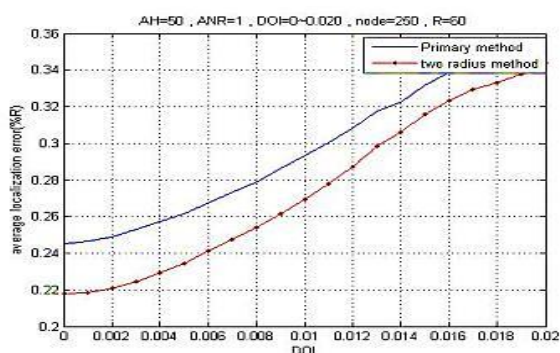
شکل (۱۴): مقایسه میزان خطای روش پیشنهادی با روش DV-Hop تحت مقادیر مختلف DOI و تغییر تراکم حسگرها در محیط



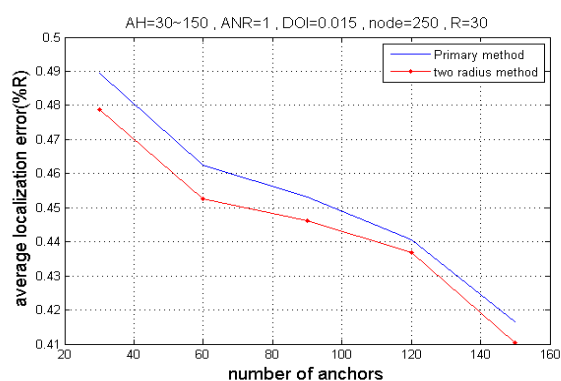
(ج)



(ج)

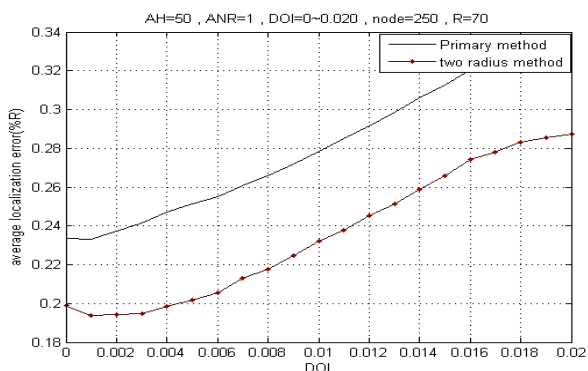


(د)

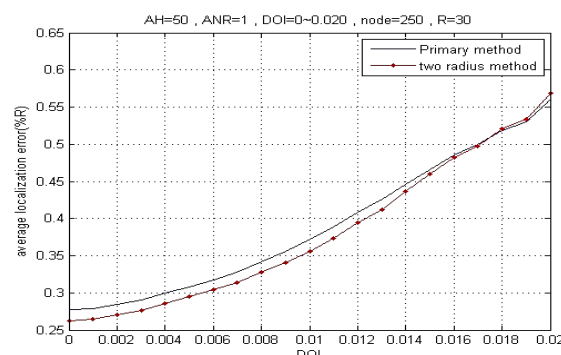


(د)

شکل (۱۵): مقایسه میزان خطای روش پیشنهادی تحت مقادیر مختلف DOI و تغییر تراکم حسگرهای مرجع در محیط



(ه)

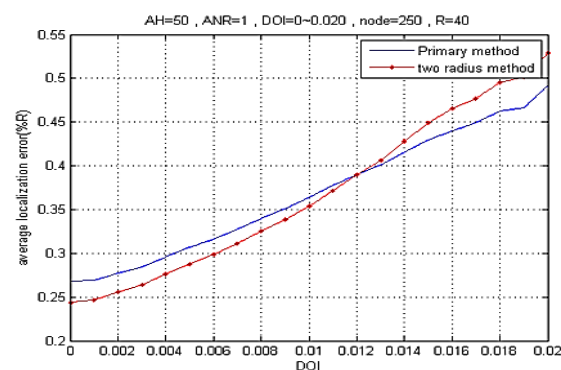


(الف)

شکل (۱۶): مقایسه میزان خطای روش پیشنهادی تحت تغییر DOI در شعاع ارتباطی متفاوت حسگرها

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت موقعیت‌یابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، روش‌های متعددی در این زمینه معرفی شده‌اند که یک دسته از این روش‌ها، روش‌های مبتنی بر پرش هستند. مشکلی که در این روش‌ها به‌صورت عمده وجود دارد، وابستگی دقت آن‌ها به اندازه شعاع ارتباطی است. هر چه قدر شعاع ارتباطی کوچک‌تر باشد، دقت موقعیت‌یابی بالاتر می‌رود. محدودیتی که در کوچک‌بودن شعاع ارتباطی وجود دارد مربوط به اتصال کامل شبکه است. با بررسی میانگین پرش در شعاع‌های ارتباطی متفاوت، می‌توان فهمید که در صورت داشتن اتصال کامل شبکه، میانگین پرش آن‌ها همیشه کوچک‌تر از نصف شعاع ارتباطی است. لذا



(ب)

- [13] D. Chen, W. Wang and Y. Zhou, "An improved DV-Hop localization algorithm in wireless sensor networks," in Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering (CCTAE), 2010 International Conference On, 2010, vol. 2, pp. 266–269.
- [14] Y. Wang, X. Wang, D. Wang and D. P. Agrawal, "Range-free localization using expected hop progress in wireless sensor networks," Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on, vol. 20, no. 10, pp. 1540–1552, 2009.
- [15] A. S. Velimirovic, G. L. Djordjevic, M. M. Velimirovic and M. D. Jovanovic, "Fuzzy ring-overlapping range-free (FRORF) localization method for wireless sensor networks," Computer Communications, vol. 35, no. 13, pp. 1590–1600, Jul. 2012.

زیرنویس‌ها

- ¹ Range-free
² Range-based
³ Radio Irregularity Model
⁴ Degree of Irregularity

حسگرهایی که در همسایگی مرجع قرار دارند، در صورت استفاده از میانگین پرش بیش‌ترین خطا را تولید می‌کنند. راهکار ارائه‌شده در این مقاله استفاده از مرجع‌هایی با دو شعاع ارتباطی است. بدین صورت که از شعاع ارتباطی $R/2$ برای شناسایی حسگرهایی که در ناحیه تحت ارتباط $R/2$ قرار دارند، استفاده می‌شود. به این ترتیب می‌توان یکی از منابع بزرگ خطا در این روش را شناسایی نمود و در عین حال میزان اتصال شبکه را بالا برد. به دلیل داشتن ۲ شعاع ارتباطی در روش ارائه‌شده، غیریکنواختی انتشار سیگنال تأثیر بیش‌تری نسبت به روش‌هایی که یک شعاع ارتباطی دارند در افزایش خطا دارد، اما با افزایش شعاع ارتباطی می‌توان این تأثیر را از بین برد (شکل ۱۵-ه). هم‌چنین می‌توان به عنوان موضوعی برای ادامه این تحقیق، رویکردی مانند [۱۵] را برای کاهش خطای ناشی از غیریکنواختی انتشار دنبال نمود. لازم به ذکر است که در این مقاله ناحیه ایجادکننده خطا در روش‌های مبتنی بر پرش، به دست آمده است و با توجه به ماهیت این شبکه‌ها که در اکثر روش‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر پرش یکسان است، می‌توان با رویکرد استفاده از حسگرهای مرجع دارای دو شعاع پوششی تا حدی میزان خطای تولیدشده در آن‌ها را نیز کاهش داد.

مراجع

- [1] G. Zhou, T. He, S. Krishnamurthy and J. A. Stankovic, "Models and solutions for radio irregularity in wireless sensor networks," ACM Trans. Sen. Netw., vol. 2, no. 2, pp. 221–262, May 2006.
- [2] G. Mao, B. Fidan and B. D. O. Anderson, "Wireless sensor network localization techniques," Comput. Netw., vol. 51, no. 10, pp. 2529–2553, Jul. 2007.
- [3] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," Computer networks, vol. 38, no. 4, pp. 393–422, 2002.
- [4] D. Niculescu and B. Nath, "Ad hoc positioning system (APS) using AOA," in INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies, vol. 3, pp. 1734–1743, 2003.
- [5] M. J. Munsuck Jang, I. S. Inseong Song and P. S. K. PyungSoo Kim, "A Study on Localization Algorithm using Hop Count and RSSI," International Journal of Control and Automation, vol. 6, no. 3, pp. 83–94, 2013.
- [6] M. Li and Y. Liu, "Rendered path: range-free localization in anisotropic sensor networks with holes," presented at the Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Mobile computing and networking, 2007, pp. 51–62.
- [7] Z. Zhong and T. He, "RSD: a metric for achieving range-free localization beyond connectivity," Parallel and Distributed Systems, IEEE Trans. on, vol. 22, no. 11, pp. 1943–1951, 2011.
- [8] G. Zhou, T. He, S. Krishnamurthy and J. A. Stankovic, "Models and solutions for radio irregularity in wireless sensor networks," ACM Trans. Sen. Netw., vol. 2, no. 2, pp. 221–262, May 2006.
- [9] G. Zhou, T. He, S. Krishnamurthy and J. A. Stankovic, "Impact of radio irregularity on wireless sensor networks," presented at the Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems, applications, and services, 2004, pp. 125–138.
- [10] S. Hou, X. Zhou and X. Liu, "A novel DV-Hop localization algorithm for asymmetry distributed wireless sensor networks," in 2010 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010, vol. 4, pp. 243–248.
- [11] M. Zhu, H.-L. Liu, Z.-H. Zhang and Z.-R. Yi, "An improved localization algorithm based on DV-HOP in WSN," Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition, vol. 44, no. 1, pp. 93–98, 2012.
- [12] S. Liu, X. Pang, X. Fan and Z. ZHONG, "Improved DV-Hop algorithm for higher positioning accuracy," Chinese Journal of Sensors and Actuators, vol. 8, p. 028, 2010.