

معرفی ساختار مثلثی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

سید مصطفی سیدرضازاد
محقق

پژوهشگاه دانش‌های بنیادی
rezazad@ipm.ir

جعفر حبیبی
استادیار

دانشگاه صنعتی شریف
habibi@sharif.edu

محمد قدسی
استاد تمام

دانشگاه صنعتی شریف
ghodsi@sharif.edu

حمید مهینی
دانشجوی کارشناسی ارشد

دانشگاه صنعتی شریف
mahini@sharif.edu

mobile تفاوت‌های محسوسی داشته و زمینه‌های تحقیقاتی بسیاری را به‌وجود آورده‌اند.

تا به حال مسیریابی‌های متنوعی به‌وسیله محققین این رشته پیشنهاد و مورد ارزیابی قرار گرفته است [2,3,5,23]. جمع‌آوری اطلاعات، نحوه چیدمان حسگرها برای دریافت بهتر اطلاعات از محیط و نحوه فعال‌سازی آن‌ها نیز هرکدام به‌طور جداگانه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته اند [6,8,21].

در بیشتر تحقیقات انجام شده توزیع حسگرها در محیط بطور تصادفی بوده و در طراحی الگوریتم‌ها سعی در آن شده که این الگوریتم‌ها به نحوه توزیع حسگرها در شبکه حساس نباشند. در حقیقت در این مقالات فرض بر آن بوده که محل قرارگیری حسگرها مسئله ایست که در اختیار طراح الگوریتم نمی‌باشد و نحوه توزیع حسگرها تابعی از عوامل فیزیکی محیط می‌باشد [4,7,14,18,19,22].

هدف در این تحقیق ارائه مدلی از چینش حسگرها (مدل مثلثی) در محیط می باشد که استفاده از آن سبب کاهش هزینه در جمع‌آوری داده و مسیریابی نسبت به مدل معروف mesh می‌شود.

با توجه به وضوح برتری چیدمان غیرتصادفی نسبت به مدل تصادفی در این مقاله از مقایسه این روش با روش چیدمان تصادفی صرف نظر شده است.

در ادامه در بخش ۲ به معرفی ساختارهای mesh و مثلثی و خواص هریک می‌پردازیم. در بخش ۳ نحوه مدل‌سازی و معیارهایی که در این مدل‌سازی در نظر گرفته شده را بیان خواهیم کرد. در بخش ۴ نحوه شبیه‌سازی را مطرح می‌کنیم و در بخش ۵ به مقایسه دو مدل مطرح شده با توجه به معیارهای مختلف می‌پردازیم و در انتها در بخش ۶ نتیجه گیری از تحقیق آورده شده است.

چکیده : با توجه به کاربردهای بسیار متنوع و گستره بسیار وسیعی که شبکه‌های حسگر بی‌سیم در آن مورد استفاده قرار می‌گیرند، تمایل به استفاده از این نوع شبکه‌ها روز به روز فزونی می‌یابد. از این رو بررسی مسائل مختلف این‌گونه شبکه‌ها با توجه به شرایط منحصر به فرد آنها ضروری به نظر می‌رسد. از جمله مسائل مطرح در این‌گونه شبکه‌ها، نحوه چیدمان حسگرها در محیط می‌باشد. در این مقاله یک روش چیدمان جدید به نام ساختار مثلثی جهت چیدن حسگرها در محیط معرفی شده است. با توجه به شباهت روش چیدمان مثلثی با ساختار mesh در این مقاله برای سنجش کارایی ساختار جدید، این دو ساختار با یکدیگر مقایسه شده است. برای انجام این مقایسه از دو معیار میزان مصرف انرژی برای انتقال اطلاعات و میزان دریافت رویدادهای محیطی که از معیارهای مهم در سنجش کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم می باشد، استفاده شده است. نتایج حاصل از این مقایسه که بوسیله مدل ریاضی صورت گرفته است نشان می دهد که ساختار مثلثی دارای خصوصیات عملکردی بهتری نسبت به ساختار mesh می‌باشد.

واژه های کلیدی: شبکه حسگر بی‌سیم، جمع‌آوری داده، ساختار مثلثی، ادغام داده، مصرف انرژی، طول عمر.

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت چشمگیر تکنولوژی و کاهش هزینه‌ها در طراحی و ساخت مدارات سخت افزاری و همچنین قابلیت استفاده از شبکه‌های حسگر در بسیاری از کاربردهای امروزی، استفاده از این نوع شبکه‌ها روز به روز بیشتر می شود. با توجه به محدود بودن انرژی هر حسگر و غیر قابل شارژ بودن آن‌ها، مسائل مطرح در این شبکه‌ها از قبیل جمع‌آوری اطلاعات و مسیریابی در آنها با شبکه‌های بی‌سیم و همچنین شبکه‌های

۲- معرفی ساختارها

ساختاری که در این مقاله معرفی شده ساختار مثلثی می باشد. با توجه به تشابه بسیار زیاد ساختار مثلثی با ساختار mesh و با توجه به برخی نقاط ضعف ساختار mesh در شبکه های حسگر که به وسیله ساختار مثلثی پوشانیده می شود، در این مقاله پس از معرفی ساختار جدید به مقایسه آن با ساختار mesh پرداخته شده است. لذا ابتدا در این بخش به معرفی این دو ساختار می پردازیم.

۱-۲ ساختار mesh

شبکه mesh به دلیل برخورداری از ساختاری ساده و خواص توپولوژیکی منحصر به فرد [11,12,16] در بسیاری از شبکه ها از جمله شبکه های سنتی و شبکه های میان ارتباطی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است [13,15,17,20]. از این ساختار در مطالعات مربوط به شبکه های حسگر بی سیم نیز استفاده شده است [9,10].

همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده، برای ایجاد یک شبکه حسگر بی سیم با استفاده از ساختار mesh، به جای هر گره در شبکه mesh یک حسگر قرار داده و فاصله هر دو گره مجاور (یا اندازه یالها در شبکه mesh) را طوری تنظیم می کنیم که در محدوده قدرت ارسال سیگنال بی سیم حسگرها باشد. البته باید در نظر داشت که فاصله تمام یالها در شبکه mesh با یکدیگر برابر می باشد. البته نحوه ارسال اطلاعات در این شبکه همانند شبکه mesh سنتی می باشد و هر حسگر فقط می تواند به گره های همسایه خود در شبکه سنتی mesh اطلاعات ارسال کند (حتی اگر گره های دیگری هم باشند که در محدوده ارسال اطلاعات یک گره باشند).

۲-۲ ساختار مثلثی

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده، نحوه قرار گرفتن حسگرها در این ساختار به صورت مثلثی می باشد. هر حسگر در این ساختار می تواند به هر یک از شش حسگر اطراف خود پیام ارسال کند. این ساختار نسبت به ساختار mesh فضا را بهتر می پوشاند و این مهمترین مزیت این ساختار نسبت به ساختار mesh می باشد.

۳- نحوه ی عملکرد حسگرها

۱-۳ آنالیز مصرف توان

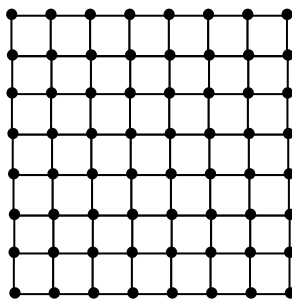
مدل مصرف انرژی حسگرهای بی سیم در این مقاله، مدل رادیویی مرتبه اول [1] است. در این مدل مقدار انرژی مصرفی برای دریافت کردن k بیت اطلاعات برابر RX می باشد:

$$(۱) \quad RX = \varepsilon_{elec} \times k$$

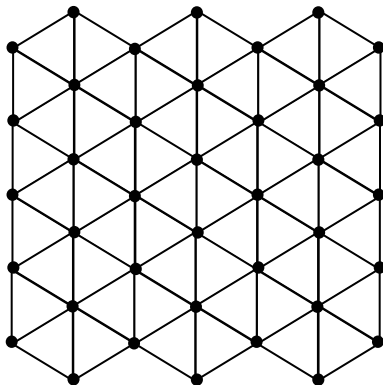
مقدار انرژی مصرفی برای فرستادن یک پیام از یک حسگر به حسگری که به فاصله d از آن قرار دارد برابر TX می باشد:

$$(۲) \quad TX = \varepsilon_{elec} \times k + \varepsilon_{amp} \times d^2 \times k$$

در رابطه های (۱) و (۲) مقدار ε_{amp} و ε_{elec} به ترتیب برابر $\frac{50nJ}{bit}$ و $\frac{100pJ}{bit \times m^2}$ می باشند.



شکل ۱- ساختار mesh



شکل ۲- ساختار مثلثی

یکی از مهم‌ترین معیارها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، میزان مصرف انرژی (E) حسگرها می‌باشد. از آنجا که بیشتر انرژی حسگرها صرف ارسال و دریافت پیام می‌شود، در این مقاله میزان مصرف انرژی یک حسگر برابر انرژی مصرف شده برای ارسال و دریافت پیامها در نظر گرفته شده است. اطلاعات هر حسگر در این شبکه به یک ایستگاه اصلی (sink) ارسال می‌شود. این ایستگاه اصلی که مشکل مصرف انرژی ندارد، وظیفه جمع‌آوری، دسته‌بندی و ارسال پیغام مناسب به هر یک از حسگرها یا به منطقه‌ای از حسگرها را دارد. همچنین هر حسگر می‌تواند رویدادهایی که به فاصله حداکثر RS از آن حسگر رخ می‌دهد را تشخیص داده و وقوع آن‌ها را به مرکز گزارش کند. از آنجایی که منبع انرژی حسگرها محدود می‌باشد، در واقعیت نیاز به روشهایی است که از انرژی حسگرها بطور بهینه استفاده شود. یکی از سیاست‌های مؤثر در بهینه‌تر شدن مصرف انرژی در حسگرها غیرفعال کردن آنها در برخی بازه‌های زمانی می‌باشد. باید در نظر داشت که حسگرها در وضعیت غیرفعال عمل دریافت و ارسال پیام را انجام می‌دهند و تنها عمل جمع‌آوری داده را متوقف می‌کنند. در این مقاله برای مدل کردن این وضعیت احتمال Pr را برای فعال بودن یک حسگر در نظر می‌گیریم. به بیانی دیگر فرض می‌کنیم هر حسگر به احتمال Pr در وضعیت فعال و به احتمال $I-Pr$ در وضعیت غیرفعال قرار دارد. یکی از معیارهای مورد ارزیابی در این مقاله تعداد رویدادهایی است که توسط حسگرها مورد مشاهده قرار نمی‌گیرند و در نتیجه وقوع آن‌ها به مرکز اطلاع داده نمی‌شوند. عدم مشاهده یک رویداد می‌تواند در اثر غیرفعال بودن حسگر نزدیک به آن رویداد و یا واقع شدن آن رویداد در منطقه‌ای که در حوضه حس هیچ کدام از حسگرها نمی‌باشد رخ دهد. بدیهی است هدف اصلی در شبکه‌های حسگر، پوشش کامل منطقه و رویت تمام اتفاقات و رویدادهای واقع در آن می‌باشد.

۴- سناریوی مقایسه

برای مقایسه عادلانه این دو ساختار باید برخی از پارامترهای شبکه در این دو ساختار یکسان باشند. از این رو فضایی که حسگرها در آن قرار می‌گیرند یک فضای دایره‌ای به شعاع ۵۰۰

متر در نظر گرفته شده است. به این منظور در هر مرحله با توجه به تعداد حسگرها (n) (که در هر دو ساختار یکسان می‌باشد)، آن‌ها را طوری در دایره‌ی مفروض قرار می‌دهیم که به طور یکسان پخش شوند و همچنین ساختار مورد نظر (mesh یا مثلثی) را بسازند. از دیگر مفروضات لازم جهت مقایسه ساختارها احتمال فعال بودن یک حسگر (Pr) و فاصله‌ایست که یک حسگر قابلیت حس یک رویداد در آن فاصله را دارد (RS). به طور دقیق‌تر برای مقایسه دو ساختار به صورت زیر عمل می‌کنیم:

- با مشخص کردن مقدار n (تعداد حسگرها در شبکه) و با توجه به ثابت بودن مساحت دایره می‌توان مقدار d (فاصله هر دو حسگر کنارهم) را مشخص کرد و هر دو شبکه را با توجه به n ساخت. d_m اندازه ضلع مربع در ساختار mesh و d_r اندازه ضلع مثلث در ساختار مثلثی می‌باشد. با توجه به این نکته که ساختار این شبکه‌ها یکسان نمی‌باشد و سعی شده که آنها در یک دایره محیط شوند، ممکن است اندازه این دو شبکه از نظر تعداد گره با یکدیگر برابر نشود. بنابراین سعی شده که تعداد حسگرها تا حد ممکن نزدیک‌ترین مقدار به n را در دو شبکه داشته باشند.

- مقدار RS با توجه به مقدار d_M تعیین می‌شود. به بیان دیگر مقدار RS برابر ضرب d_M در یک ضریب KS خواهد بود.

- به تعداد ۱۰۰۰۰ بار اعمال زیر را تکرار می‌کنیم.
 - یکی از حسگرها را به طور تصادفی به عنوان مرکز جمع‌آوری اطلاعات انتخاب می‌کنیم.
 - محل رخداد اتفاق را یک نقطه تصادفی با توزیع یکنواخت در دایره به شعاع ۵۰۰ متر در نظر می‌گیریم.
 - یکی از حسگرهایی که وقوع این رخداد را حس کرده و در وضعیت فعال نیز می‌باشد را انتخاب کرده و K می‌نامیم. اگر چنین حسگری وجود نداشت این رویداد را به عنوان رویدادی که به مرکز گزارش نشده برچسب گذاری می‌کنیم.

- فرض می‌شود که K پیام خود را از طریق کوتاه‌ترین مسیر ممکن به مرکز جمع‌آوری داده می‌فرستد. اگر طول کوتاه‌ترین مسیر ممکن بین K و مرکز جمع‌آوری داده در ساختار mesh برابر I_M و در ساختار مثلثی

برابر l_T باشد، با توجه به رابطه‌های (۱) و (۲)، میزان انرژی که در شبکه مصرف می‌شود تا پیام از S به مرکز جمع‌آوری داده برسد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$(۳) E_M = (\varepsilon_{elec} l_M + \varepsilon_{elec} l_M + \varepsilon_{amp} d_M^2 l_M) k$$

$$(۴) E_T = (\varepsilon_{elec} l_T + \varepsilon_{elec} l_T + \varepsilon_{amp} d_T^2 l_T) k$$

با توجه به این موضوع که هر دو مقدار E_T و E_M در یک ضریب k ضرب می‌شوند، برای مقایسه دو ساختار می‌توان k را برابر ۱ فرض کرد.

• در انتها تعداد رویدادهایی که گزارش نشده و همچنین میانگین انرژی مصرفی برای رویدادهای گزارش شده، اندازه‌گیری می‌شود.

۵- مقایسه ساختارها

در این بخش به مقایسه دو ساختار از جنبه‌های مختلف و پارامترهای متفاوت می‌پردازیم. در بخش اول دو ساختار از جنبه کاملاً فیزیکی و فاصله هر دو حسگر در شبکه با توجه به ساختار آنها و با توجه به برابر بودن تعداد حسگرها در شبکه، مقایسه شده اند. در دو قسمت بعد دو شبکه از نظر قابلیت آنها در مصرف انرژی و قدرت حس رخدادهای مورد مقایسه قرار گرفته اند.

۱-۵ فاصله دو حسگر همسایه

با توجه به این نکته که هرچه فاصله دو حسگر از یکدیگر بیشتر باشد انرژی بیشتری جهت انتقال اطلاعات بین آن دو مصرف می‌شود، در این بخش به بررسی رابطه بین فاصله دو حسگر مجاور در دو ساختار مورد نظر می‌پردازیم. برای انجام این مقایسه فضایی به مساحت S را که با n حسگر با ساختارهای mesh و مثلثی پوشانده شده در نظر می‌گیریم. فرض بر آن شده که در ساختار mesh اندازه ضلع مربع ها d_M و در ساختار مثلثی اندازه ضلع مثلث‌ها d_T می‌باشد. همچنین تعداد مربع‌های لازم برای پوشاندن مساحت S را a_M و تعداد مثلث‌های لازم برای پوشاندن فضای S را a_T در نظر می‌گیریم. با توجه به اینکه مساحت هر مثلث متساوی الاضلاع به ضلع d_T برابر $\frac{\sqrt{3}}{4} \times d_T^2$ و مساحت هر مربع به ضلع d_M برابر d_M^2 می‌باشد، خواهیم داشت:

$$(۵) S \approx a_M \times d_M^2 \approx a_T \times \frac{\sqrt{3}}{4} \times d_T^2$$

از طرفی به راحتی دیده می‌شود که تعداد مربع‌ها برابر تعداد حسگرها و تعداد مثلث‌ها دو برابر تعداد حسگرها می‌باشند:

$$(۶) n = a_M = \frac{a_T}{2}$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$(۷) d_M^2 \approx \frac{\sqrt{3}}{2} \times d_T^2 \Rightarrow d_T \approx 1.0745 \times d_M$$

۲-۵ انرژی مصرفی برای انتقال داده

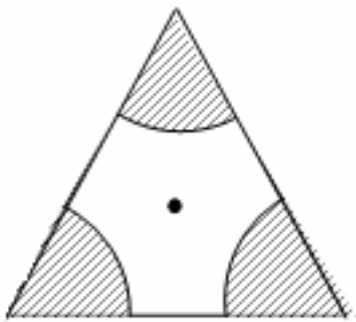
باید دقت شود که میزان مصرف انرژی برای انتقال داده به ایستگاه مرکزی (sink)، تنها به نحوه چیدمان حسگرها بستگی دارد. در حقیقت میانگین مصرف انرژی برای انتقال یک پیام به ایستگاه مرکزی به رویدادهایی که گزارش نشده‌اند وابستگی ندارد، به این دلیل که میانگین مورد نظر برای رویدادهای مشاهده شده محاسبه می‌گردد. همچنین باید توجه داشت که نحوه چیدمان حسگرها در یک ساختار مشخص تنها به تعداد حسگرهای موجود در محیط (n) بستگی دارد. به همین دلیل برای مقایسه ساختارهای مورد نظر از نظر میزان مصرف انرژی، کافیست میزان مصرف انرژی را با توجه به تعداد حسگرها در دو ساختار مورد نظر مقایسه کنیم. به همین منظور انرژی مصرفی در دو ساختار با مقادیر ثابت $Pr=1$ و $Ks=0.6$ و تعداد حسگرهای متفاوت اندازه‌گیری شده است. با توجه به شکل (۳) به راحتی می‌توان نتیجه گرفت که مصرف انرژی در ساختار مثلثی به مراتب کمتر از ساختار mesh می‌باشد. با افزایش تعداد حسگرها در شبکه فاصله دو حسگر متوالی کاهش می‌یابد. در نتیجه با افزایش تعداد حسگرها انرژی کمتری برای ارسال پیام بین دو گره متوالی نیاز است. از طرف دیگر با بیشتر شدن تعداد حسگرها، تعداد حسگرهایی که در مسیر پیام از مبدا به مقصد قرار می‌گیرند افزایش می‌یابد و در نتیجه انرژی بیشتری برای دریافت پیام‌ها لازم است. با توجه به نمودار شکل (۳) و با فرضیات در نظر گرفته شده، با اختصاص ۹۰۰ حسگر در فضای مورد نظر مصرف انرژی در هر دو ساختار برای ارسال و دریافت پیام بهینه خواهد بود.

۳-۵ قدرت جمع آوری داده‌ها

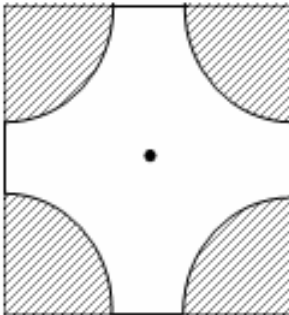
در این بخش نشان داده خواهد شد که اگر حسگرها در تمام لحظات در وضعیت فعال باشند ($Pr=1$)، تعداد رویدادهایی که توسط حسگرها در ساختار مثلثی گزارش می‌شوند از تعداد رویدادهای گزارش شده در ساختار mesh بیشتر خواهد بود.

$$(۸) \quad \frac{S_M}{S} \approx \frac{\pi \times Rs^2}{d_M^2}$$

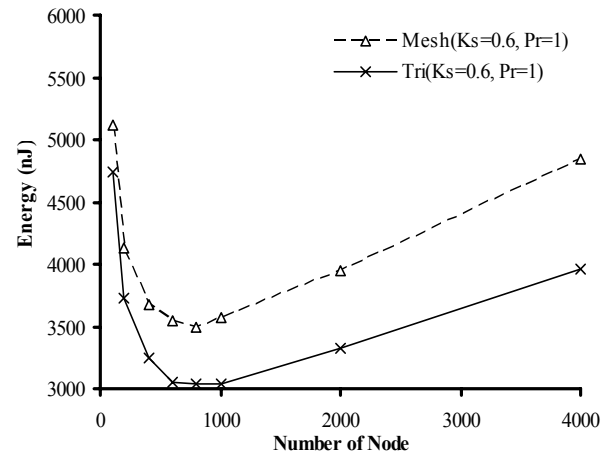
$$(۹) \quad \frac{S_T}{S} \approx \frac{\frac{\pi \times Rs^2}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{4} \times d_T^2} = \frac{2 \times \pi \times Rs^2}{\sqrt{3} \times d_T^2}$$



شکل ۴- نا حیه‌ی مورد مشاهده در شبکه mesh



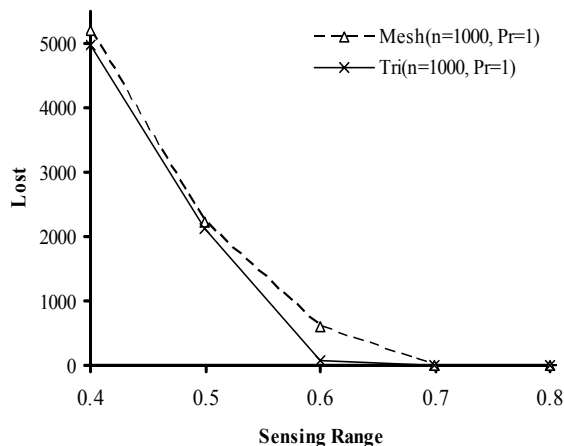
شکل ۵- نا حیه‌ی مورد مشاهده در شبکه مثلثی



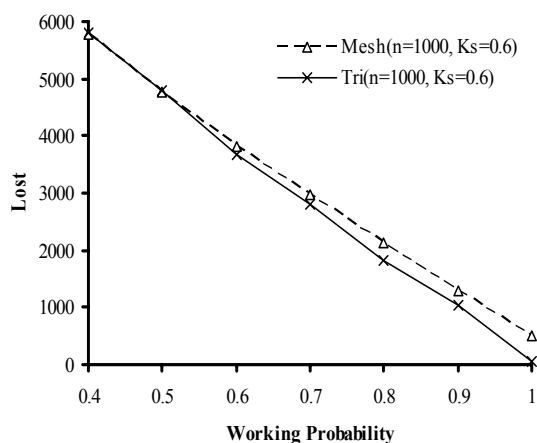
شکل ۳ - رابطه‌ی انرژی مصرفی با تعداد حسگرها

فرض کنید که هدف پوشاندن فضایی به مساحت S می‌باشد. همچنین مجموع مساحت دایره‌های به شعاع Rs از مرکز حسگرها در ساختار mesh را برابر S_M و مجموع مساحت دایره‌های به شعاع Rs از مرکز حسگرها در ساختار مثلثی را برابر S_T در نظر می‌گیریم. با توجه به این موضوع که $Pr=1$ و این که رویدادها با توزیع یکنواخت در فضایی به مساحت S اتفاق می‌افتند، براحتی دیده می‌شود که نسبت رویدادهای گزارش شده در ساختار mesh (مثلثی) به کل رویدادها برابر $\frac{S_M}{S}$ خواهد بود. با تکیه بر این نکته که نسبت نواحی پوشیده شده توسط حسگرها در داخل یک مربع (مثلث) (که در شکل ۴ و ۵ به صورت هاشور خورده دیده می‌شود) به مساحت مربع (مثلث) با توجه به تقارن آنها برابر $\frac{S_M}{S}$ ($\frac{S_T}{S}$) است، این

- $Pr=1$ ، تعداد حسگرها برابر ۱۰۰۰ و Ks متغیر می-باشد. با توجه به شکل ۷ دیده می‌شود که ساختار مثلثی بهتر عمل می‌کند.
- $Ks=0.6$ ، تعداد حسگرها برابر ۱۰۰۰ و Pr متغیر می‌باشد. با توجه به شکل ۸ دیده می‌شود که ساختار مثلثی بهتر عمل می‌کند.



شکل ۷ - رابطه‌ی تعداد رویدادهای گزارش نشده با شعاع مشاهده هر حسگر

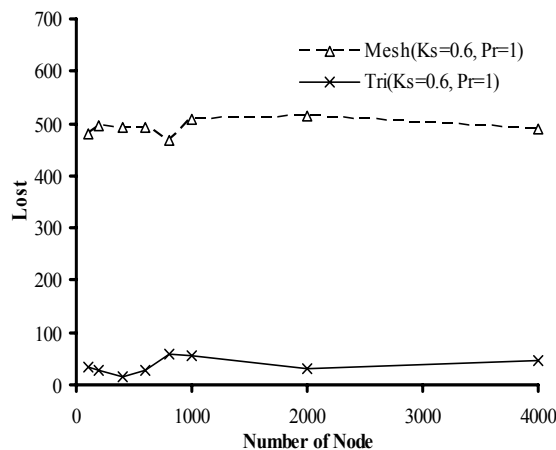


شکل ۸ - رابطه‌ی تعداد رویدادهای گزارش نشده با احتمال فعال بودن حسگرها

و با توجه به تساوی (۷) خواهیم داشت، $\frac{S_M}{S} = \frac{S_T}{S}$ و به عبارتی دیگر در حالت که $Rs < \frac{d_M}{2}$ و $Pr=1$ تعداد رویدادهایی که در دو ساختار گزارش داده می‌شود با هم برابرند. در حالتی که $Pr=1$ ، اندازه Rs باید حداقل $f_M = d_M \times \frac{\sqrt{2}}{2}$ باشد تا در ساختار mesh تمام فضا توسط حسگرها پوشیده شود در حالی که این مقدار در ساختار مثلثی باید حداقل $f_T = d_T \times \frac{\sqrt{3}}{3}$ باشد و با توجه به تساوی (۷) خواهیم داشت $f_T < f_M$.

در ادامه با شبیه‌سازی دو ساختار نشان می‌دهیم که در حالتی که $Pr \leq 1$ و $\frac{d_M}{2} < Rs < d_M \times \frac{\sqrt{2}}{2}$ نیز تعداد رویدادهایی که در ساختار مثلثی گزارش می‌شوند از تعداد رویدادهای گزارش شده در ساختار mesh بیشتر است. به این منظور سه سناریوی زیر را اجرا می‌کنیم:

- $Pr=1$ ، $Ks=0.6$ و تعداد حسگرها متغیر باشد. با توجه به شکل ۹ دیده می‌شود که ساختار مثلثی بهتر عمل می‌کند.



شکل ۹ - رابطه‌ی تعداد رویدادهای گزارش نشده با تعداد حسگرها

۶- نتیجه گیری

با توجه به گستردگی کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌توان این نوع شبکه‌ها را در هر شرایطی مورد ارزیابی قرار داد. از این رو در این مقاله با معرفی یک ساختار جدید منظم (ساختار مثلثی) در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و مقایسه آن با ساختار معروف mesh، اقدام به بررسی این شبکه‌ها بصورت شبکه‌هایی منظم شده است. در این مقاله دو ساختار مطرح شده از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و در تمام نتایج نشان داده شده که ساختار جدید مثلثی دارای کارایی بهتری نسبت به ساختار mesh می‌باشد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با توجه به نوع چیدمان ساختار جدید این شبکه از قابلیت حس رویدادهای بیشتری نسبت به شبکه mesh برخوردار است. درضمن مصرف انرژی در ساختار مثلثی به مراتب بهینه‌تر از ساختار mesh می‌باشد.

با توجه به قابلیت‌های شبکه مثلثی که در این مقاله مطرح شده این انتظار می‌رود که این شبکه جایگزین مناسبی برای شبکه mesh باشد. از این رو درنظر داریم با مطالعه و تحقیق بیشتر بر روی الگوریتم‌های مسیریابی، با ارائه الگوریتم یا الگوریتم‌های مسیریابی مناسب بر روی این شبکه، علاوه بر ایجاد یک زمینه تحقیقاتی جدید، شرایط را برای کاربردی‌تر شدن این شبکه فراهم سازیم.

۷- مراجع

- Aggregation in Sensor Networks,” *Wireless Communications and Networking*, 2003.
- [7] S. Lindsey, C. Raghavendra, and K. Sivalingam, “Data Gathering in Sensor Networks using the Energy*Delay Metric”, *Parallel and Distributed Processing Symposium*, April 2001.
- [8] Y. Yu, B. Krishnamachari and V.K. Prasanna, “Energy-Latency Tradeoffs for Data Gathering in Wireless Sensor Networks”, *INFOCOM*, 2004.
- [9] S. De, C. Qiao and H. Wu, “Meshed Multipath Routing: An Efficient Strategy in Sensor Networks,” *Wireless Communications and Networking*, 2003.
- [10] P.M. Ruiz, A.F.G. Skarmeta, “Reducing Data-Overhead of Mesh-based Ad hoc Multicast Routing Protocols By Steiner Tree Meshes,” *IEEE SECON*, 2004.
- [11] A. Agrawal, “Limits on interconnection network performance”, *IEEE Trans. Parallel & Distributed Systems*, Volume 2, pp. 398-412, 1991.
- [12] V. S. Adve and M. K. Vernon, “Performance Analysis of Mesh Interconnection Networks with Deterministic Routing”, *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst*, Volume 5, pp 225-246, 1994.
- [13] R.E. Kessler, J.L. Schwarzmeier, “Cray T3D: A new dimension for Cray Research”, in *CompCon*, pp. 176-182, Spring 1993.
- [14] Santosh Kumar, Ten Hwang Lai, Jozsef Balogh, “On k-Coverage in a Mostly Sleeping Sensor Network”, *MobiCom*, September 2004.
- [15] M.D. Noakes, D.A. Walach, W.J. Dally, “The J-machine multicomputer”, *Proc. 20th ISCA*, pp.224-235, 1993.
- [16] M. Bae, B. Bose, “Resource placement in torus-based networks”, *IEEE Trans. On Computers*, 46(10), 1997, pp. 1083-1092.
- [17] Cray Inc., The Cray X1, accessible at www.cray.com/products/systems/x1/
- [18] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, and M.B. Srivastava, “Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks”, *Infocom*, April 2001.
- [19] Fabian Kuhn, Thomas Moscibroda, Roger Wattenhofer, “Initializing Newly deployed Ad Hoc and Sensor Networks”, *MobiCom*, September 2004.
- [20] E. Anderson, J. Brooks, C. Grassl, S. Scott, “Performance of the Cray T3E multiprocessor”, *Proc. Supercomputing Conference*, 1997.
- [21] S.Bandyopadhyay, E.J. Coyle, “Spatio-Temporal Sampling Rates and Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks,” *INFOCOM*, 2004.
- [22] C. Zhou, B. Krishnamachari, “Localized Topology Generation Mechanisms for Self-Configuring Sensor Networks”, *IEEE Globecom*, December 2003.
- [23] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, “Modelling Data-Centric Routing in Wireless Sensor Networks,” *In Proc. of IEEE Infocom*, 2002.
- [1] W. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks,” *In Proc. of Hawaiian International Conference on Systems Science*, 2000.
- [2] R. Govindan, C. Intanagonwiwat and D. Estrin, “Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks,” *In Proceedings of 6th ACM/IEEE Mobicom Conference*, 2000.
- [3] K. Kalpakis, K. Dasgupta, and P. Namjoshi, “Maximum Lifetime Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Networks,” *In Proceedings of IEEE International Conference on Networking*, 2002.
- [4] Y. Yu, B. Krishnamachari, and V.K. Prasanna, “Energy-Latency Tradeoffs for Data Gathering in Wireless Sensor Networks”, *INFOCOM’04*, March 2004.
- [5] M. Bhardwaj, T. Garnett, and A.P. Chandrakasan, “Upper Bounds on the Lifetime of Sensor Networks,” *In Proceedings of International Conference on Communications*, 2001.
- [6] K. Dasgupta, K. Kalpakis and P. Namjoshi, “An Efficient Clustering-based Heuristic for Data Gathering and