

## ردیابی هدف متحرک با فعال‌سازی حداقل تعداد گره به منظور کاهش مصرف انرژی شبکه‌های حسگر بی‌سیم

صادق فریدونی<sup>۱</sup>، مرتضی زلف پور آرخلو<sup>۲</sup>، محمد رضا اسلامی نژاد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر

<sup>۲</sup> استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان

<sup>۳</sup> استادیار، موسسه آموزش عالی زند شیراز

نام نویسنده مسئول:

صادق فریدونی

### چکیده

شبکه حسگر بی‌سیم از صدها و یا هزاران گره‌ی کوچک بنام گره‌ی حسگر تشکیل شده است که باهم در ارتباطند و کار می‌کنند تا وظیفه یا وظایف خاصی را انجام دهند. این نوع شبکه‌ها بدلیل ویژگی خاصی که دارند با چالش‌های زیادی مواجه هستند. یکی از موضوعات مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم که در سال‌های اخیر بسیار به آن اشاره شده است، بحث ردیابی هدف است. تحقیقات زیادی نیز در این باره انجام شده و الگوریتم‌های متنوعی نیز ارائه شده است. از بین روش‌های ارائه شده، روش‌هایی که مکان بعدی هدف را باتوجه به تکنیک‌های خاصی در بازه‌ی زمانی بعدی پیش‌بینی می‌کنند کارایی بیشتری دارند. با پیش‌بینی حرکت هدف می‌توان تنها بخشی از گره‌های شبکه را در ردیابی در بازه‌ی زمانی بعدی دخیل کرد که باعث کاهش چشمگیری در مصرف انرژی می‌شود. در این پایان‌نامه یک روش پیش‌بینی ارائه کرده‌ایم که تعداد بسیار کمی از گره‌ها را در حالت فعال جهت ردیابی هدف قرار می‌دهد و مابقی گره‌ها به حالت خواب تغییر وضعیت می‌دهند. بر طبق نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی در فصل ارزیابی روش پیشنهادی توانسته است علاوه بر افزایش دقت در ردیابی هدف، مصرف انرژی را نسبت به روش‌های پیشین در حداقل قبولی کاهش دهد.

**واژگان کلیدی:** شبکه حسگر بی‌سیم - ردیابی هدف - الگوریتم پیش‌بینی - افزایش کارایی

## مقدمه

فناوری شبکه‌های حسگر یکی از فناوری‌های کلیدی برای آینده است، به صورتی که می‌توان آن را مهم‌ترین فناوری برای قرن حاضر دانست. یک شبکه حسگر در حقیقت مجموعه‌ای از تعداد زیادی گره حسگر می‌باشد که در محیط پراکنده شده‌اند و هر کدام بطور مختار و با همکاری سایر گره‌ها هدف خاصی را دنبال می‌کنند. وظیفه اصلی گره‌ی حسگر، جمع آوری داده در فواصل زمانی منظم و تبدیل آن به یک سیگنال الکترونیکی و انتشار سیگنال به گره سینک یا ایستگاه مبنا از طریق رسانه‌های ارتباطی بی‌سیم قابل اطمینان است. اصلی‌ترین ویژگی این گره‌ها، محدود بودن منابع انرژی است که باعث می‌شود این شبکه‌ها عمر مشخصی داشته باشند. علاوه بر این از نظر پردازشی و وسعت ارتباط رادیویی، نسبت به شبکه‌های موردی، محدودیت بیشتری دارند. به همین دلیل، الگوریتم‌های پیشنهادی برای این شبکه‌ها باید به صورتی کارا طراحی شوند. از سوی دیگر داشتن این ویژگی‌های حداقل، باعث کم هزینه بودن گره‌های حسگر بی‌سیم بوده و در نتیجه امکان استفاده از تعداد زیادی از این گره‌ها در یک شبکه را فراهم می‌کند (پراساد، ۲۰۱۵).

با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته در این نوع شبکه‌ها، گره‌های حسگر بدلیل تعداد زیاد، اندازه کوچک و روش قرارگیری اقتضایی، هنوز هم برای تأمین انرژی خود، متکی به باتری‌هایی با توان اندک می‌باشند و همچنین معمولاً به دلیل به کارگیری این نوع شبکه‌ها در محیط‌های خشن و غیر قابل دسترس، امکان شارژ مجدد یا تعویض گره‌های حسگر وجود ندارد. بنابراین یکی از مهم‌ترین مسائل در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مساله محدودیت شدید انرژی است. همچنین از آنجایی که کارایی شبکه‌های حسگر به شدت به طول عمر شبکه و پوشش شبکه‌ای آن وابسته است، بنابراین لحاظ نمودن الگوریتم‌های ذخیره انرژی در طراحی شبکه‌های حسگر با عمر طولانی، امری حیاتی است. در این بین استفاده از روش‌های ردیابی هدف از این مقوله مستثنی نیستند. به عبارت دیگر، باید روش‌های ردیابی هدفی استفاده شود که حداقل مصرف انرژی را بر شبکه تحمیل کند و حتی المقدور سربار غیر ضروری برای شبکه حسگر بی‌سیم نداشته باشد. ردیابی هدف یکی از موضوعات بسیار مهم در شبکه حسگر بی‌سیم و از کاربردهای اصلی این نوع شبکه‌ها مخصوصاً در محیط نظامی می‌باشد. به جرات می‌توان گفت اصلی‌ترین چالش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم محدودیت منبع تغذیه‌ی گره‌هاست که با تمام شدن آن، گره خاموش شده و دیگر قابل استفاده نخواهد بود. ردیابی به روش‌های مختلفی انجام می‌شود که در بین آن‌ها، پیش‌بینی ناحیه‌ی قرارگیری هدف در بازه‌ی زمانی بعدی کارایی بیشتری دارد. در الگوریتم‌های ردیابی مبتنی بر پیش‌بینی، موقعیت بعدی هدف با توجه به سرعت و مسیر حرکت فعلی (اخیر) هدف پیش‌بینی می‌شود. بر این اساس گره‌های نواحی دیگر، که عمدتاً ناحیه‌های همسایه هستند و احتمال رفتن هدف به آن‌ها بیشتر است، پیش از رسیدن هدف به آن ناحیه فعال می‌شوند و پس از عبور هدف از آن ناحیه مجدداً این گره‌ها به حالت خواب می‌روند. یکی از چالش‌های پیش روی الگوریتم‌های مبتنی بر پیش‌بینی، فعال شدن تعداد زیادی از گره‌ها در فرایند اجرای آن است. دلیل این امر آن است که چون محدوده مکان قرارگیری هدف در موقعیت بعدی آن بر اساس پیش‌بینی مشخص می‌شود، این مکان محدوده‌ی بزرگی را می‌تواند شامل شود که در بر گیرنده‌ی تعداد زیادی از گره‌های حسگر است. این در حالی است که با توجه به جهت‌گیری حرکت هدف، فعال شدن بسیاری از این گره‌ها ضروری نیست. روش‌های ترکیبی نیز از ترکیب همه‌ی این روش‌ها استفاده می‌نماید. در این تحقیق، هدف ارائه الگوریتم ردیابی مبتنی بر پیش‌بینی است که بتواند تعداد گره‌های درگیر در ردیابی (گره‌های فعال) را کم کند، بدون آنکه کیفیت ردیابی صورت پذیرفته کاهش یابد.

## ۱- پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی در زمینه ردیابی توزیعی با پروژه شبکه‌های حسگر توزیع‌شده انجام شده است. در تحقیقی توسط (پراساد ۲۰۱۵) برخی از کاربردهایی که تا کنون بر روی شبکه‌های حسگر بی‌سیم مانند میدان‌های جنگی، شناسایی محیط‌های آلوده، نظارت کردن محیط زیست و ... مورد ارزیابی قرار گرفتند. محدودیت‌های سخت افزاری گره‌ها که در تحقیقی توسط (مانیکندان و همکاران، ۲۰۱۵) بررسی شده است عبارتند از: هزینه پایین، افزایش طول عمر شبکه، حجم کوچک، توان مصرفی پایین، ارتباط بلادرنگ و هماهنگی، نرخ بیت پایین، خودمختار بودن، قابلیت انطباق، امنیت.

نظارت و ردیابی در زیر آبها: پروژه AquaNodes توسط (واسلیسکو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲) و ردیابی با استفاده از دوربین‌های ویدئویی: پروژه‌های MeshEye، Cyclops، SensEye، VSAM (رحیمی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵)، (کالکرنی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵)، (هنگستلر و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷).

<sup>۱</sup> Vasilescu et al.<sup>۲</sup> Rahimi et al.<sup>۳</sup> Kulkarni et al.<sup>۴</sup> Hengstler et al.

در (چن و وارشنی، ۲۰۱۳) پارامترهای قابل تعریف در کیفیت سرویس در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از دو دیدگاه زیر تقسیم‌بندی شده‌اند: کیفیت سرویس مختص کاربرد و کیفیت سرویس مبتنی بر لایه شبکه. معیار کیفیت مراقبت معرفی شده در (گائی و ماهاپاترا، ۲۰۱۲) بستگی به تعداد گره‌ها و چگونگی توزیع آنها دارد و مناسب ردیابی تک هدفی است. علاوه بر این، در (پتم و همکاران، ۲۰۱۳) مسأله کافی بودن اندازه‌گیری/تشخیص یک حسگر برای ردیابی یک هدف در شبکه‌ای با چگالی زیاد گره‌ها به صورت تحلیلی بررسی شده است. در مقاله‌ی (چن و همکاران، ۲۰۱۱)، نویسندگان سعی در اصلاح روش ردیابی با کاهش تعداد گره‌های درگیر در ردیابی و استفاده از چندین گره‌ی جانبی بعنوان گره‌های واسط کرده‌اند. ساختاری که در این پایان‌نامه به آن پرداخته می‌شود یک روش ردیابی هدف پیش‌بینی و خوشه‌بندی است. مقاله‌ی اصلی که روش پایان‌نامه با آن مقایسه می‌شود، روش ارائه شده در (چن و همکاران، ۲۰۱۱) است که DSA نامیده می‌شود. علاوه بر روش DSA، از روش ساده نیز در مقایسه‌ها استفاده شده است.

## ۲- روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی، با پیش‌بینی ناحیه‌ی قرارگیری هدف در بازه‌ی زمانی بعدی با توجه به مکان، سرعت و شتاب جاری هدف، اقدام به فعال نمودن گره‌های حسگر موجود در این ناحیه خواهد نمود. ناحیه‌ی قرارگیری هدف در بازه‌ی زمانی بعدی به شکل یک دایره با مرکزیت مختصات فعلی هدف و با شعاعی که متناسب با سرعت تخمینی فعلی هدف است، در نظر گرفته می‌شود. مهمترین عامل محدودیت برد تجهیزات مخابراتی در گره‌های حسگر مسأله منبع تغذیه است. چرا که گره برای ارسال داده به مسافت دورتر نیازمند مصرف انرژی بیشتری است. بستر خوشه‌بندی استفاده در طرح پیشنهادی، خوشه‌بندی به روش k-means است. خوشه‌بندی مذکور در دو مرحله اجرا می‌شود. در گام نخست خوشه‌ها تشکیل می‌شوند و در گام بعد فرآیند عادی شبکه آغاز می‌شود. این روند تا یک زمان از پیش تعیین شده ادامه پیدا می‌کند. بعد از اتمام زمان تعیین شده، مجدداً فرآیند تشکیل خوشه آغاز می‌شود. هدف اصلی فاز تنظیم ساختن خوشه و یافتن گره‌های سرخوشه است. در حین فاز تنظیم، ایستگاه پایه سطح انرژی و اطلاعات مکانی را از تمام گره‌های موجود در شبکه جمع‌آوری می‌کند. با توجه به مکان گره‌های حسگر، میانگین نقاط (MP) اولیه‌ی مناسب برای سرخوشه‌ها بدست می‌آید. در اینجا CP بعنوان نقطه‌ی مرکزی تمام گره‌های حسگر و N گره حسگر در شبکه حسگر بی‌سیم در نظر گرفته می‌شود.

$$CP = \frac{\sum_{j=1}^N X_j}{N} \quad (1)$$

$X_j$  مختصات گره‌ی حسگر  $j$  است.  $R$  را میانگین فاصله از تمام گره‌های حسگر تا CP در نظر گرفته شده است.

$$R = \frac{\sum_{j=1}^N |X_j - CP|}{N} \quad (2)$$

که در اینجا  $|X_j - CP|$  فاصله‌ی بین  $X_j$  و CP است.  $m_i$  ( $m_{ix}$ ,  $m_{iy}$ ) مکان‌های آغازین MP برای خوشه‌ی  $i$  هستند.

$$m_{ix} = R \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{k}(i+1)\right) + CP_x \quad (3)$$

$$m_{iy} = R \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{k}(i+1)\right) + CP_y \quad (4)$$

مقدار  $k$  (تعداد خوشه‌ها) از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$k = \left\lceil \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}} \frac{M}{d_{toBS}^2}} \right\rceil \quad (5)$$

<sup>5</sup> Distributed Sensor Activation Algorithm

<sup>6</sup> Means of points (MP)

بعد از تنظیم اولیه‌ی MP ها براساس مکان تمام گره‌های حسگر بی‌سیم، ایستگاه پایه چندین خوشه تولید می‌کند. از الگوریتم k-means برای تقسیم n گره حسگر به k خوشه استفاده می‌کنیم، که در آن هر گره‌ی حسگر به خوشه‌ای تعلق دارد که نزدیک‌ترین MP را داشته باشد. اگر در سیستم k خوشه وجود داشته باشد، تابع k-means بصورت معادله زیر بیان می‌شود:

$$\min \sum_{i=1}^k |X_j - m_i|, \quad \forall X_j \in C_i \quad (6)$$

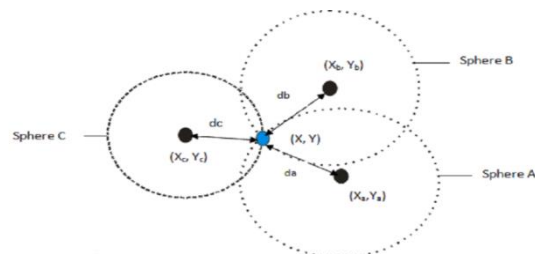
که در آن  $C_i$  خوشه‌ی i و  $m_i$  مختصات MP است. دلیل اصلی این عبارت بدست آوردن حداقل فاصله بین گره‌های حسگر و تمام خوشه‌هاست. برای ساخت خوشه‌های توزیع شده‌ی یکنواخت فاصله‌های کمینه بین MPها و تمام گره‌های حسگر محاسبه می‌گردد. سپس گره‌های حسگر براساس حداقل فاصله در خوشه طبقه‌بندی می‌شوند. هر گره‌ی حسگر فقط و تنها به یک خوشه تعلق می‌گیرد. هدف اصلی از این عبارت تصمیم‌گیری این است که گره‌ی j به کدام خوشه تعلق دارد. بعد از مشخص شدن این موضوع، MPهای جدید بصورت زیر محاسبه می‌شود. چنانچه اختلاف این دو از یک حدآستانه فراتر برود مجدداً باید این روند تکرار شده و MPهای جدید تولید شوند. تازمانی این روند تکرار می‌شود که اختلاف MPهای جدید و فعلی از آستانه تجاوز نکند.

$$m'_i = \frac{1}{|C_i|} \sum X_j, \quad \forall X_j \in C_i \quad (7)$$

برای انتخاب گره‌ی سرخوشه از بین گره‌های موجود در ناحیه‌ی MP از پارامتر SF استفاده می‌شود. در این فرمول  $d_{n,MP}$  فاصله‌ی گره‌ی n تا MP خودش،  $E_{energy,n}$  انرژی باقی‌مانده‌ی گره و  $E_{average}$  میانگین انرژی باقی‌مانده‌ی کل گره‌ها می‌باشد.

$$SF_n = \frac{1}{d_{n,MP}} \left( \frac{E_{energy,n}}{E_{average}} \right) \quad (8)$$

بعد از اجرای الگوریتم خوشه‌بندی، گره‌های سرخوشه که بیشترین انرژی باقی‌مانده را دارا بوده و همچنین فاصله تا MP حداقل باشد، بعنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. در طرح این مقاله، ردیابی هدف به کمک سرخوشه‌ها به راحتی انجام می‌شود. گره‌های سرخوشه می‌توانند بعنوان گره‌های رهبر در ردیابی هدف عمل کنند و مختصات هدف را به ایستگاه پایه گزارش دهند. همچنین می‌توانند خواب و بیداری گره‌ها را مدیریت کنند. در ابتدا شبکه خوشه‌بندی می‌شود و سپس فرآیند ردیابی آغاز می‌شود. درآغاز فرآیند ردیابی، تمامی گره‌ها بجز گره‌های سرخوشه در حالت خواب قرار دارند. سرخوشه‌ای که هدف را شناسایی درحالت فعال باقی مانده و سایر سرخوشه‌ها به وضعیت خواب می‌روند. در این هنگام مختصات هدف باید تخمین زده شود. این وضعیت برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد. هر سرخوشه به محض ردیابی هدف، پیام بیدار باشی را در شبکه پخش می‌کند. یکی از راهکارهای مکان‌یابی استفاده از تکنیک مثلث‌بندی مطابق با شکل زیراست. روند تخمین مختصات بدین شرح می‌باشد (اوگایچیوفور و همکاران، ۲۰۱۳):



شکل ۱: روش مکان‌یابی مثلث بندی

$$\begin{aligned} d_a^2 &= x^2 - 2x \cdot x_a + x_a^2 + y^2 - 2y \cdot y_a + y_a^2 \\ d_b^2 &= x^2 - 2x \cdot x_b + x_b^2 + y^2 - 2y \cdot y_b + y_b^2 \\ d_c^2 &= x^2 - 2x \cdot x_c + x_c^2 + y^2 - 2y \cdot y_c + y_c^2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$d_b^i - d_a^i = vx(x_c - x_b) + x_b^i - x_a^i + vy(y_c - y_b) + y_b^i - y_a^i \quad (9)$$

$$v_a = \frac{(d_b^i - d_a^i) - (x_b^i - x_a^i) - (y_b^i - y_a^i)}{v} \quad (10)$$

$$y = \frac{v_b(x_c - x_b) - v_a(x_a - x_b)}{(y_a - y_b)(x_c - x_b)(y_c - y_b)(x_a - x_b)} \quad (11)$$

$$x = \frac{v_a - y(y_c - y_b)}{(x_c - x_b)}$$

در فرآیند ردیابی و تعیین مختصات هدف، تنها وجود سه گره کافی می‌باشد. قرارگیری سایر گره‌ها در حالت ردیابی می‌تواند سربار زیادی به شبکه تحمیل کند چراکه فرآیند ردیابی بطور مکرر و پیوسته در محیط انجام می‌شود. برای این موضوع باید راه‌حلی اندیشیده شود. پیش‌بینی محدوده‌ی بعدی حرکت هدف از پیش‌بینی مکان بعدی حرکت هدف در ردیابی کارآتر است اما از پیش‌بینی مکان بعدی هدف نیز براساس اطلاعات قبلی هدف نظیر سرعت در زمان‌های گذشته و جهت حرکت آن می‌توان استفاده کرد. در این طرح دو مختصات برای هدف پیش‌بینی می‌گردد، که یک پیش‌بینی براساس میانگین تغییرات حرکات گذشته با در نظر گرفتن وزن بیشتر برای حرکات جدیدتر و دیگری براساس تغییرات در گام قبلی هدف می‌باشد. این پیش‌بینی در سرخوشه و براساس اطلاعات گذشته از هدف صورت می‌گیرد.

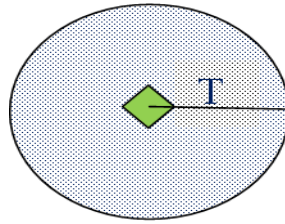
$$Target\ Speed(Average) = v_{Average} \frac{\sum_{i=1}^k \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{\sum_{i=1}^k (t_i - t_{i-1})} \quad (12)$$

$$Target\ Direction = \theta_{Average} = \cos^{-1} \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - x_{i-1})}{\sum_{i=1}^k \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}} \quad (13)$$

$$Average\ Target \begin{cases} x_{i+1} = x_i + v \cos \theta \\ y_{i+1} = y_i + v \sin \theta \end{cases} \quad (14)$$

در این معادله‌ها،  $i$  حرکت فعلی یا  $i$ ام هدف،  $v$  سرعت و  $\theta$  جهت هدف می‌باشد. همچنین  $k$  تعداد کل حرکات هدف است که ثبت شده و  $t$  نمایانگر زمان بین دو حرکت هدف است و سرخوشه مختصات میانگین را در نظر می‌گیرد. بعد از شناسایی مختصات بعدی هدف توسط سرخوشه، این ایستگاه با داشتن مختصات گره‌های عضو، چنانچه سه گره‌ی نزدیک به مختصات جدید هدف از اعضای آن باشند، آن‌ها را بیدار می‌کند. در غیر این صورت، سرخوشه‌ی مجاور را برای این کار فعال می‌نماید. در صورتی که سه گره‌ی بیدار شده نتوانستند هدف را شناسایی، ردیابی و مکان‌یابی کنند مکانیزم دیگری جایگزین می‌کند.

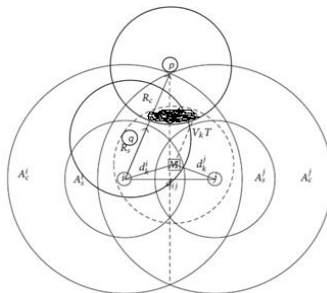
حداکثر سرعت هدف  $T$  در نظر گرفته می‌شود، در نتیجه ناحیه‌ای که در بازه‌ی زمانی بعد باید گره‌ها در آن بیدار شوند بصورت شکل زیر می‌باشد. بعد از شناسایی هدف توسط سرخوشه در گام نخست، اعضای سرخوشه برای شناسایی هدف بیدار می‌شوند. در گام‌های بعدی ناحیه‌ی فعال سازی برای پیش‌بینی حرکت هدف بیدار می‌شود. گره‌های شناسایی کننده‌ی هدف اطلاعات مکانی خود که شامل مختصات و فاصله خودشان تا هدف است را به سرخوشه ارسال می‌کنند. سرخوشه مختصات هدف را محاسبه و پیام بیدارباشی را محیط پخش می‌کند که توسط آن گره‌های موجود در ناحیه‌ی حرکت هدف برای ردیابی بیدار شوند. سایر گره‌ها به حالت خواب می‌روند. چنانچه خود سرخوشه نیز در حالت ردیابی قرار نگیرد به وضعیت خواب می‌رود. پیام بیدارباش سرخوشه، به هر گره که برسد، براساس زاویه و فاصله پیام، مختصات هدف و سرخوشه، گره می‌تواند در مورد اینکه در ناحیه‌ی بعدی حرکت هدف است، تصمیم‌گیری کند.



شکل ۲: ناحیه حرکت هدف

چنانچه گره‌ای پیام بیدارباش دریافت کرد از وضعیت خواب به وضعیت نظارت تغییر حالت می‌دهد. گره‌هایی که هدف در گام بعدی در ناحیه‌ی حس آن‌ها قرار می‌گیرد، فاصله تا هدف را به سرخوشه خود ارسال می‌کنند. در صورتی که سرخوشه در وضعیت خواب باشد، با پیام بیدارباش، بیدار می‌شود و فرآیند ردیابی ادامه می‌یابد. اطلاعات بدست آمده توسط سرخوشه، بطور مدام به ایستگاه پایه گذارش می‌شود. اطلاعات بدست آمده توسط سرخوشه شامل مختصات هدف، تعداد دفعات شناسایی هدف، تعداد گره‌های درگیر در ردیابی در خوشه متناظر و غیره می‌باشند. الگوریتم پیشنهادی یک الگوریتم توزیع شده می‌باشد. وضعیت کاری هر گره به گره‌های حسگر همسایه وابسته است. گره‌های حسگر بین وضعیت‌های ردیابی<sup>۱</sup>، نظارت<sup>۲</sup> و خواب<sup>۳</sup> تغییر وضعیت می‌دهند. وقتی که هدف وارد نواحی حس کردن شود، گره‌هایی که بر هدف نظارت دارند به وضعیت ردیابی تغییر وضعیت می‌دهند و در وضعیت ردیابی باقی می‌مانند تا اینکه هدف از ناحیه حس آن‌ها خارج شود. زمانی که هدف از نواحی حس کردن گره‌ها خارج شد، گره‌های ردیاب به وضعیت خواب باز می‌گردند.

اکنون حالتی ممکن است پیش آید که لازم است برای آن چاره‌ای اندیشیده شود. منظور گم شدن هدف است. هر چند که مطابق نتایج شبیه‌سازی وقوع چنین مسأله‌ای بسیار کم می‌باشد اما برای جامع بودن الگوریتم به حل مشکل گم شدن هدف پرداخته شده است. براساس مکانیزم تعیین ناحیه بعدی هدف، روش DSA کل ناحیه حرکت هدف را پوشش می‌دهد و براین فرض است که هدف هرگز گم نمی‌شود. روش پیشنهادی نیز چنین شرایطی را دارد. به این معنا که ناحیه پیش‌بینی بطور دقیق تعیین شده و از گم شدن هدف جلوگیری می‌کند. اما در روش ASA علاوه بر قدرت در تعریف ریاضی و مبانی دقیق نظری، حالتی ممکن است رخ دهد که در آن هدف گم شود. به عبارت دیگر، ناحیه‌ی پیش‌بینی هدف بطور ناقص تعریف شده است. به شکل زیر توجه کنید. مسأله‌ای که اینجا مطرح این است که اگر مطابق شکل زیر تنها گره موجود در اطراف  $i$  و  $j$  گره  $p$  باشد، در این صورت الگوریتم پیشنهادی اجازه فعال شدن آن را نخواهد داد، در صورتی که اگر گره  $q$  هم امکان بیدارسازی را داشت،  $p$  فعال می‌شد. هدف در بازه‌ی زمانی بعدی در ناحیه‌ی حاشور خورده باشد، نمی‌تواند توسط هیچ گره‌ای شناسایی شود، زیرا گره‌ی  $q$  که هدف در ناحیه‌ی حس آن است در حالت خواب قرار دارد.



شکل ۳: گم شدن هدف در ASA

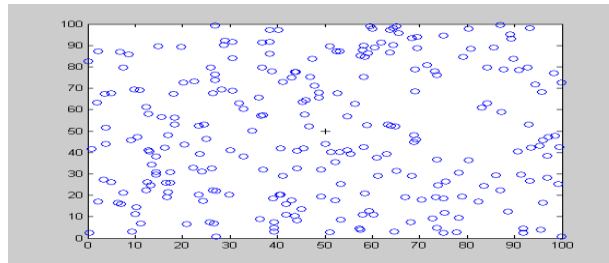
در تمام روش‌ها هدف ممکن است بدلیل ضعف در الگوریتم یا بروز پدیده‌های ناخواسته نظیر نویز، تداخل و غیره ممکن است هدف در لحظاتی گم شود. در روش‌های مورد بررسی از جمله ASA و DSA مکانیزمی برای بروز مسأله‌ی گم شدن هدف پیش‌بینی نشده است. می‌توان بطور ساده گفت در چنین حالتی مجدداً تمام گره‌ها در حالت ردیابی قرار می‌گیرند تا هدف کشف شود. در این طرح برای کاهش مصرف انرژی و بهبود کارایی مکانیزمی دقیق‌تر برای حالتی که هدف گم می‌شود در نظر می‌گیریم.

1. Tracking  
2. Monitoring  
3. Sleeping

در حالت کلی الگوریتمی ارایه شده است که اگر هدف گم شد یا چنین وضعیتی رخ داد بتوان هدف را با حداقل هزینه یافت. در هر گام از شبکه اطلاعات مربوط به هدف در سرخوشه‌ها می‌شود. چنانچه هدف در وضعیتی قرار گرفت که قابل تشخیص نباشد، اصطلاحاً گم شده است. در این حالت، ایستگاه پایه سرخوشه‌های محتمل را برای ردیابی هدف بیدار می‌کند و فرآیندی شبیه به آغاز ورود هدف به شبکه پی گرفته می‌شود. در فرآیند ردیابی، اطلاعات سرخوشه‌ها به ایستگاه پایه می‌رسد و این ایستگاه با توجه به حداکثر سرعت هدف و آخرین سرخوشه‌ای که مختصات هدف را مخابره کرده است، آن خوشه‌هایی را که هدف ممکن است در آن باشد شناسایی و سرخوشه‌های متناظر با آن خوشه‌ها را برای ردیابی هدف بیدار می‌کند. این فرآیند بدلیل استفاده از گره‌های سرخوشه و خواب بودن سایر گره‌ها، سربار بسیار کمی به شبکه تحمیل می‌شود.

### ۳- شبیه‌سازی مدل پیشنهادی

در این بخش به بررسی روش پیشنهادی و ارزیابی عملکرد آن در مقایسه به روش ارائه شده در (ژو و همکاران، ۲۰۱۳) که ASA نامیده می‌شود و روش ساده پرداخته می‌شود. در این بخش برای ارزیابی طرح پیشنهادی چندین سناریوی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا حالتی در نظر گرفته می‌شود که در آن ۲۰۰ گره حسگر در یک محیط با ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ به صورت تصادفی توزیع شده‌اند. شکل زیر شمایی از توزیع ۲۰۰ گره در محیطی با ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ را نشان می‌دهد. در این شکل دوایر آبی شکل نشانگر گره‌های حسگر هستند.



شکل ۴: توزیع ۲۵۰ گره در محیط ۱۰۰ در ۱۰۰

پارامترهای اولیه شامل تعداد گره‌ها، نحوه‌ی توزیع گره‌ها، انرژی اولیه‌ی گره، ابعاد محیط توزیع گره‌ها، مختصات قرارگیری چاهک و غیره در جدول زیر آورده شده است. لازم به ذکر است که پارامترهای Eelec، Emp، و Efs پارامترهای مصرف انرژی هستند.

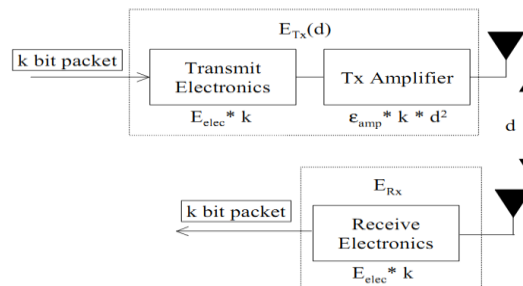
جدول ۱: پارامترهای اولیه‌ی شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار
تعداد گره	۲۰۰
طول محیط	۱۰۰
عرض محیط	۱۰۰
مختصات چاهک	(۵۰ در ۵۰)
انرژی اولیه (سناریوی ۱)	0/01 ژول
Eelec	50x0/000000001 ژول
Emp	0.0013x0/00000000001 ژول
Efs	10x0/000000000001 ژول
طول بسته	۳۲ بیت
انرژی حس	0/0012
انرژی ارتباط	0/000378
انرژی خواب	0/00027

مسئله‌ی اصلی محاسبه‌ی میزان مصرف انرژی در هریک از گره‌های حسگر است که منبع تغذیه‌ی محدودی دارند. انرژی هر گره معمولاً در سه وضعیت مصرف می‌شود: زمان ارسال/دریافت داده، زمان حس کردن و زمان پردازش اطلاعات. عمده عامل مصرف انرژی در گره‌های حسگر بی‌سیم وضعیتی است که داده ارسال یا دریافت می‌شود و می‌توان از مصرف انرژی در دیگر حالات به دلیل کوچک بودن صرفه نظر کرد.

داده‌ها برای ارسال باید از حالت دیجیتال به سیگنال قابل ارسال تبدیل شوند، این عمل در مدار الکترونیکی انتقال صورت می‌گیرد. سپس این سیگنال به یک مدار تقویت‌کننده تحویل داده می‌شوند. در اینجا  $k$  نشان‌دهنده‌ی تعداد بیت‌هایی که باید ارسال شوند و  $d$  نشان‌دهنده‌ی فاصله‌ای که باید این بیت‌ها طی کنند، است. سیگنال‌های ارسالی توسط مدار گیرنده از حالت سیگنال به داده‌های دیجیتال برگردانده می‌شوند. انرژی مصرفی برای این کار برابر است با

$$E_{elec} * k$$



شکل ۵: اجزای مصرف انرژی برای ارسال/دریافت

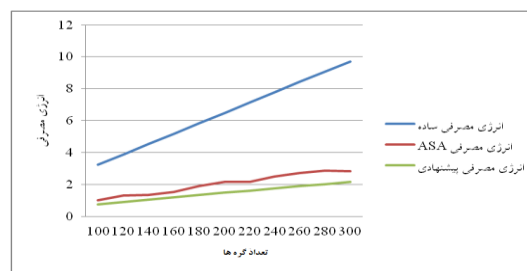
که در آن نشانگر مصرف انرژی برای  $k$  بیت تا مسافت  $d$  و  $E_{tx}$  انرژی لازم برای دریافت  $k$  بیت است. چنانچه مسافت ارسالی از حد آستانه‌ای بیشتر شود، باید انرژی بیشتری برای ارسال داده‌ها صرف کرد. این حد آستانه با  $do$  مشخص می‌شود؛ که در اینجا می‌باشد (هنزلمن و همکاران، ۲۰۰۲).

$$E_{tx} = \begin{cases} E_{elec} * k + E_{mp} * k * d^{\alpha} & \text{if } d < do \\ E_{elec} * k + E_{fs} * k * d^{\alpha} & \text{if } d > do \end{cases}$$

$$E_{rx} = E_{elec} * k$$

در این مقاله روش پیشنهادی با روش ارزیابی شده در (ژو و همکاران، ۲۰۱۳) مرسوم به ASA که در بخش‌های قبلی بررسی شد، مقایسه می‌شود. علاوه بر روش ASA از روش ساده ردیابی هدف در مقایسه‌ها استفاده می‌شود. در این روش تمام گره‌ها در حالت حس هستند و هیچ استراتژی از قبل طراحی شده‌ای در این روش وجود ندارد. تمرکز اصلی بر روی مصرف انرژی است.

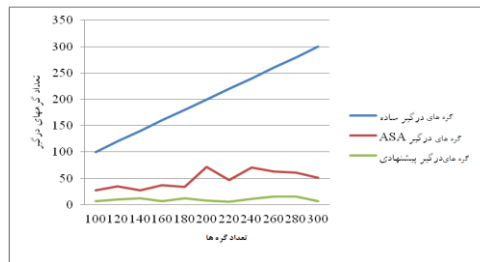
شکل ۶ نتیجه مصرف انرژی را به ازای افزایش تعداد گره‌های حسگر نشان می‌دهد. این آزمون به ازای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ...، ۳۰۰ گره اجرا و حداکثر سرعت هدف ۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، اینگونه نتیجه می‌شود که انرژی مصرفی روش پیشنهادی کمتر از انرژی مصرفی در ASA و روش ساده است.



شکل ۶: انرژی مصرفی با سرعت هدف ۵ متر بر ثانیه



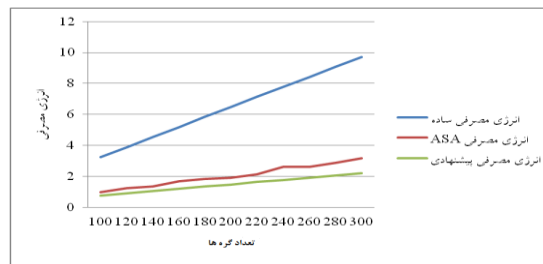
این موضوع بدلیل کاهش گره‌های درگیر در ردیابی حاصل می‌گردد. گره‌های درگیر در ردیابی به ازای تعداد گره‌های مختلف شبکه حسگر بی‌سیم در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷: گره‌های درگیر در فرآیند ردیابی هدف با سرعت ۵ متر بر ثانیه

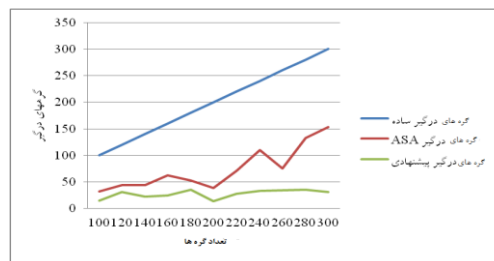
این شکل گره‌های درگیر را به ازای افزایش تعداد گره‌های حسگر نشان می‌دهد. این آزمون به ازای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ...، ۳۰۰ گره اجرا و حداکثر سرعت هدف ۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، اینگونه نتیجه می‌شود که گره‌های درگیر روش پیشنهادی کمتر از گره‌های درگیر در ASA و روش ساده است.

شکل ۸ نتیجه مصرف انرژی حاصل شده از شبیه‌سازی را به ازای افزایش تعداد گره‌های حسگر نشان می‌دهد. این آزمون به ازای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، تا ۳۰۰ گره اجرا و حداکثر سرعت هدف ۱۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، اینگونه نتیجه می‌شود که انرژی مصرفی در روش پیشنهادی کمتر از انرژی مصرفی در ASA و روش ساده است.



شکل ۸: انرژی مصرفی با سرعت هدف ۱۰ متر بر ثانیه

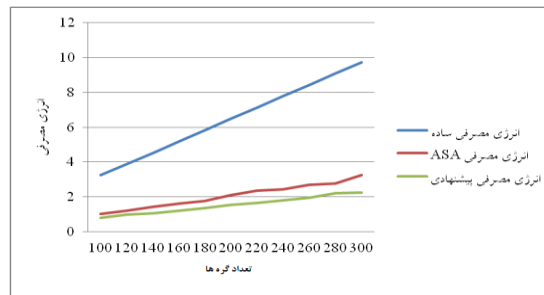
این موضوع بدلیل کاهش گره‌های درگیر در ردیابی حاصل می‌گردد. گره‌های درگیر در ردیابی به ازای تعداد گره‌های مختلف شبکه حسگر بی‌سیم در شکل ۹ نشان داده شده است. این آزمون به ازای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ...، ۳۰۰ گره اجرا و حداکثر سرعت هدف ۱۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، اینگونه نتیجه می‌شود که گره‌های درگیر در روش پیشنهادی کمتر از گره‌های درگیر در ASA و روش ساده است.



شکل ۹: گره‌های درگیر در فرآیند ردیابی هدف با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه

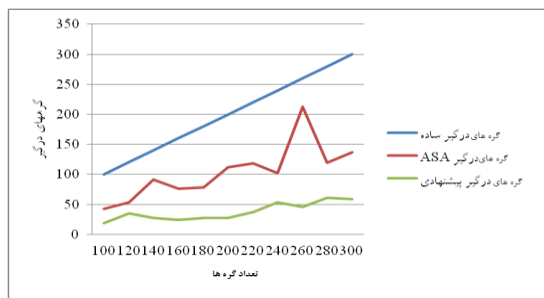
مجددا شرایط شبیه‌سازی را تغییر داده و نتایج بررسی می‌گردد. شکل ۱۰ نتیجه مصرف انرژی حاصل شده از شبیه‌سازی را به ازای افزایش تعداد گره‌های حسگر نشان می‌دهد. این آزمون به ازای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ...، ۳۰۰ گره اجرا و حداکثر سرعت هدف ۱۵

متربرثانیه در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، اینگونه نتیجه می‌شود که انرژی مصرفی روش پیشنهادی کمتر از انرژی مصرفی در ASA و روش ساده است.



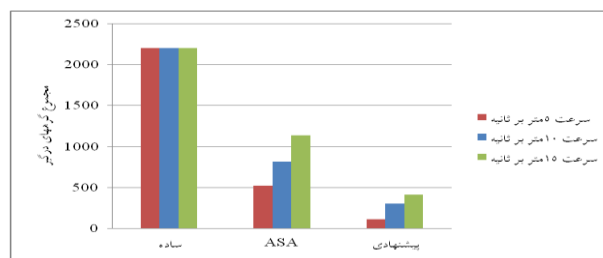
شکل ۱۰: انرژی مصرفی با سرعت هدف ۱۵ متر برثانیه

این موضوع بدلیل کاهش گره‌های درگیر در ردیابی حاصل می‌گردد. شکل ۱۱ نتیجه گره‌های درگیر از شبیه‌سازی به ازای افزایش تعداد گره‌های حسگر را نشان می‌دهد. این آزمون به ازای ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ...، ۳۰۰ گره اجرا و حداکثر سرعت هدف ۱۵ متربرثانیه در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، اینگونه نتیجه می‌شود که گره‌های درگیر در روش پیشنهادی کمتر از گره‌های درگیر در ASA و روش ساده است.



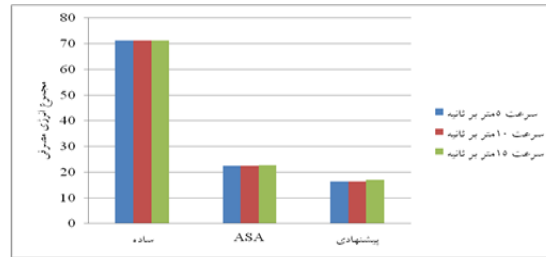
شکل ۱۱: گره‌های درگیر در فرآیند ردیابی هدف با سرعت ۱۵ متر برثانیه

درکل می‌توان گفت روش پیشنهادی کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد. در نمودار میله‌ای شکل ۱۲ مجموع گره‌های درگیر در فرآیند ردیابی با تعداد گره‌های ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ...، ۳۰۰ در روش‌های ساده، ASA و پیشنهادی به ازای سرعت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ متر برثانیه هدف ترسیم شده است.



شکل ۱۲: مجموع گره‌های درگیر به ازای سرعت‌های مختلف هدف

می‌توان گفت از آنجا که تعداد کل گره‌های درگیر در روش پیشنهادی از دو روش دیگر کمتر شده، انرژی مصرفی در طرح پیشنهادی نیز بهبود یافته است. همچنین در شکل ۱۳ نمودار میله‌ای مجموع مصرف انرژی در فرآیند ردیابی با تعداد گره‌های ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ...، ۳۰۰ در روش‌های ساده، ASA و پیشنهادی به ازای سرعت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ متر برثانیه دیده می‌شود. در اینجا نیز می‌توان گفت از آنجا که تعداد کل گره‌های درگیر در روش پیشنهادی از دو روش دیگر کمتر شده، انرژی مصرفی در طرح پیشنهادی نیز بهبود یافته است.



شکل ۱۳ مجموع انرژی‌های مصرفی به ازای سرعت‌های مختلف هدف

#### ۴= جمع بندی و نتیجه‌گیری

شبکه‌ی حسگر بی‌سیم کاربردهای زیادی دارد که یکی از مهم‌ترین این کاربردها ردیابی هدف متحرک و تعیین مسیر حرکت آن است. عمده‌ترین چالش شبکه‌های حسگر بی‌سیم محدودیت منابع تغذیه‌ی گره‌هاست و با اتمام انرژی یک گره، بدلیل غیرقابل شارژ و غیرقابل تعویض بودن منبع تغذیه، عملاً آن گره از دسترس خارج می‌شود. از آنجا که ردیابی هدف فرآیندی پرهزینه برای گره‌های حسگر است باید طرحی اندیشیده شود که این عمل با کمترین سربار انرژی صورت پذیرد. هدف ما از این تحقیق ارائه‌ی روشی جهت ردیابی هدف در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم با کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه بود. در روش پیشنهادی از پیش‌بینی ناحیه‌ی بعدی قرارگیری هدف استفاده می‌شود و پس از پیش‌بینی این ناحیه، تنها گره‌های موجود در آن برای ردیابی هدف بیدار می‌شوند. براساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی در فصل پنج می‌توان گفت، طرح پیشنهادی توانسته است با درگیر کردن تعداد کمتری گره در فرآیند ردیابی هدف متحرک و پیش‌بینی بهتر، کارایی شبکه را افزایش دهد.

طرح پیشنهادی در این مقاله تنها به حرکت هدف در یک مسیر و خروج هدف از محیط پرداخته است. برای دقیق‌تر شدن پیش‌بینی حرکت هدف می‌توان سوابق هر گره را نگه داشت تا در دفعات بعدی که هدف موردنظر مجدداً به محیط بازگشت بهتر بتوان آن را ردیابی کرد. دو محیط می‌توانند مورد بررسی قرار بگیرند، محیط اول که یک نوع هدف وارد آن می‌شود و محیط دوم که چندین نوع هدف وارد آن می‌شود. تشخیص نوع هدف در محیط‌های دوم از روی شتاب، سرعت و جهت حرکت انجام می‌گیرد. بعد از مشخص شدن هدف، با توجه به اطلاعات قبلی راجع به الگوی هدف، می‌توان پیش‌بینی دقیق‌تر و با خطای کمتری بر اساس طرح پیشنهادی ارائه کرد. این موضوع می‌تواند مقدمه‌ای برای مطالعات آتی در این زمینه باشد.

## منابع و مراجع

- [1] Prasad, P. (2015). "Recent trend in wireless sensor network and its applications: a survey", *Sensor Review*, 35(2), 229-236.
- [2] Manikandan, K., Kanmani, P., Sulthana, M. (2015). "Energy Efficient Algorithms for Wireless Sensor Network", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(1), 342-346.
- [3] Vasilescu, I., Detweiler, C., Rus, D. (2012). "AquaNodes: An Underwater Sensor Network," *Proc. Of ACM Int. Workshop on UnderWater Networks (WUWNet)*, Montreal, Quebec, Canada, 85-88.
- [4] Arora A., Ramnath R., Ertin E. (2005). "ExScal: Elements of an Extreme Scale Wireless Sensor Network," *Proc. of the 11th IEEE Int. Conf. on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA)*, Hong Kong, China, 102-108.
- [5] He, T., Krishnamurthy, S., Luo, L., Yan, T., Gu, L. (2006). "VigilNet: An Integrated Sensor Network System for Energy Efficient Surveillance," *ACM Trans. on Sensor Networks*, 2(1), 1-38.
- [6] Zhang, P., Sadler, C.M., Lyon, S.A., Martonosi, M. (2004). "Hardware design experiences in ZebraNet," *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, 227-238.
- [7] Rahimi, M., Baer, R., Iroezi, O.I. (2005). "Cyclops: in situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks," *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys)*, San Diego, 12-204.
- [8] Kulkarni, P., Ganesan, D., Shenoy, P., Lu, Q. (2005). "SensEye: A Multitier Camera Sensor Network," *Proc. of the 13th Annual ACM Int. Conf. on Multimedia (MM)*, Singapore, 229-238.
- [9] Hengstler, S., Prashanth, D., Fong, S., Aghajan, H. (2007). "MeshEye: A Hybrid-Resolution Smart Camera Mote for Applications in Distributed Intelligent Surveillance," *Proc. of IPSN*, Cambridge, Massachusetts, USA, 360-369.
- [10] Chen, D., Varshney, P.K. (2004). "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey," *Proc. of the (2004) Int. Conf. on Wireless Networks (ICWN)*, Las Vegas, Nevada, 227-233.
- [11] Gui, C., Mohapatra, P. (2004). "Power Conservation and Quality of Surveillance in Target Tracking Sensor Networks," *Proc. of the ACM MobiCom'04*, Philadelphia, PA, USA, 129-143.
- [12] He, G., & Hou, J.C. (2005). "Tracking targets with quality in wireless sensor networks," *Proc. of the 13th IEEE Int. Conf. on Network Protocols (ICNP)*, Boston, MA, USA, 63-74.
- [13] Patten, S., Poduri, S., Krishnamachari, B. (2005). "Energy-Quality Tradeoff for Target Tracking in Wireless Sensor Networks," *Proc. of IPSN*, Palo Alto, CA, USA, 32-46.
- [14] Chen, J., Cao, K., Li, K., Sun, Y. (2011). "Distributed sensor activation algorithm for target tracking with binary sensor networks", *Cluster Computing*, 14(1), 55-64.
- [15] Zhou, W., Shi, W., Wang, X., Wang, K. (2013). "Adaptive Sensor Activation Algorithm for Target Tracking in Wireless Sensor Networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013(2), 1-10