

یک روش کم مصرف جهت پوشش اهداف متحرک در شبکه های حسگر بی سیم

محمدعلی رهنما^۱، مجید محمدی^۲، وحید ستاری نائینی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان

۲. دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان

۳. استادیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان

چکیده

یکی از مسائل اساسی مورد بررسی در شبکه حسگر بی سیم^۱ مسئله مصرف انرژی می باشد. چرا که نود های شبکه بی - سیم از باتری به عنوان منبع انرژی استفاده می کنند و در صورت عدم توجه به مصرف انرژی شبکه عمر زیادی نخواهد داشت. یکی از روش های موثر در کاهش مصرف انرژی تغییر وضعیت نود به حالت خواب^۲ و بیدار کردن^۳ آن در مواقع ضروری می باشد. حال در پوشش دهی اهداف متحرک به دلیل مشخص نبودن موقعیت هدف در محیط امکان تعیین زود هنگام این زمان وجود ندارد و هر نود ملزم به محاسبه این زمان پس از قرار گرفتن در محیط و بر اساس اطلاعات حرکت اهداف و دیگر اطلاعات بدست آمده از محیط می باشد. در روش پیشنهادی ما، در این مقاله هدف پیدا کردن دو زمان روشن و خاموش کردن برای هر نود می باشد. در هر نود که در حالت خواب قرار دارد فقط آنتن پیشنهادی ما روشن می ماند که جهت ارسال سیگنال بیدار کننده مورد استفاده قرار می گیرد. اگر یک نود در حال پوشش دادن یک هدف باشد و پیش بینی کند که هدف به زودی از محدوده خود خارج می شود، با ارسال سیگنال بیدار سازی^۴، نودهای مربوطه را بیدار می کند. دلیل کاهش مصرف انرژی در این روش استفاده از یک آنتن بسیار کم مصرف^۵ به جای آنتن اصلی و ارسال شبه نویز به عنوان سیگنال بیدار کننده و همچنین استفاده از تابع پیش بینی بهینه جهت تعیین دقیق برد سیگنال می باشد.

کلمات کلیدی: پوشش اهداف متحرک، پوشش در شبکه های حسگر، سیگنال بیدار سازی، آنتن بسیار

کم مصرف، Coverage in WSN، Ultra Low Power Antenna.

¹ WSN

² Sleep Mode

³ Idle Mode

⁴ Awakening Signal

⁵ ULP : Ultra Low Power

مقدمه

شبکه‌های حسگر بی سیم^۶ در بسیاری از برنامه‌ها مانند پوشش نظامی (Đurišić et al, 2012)، امنیت فیزیکی (Chin and Xiong, 2016)، کنترل ترافیک هوایی (Wang et al, 2016)، اتوماسیون صنعتی (Åkerberg et al, 2011) و نظارت بر محیط زیست (Primeau et al, 2017) اهمیت و کاربرد زیادی دارند. طول عمر شبکه (که به عنوان محدوده زمانی از شروع به کار شبکه تا زمانی که دیگر عملکرد پوشش از حد معیار آن کمتر شده است تعریف می‌شود) یک عامل بسیار مهم در محاسبه بهره‌وری یک شبکه حسگر بی سیم می‌باشد و در نتیجه مقدار استفاده از انرژی برای رسیدن به طول عمر بیشتر باید محدود شود. به این دلیل که نودهای حسگر از باطری به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند و نمی‌توان آن‌ها به راحتی شارژ مجدد و یا جایگزین کرد. مسئله پوشش به طور کلی به سه نوع مختلف تقسیم می‌شود (Wang et al, 2015):

- (۱) پوشش محیطی^۷: زمانی که هدف ما از پوشش نظارت بر تمام یک محیط مشخص باشد.
- (۲) پوشش اهداف متحرک^۸: زمانی که به دنبال نظارت بر چند هدف متحرک در یک محیط مشخص باشیم.
- (۳) پوشش یک مرز مشخص^۹: زمانی که هدف ما به صفر رساندن عبور غیر قابل تشخیص از یک مرز مشخص است.

در این پژوهش به بررسی کاهش انرژی مصرفی در پوشش اهداف متحرک پرداخته می‌شود. بدین صورت که از بین تمام نودهای موجود در محیط در هر لحظه فقط نود هایی که توانایی نظارت و مشاهده‌ی اهداف را داشته روشن بوده و بقیه نود ها به حالت خواب^{۱۰} بروند.

کارهای مرتبط

پوشش اهداف متحرک به روش های مختلفی می‌تواند مورد بررسی قرار بگیرد. برای مثال پخش کردن دقیق نود ها در مسیر جابجایی، در این روش دو نکته اساسی باید مورد بررسی قرار بگیرد (Mini et al, 2014):

- (۱) محاسبه بهترین مکان قرار گرفتن نود ها.
 - (۲) زمان‌بندی مناسب و دقیق به گونه ای که طول عمر شبکه به حداکثر خود برسد.
- همچنین در روش‌های مذکور به دلیل محاسبات انجام شده به تعداد نود کم‌تری نیاز داریم و در نتیجه مصرف انرژی کاهش پیدا خواهد کرد. قابل ذکر است که این روش ها نیازمند Human Friendly بودن محیط و همچنین اطلاع از روند حرکت اهداف می‌باشد و در صورتی که اهداف مورد بررسی تحرک غیرقابل پیش‌بینی داشته باشند این گونه روش ها پاسخ‌گو نخواهند بود (Hou et al, 2006) و (Yoon and Kim, 2013).
- روش دیگر در بررسی این مساله قابلیت جابجایی نودها می‌باشد (Awwad et al, 2008) بدین صورت که پخش نود به صورت اتفاقی انجام می‌گیرد و نود ها پس از قرار گرفتن در محیط بر اساس اطلاعات بدست آمده از محیط و نحوه حرکت اهداف به بهترین نقطه برای نظارت بر اهداف نقل مکان بکنند. پرواضح است که در این روش نه تنها درصد پوشش به بالاترین حد خود خواهد رسید، بلکه نودها قابلیت انطباق با اهداف با تحرک غیر پیش‌بینی را نیز دارند، ولی در مقابل از سربار ارسال داده بسیار بالایی برخوردار هستند و این امر باعث بالا رفتن مصرف انرژی و در

⁶ WSN

⁷ Area Coverage

⁸ Target Coverage

⁹ Barrier Coverage

¹⁰ Sleep

نتیجه طول عمر کم شبکه خواهد شد. از مقالات دیگر در این روش ها می توان به (Liao et al, 2015) و (Vecchio and López-Valcarce, 2015) اشاره کرد.

روش دیگری در بررسی این مسئله روش یادگیری نود یا به اصطلاح خود مختاری¹¹ می باشد. در این روش هدف اصلی انجام عملیات ها در درون خود نود و بدون نیاز به دیگر نود ها می باشد. به تعریف دیگر هدف این نوع روش ها به حداقل رساندن سربار ارسال داده می باشد (Tuna et al, 2014).

برای مثال در روش ارائه شده در مقاله (Esnaashari and Meybodi, 2010) راهکار بدین صورت بود که نودها به کمک یک آتاماتای یادگیر¹² بدون نیاز به دریافت اطلاعات از دیگر نود ها و فقط به کمک اطلاعات گرفته شده از محیط بتوانند دو زمان روشن (T1) و خاموش شدن (T2) خود را مشخص کند در مورد زمان خاموش شدن تکلیف مشخص است بدین صورت که هر زمانی که هدف از برد نود خارج شد، نود باید خاموش شود ولی در مورد زمان روشن شدن مساله پیچیده تر است. راهکار ارائه شده در این مقاله بدین صورت است که چندین زمان مشخص را بسته به مساحت و اندازه محیط و سرعت هدف محاسبه می شود و در جدولی در داخل نود قرار می گیرد هر زمان یک احتمال مشخص دارد و در ابتدا احتمال تمامی یکسان می باشد. در هر مرحله نود به طور تصادفی یکی از این زمان ها را انتخاب میکند و با بررسی درصد وجود هدف در برد حسگری خود خوب و یا بد بودن این محاسبه می شود و در نتیجه احتمال این زمان در جدول افزایش و یا کاهش پیدا میکند. در نتیجه پس از گذشت زمان بهترین زمان بالاترین احتمال را خواهد داشت و فقط همان زمان انتخاب می شود، مشخص است که سربار ارسال داده در روش های فوق بسیار کمتر از دیگر روش ها بوده و در نتیجه مصرف انرژی کمی خواهند داشت، در مقابل، سربار پردازشی بالا و مقایسه پذیری خیلی کمی دارند، به قدری که در صورتی که تعداد نود و اهداف متحرک زیاد باشد امکان استفاده از این روش ها وجود ندارد.

روش دیگر که روش مورد بررسی در این پژوهش می باشد. روش اطلاع رسانی به نودهای همسایه است. بدین صورت که در صورتی که یک نود در حال پوشش یک هدف باشد و به روشی پیش بینی کند که به زودی این هدف از محدوده خود خارج خواهد شد با ارسال یک پیام آگاه ساز نود های اطراف خود را متوجه نزدیک شدن هدف می کند. مزایا اصلی روش پیشنهاد شده بدین صورت است که اولاً سربار پردازشی خیلی کم بوده و دوماً شبکه قابلیت مقیاس پذیری خیلی زیادی خواهد داشت. در مقابل عیب اصلی آن این است که اگر الگوریتم به صورت بهینه پیاده سازی نشده باشد مصرف انرژی به مقدار چشم گیری افزایش پیدا خواهد کرد.

ادامه توضیحات در این مقاله بدین صورت می باشد: در بخش سوم به تعریف مسئله می پردازیم، سپس در بخش چهارم به توضیح روش پیشنهادی پرداخته می شود، در مرحله بعد در بخش های پنجم و ششم به بررسی شبیه سازی و نتایج و یافته ها پرداخته می شود و در آخر در بخش هفتم به بحث و نتیجه گیری می پردازیم.

¹¹ Autonomous

¹² Learning Automata

تعریف مسئله

هدف ما در این پژوهش پوشش اهداف متحرک به روش مطلع سازی همسایه ها می باشد و همان طور که توضیح داده شد در این روش در صورتی که از الگوریتم دقیقی استفاده نشود مصرف انرژی به حد چشم گیری افزایش پیدا خواهد کرد. این افزایش بی رویه مصرف انرژی به دلیل ارسال پکت های زیاد و گاهی اوقات غیر ضروری می باشد. پس در صورتی که بخواهیم مصرف انرژی در شبکه و در نتیجه طول عمر شبکه را افزایش دهیم، به طور خلاصه سه مشکل پیش رو داریم:

- (۱) ارسال پیام های زیاد.
- (۲) ارسال پیام های غیر ضروری.
- (۳) پیاده سازی یک تابع پیش بینی بهینه جهت مطلع سازی به موقع.

روش پیشنهادی

در پاسخ به مشکل اول (ارسال پیام های زیاد) به دلیل اینکه امکان کاهش ارسال ها وجود ندارد پس باید به دنبال روشی برای کاهش انرژی مصرفی در هر ارسال باشیم در نتیجه از دو راهکار استفاده کردیم:

- (۱) استفاده از یک آنتن بسیار کم مصرف و با برد کم برای ارسال سیگنال بیدار ساز.
- (۲) استفاده از شبه نویز به عنوان سیگنال بیدار ساز.

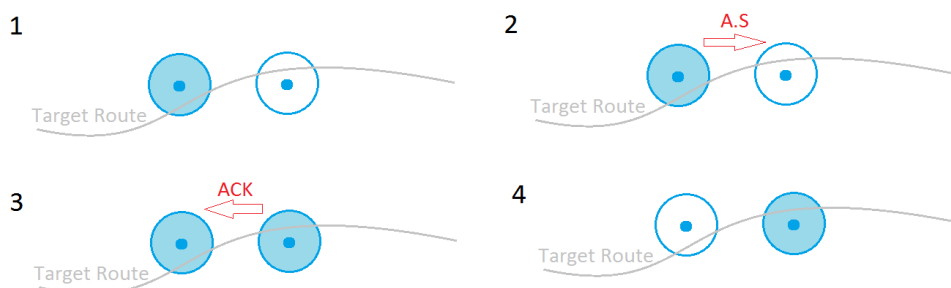
ایده شبه نویز بر گرفته از روش استفاده شده در الگوریتم B-MAC (Polastre et al, 2004) می باشد.

در B-MAC که یک الگوریتم نظارت بر رسانه انتقال در شبکه ها حسگر بی سیم می باشد هدف حذف مشکل Idle Listening بود بدین صورت که نود های شبکه در صورتی که داده ای برای ارسال ندارند می توانند تمامی اجزای سخت افزار خود به جز آنتن را به حالت خواب برده و فقط آنتن فعال باشد این بدین معناست که نود گیرنده دیگر توانایی رمزگشایی داده دریافتی را ندارد و فقط میتواند از دریافت و یا عدم دریافت اطلاعات باخبر باشد از طرف دیگر در صورتی که نیاز به رمزگشایی داده دریافتی نباشد نود فرستنده دیگر نیاز به صرف زمان و انرژی برای رمزگزاری قرار دادن کدهای رفع خطا و دیگر سربار های داده مورد نیاز در فریم بندی ندارد. به زبان دیگر نود فرستنده و گیرنده تنها کافیست از مولفه های فرکانسی مطلع بوده و یک شبه نویز به هم ارسال بکنند و هیچ سربار دیگری نیاز نیست. در مقاله ای که B-MAC معرفی شد این شبه نویز به عنوان Preamble نام گرفت که در این مقاله ما نام آن را سیگنال بیدار ساز گذاشتیم.

برای پاسخ به مشکل دوم (ارسال پیام های غیر ضروری) ایده ارائه شده در پژوهش ما بدین صورت بود که در صورتی که برد سیگنال بیدار ساز ارسال شده با توجه به پاسخ بدست آمده از تابع پیش بینی به صورت پویا محاسبه بشود هم مصرف انرژی کمتر و هم ارسال پیام های غیر ضروری کمتر خواهد شد.

برای پاسخ به مشکل سوم (تابع پیش بینی بهینه) در صورتی که فرض کنیم حسگر موجود در نودها یک حسگر مجاورتی باشد در نتیجه در صورتی که هدف در محدوده باشد نود می تواند فاصله ی هدف تا خود را محاسبه کند و از آنجا که نود مختصات جغرافیای خود را دارد پس در هر لحظه توانایی محاسبه موقعیت هدف را دارد. پرواضح است که برای محاسبه ی سرعت هدف کافیست دو نقطه مختصات از موقعیت هدف در زمان های مختلف را داشته باشیم. در نتیجه با داشتن سرعت هدف می توان برد سیگنال را براساس آن تغییر داد و در نتیجه انرژی کمتری مصرف خواهد شد درمورد تابع پیش بینی نکاتی وجود دارد که لازم به ذکر هستند:

- (۱) در صورتی که هدف سرعت زیادی داشته باشد به طوری که حتی قادر به بدست آوردن دو نقطه مختصات از هدف نباشیم و یا در محاسبه اولین فاصله هدف از ۹۰ درصد برد حسگر بیشتر باشد سیگنال بیدارساز با بیشترین برد ممکن ارسال خواهد شد.
- (۲) پس از هربار ارسال سیگنال نود فرستنده به مدت ۳ میکروثانیه منتظر دریافت پاسخها می ماند و در صورتی که پاسخی دریافت نشد سیگنال را مجدداً با برد بیشتر ارسال کرده و روند تکرار می شود. شکل ۱ نمایش دهنده این موضوع می باشد (دایره پررنگ به معنی نود روشن و دایره کم رنگ به معنی نود خاموش می باشد).



شکل ۱: ارسال و دریافت سیگنال ها جهت بیدارسازی

شبه کد الگوریتم پیاده شده در پژوهش بدین صورت می باشد :

Algorithm 1 : Pseudo Code Executed in Nodes

```

1: Start :
2: If Total_Energy is Critical then
3:     Goto End
4: End If
5: While Target In Range Do
6:     Send Data to Sink
7:     Total_Energy = Total_Energy - Awake_Energy
8: End While
9: // Prediction Function Starts Here
10: Measure Target Distance
12: If Last Distance Exist then
13:     If Target out of Range Then
14:         Antenna Range is Maximum Range
15:         Last Distance = Null
16:         Return Result as True
17:     Else
18:         Measure Target Speed With The Distances .
19:         Calculate Appropriate Range With Measured Speed
20:         Last Distance = Null
21:         Return Result as True
22:     End If
23: Else
24:     If Distance is bigger than 90% of Sensing Range Then
25:         Antenna Range is Maximum Range
26:         Last Distance = Null
27:         Return Result as True

```

```

28: Else
29:     Save Distance as Last Distance
30:     Return Result as False
31: // End of Prediction Function
32: If Function's Result is true then
33:     While Range is Lower Than Maximum Range Do
34:         Antenna Send Awakening Signal With Desired Range
35:         Total_Energy = Total_Energy – Transmit_Energy
36:         Wait For 3us
37:         If Antenna is Receiving Acknowledgment Signal then
38:             Break
39:         End If
40:     End While
41: End If
42: While () Do
43:     Total_Energy = Total_Energy – Sleep_Energy
44:     If Antenna is Receiving Awakening Signal then
45:         Send Acknowledgement Signal
46:         Goto Start
47:     End If
48: End While
49: End :
50: Calculate Network Lifetime

```

شبیه سازی

برای پیاده سازی الگوریتم در این پژوهش از زبان C++ استفاده شد و برای شبیه سازی بهتر و نزدیک به واقعیت ملزم به استفاده از یک سری فرضیات بودیم که تمامی آنها در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است این فرضیات براساس مشخصات نود Telos-B بوده و برگرفته از مقاله (Pham 2014) می باشد مشخصات استفاده شده برای آنتن کم مصرف براساس مقاله (Rajan and Microsemi, 2012) می باشد. لازم به ذکر است که حالت Sleep در پژوهش ما به دلیل روشن بودن آنتن پیشنهادی مصرف انرژی متفاوتی خواهد داشت، در نتیجه نیازمند به محاسبه مصرف انرژی جدید بودیم که بدین صورت می باشد:

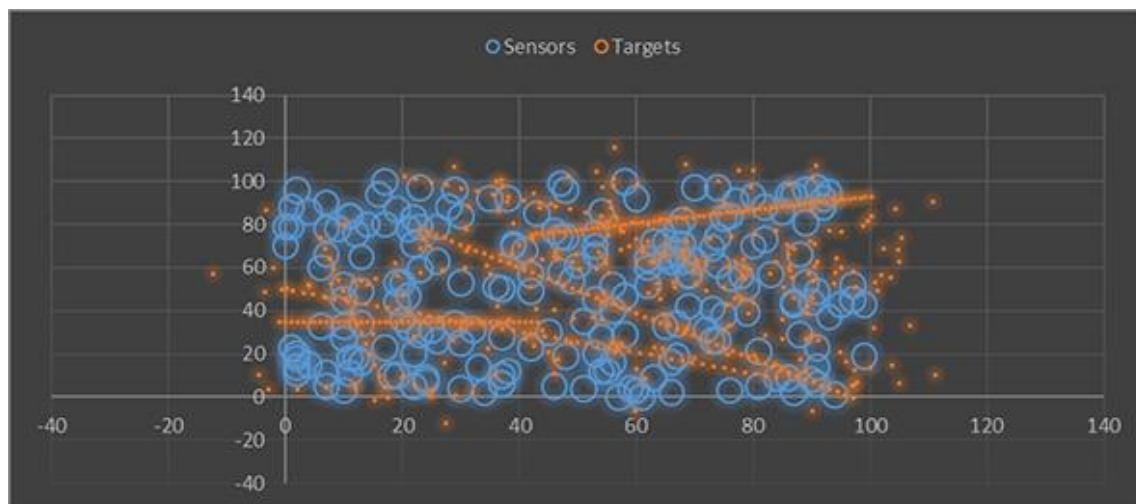
به طور پیش فرض نود Telos-B در حالت Sleep حدود ۱۶/۸۳ میکروژول انرژی مصرف می کند و از آنجا که مصرف انرژی در آنتن کم مصرف پیشنهادی در حالت Idle برابر ۳/۳ میکرو ژول است، در نتیجه انرژی مصرفی نهایی برابر ۲۰/۱۳ میکرو ژول می باشد:

$$\text{New Sleep Energy} = \text{Telos-B Default Sleep Energy} + \text{ULP Antenna Idle Energy} : 16.83 + 3.3 = 20.13$$

جدول ۱: فرضیات مورد استفاده در سناریوی اول

TPR2420CA, Telos-B	نود های شبکه
ZL70250 Sub-GHz RF Transceiver	آنتن کم مصرف پیشنهادی
3 to 7.5 mj	انرژی مصرفی در ارسال سیگنال بیدارسازی
2.85 mj	انرژی مصرفی در دریافت سیگنال بیدارسازی
3.3 μj	انرژی مصرفی در آنتن در حالت Idle
20.13 μj	انرژی مصرف شده در نود حالت Sleep
5.94 mj	انرژی مصرف شده در نود حالت Active
2 * AA Batteries = 20736 j	مجموع انرژی اولیه موجود در یک نود
100 * 100 Meter	محدوده محیط مورد بررسی

نحوه‌ی شبیه سازی بدین صورت است که ابتدا نودها به صورت تصادفی در محیط پخش می‌شوند (به هر نود یک X و Y تصادفی اختصاص داده می‌شود) سپس اهداف از نقاط تصادفی وارد محیط می‌شوند و با سرعت و جهت تصادفی شروع به حرکت می‌کنند. شبیه سازی‌ها با تعداد نودها و بردهای متفاوت انجام شد و در هر کدام نسبت مصرف انرژی به واحد بیت محاسبه گردید. دو نمونه از نتایج شبیه سازی در شکل های شماره ۲ و ۳ نمایش داده شده است.



شکل شماره ۲: شبیه سازی با ۲۰۰ نود و برد ۶ متر



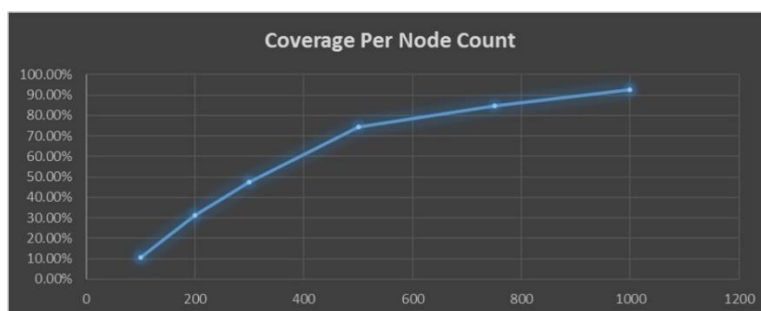
شکل شماره ۳: شبیه سازی با ۳۰۰ نود و برد ۴ متر

ارزیابی و بررسی نتایج

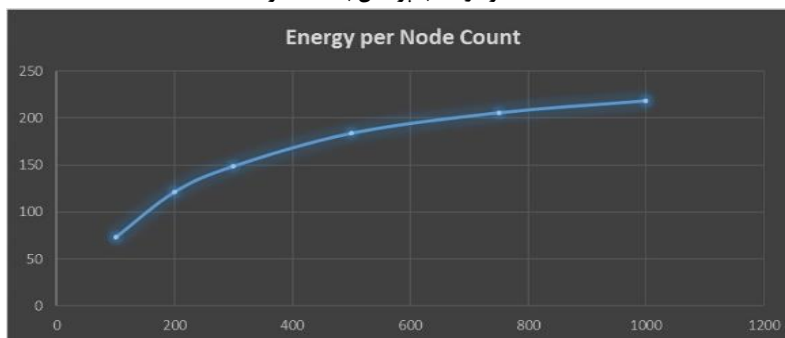
در این پژوهش شبیه سازی ها برای یک تعداد نود برد مشخص ۱۰۰ مرتبه انجام شد و در هر دوره درصد پوشش دهی و نسبت مصرف انرژی بر واحد بیت و درصد پوشش محاسبه گردید. نتایج محاسبات در جدول شماره ۲ نمایش داده شد، قابل ذکر است که انرژی های محاسبه شده در این پژوهش برابر انرژی بر واحد بیت می باشد .

جدول ۲: نتایج کلی پژوهش

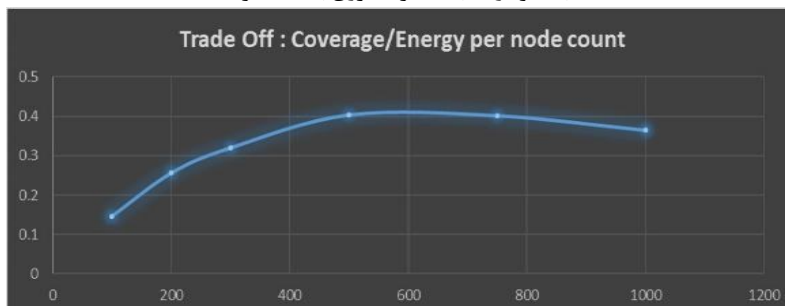
تعداد نود	برد حسگر (متر)	مجموع انرژی مصرفی بر واحد بیت ($\mu\text{J}/\text{b}$)	میانگین انرژی مصرفی در هر نود (μJ)	درصد پوشش
100	4	169.01	1.6901	10.79%
200	4	563.32	2.8166	31.16%
300	4	1039.08	3.4636	47.64%
500	4	2114.27	4.22854	74.18%
750	4	3557.91	4.74388	84.54%
1000	4	5040.52	5.04052	92.60%



الف) نمودار نصب پوشش به تعداد نود



ب) نمودار نسبت مصرف انرژی به تعداد نود



ج) نمودار نسبت تابع مصالحه به تعداد نود

شکل ۴: نمودارهای بررسی شده در پروژه

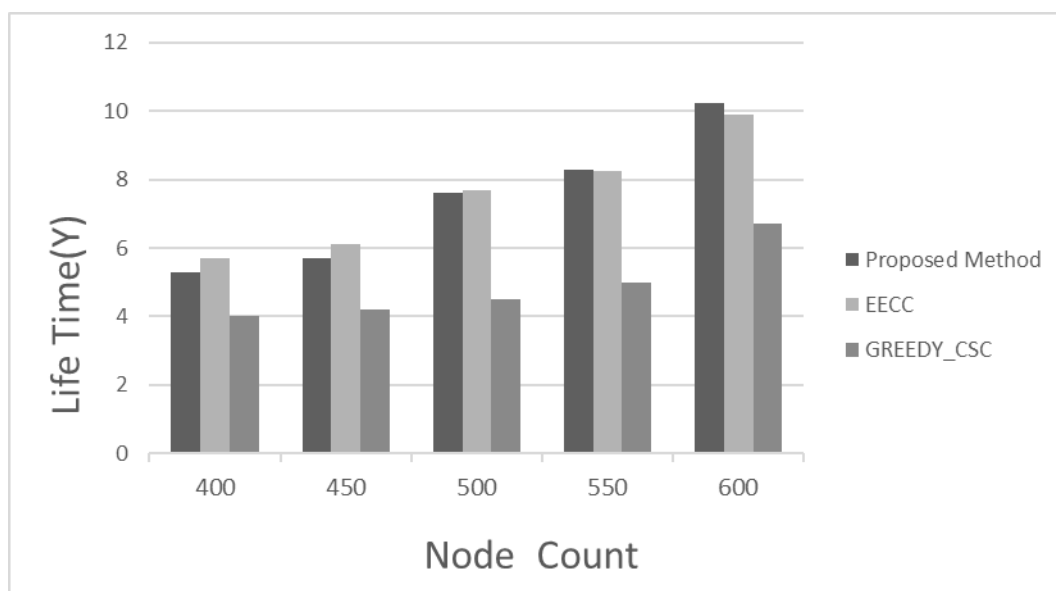
هدف اصلی در شبکه های حسگر بی سیم بالا رفتن درصد پوشش و درمقابل کاهش مصرف انرژی می باشد در نتیجه در صورتی که یک تابع مصالحه را به صورت نسبت درصد پوشش بر انرژی مصرفی مشخص کنیم هدف ما افزایش مقدار این تابع است .

همان طور که در جدول ۲ و شکل ۴ مشاهده می کنید . در صورتی که هدف تنها بالا رفتن درصد پوشش باشد با داشتن ۱۰۰۰ نود پوشش به ۹۳ درصد می رسد ولی درمقابل مصرف انرژی به طور چشم گیری افزایش پیدا می کند و این به دلیل هم پوشانی نود ها می باشد . حال در صورتی که بخواهیم یک مصالحه بین پوشش و مصرف انرژی برقرار کنیم با داشتن ۶۰۰ نود پوششی حدود ۸۰ درصد خواهیم داشت و در مقابل مصرف انرژی قابل قبول خواهد بود .

جهت مقایسه روش پیشنهادی از نتایج بدست آمده از مقاله های (Mohamadi et al, 2015) و (Roselin et al, 2017) استفاده کردیم و مطابق با خصوصیات محیط فرض شده در هر دو مقاله شبیه سازی انجام دادیم که فرضیات و ویژگی های آن در جدول ۳ آمده است:

جدول ۳: فرضیات سناریو دوم

150 * 150 Meter	محدوده محیط مورد بررسی
400 to 600 Nodes	تعداد نود
10 Meter	برد حسگر
3.3 μ j	انرژی مصرفی در آنتن در حالت Idle
20.13 μ j	انرژی مصرف شده در نود حالت Sleep
5.94 mj	انرژی مصرف شده در نود حالت Active
20.736 Kj	انرژی اولیه موجود در یک نود



شکل ۵: مقایسه مولفه طول عمر در روش پیشنهادی با دیگر روش ها

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می کنید در مقایسه روش پیشنهادی با مقاله دوم روش پیشنهادی ما به طور قابل توجهی بهتر عملکرد و طول عمر شبکه بیشتر خواهد بود. در مقایسه با مقاله اول در تعداد نود های ۴۰۰ تا ۵۰۰ روش پیشنهادی روش ما طول عمر کمتری دارد ولی در نود های ۵۰۰ تا ۶۰۰ روش پیشنهادی ما بهتر است و شبکه طول عمر بیشتری خواهد داشت.

نتیجه گیری و کارهای آینده

هدف از انجام این پژوهش کاهش مصرف انرژی در پوشش اهداف متحرک بود بدین صورت که اهداف با ارسال سیگنال های بیدار سازی نودهای همسایه خود را از نزدیک شدن هدف مطلع می سازند. با بررسی که انجام شد به این نتیجه رسیدیم که ۳ مشکل پیش رو داریم:

(۱) ارسال پیام های فراوان.

(۲) دریافت های غیرضروری.

(۳) نیاز به یک تابع پیش بینی بهینه.

با استفاده کردن از شبه نویز به جای پکت و با به کارگیری از آنتن کم مصرف از مصرف انرژی بی رویه در ارسال ها جلوگیری کردیم. برای جلوگیری از دریافت های غیرضروری با بدست آوردن سرعت هدف به کمک تابع پیش بینی برد سیگنال را تغییر دادیم و در نتیجه هم مصرف انرژی کاهش پیدا کرد و هم از دریافت های غیرضروری جلوگیری شد. درمورد تابع پیش بینی بهینه هم تابع پیاده شده به نحوی بود که با کمترین سربار پردازشی و تنها با دانستن فاصله هدف می تواند پیش بینی های لازم را انجام دهد.

با توجه به این موضوع که روش پیشنهادی پژوهش ما مصرف انرژی قابل قبولی و قابلیت مقیاس پذیری بسیاری بالایی داشت و از آنجا که امروزه به دلیل پیشرفت در تکنولوژی CMOS شبکه های حسگر چند رسانه ای بسیار در زمینه های مختلفی چون پردازش سیگنال های دیجیتالی، ارتباطات، شبکه سازی، کنترل و آمار، به طور وسیعی مورد توجه تحقیقات قرار گرفته اند پیش بینی می شود که در آینده نزدیک الگوریتم پیشنهادی این پژوهش را در شبکه های حسگر بی سیم نیز پیاده سازی بکنیم.

منابع

- Åkerberg, Johan; Gidlund, Mikael; Björkman, Mats (Eds.) (2011): Future research challenges in wireless sensor and actuator networks targeting industrial automation: IEEE.
- Awwad, S. BaniA; Noordin, N. K.; Rasid, M. F.A. (Eds.) (2008): Coverage degree in mobile nodes wireless sensor network: IEEE.
- Chin, Tommy; Xiong, Kaiqi (Eds.) (2016): MPBSD: A Moving Target Defense Approach for Base Station Security in Wireless Sensor Networks: Springer.
- Đurišić, Milica Pejano; Tafa, Zhibert; Dimić, Goran; Milutinović, Veljko (Eds.) (2012): A survey of military applications of wireless sensor networks: IEEE.
- Esnaashari, Mehdi; Meybodi, Mohammad Reza (2010): Dynamic Point Coverage Problem in Wireless Sensor Networks: A Cellular Learning Automata Approach. In *Ad hoc & Sensor wireless networks* 10 (2-3), pp. 193-234.
- Hou, Yung-Tsung; Lee, Tzu-Chen; Jeng, Bing-Chiang; Chen, Chia-Mei (Eds.) (2006): Optimal coverage deployment for wireless sensor networks: IEEE (1).

Liao, Zhuofan; Wang, Jianxin; Zhang, Shigeng; Cao, Jiannong; Min, Geyong (2015): Minimizing movement for target coverage and network connectivity in mobile sensor networks. In *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 26 (7), pp. 1971–1983.

Mini, S.; Udgata, Siba K.; Sabat, Samrat L. (2014): Sensor deployment and scheduling for target coverage problem in wireless sensor networks. In *IEEE Sensors Journal* 14 (3), pp. 636–644.

Mohamadi, Hosein; Ismail, Abdul Samad; Salleh, Shaharuddin (2014): Solving target coverage problem using cover sets in wireless sensor networks based on learning automata. In *Wireless Personal Communications* 75 (1), pp. 447–463.

Pham, Congduc (2014): Communication performances of IEEE 802.15. 4 wireless sensor motes for data-intensive applications: A comparison of WaspMote, Arduino MEGA, TelosB, MicaZ and iMote2 for image surveillance. In *Journal of network and computer applications* 46, pp. 48–59.

Polastre, Joseph; Hill, Jason; Culler, David (Eds.) (2004): Versatile low power media access for wireless sensor networks: ACM.

Primeau, Nicolas; Abielmona, Rami; Falcon, Rafael; Petriu, Emil (Eds.) (2017): Maritime smuggling detection and mitigation using risk-aware hybrid robotic sensor networks: IEEE.

Rajan, Reghu; Microsemi, CMPG (2012): Ultra-low power short range radio transceivers. In *Microsemi CMPG*, May.

Roselin, J.; Latha, P.; Benitta, S. (2017): Maximizing the wireless sensor networks lifetime through energy efficient connected coverage. In *Ad Hoc Networks* 62, pp. 1–10.

Tuna, Gurkan; Gungor, V. Cagri; Gulez, Kayhan (2014): An autonomous wireless sensor network deployment system using mobile robots for human existence detection in case of disasters. In *Ad Hoc Networks* 13, pp. 54–68.

Vecchio, Massimo; López-Valcarce, Roberto (2015): Improving area coverage of wireless sensor networks via controllable mobile nodes: A greedy approach. In *Journal of network and computer applications* 48, pp. 1–13.

Wang, Rui; Chang, Fei; Ren, Suli (2016): TPLe: A Reliable Data Delivery Scheme for On-Road WSN Traffic Monitoring. In *Sensors* 17 (1), p. 44.

Wang, Yun; Zhang, Yanping; Liu, Jiangbo; Bhandari, Rahul (2015): Coverage, connectivity, and deployment in wireless sensor networks. In : *Recent Development in Wireless Sensor and Ad-hoc Networks*: Springer, pp. 25–44.

Yoon, Yourim; Kim, Yong-Hyuk (2013): An efficient genetic algorithm for maximum coverage deployment in wireless sensor networks. In *IEEE Transactions on Cybernetics* 43 (5), pp. 1473–1483.