

زنابندی کارآمد انرژی برای پوشش مرزی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از اتوماتای یادگیر

مهندی اثنی عشری

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی
کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،
esnaashari@aut.ac.ir

محمد رضا میدی

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی
کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،
mmeybodi@aut.ac.ir

حبيب مصطفائي

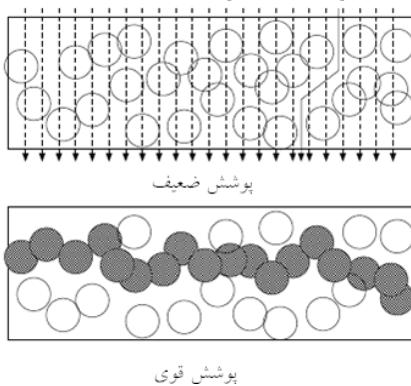
دانشگاه آزاد اسلامي واحد اروميه
habib.mostafaei@gmail.com

چکیده:

باشد، پوشش کامل به بیش از دو برای پوشش مرزی به حسگر نیاز دارد. حفظ رشد حسگرها بصورت خطی با عرض ناحیه ارتباط دارد.

-۲ مسئله خواب-بیدار، که یک زنابندی برای حسگرها تعیین می‌کند تا طول عمر شبکه را افزایش دهد، که یک مسئله زمان-چندجمله‌ای قابل حل برای پوشش مرزی است حتی زمانیکه طول عمر حسگرها باهم برای نیست [۵]. از طرف دیگر برای پوشش کامل این مسئله از نوع NP-سخت است حتی اگر طول عمر حسگرها مشخص باشد [۱۵].

در شکل ۱ پوشش مرزی قوی و ضعیف نشان داده شده است. در بالای شکل شبکه پوشش مرزی ضعیف برای تمامی مسیرهای عبوری متعامد دارد (مسیرهای نقطه چین). البته یک مسیر پوشش داده نشده در میدان وجود دارد. در پایین شکل یک مثالی از پوشش مرزی قوی نشان داده شده است که هیچ مراحلی نمی‌تواند از میدان عبور کند و تشخیص داده نشود، اهمیتی ندارد که آنها چگونه مسیرهای عبوری را انتخاب می‌کنند. پوشش مرزی با استفاده از نواحی دریافت سایه زده شده نشان داده شده است [۹].



شکل ۱ شبکه با پوشش مرزی ضعیف و قوی

یک محدودیت اصلی برای مدل پوشش مرزی این است که برخلاف پوشش کامل حسگرها به تنها یکی نمی‌توانند به صورت محلی تعیین کنند که آیا شبکه می‌تواند پوشش مرزی را فراهم کند یا نه؟ [۵]. انجام این کار با الگوریتم‌های محلی غیرممکن است. در نتیجه تمامی

پوشش مرزی به تعداد خیلی کمتری از پوشش کامل ناحیه به حسگر نیاز دارد، این مدل از پوشش یک مدل مناسب پوشش برای کاربردهای تشخیص تجاوز (نفوذ) می‌باشد. در این نوع مدل پوشش نیازمندیم که عملیات پوشش را طوری انجام دهیم که اگر نفوذی از عرض ناحیه تحت پوشش صورت گیرد آن را بتوانیم تشخیص دهیم. در این مقاله ما یک روش برای افزایش طول عمر شبکه با استفاده از اتوماتای یادگیر ارائه می‌دهیم که در آن هر گره در شبکه را به اتوماتای یادگیر مجهر می‌کنیم. اتوماتای یادگیر در هر گره وظیفه انتخاب گره برای انجام عملیات پوشش مرزی را بر عهده دارد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی (LABC^۱) نشان می‌دهد که این روش طول عمر شبکه را نسبت به روش خواب مسقل تصادفی (RIS) افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر، اتوماتای یادگیر، زنابندی حسگر، پوشش مرزی

۱- مقدمه

برخی از کاربردهای مهم شبکه‌های حسگر با تشخیص حرکت درگیر هستند، مانند زمانیکه حسگرها در طول مرزهای کشوری پخش می‌شوند تا نفوذی‌های غیرقانونی را تشخیص دهند، اطراف جنگل‌ها برای تشخیص گسترش آتش‌سوزی جنگل، اطراف کارخانه‌های شیمیایی برای تشخیص پخش مواد مرگ‌آور، در هر دو طرف لوله‌های گاز برای تشخیص خرابکاری عمده و غیره. تشخیص نفوذ یک از کاربردهای مهم شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد [۱، ۲، ۳]. پوشش مرزی تضمین می‌کند که هر حرکت عبوری از مرزها را تشخیص خواهد داد که این پوشش یک مدل مناسب برای برخی از کاربردهای اشاره شده در [۵] است. پوشش مرزی چندین مزیت نسبت به مدل پوشش کامل دارد که در آن نیاز داریم همه نقاط پوشش داده شوند:

۱- پوشش مرزی به تعداد خیلی کمتری از پوشش کامل به حسگر نیاز دارد. اگر عرض ناحیه پوشش ۳ برابر برد دریافتی

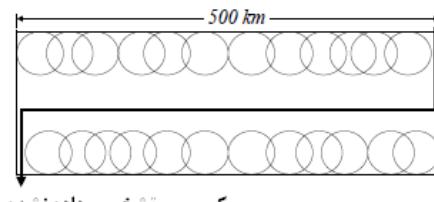
مسئله بهینه سازی ترکیبی است. دو نوع از دیدگاه های بهینه سازی در فرمول بندی مسئله پوشش وجود دارد: پوشش بدترین حالت و بهترین حالت، در پوشش بدترین حالت، مسئله با تلاش برای یافتن یک مسیر از طریق ناحیه دریافت درگیر است به طوری که حرکت آن شیء در طول آن مسیر کمترین قابلیت مشاهده بوسیله گرهها را خواهد داشت. بنابراین احتمال تشخیص حرکت شیء می تواند کمینه باشد. پیدا کردن چنین مسیر حالت بد مهم است برای اینکه اگر چنین مسیری در میدان دریافت وجود داشته باشد، کاربر می تواند مکان های (موقعیت های) گرهها را تغییر دهد یا گره های جدید برای افزایش پوشش و از اینرو قابلیت مشاهده افزایش دهد. دو تا از متد های مشهور مسئله پوشش بدترین حالت، حداقل مسیر شکست [۱۱] و حداقل مسیر شکست [۱۲] و [۱۷] هستند.

از سوی دیگر، در پوشش بهترین حالت، هدف پیدا کردن مسیری است که بالاترین قابلیت مشاهده پذیری را دارد، بنابراین، حرکت یک هدف در طول مسیر برای تشخیص بوسیله گرهها خیلی قابل قبول خواهد بود. پیدا کردن این قبیل مسیرها می تواند برای برنامه های معین، شامل برنامه هایی که بهترین مسیر پوشش را در نواحی نیاز دارند که امنیت بالاترین اهمیت را دارد، یا برنامه هایی که دوست دارند تابع سود از پیش تعریف شده گرهها بیشینه شود وقتی که در یک میدان دریافت پیمایش می شوند. دو رهیافت برای حل مسئله پوشش بهترین حالت، حداقل مسیر شکست و حداقل مسیر پشتیبانی هستند [۱۲].

مدل ارائه شده در [۱۲] مسئله پوشش مرزی را بصورت زیر مدل کرده است: یک میدان که با استفاده از ایزارهای حسگر مجهز شده و مکانهای شروع و پایان و یک عامل بعنوان ورودی داده می شود، یک مسیر نفوذ بیشینه (MBP) و مسیر پشتیبانی بیشینه (MSP) یک عامل تعیین می شود. MBP (MSP) متناظر با پوشش بدترین (بهترین) حالت می باشد و ویژگی که برای هر نقطه روی مسیر دارد این است که فاصله آن با نزدیکترین حسگر بیشینه (کمینه) است. فرضیات در این مدل بدین صورت می باشد که گره های حسگر همگن می باشند، مکانهایشان را می شناسند (از طریق GPS)، تاثیر دریافت با افزایش فاصله کاهش می باید. نویسندهان یک راه حل متمرکز براساس مشاهدات پیشنهاد دادند که MBP روی خطوط نمودار ورنوی قرار می گیرد و MSP روی خطوط مثلث بندی دلانی قرار می گیرند.

پوشش مرزی دیگر، مدلی براساس آشکارسازی است که توسط توanalyی حسی حسگرها با افزایش فاصله کاهش می باید و فاکتور مهم، زمان دریافت (آشکارسازی) است. زمان آشکارسازی بیشتر، توanalyی دریافت بیشتری خواهد داشت. با فرض یک میدان مجهز شده با n

الگوریتم هایی که تابحال برای پوشش مرزی ارائه شده، مثل الگوریتم بیداری - خواب بهینه متمرکز هستند [۷]. (جزء شماخی خواب مستقل تصادفی (RIS) [۶] که به هیچ تعویض پیامی نیاز ندارد). در پوشش مرزی کلی ما نیاز داریم که همه مسیرهای عبوری پوشش داده شوند و مهم نیست که این مسیر چقدر طولانی باشد. لذا پخش حسگرها که در یک مرز $500\text{ km} \times 500\text{ m}$ نشان داده شده در شکل ۱ پوشش مرزی را فراهم نمی کند چون یک مسیر عبوری در آن پوشش داده نشده است. (با اینکه بیش از ۴۹۹ کیلومتر از طول مسیر پوشش داده شده است).



شکل ۲ یک ناحیه که پوشش مرزی را بدليل وجود یک مسیر عبوری فراهم نمی کند.

پوشش مرزی از مسیرهای عبوری مورد قبول مزاحم ها اثر می پذیرد. مسیر عبوری مسیری با عرض کامل ناحیه از یک سمت به سمت دیگر آن می باشد. اگر مزاحمی دانشی درباره مکانهای حسگر نداشته باشند (حسگرها زیرک هستند) در [۱۰] ثابت شده است که مسیرهای عبوری بهینه احتمال شروع تشخیص در شبکه های چهارضلعی دو بعدی را کمینه می کنند و این مسیرهای عبوری متعدد هستند. اخیرا Kumar و دیگران دو نوع از پوشش های مرزی را تعریف کرده اند [۵]. پوشش های مرزی ضعیف پوشش هایی هستند که تضمین می کنند که حرکت مزاحمان را در طول مسیرهای موافق را تشخیص دهند. پوشش مرزی قوی تضمین می کند که مزاحمان را تشخیص دهد و اهمیتی ندارد که مزاحمان مسیرهای عبوری را گرفته باشند.

۲- کارهای انجام شده در این زمینه

تکنیک های گسترده ای برای افزایش طول عمر حسگرها پخش شده برای کاربردهای نظارتی از تکنیک بیداری - خواب استفاده می کنند. در این تکنیک ها یک زمانبندی خواب برای حسگرها محاسبه می شود بطوریکه در هر لحظه فقط یک زیر مجموعه ای از حسگرها فعال هستند و بقیه حسگرها به حالت خواب می روند. چالش ها تلاش می کنند تا یک زمانبندی خواب طراحی کنند طوریکه طول عمر شبکه را بیشینه کنند در حالیکه کیفیت مطلوبی از نظارت را نگهداری می کنند. این مسئله، به مسئله بیداری - خواب اشاره دارد.

رهیافت های حل مسئله برای پوشش مرزی در شبکه های حسگر بی سیم از مسیرهای شکست استفاده می کنند به طور اساسی یک

۴- آرایشات اضافی: وقتی که حسگرهای جدید در شبکه موجود برای کمک به یکی از شکستهای اضافه می‌شوند، ممکن است حسگرها طول عمرهای متفاوتی داشته باشند.

یک راه حل برای افزایش طول عمر شبکه ارائه شده و معیاری از بهره‌وری تعریف شده است که تعداد دفعاتی که یک حسگر به حالت روشن/خاموش می‌رود را کاهش می‌دهد که این حالت سوئیچ های حسگر نامیده می‌شود. هر بار که حسگری به حالت روشن سوئیچ می‌کند، کشف همسایه، محاسبه مسیر، همگام سازی زمان و سایر فعالیتها باید انجام شوند. کاهش تعداد دفعاتی که این کارها صورت می‌گیرد باعث کاهش مصرف انرژی در شبکه می‌شود. این روش همچنین شبکه را خیلی قابل دسترس برای انجام کارهای ناظرتی می‌کند که دلیل اصلی و اولیه از پخش حسگر می‌باشد^[۷].

الگوریتم بیداری-خواب در حالت همگن تعداد کلی تعویض های حسگر را کمینه می‌کند. برای حالت طول عمر غیرهمگن ثابت شده است که تعداد سوئیچ های حسگر NP -سخت است. الگوریتم هایی که در [۱۲] ارائه شده اند متمرکز هستند و حداقل دو مزیت را نسبت به الگوریتم های محلی دارند. اول، از آنجائیکه طراحی یک الگوریتم بیداری-خواب محلی قطعی بخارط اینکه بررسی محلی آیا اینکه شبکه پوشش مزیت را می‌تواند فراهم کند غیرممکن است، فقط الگوریتم های اکتشافی ممکن است طراحی شوند. الگوریتم های ارائه شده در [۱۲] بیشتر از حالت اکتشافی طول عمر شبکه را نسبت به الگوریتم RIS افزایش می‌دهند. دوم، از آنجائیکه الگوریتم بیداری-خواب خیلی بندرت و یا فقط یکبار نیاز به اجرا دارند، تعداد کل پیام های مبادله شده برای توزیع زمانبندی بهینه در شبکه ممکن است کمتر از یک الگوریتم اکتشافی توزیع شده باشد که تعویض های پیام دوره ای مهم را دربر می‌گیرد^[۷].

۳- مدل و برخی از تعریفات

در اینجا مدل شبکه استفاده شده در [۵] را بکار می‌گیریم. یک شبکه حسگر N یک مجموعه از حسگرها است که هر گره مکان خودش را در شبکه می‌شناسد. فرض شده است که گرههای شبکه حسگر در یک ناحیه بصورت کمرنند مستطیلی پخش شده‌اند. مثالی همچنین فرض شده است که نفوذ از بالا به پایین رخ می‌دهد. از ناحیه کمرنندی در شکل ۳ نشان داده شده است. برای تعریف رسمی ناحیه کمرنندی، فرض کنید (x,y) فاصله اقلیدسی میان دو نقطه x و y باشد و برای نقطه x و منحنی l ، فرض کنید $d(x,l)$ فاصله میان x و l باشد. یعنی:

$$d(x,l) = \min\{d(x,y) : y \in l\} \quad (1)$$

دو منحنی l_1 و l_2 با فاصله w موازی گفته می‌شوند اگر $x \in l_1, y \in l_2$ برای تمامی $d(x,l_2) = d(x,l_1) = w$

حسگر، نقاط آغازی و پایانی هدف، نویسنده‌گان یک راه حل متمرکز برای مسئله تعیین مسیر آشکارسازی کمینه پیشنهاد می‌کنند.

برای مدل پوشش مزیت، یک الگوریتم بیداری-خواب که خواب مستقل تصادفی(RIS) نامیده می‌شود در [۶] پیشنهاد شده است. در این الگوریتم، زمان به فاصله‌های زمانی تقسیم شده است و در هر فاصله زمانی هر حسگر مستقل تصمیم می‌گیرد که آیا با استفاده از یک مقدار احتمالی از پیش تعیین شده P در حالت خواب یا کار باشد. مقدار P طوری انتخاب می‌شود که شبکه یک پوشش مزیت ضعیف با احتمال بالا را تضمین کند(یک نسخه ضعیف از پوشش مزیت). مزیت این الگوریتم این است که بصورت محض محلی می‌باشد(به همانه‌گ کننده مرکزی نیاز ندارد و هیچ تعویض پیامی با همسایه‌ها صورت نمی‌گیرد). البته چندین نقص نیز در این مورد وجود دارد: اول، این روش تضمین قطعی از پوشش مزیت را فراهم نمی‌کند. دوم، اگر پخش گره‌ها بصورت یکنواخت تصادفی یا براساس توزیع پواسن نباشد، هیچ راهنمایی در مورد نحوه انتخاب مقدار P وجود ندارد. سوم، اگر طول عمر گره‌های حسگر یکسان نباشد(همانطوریکه در شبکه‌های واقعی اتفاق می‌افتد)، گره‌ها بارگذاری های متفاوتی دارند پس بنابراین طول عمر باتریهای آنها یکسان نخواهد بود). چهارم، هیچ تضمینی روی کارآبی وجود ندارد. حتی یک روش شناخته شده برای نحوه مقایسه با زمانبندی بهینه وجود ندارد. ممکن است شبکه‌ای وجود داشته باشد که منابع کافی را برای پشتیبانی طول عمر بیشتر از یک سال را با استفاده از یک زمانبندی بهینه فراهم کند، با استفاده از RIS حداکثر طول عمر شبکه ده هفته است. هنگامیکه حسگرها در نواحی دور و غیر قابل دسترس پخش می‌شوند یک شکست در طول عمر شبکه می‌تواند مشکل آفرین باشد.

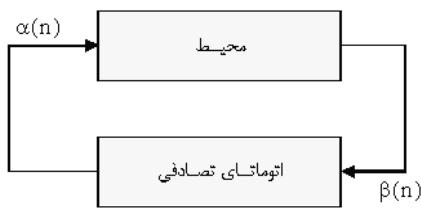
دلایل اینکه حسگرها ممکن است طول عمرهای متفاوتی داشته باشند:

۱- بارگذاری ناهموار: حتی زمانیکه حسگرها بازتریهای یکسانی در شروع دارند، آنها به انواع متفاوتی از اهداف برای بارگذاری نگاشته می‌شوند. (بدلیل ساختار مسیریابی، ساختار کلاستر و ...) بنابراین طول عمرهای متفاوتی دارند.

۲- نرخ شارژ مجدد متفاوت: اگر حسگر از باتریهای قابل شارژ استفاده کند، بسته به مقدار روشن بودن، هر حسگر بیشتر از دوره زمانی خود اطلاعات دریافت می‌کند و ممکن است طول عمر هر حسگر متفاوت باشد.

۳- شکست های غیرقابل پیش‌بینی: وقتی که شکستهای غیرقابل پیش‌بینی وجود دارند، یک زمانبندی جدید ممکن است نیاز داشته باشیم. در این لحظه طول عمر باقیمانده حسگرهای عملیاتی ممکن است متفاوت باشد.

احتمالی ارزیابی می‌شود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتماتا داده می‌شود و اتماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تأثیر می‌گیرد. هدف نهایی این است که اتماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداقل برساند. کارکرد اتماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

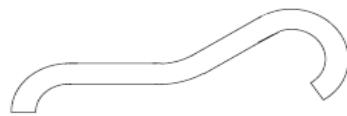


شکل ۶ اتماتای یادگیر تصادفی

محیط را می‌توان توسط سه‌تایی $E \equiv \{a, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی‌های محیط، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی‌های محیط و $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال‌های جریمه می‌باشند. ورودی محیط یکی از r عمل انتخاب شده اتماتا است. خروجی (پاسخ) محیط به هر عمل i توسط β_i مشخص می‌شود. اگر $\beta_i = 1$ یک پاسخ دودویی باشد، محیط مدل P^* نامیده می‌شود. در چنین محیطی $\beta_i(n) = 1$ بعنوان پاسخ نامطلوب^۵ یا شکست^۶ و $\beta_i(n) = 0$ بعنوان پاسخ مطلوب^۷ یا موفقیت در نظر گرفته می‌شوند. در محیط مدل Q^* شامل تعداد محدودی از مقادیر قرار گرفته در بازه $[0, 1]$ می‌باشد. در حالیکه در محیط مدل S^* مقادیر $\beta_i(n)$ یک متغیر تصادفی در بازه $[0, 1]$ می‌باشد.

اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت توسط پنج‌تایی $\{a, \beta, F, G, \Phi\}$ نشان داده می‌شود که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ مجموعه عملهای اتماتا و $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$ مجموعه ورودی‌های اتماتا و $\phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n\}$ مجموعه وضعیت‌های داخلی اتماتا،تابع $F: \phi \times \beta \rightarrow \phi$ تولید وضعیت جدید اتماتا و $G = \phi - a$ خروجی می‌باشد که وضعیت کنونی اتماتا را به خروجی بعدی مینگارد.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان توسط چهارتایی $\{a, \beta, P, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$ مجموعه عملهای، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_n\}$ مجموعه ورودیها، $P = \{P_1, \dots, P_n\}$ بردار احتمال انتخاب هریک از عملها و $T[a(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری اتماتا



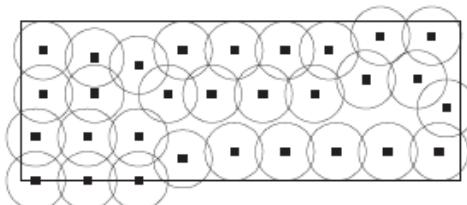
شکل ۳ یک ناحیه کمربندی با دو مرز موازی

تعريف شبکه حسگر

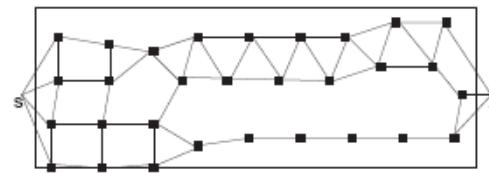
N یک شبکه حسگر است که N یک مجموعه از حسگرهای می‌باشد. فرض کنید که یک شبکه حسگر در یک ناحیه چهارضلعی پخش شده است (شکل ۵)، فرض شده است که نفوذ از بالا به پایین رخ می‌دهد. مانند [۵]، یک مسیر، مسیر عبوری است اگر مسیری از بالا به پایین آن عبور کند. بنابراین یک مسیر عبوری k -پوششی است اگر آن ناحیه دریافتی را به حداقل k حسگر مجزا تقسیم کند. سرانجام، یک شبکه حسگر N ، پوشش k -مرزی را در ناحیه دریافتی R فراهم می‌کند اگر تمامی مسیرهای عبوری از میان ناحیه R بواسیله حسگرهای N ، k بار پوشش داده شوند.

تعريف گراف پوششی

گراف $G(N)$ ، یک گراف پوششی از یک شبکه حسگر به شکل زیر ساخته می‌شود: فرض کنید $(E, V) = G(N)$ شامل یک رأس متناظر به هر حسگر است. علاوه براین، دو گره مجازی s و t برای متناظر کردن مرزهای چپ و راست داریم. اگر نواحی دریافت در یک ناحیه پخش شده R باهم همپوشانی داشته باشند آنگاه یک یال بین دو گره وجود دارد. یک یال بین U و s و یا t وجود دارد اگر ناحیه دریافتی U با مرزهای چپ یا راست ناحیه همپوشانی داشته باشند. گراف پوششی برای شبکه حسگر پخش شده در شکل ۴ در شکل ۵ نشان داده شده است. در [۱۸] اثبات نظریه‌های مربوط به تئوری گراف آمده است.



شکل ۴ شبکه‌ای که پخش شده تا پوشش ۳-مرزی را فراهم کند



شکل ۵ گراف پوششی شبکه حسگر پخش شده بالا

۴- اتماتای یادگیر

یک اتماتای یادگیر [۱۶] و [۱۴]، متشکل از می‌تواند تعدادی متنه‌ای عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط

۱. به همسایه‌ای با کمترین فاصله از نقطه فرضی طبق رابطه ۲ پاداش و به سایر گره‌های همسایه جریمه اختصاص داده می‌شود.

۲. اگر گرهی کمترین فاصله را نداشته باشد به آن طبق رابطه ۳ جریمه اختصاص داده می‌شود در حالیکه به سایر گره‌های موجود در همسایگی این گره پاداش اختصاص داده خواهد شد.

این مرحله تا زمانی ادامه می‌یابد که تعداد تکرار مرحله یادگیری به مقدار حداقل تعداد دفعات یادگیری برسد. وقتی تعداد تکرار دفعات یادگیری از این مقدار تجاوز کرد، گره موردنظر از بین بالهای خروجی خود، یالی با بیشترین احتمال را انتخاب و عنوان گره بعدی در گراف پوششی استفاده می‌کند.

بدین ترتیب با هر بار اجرای روش پیشنهادی یک گروه از گره‌ها برای پیدا کردن مسیری بین دو گره فرضی در گراف شبکه انتخاب می‌شوند. انتخاب این مسیر، پوشش مرزی شبکه را تضمین می‌کند برای اینکه هر گونه نفوذی را که به شبکه از عرض ناحیه تحت پوشش صورت گیرد را با استفاده از گره‌های انتخاب شده در مسیر تشخیص داده و از بروز این مشکل در شبکه جلوگیری خواهد شد.

برای محاسبه انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت بسته‌ها به گره‌های همسایه از روش ارائه شده در [۴] استفاده شده است. انرژی لازم برای ارسال و دریافت

$E_{Tx_elec} = E_{Rx_elec} = E_{elec}$ و انرژی لازم برای تقویت‌کننده انتقال $E_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$ می‌باشد. انرژی لازم برای ارسال k بسته در فاصله d از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx_elec}(k) + E_{Tx_amp}(k, d) \quad (5)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^2$$

انرژی لازم برای دریافت بسته نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx_elec}(k) \quad (6)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k$$

انرژی لازم برای انتقال یک بسته از گره A به گره B با انرژی لازم برای انتقال از B به A یکسان درنظر گرفته شده است.

۶- نتایج شبیه‌سازی‌ها

برای شبیه‌سازی از شبیه‌ساز شبکه‌های حسگر بی‌سیم [۱۹] استفاده شده است و یک ناحیه کمربنده مستطیلی به ابعاد $2km \times 100m$ برای پوشش مرزی درنظر گرفته شده است که گره‌ها بطور تصادفی در این ناحیه پخش شده‌اند و برد دریافتی هریک از گره‌ها را $30m$ درنظر می‌گیریم. طول عمری که برای هریک از گره‌ها درنظر می‌گیریم 10 هفته می‌باشد. کارآیی الگوریتم پیشنهادی در مورد

می‌باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم‌های یادگیری خطی

است. فرض کنید عمل α_i در مرحله n انتخاب شود:

الف- پاسخ مطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \end{aligned} \quad \forall j, j \neq i \quad (2)$$

ب- پاسخ نامطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \end{aligned} \quad \forall j, j \neq i \quad (3)$$

که در روابط فوق a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشد. با توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را می‌توان درنظر گرفت. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP} می‌نامند، زمانیکه b خیلی کوچکتر از a باشد، الگوریتم را L_{REP} می‌نامند و زمانیکه b مساوی صفر باشد الگوریتم را L_{RI} می‌نامند.

۵- روش پیشنهادی (LABC)

در روش پیشنهادی هر گره در شبکه را به اوتماتای یادگیر مجهر می‌کنیم. سپس گراف پوششی شبکه حسگر موجود را طبق تعریف بالا ایجاد می‌کنیم. تعداد اعمال هر یک از اوتماتاها برای با تعداد بالهای خروجی از گراف پوششی مربوط به شبکه می‌باشد. اگر n تعداد بالهای خروجی یک رأس گراف باشد آنگاه احتمال هر یک از اعمال این اوتماتا طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

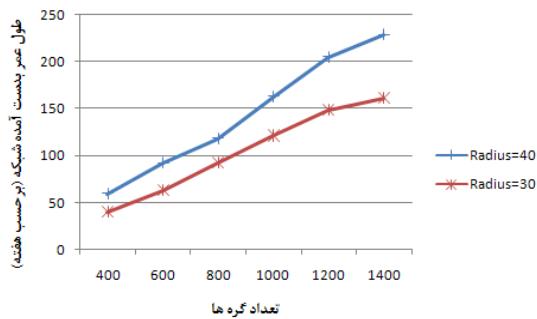
$$\forall i \quad P_i = \frac{I}{n} \quad (4)$$

فرض شده است که هر گره می‌تواند با تمامی گره‌هایی که در برد ارتباطی این گره R_c هستند ارتباط برقرار کند. مقدار $R_c \leq 2R_S$ است. برای بالهای موجود بین رئوس گراف نیز به اندازه متغیر λ احتمال خرابی لینک فرض شده است که این مقدار در طی عملیات شبیه‌سازی بعنوان احتمالی در نظر گرفته شده که پاسخ رسیده از گره همسایه درست نباشد. یا اینکه عملیات نفوذ در شبکه صورت گرفته و بسته‌های دریافتی از سوی گره خرابکار در شبکه به این گره ارسال می‌شود.

در این مرحله اوتماتای یادگیر مربوط با یکی از سمت چپ‌ترین گره‌ها که بتواند نقطه آغازین سمت چپ ناحیه مرزی تحت پوشش را پوشش دهد شروع می‌شود و این گره یکی از اعمال خود را انتخاب می‌کند. هر گره هنگام دریافت بسته از همسایه‌های خود یک جستجوی اکتشافی روی بسته دریافتی انجام می‌دهد و طبق قواعد زیر عمل می‌کند:

۶-۲ آزمایش دوم

در این آزمایش پارامتر طول عمر بدست آمده از مکانیزم پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و متوسط طول عمر کلی بدست آمده از شبکه با برد های دریافتی متفاوت آزمایش می‌شود. برای این آزمایش از اتماتای یادگیر LA_{RP} با پارامترهای جریمه و پاداش ۰.۱ استفاده شده است و احتمال خرابی لینک $\lambda = 0.1$ درنظر گرفته شده است. متوسط طول عمر بدست آمده از اجرای مکانیزم پیشنهادی برای حالتی که برد دریافتی هر یک از گرهها ۳۰ و ۴۰ متر است در شکل ۸ دیده می‌شود. همانطوری که در شکل ۸ دیده می‌شود با برد دریافتی ۴۰ متر همواره متوسط طول عمر بهتری نسبت به برد دریافتی ۳۰ متر داریم. علت این امر آن است با برد دریافتی بیشتر گرهایی که در مسیر انتخاب می‌شوند فاصله بیشتری از هم داشته و بنابراین تعداد گرهای انتخاب شده در مسیر کمتر از حالتی خواهد بود که برد دریافتی مربوط به هر گره برای با ۳۰ متر است. با انتخاب گرهای کمتر سایر گرهها می‌توانند به یک حالت مصرف انرژی پایین بروند و بعداً به آنها اجازه داده شود که برای انجام عملیات پوشش مرزی انتخاب شوند. در جدول ۱ نیز مقادیر حداقل، متوسط و حداقل طول عمر بدست آمده از روش پیشنهادی را مشاهده می‌نمایید.



شکل ۸ طول عمر بدست آمده از اجرای روش پیشنهادی برای شعاع های دریافتی ۳۰ و ۴۰ متر

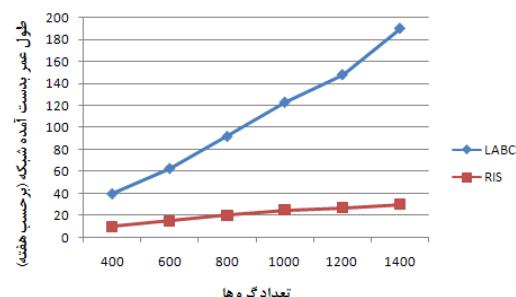
جدول ۱ مقایسه حداقل، متوسط و حداقل طول عمر بدست آمده از روش پیشنهادی (بر حسب هفته)

برد دریافتی ۴۰ متر			برد دریافتی ۴۰ متر			گرهها
Min	Avg	Max	Min	Avg	MAX	
30	40	50	40	59	80	400
50	63	80	80	92	100	600
80	92	110	90	118	140	800
110	123	140	130	163	190	1000
120	148	180	180	205	220	1200
130	190	240	190	229	260	1400

افزایش طول عمر شبکه با گرههای مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هر گرهی که بعنوان یک گره پوششی در مورد نظر انتخاب می‌شود عملیات پوشش مرزی را انجام می‌دهد تا از نفوذ در شبکه جلوگیری کند. سایر گرهها برای ذخیره انرژی و افزایش طول عمر کلی شبکه به یک حالت مصرف نرژی پایین سوچیج می‌کنند. تعداد گرههایی که برای آزمایش کارآیی الگوریتم پیشنهادی بکار گرفته شده‌اند ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۴۰۰ گره می‌باشند. احتمال خرابی لینک‌های ارتباطی میان گرهها در آزمایشات مختلف یعنی مقدار ۰.۱ و ۰.۲ درنظر گرفته شده است. در حالتی که این مقدار برابر با ۰.۱ است به این معنی می‌باشد که ۹۰ درصد لینک‌های ارتباطی درست هستند و در حالتی که این مقدار ۰.۲ است یعنی ۸۰ درصد لینک‌های ارتباطی درست هستند.

۶-۱ آزمایش اول

در این آزمایش پارامتر طول عمر بدست آمده از مکانیزم پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و تاثیر استفاده از اتماتای یادگیر در گرهها برای انتخاب گرههای مناسب برای انجام عملیات پوشش مرزی بررسی شده است. متوسط طول عمر بدست آمده از اجرای مکانیزم پیشنهادی با برد دریافتی ۳۰ متر و تعداد گرههای ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۴۰۰ گره در شکل ۷ دیده می‌شود. برای این آزمایش از اتماتای یادگیر LA_{RP} با پارامترهای جریمه و پاداش $\lambda = 0.1$ استفاده شده است و احتمال خرابی لینک $\lambda = 0.1$ درنظر گرفته شده است. همانگونه که در شکل ۷ دیده می‌شود الگوریتم پیشنهادی همواره متوسط طول عمر بهتری نسبت به روش خواب مستقل تصادفی (RIS) دارد. علت این امر آن است که اتماتای یادگیر در هر ناحیه به گره‌ها کمک می‌کند تا نسبت به سایر گرههایی که در آن ناحیه هستند بهترین وضعیت خود را انتخاب کنند. این کار باعث می‌شود که تعداد گرههای کمتری در حین اجرای مکانیزم پیشنهادی انتخاب شوند که هرچه تعداد گرههای انتخابی کمتر باشد طول عمر شبکه نیز به طبع از آن افزایش خواهد یافت.



شکل ۷ طول عمر بدست آمده از اجرای روش پیشنهادی برای شعاع دریافتی ۳۰ متر

۷-نتیجه‌گیری

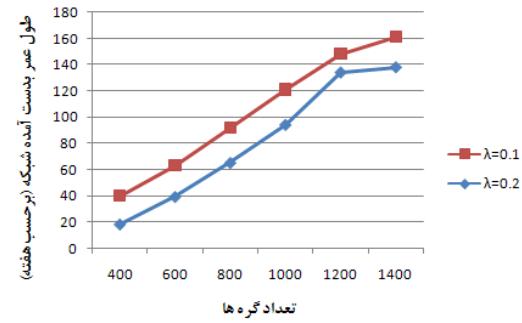
در این کار یک مکانیزم زمانبندی کارآمد انرژی برای پوشش مرزی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. در این مکانیزم زمانبندی از هر گرنه نفوذ در عرض شبکه جلوگیری می‌شود و انتخاب گره‌هایی که این را انجام دهنده برعهده اتماتای یادگیر بکار بمنظور مقایسه نتایج بدست آمده که در آن اتماتای یادگیر بکار گرفته شده است با استفاده از شبیه‌ساز شبکه‌های حسگر بی‌سیم عملیات شبیه‌سازی را انجام دادیم و نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی نشان از بهتر بودن روش پیشنهادی (*LABC*) نسبت به روش‌های ارائه شده از جمله روش خواب مستقل تصادفی (*RIS*) دارد.

مراجع

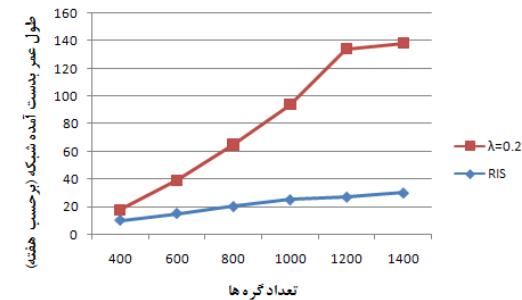
- [1] Arora and e. al., "Line in the sand: A wireless sensor network for target detection, classification, and tracking," in *Computer Networks*, 2004.
- [2] Arora and e. al., "Exscal: Elements of an extreme scale wireless sensor network," in *Eleventh IEEE International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications (IEEE RTCSA)*, Hong Kong, 2005.
- [3] Chen, S. Kumar, and T. H. Lai, "Designing Localized Algorithms for Barrier Coverage," in *Proc ACM MobiCom'07*, 2007.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in *HICSS 2000*.
- [5] S. Kumar, T. H. Lai, and A. Arora, "Barrier Coverage With Wireless Sensors," in *International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MobiCom)*, Cologne, Germany, 2005.
- [6] S. Kumar, T. H. Lai, and J. o. Balogh, "On kCoverage in a Mostly Sleeping Sensor Network," in *Proc ACM MobiCom'04*, 2004.
- [7] S. Kumar, T. H. Lai, M. E. Posner, and P. Sinha, "Optimal Sleep-Wakeup Algorithms for Barriers of Wireless Sensors," in *Fourth International Conference on Broadband Communications, Networks, and Systems (IEEE BROADNETS)*, Raleigh, NC, 2007.
- [8] X.-Y. Li, P.-J. Wan, and O. Frieder, "Coverage in wireless ad-hoc sensor networks," in *IEEE Trans. Comput.*, 2003, pp. 753–763
- [9] B. Liu, O. Dousse, J. Wang, and A. Saipulla, "Strong Barrier Coverage of Wireless Sensor Networks," in *ACM MobiHoc Hong Kong SAR, China*, May 26–30 2008.
- [10] B. Liu and D. Towsley, "A study on the coverage of large-scale sensor networks," in *The 1st IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*, 2004.
- [11] S. Megerian, F. Koushanfar, G. Qu, G. Veltri, and M. Potkonjak, "Exposure in wireless sensor networks: Theory and practical solutions," in *Wireless Networks*, 2002, pp. 443–454
- [12] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, and M. Srivastava, "Coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks," in *Proc. IEEE InfoCom (InfoCom'01)*, Anchorage, AK, April 2001, pp. 115–121.
- [13] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, G. Qu, and M. Potkonjak, "Exposure in wireless ad-hoc sensor networks," in *Proc. 7th Annual Int. Conf. Mobile*

۶-آزمایش سوم

در این آزمایش پارامتر احتمال خرابی لینک λ و تاثیر مقادیر این پارامتر روی طول عمر بدست آمده از کل شبکه برای فراهم نمودن پوشش مرزی بررسی شده است. متوسط طول عمر بدست آمده از اجرای مکانیزم پیشنهادی با برد دریافتی ۳۰ متر و تعداد گره‌های ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۴۰۰ گره در شکل ۱۵ دیده می‌شود. برای این آزمایش از اتماتای یادگیر *LARP* با پارامترهای $\lambda = 0.1, 0.2$ مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانگونه که در شکل ۹ دیده می‌شود الگوریتم پیشنهادی همواره متوسط طول عمر بهتری نسبت به روش خواب مستقل تصادفی (*RIS*) دارد. علت این امر آن است که اتماتای یادگیر در هر ناحیه به گره‌ها کمک می‌کند تا نسبت به سایر گره‌هایی که در آن ناحیه هستند بهترین وضعیت خود را انتخاب کنند. این کار باعث می‌شود که تعداد گره‌های کمتری در حین اجرای مکانیزم پیشنهادی انتخاب شوند که هرچه تعداد گره‌های انتخابی کمتر باشد طول عمر شبکه نیز به طبع از آن افزایش خواهد یافت. در شکل ۱۰ متوسط طول عمر بدست آمده از روش پیشنهادی با مقدار $\lambda = 0.2$ با الگوریتم *RIS* مقایسه شده است. نتایج بدست آمده نشان از بهتر بودن روش پیشنهادی نسبت به روش فوق دارد.



شکل ۹ متوسط طول عمر بدست آمده برای گره‌هایی با برد دریافتی ۳۰ متر



شکل ۱۰ مقایسه متوسط طول عمر بدست آمده برای گره‌هایی با برد دریافتی ۳۰ متر

- Computing and Networking (MobiCom'01), Rome, Italy, July 2001, pp. 139-150.*
- [14] K. S. Narendra and M. A. L. Thathachar, *Learning automata: An introduction*: Prentice Hall, 1989.
 - [15] S. Sljepcevic and M. Potkonjak, "Power Efficient Organization of Wireless Sensor Networks," in *ICC Helsinki, Finland, 2001*.
 - [16] M. A. L. Thathachar and P. S. Sastry, "Varieties of learning automata: An overview," in *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 2002*, pp. 711-722.
 - [17] G. Veltri, Q. Huang, G. Qu, and M. Potkonjak, "Minimal and maximal exposure path algorithms for wireless embedded sensor networks," in *Proc. 1st Int. Conf. Embedded Networked Sensor Systems (SenSys'03), Los Angeles, Nov. 2003*, pp. 40-50.
 - [18] D. B. West, *Introduction to Graph Theory*: Prentice Hall, 2001.
 - [19] <http://www.djstein.com/projects/index.html>

زیرنویس‌ها

-
- ¹ Learning Automata based Barrier Coverage
 - ² Maximal Breach Path
 - ³ Maximal Support Path
 - ⁴ P-model
 - ⁵ Unfavorable
 - ⁶ Failure
 - ⁷ Favorable
 - ⁸ Q-Model
 - ⁹ S-Model