

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

حبیب مصطفائی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه

habib.mostafaei@gmail.com

محمدرضا میبیدی

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی

کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،

mmeybodi@aut.ac.ir

مهدی اثنی‌عشری

آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی

کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

esnaashari@aut.ac.ir

چکیده:

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 مجهز 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، زمانبندی حسگر،

پوشش مرزی

۱- مقدمه

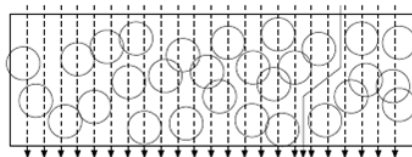
برخی از کاربردهای مهم شبکه‌های حسگر با تشخیص حرکت درگیر هستند، مانند زمانیکه حسگرها در طول مرزهای کشوری پخش می‌شوند تا نفوذهای غیرقانونی را تشخیص دهند، اطراف جنگل‌ها برای تشخیص گسترش آتش‌سوزی جنگل، اطراف کارخانه‌های شیمیایی برای تشخیص پخش مواد مرگ‌آور، در هر دو طرف لوله‌های گاز برای تشخیص خرابکاری عمده 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

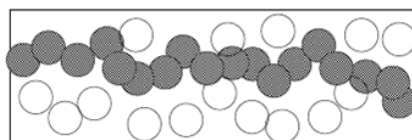
باشد، پوشش کامل به بیش از دو برای پوشش مرزی به حسگر نیاز دارد. حفظ رشد حسگرها بصورت خطی با عرض ناحیه ارتباط دارد.

۲- مسئله خواب-بیدار، که یک زمانبندی 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 مزاحمی 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].



پوشش ضعیف

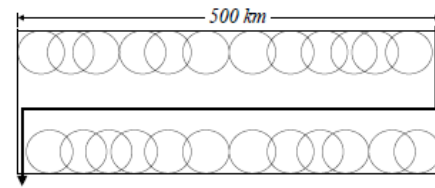


پوشش قوی

شکل ۱ شبکه با پوشش مرزی ضعیف و قوی

یک محدودیت اصلی برای مدل پوشش مرزی این است که برخلاف پوشش کامل حسگرها به تنهایی 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

الگوریتم‌هایی که تابحال برای پوشش مرزی ارائه شده، مثل الگوریتم بیداری-خواب بهینه متمرکز هستند [۷]. (بخش شمالی 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 $500m \times 500 km$ نشان داده شده در شکل ۱ پوشش مرزی را فراهم نمی‌کند چون یک مسیر عبوری در آن پوشش داده نشده است. (با اینکه بیش از ۴۹۹ کیلومتر از طول مسیر پوشش داده شده است).



یک مسیر تشخیص داده نشده

شکل ۲ یک ناحیه که پوشش مرزی را بدلیل وجود یک مسیر عبوری فراهم نمی‌کند.

پوشش مرزی از مسیرهای عبوری مورد قبول مزاحم‌ها اثر می‌پذیرد. مسیر عبوری مسیری با عرض کامل ناحیه از یک سمت به سمت دیگر آن می‌باشد. اگر مزاحمی دانشی درباره مکانهای حسگر نداشته باشند (حسگرها زیرک هستند) در [۱۰] ثابت شده است که مسیرهای عبوری بهینه احتمال شروع تشخیص در شبکه‌های چهارضلعی دوبعدی را کمینه می‌کنند و این مسیرهای عبوری متعامد هستند. اخیراً Kumar و دیگران دو نوع از پوشش‌های مرزی را تعریف کرده‌اند [۵]. پوشش‌های مرزی ضعیف پوششهایی هستند که تضمین می‌کنند که حرکت مزاحمان را در طول مسیرهای موافق را تشخیص دهند. پوشش مرزی قوی تضمین می‌کند که مزاحمان را تشخیص دهد و اهمیتی ندارد که مزاحمان مسیرهای عبوری را گرفته باشند.

۲- کارهای انجام شده در این زمینه

تکنیک‌های گسترده‌ای برای افزایش طول عمر حسگرهای پخش شده برای کاربردهای نظارتی از تکنیک بیداری-خواب استفاده می‌کنند. در این تکنیک‌ها یک زمانبندی خواب برای حسگرها محاسبه می‌شود بطوریکه در هر لحظه فقط یک زیر مجموعه‌ای از حسگرها فعال هستند و بقیه حسگرها به حالت خواب می‌روند. چالش‌ها تلاش می‌کنند تا یک زمانبندی خواب طراحی کنند بطوریکه طول عمر شبکه را بیشینه کنند در حالیکه کیفیت مطلوبی از نظارت را نگهداری می‌کنند. این مسئله، به مسئله بیداری-خواب اشاره دارد.

رهیافت‌های حل مسئله برای پوشش مرزی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از مسیرهای شکست استفاده می‌کنند به طور اساسی یک

مسئله بهینه‌سازی ترکیبی است. دو نوع از دیدگاه‌های بهینه‌سازی 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 می‌تواند کمینه باشد. پیدا کردن چنین مسیر حالت-بد مهم است برای اینکه اگر چنین مسیری در میدان دریافت وجود داشته باشد، کاربر می‌تواند مکان‌های (موقعیتهای) گره‌ها را تغییر دهد یا گره‌های جدید برای افزایش پوشش و از اینرو قابلیت مشاهده افزایش دهد. دو تا از متدهای مشهور مسئله پوشش بدترین حالت، حداقل مسیر شکست [۱۱] و حداکثر 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 می‌تواند برای برنامه‌های معین، شامل برنامه‌هایی که بهترین مسیر پوشش را در نواحی نیاز دارند که امنیت بالاترین اهمیت را دارد، یا برنامه‌هایی که دوست دارند تابع سود از پیش تعریف شده گره‌ها بیشینه شود وقتی که در یک میدان دریافت پیمایش می‌شوند. دو رهیافت برای حل مسئله پوشش بهترین حالت، حداکثر مسیر شکست و حداکثر مسیر پشتیبانی هستند [۱۲].

مدل ارائه شده در [۱۲] مسئله پوشش مرزی را بصورت زیر مدل کرده است: یک میدان که با استفاده از ابزارهای حسگر مجهز شده و مکانهای شروع و پایان و یک عامل بعنوان ورودی داده می‌شود، یک مسیر نفوذ بیشینه (MBP^r) و مسیر پشتیبانی بیشینه (MSP^r) یک عامل تعیین می‌شود. MBP (MSP) متناظر با پوشش بدترین (بهترین) حالت می‌باشد 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 می‌باشد که گره‌های حسگر همگن می‌باشند، مکانهایشان را می‌شناسند (از طریق GPS)، تاثیر دریافت با افزایش فاصله کاهش می‌یابد. نویسندگان یک راه حل متمرکز براساس مشاهدات پیشنهاد دادند که MBP روی خطوط نمودار ورونی قرار می‌گیرد و MSP روی خطوط مثلث‌بندی دلانی قرار می‌گیرند.

پوشش مرزی دیگر، مدلی براساس آشکارسازی است که توسط Meguerdichian و دیگران ارائه شده است [۱۲، ۱۳]. بنابراین توانایی حسی حسگرها با افزایش فاصله کاهش می‌یابد و فاکتور مهم، زمان دریافت (آشکارسازی) است. زمان آشکارسازی بیشتر، توانایی دریافت بیشتری خواهد داشت. با فرض یک میدان مجهز شده با n

حسگر، نقاط آغازی و پایانی هدف، نویسندگان یک راه حل متمرکز برای مسئله تعیین مسیر آشکارسازی کمینه پیشنهاد می‌کنند. برای مدل پوشش مرزی، 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 مرزی ضعیف با احتمال بالا را تضمین کند (یک نسخه ضعیف از پوشش مرزی). مزیت این الگوریتم این است که بصورت محض محلی می‌باشد (به هماهنگ 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 مرزی را فراهم نمی‌کند. **دوم**، اگر پخش گر‌ها بصورت یکنواخت تصادفی یا براساس توزیع پواسن نباشد، هیچ راهنمایی در مورد نحوه انتخاب مقدار P وجود ندارد. **سوم**، اگر طول عمر گر‌های حسگر یکسان نباشد (همانطوریکه در شبکه‌های واقعی اتفاق می‌افتد، گر‌ها بارگذاری‌های متفاوتی دارند پس بنابراین طول عمر باتریهای آنها یکسان نخواهد بود). **چهارم**، هیچ تضمینی روی کارایی 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 باتریهای 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 کنند، 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- **شکست‌های 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.

۴- **آرایشات اضافی**: وقتی که حسگرهای جدید در شبکه موجود برای کمک به یکی از شکست‌ها 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 سوئیچ‌های 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 نظارتی می‌کند که دلیل اصلی و اولیه از پخش حسگر می‌باشد [۷].

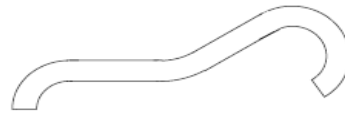
الگوریتم بیداری-خواب در حالت همگن تعداد کلی تعویض‌های حسگر را کمینه می‌کند. برای حالت طول عمر غیرهمگن ثابت شده است که تعداد سوئیچ‌های حسگر NP -سخت است. الگوریتم‌هایی که در [۱۲] ارائه شده اند متمرکز هستند و حداقل دو مزیت را نسبت به الگوریتم‌های محلی دارند. **اول**، از آنجائیکه طراحی یک الگوریتم بیداری-خواب محلی قطعی بخاطر اینکه بررسی محلی آیا اینکه شبکه پوشش مرزی را می‌تواند فراهم کند غیرممکن است، فقط الگوریتم‌های اکتشافی ممکن است طراحی شوند. الگوریتم‌های 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 پیام‌های مبادله شده برای توزیع زمانبندی بهینه در شبکه ممکن است کمتر از یک الگوریتم اکتشافی توزیع شده باشد که تعویض‌های پیام دوره ای مهم را دربر می‌گیرد [۷].

۳- مدل و برخی از تعاریفات

در اینجا مدل شبکه استفاده شده در [۵] را بکار می‌گیریم. یک شبکه حسگر N یک مجموعه از حسگرها است که هر گر مکان خودش را در شبکه می‌شناسد. فرض شده است که گر‌های شبکه حسگر در یک ناحیه بصورت کمربند مستطیلی پخش شده‌اند. همچنین فرض شده است که نفوذ از بالا به پایین رخ می‌دهد. مثالی از ناحیه کمربندی در شکل ۳ نشان داده شده است. برای تعریف رسمی ناحیه کمربندی، فرض کنید $d(x, y)$ 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 $d(x, l_2) = d(x, l_1) = w$



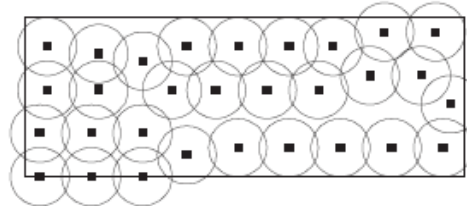
شکل ۳ یک ناحیه کمربندی با دو مرز موازی

تعریف شبکه حسگر

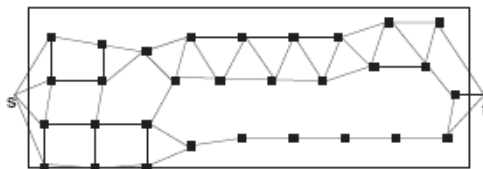
N یک شبکه حسگر است که N یک مجموعه از حسگرها می باشد. فرض کنید که یک شبکه حسگر در یک ناحیه چهارضلعی پخش شده است (شکل ۵). فرض شده است که نفوذ از بالا به پایین رخ می دهد. مانند [۵]، یک مسیر، مسیر عبوری است اگر مسیری از بالا به پایین آن عبور کند. بنابراین یک مسیر عبوری k -پوششی است اگر آن ناحیه دریافتی را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

تعریف گراف پوششی

گراف $G(N)$ ، یک گراف پوششی از یک شبکه حسگر به شکل زیر ساخته می شود: فرض کنید $G(N)=(V,E)$ ، مجموعه V شامل یک رأس متناظر به هر حسگر است. علاوه بر این، 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 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 نظریه های مربوط به تئوری گراف آمده است.



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

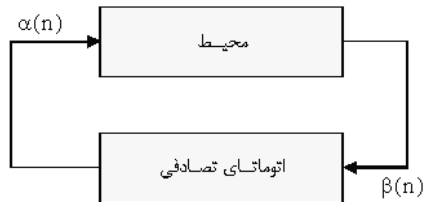


شکل ۵ گراف پوششی شبکه حسگر پخش شده بالا

۴- اتوماتای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر [۱۴] و [۱۶]، ماشینی است که می تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط

احتمالی ارزیابی می شود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می شود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تاثیر می گیرد. هدف نهایی این است که اتوماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداکثر برساند. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل ۶ مشاهده می شود.



شکل ۶ اتوماتای یادگیر تصادفی

محیط را می توان توسط سه تایی $E \equiv \{a, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی های محیط، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی های محیط و $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال های جریمه می باشند. ورودی محیط یکی از r عمل انتخاب شده اتوماتا است. خروجی (پاسخ) محیط به هر عمل i توسط β_i مشخص می شود. اگر β_i یک پاسخ دودویی باشد، محیط مدل P^f نامیده می شود. 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 می شوند. در محیط مدل Q^A ، $\beta_i(n)$ شامل تعداد محدودی از مقادیر قرار گرفته در بازه $[1,0]$ می باشد. درحالی که در محیط مدل S^A مقادیر $\beta_i(n)$ یک متغیر تصادفی در بازه $[1,0]$ می باشد $(\beta_i(n) \in [0,1])$.

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

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می توان توسط چهار تایی $\{a, \beta, P, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$ مجموعه عملها، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_n\}$ مجموعه ورودیها، $P = \{P_1, \dots, P_n\}$ بردار احتمال انتخاب هریک از عملها و $p(n+1) = T[a(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری اتوماتا

می‌باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتمهای یادگیری خطی است. فرض کنید عمل α_i در مرحله n ام انتخاب شود:
الف- پاسخ مطلوب از محیط

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

ب- پاسخ نامطلوب از محیط

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

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

۵- روش پیشنهادی (LABC)

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

$$\forall i \quad P_i = \frac{1}{n} \quad (4)$$

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 یالهای موجود بین رؤس 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 اتوماتای یادگیر مربوط با یکی از سمت چپ‌ترین گره-ها 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:

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 حداکثر تعداد دفعات یادگیری برسد. وقتی تعداد تکرار دفعات یادگیری از این مقدار تجاوز کرد، گره موردنظر از بین یالهای خروجی خود، یالی با بیشترین احتمال را انتخاب و بعنوان 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 $E_{Tx_elec} = E_{Rx_elec} = E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ 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:

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

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

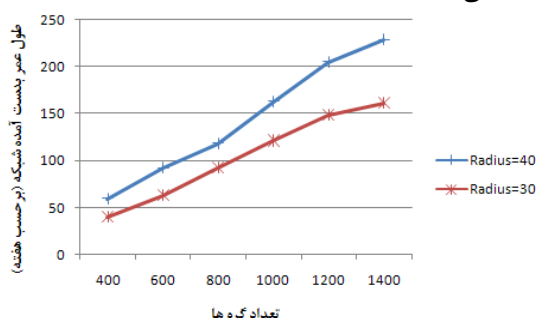
انرژی لازم برای انتقال یک بسته از گره A به گره B با انرژی لازم برای انتقال از B به A یکسان در نظر گرفته شده است.

۶- نتایج شبیه‌سازی‌ها

برای شبیه‌سازی از شبیه‌ساز شبکه‌های حسگر بی‌سیم [۱۹] استفاده شده است و یک ناحیه کمربندی مستطیلی به ابعاد $2\text{km} \times 100$ برای پوشش مرزی در نظر گرفته شده است که گره‌ها بطور تصادفی در این ناحیه پخش شده‌اند و برد دریافتی هریک از گره‌ها را 30m در نظر می‌گیریم. طول عمری که برای هریک از گره‌ها در نظر می‌گیریم ۱۰ هفته می‌باشد. کارایی الگوریتم پیشنهادی در مورد

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 بردهای دریافتی متفاوت آزمایش می‌شود. برای این آزمایش از اتوماتای یادگیر $LARP$ با پارامترهای جریمه و پاداش ۰.۱ استفاده شده است و احتمال خرابی لینک $\lambda = 0.1$ در نظر 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. همانطوریکه 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 گره‌هایی که در مسیر انتخاب می‌شوند فاصله بیشتری از هم داشته و بنابراین تعداد گره‌های انتخاب شده در مسیر کمتر از حالتی خواهد بود که برد دریافتی مربوط به هر گره برای ۳۰ متر است. با انتخاب گره‌های 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 حداکثر طول عمر بدست آمده از روش پیشنهادی را مشاهده می‌نمایید.



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

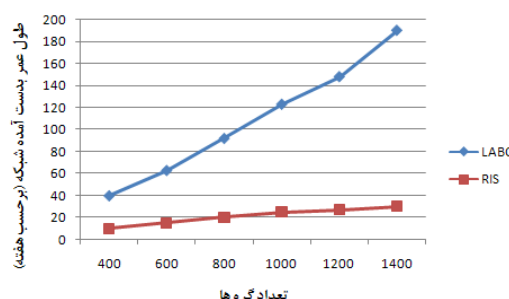
جدول ۱ مقایسه حداقل، متوسط و حداکثر طول عمر بدست آمده از روش پیشنهادی (بر حسب هفته)

گره‌ها			برد دریافتی ۴۰ متر			گره‌ها
			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 انرژی پایین سوئیچ می‌کنند. تعداد گره‌هایی که برای آزمایش کارایی 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 λ ، ۰.۱ و ۰.۲ در نظر گرفته شده است. درحالی که این مقدار برابر با ۰.۱ است به این معنی می‌باشد که ۹۰ درصد لینک‌های ارتباطی درست هستند و در حالی که این مقدار ۰.۲ است یعنی ۸۰ درصد لینک‌های ارتباطی درست هستند.

۶-۱ آزمایش اول

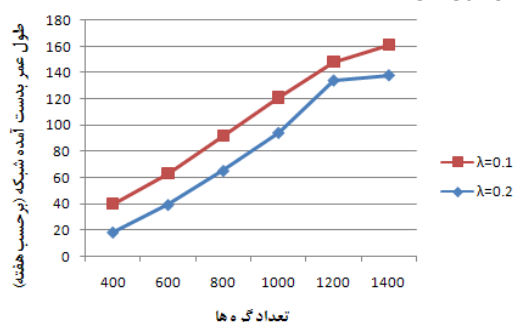
در این آزمایش پارامتر طول عمر بدست آمده از مکانیزم پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و تاثیر استفاده از اتوماتای یادگیر در گره‌ها برای انتخاب گره‌های مناسب برای انجام عملیات پوشش مرزی بررسی شده است. متوسط طول عمر بدست آمده از اجرای مکانیزم پیشنهادی با برد دریافتی ۳۰ متر و تعداد گره‌های ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۴۰۰ گره در شکل ۷ دیده می‌شود. برای این آزمایش از اتوماتای یادگیر $LARP$ با پارامترهای جریمه و پاداش ۰.۱ استفاده شده است و احتمال خرابی لینک $\lambda = 0.1$ در نظر 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 اتوماتای 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.



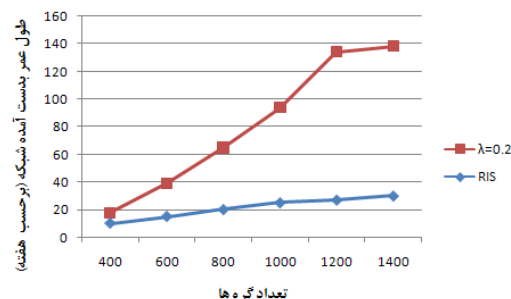
شکل ۷ طول عمر بدست آمده از اجرای روش پیشنهادی برای شعاع دریافتی ۳۰ متر

۳-۶ 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 ۹ دیده می‌شود. برای این آزمایش از اتوماتای یادگیر $LARP$ با پارامترهای جریمه و پاداش ۰.۰۱ استفاده شده است و احتمال خرابی لینک با مقادیر $\lambda = 0.1, 0.2$ 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 اتوماتای 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

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 گره نفوذ در عرض شبکه جلوگیری می‌شود و انتخاب گره‌هایی که این را انجام دهند برعهده اتوماتای یادگیر بود. بمنظور مقایسه نتایج بدست آمده که در آن اتوماتای 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*

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. Slijepcevic 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>

زیر نویس ها

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