

زمانبندی کارآمد انرژی برای پوشش هدف با استفاده اتوماتای یادگیر

حبیب مصطفائی^۱، محمدرضا میبدی^۲ و مهدی اثنی عشری^۳

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارومیه، h.mostafaei@iaurmia.ac.ir

^۲دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، mmeybodi@aut.ac.ir

^۳دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، esnaashari@aut.ac.ir

چکیده-یکی از جنبه‌های مهم کاربرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم طول عمر شبکه است. مصرف انرژی دریافت و ارسال اطلاعات در محیط دریافت، در نتیجه مدیریت انرژی و زمانبندی حسگرها می‌تواند در افزایش طول عمر شبکه بصورت موثری عمل کند. کارآمدی انرژی یکی از مسائل مهم مطرح در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. برای پوشش یک مجموعه اهداف با معلوم بودن مکان آنها، یک راه حل، پخش حسگرها برای پوشش این اهداف می‌باشد. با تعداد حسگرهای زیاد پخش شده در یک محیط برای پوشش اهداف می‌توان حسگرها را طوری زمانبندی کرد که در هر لحظه تعداد محدودی از حسگرها در حالت فعال باشند و سایر حسگرها برای ذخیره انرژی به حالت مصرف انرژی پایین سوئیچ کنند. در این مقاله ما یک روش زمانبندی کارآمد انرژی برای افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از اتوماتای یادگیر ارائه می‌دهیم. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی برای بررسی صحت این کار نشان داده شده است.

کلید واژه- اتوماتای یادگیر، حداکثر مجموعه پوششی، زمانبندی حسگر، شبکه‌های حسگر

۱- مقدمه

وات است. یک مشاهده جالب این است که حالت‌های بیکار و دریافت اطلاعات ممکن است انرژی بیشتری از ارسال مصرف کنند در حالیکه در شبکه‌های حسگر قدیمی، ارسال اطلاعات ممکن است دو برابر دریافت انرژی مصرف کند. بطور کلی تکنیک‌های ذخیره انرژی در مقالات بصورت زیر طبقه بندی شده‌اند:

۱. عملیات زمانبندی، برای اجازه به گره‌ها برای ورود به حالت انرژی کمتر.

۲. انتخاب مسیری که کمترین مصرف انرژی را دارد.

۳. انتخاب گره‌های بی‌سیم براساس وضعیت انرژی آنها.

۴. کاهش مقدار داده و جلوگیری از فعالیتهای غیرمفید.

در این مقاله ما یک روش ارائه می‌دهیم که در آن هر گره با استفاده از اتوماتای یادگیر تعیین می‌کند که چه زمانی به حالت

شبکه‌های حسگر بی‌سیم کاربردهای جدیدی را در زمینه نظارت محیط و کاربردهای نظارتی نظامی فراهم می‌کنند. شبکه‌های حسگر شامل مجموعه‌ای از گره‌های کوچک می‌باشند که توانایی حس محیط اطراف با هدف معین، پردازش اطلاعات، ذخیره سازی، تبادل اطلاعات با سایر گره‌ها را دارند [۱].

یک حسگر می‌تواند در یکی از چهار حالت زیر باشد: انتقال، دریافت، بیکار، خواب. حالت بیکار زمانی است که فرستنده و گیرنده هیچ ارسال و دریافتی ندارند، حالت خواب زمانی است که گره خاموش شده است. در [۱۰] تحلیلی از مصرف انرژی برای حسگرهای زمین لرزه WINS Rockwell را نشان می‌دهد که مصرف انرژی در حالت انتقال بین ۰.۳۸ تا ۰.۷ است و برای حالت دریافت ۰.۳۶ برای حالت بیکار ۰.۳۴ و برای حالت خواب ۰.۰۳ وات است. مصرف انرژی برای کارهای حس کردنی ۰.۰۲

خواب برود و چه زمانی در حالت روشن باشد. برای طراحی چنین مکانیزمی باید به پرسش‌های زیر پاسخ دهیم [۴]:

۵. با استفاده از چه قانونی هر گره باید تعیین کند که به

حالت مصرف انرژی پایین برود؟

۶. چه زمانی گره باید این تصمیم را بگیرد؟

۷. چه مدت باید حسگر در حالت خواب بماند؟

بنابراین انتخاب صحیح حالت هر گره از طریق یک مکانیزم زمانبندی صورت می‌گیرد. این کار یک روش مهم برای کاهش مصرف انرژی شبکه، وقتی که هدف کاهش تعداد گره‌های فعال برای انجام کارهای پوشش در شبکه است. مکانیزم‌های زمانبندی همچنین گاهی اوقات نگهداری اتصال میان حسگرهای فعال را نیز هدف قرار می‌دهند.

در این مقاله ما مسئله پوشش هدف در شبکه‌های حسگر بیسیم بدین صورت مطرح می‌کنیم که هدف، افزایش طول عمر شبکه با حسگرهایی است که دارای توان محدودی از انرژی هستند که در یک ناحیه تحت نظارت پخش شده‌اند تا یک مجموعه از اهداف را پوشش دهند. ما تعداد زیادی از حسگرها را فرض کردیم که بصورت تصادفی پخش شده‌اند تا اهداف موردنظر ما را پوشش دهند. ما طول عمر شبکه حسگر را تا زمانی محاسبه می‌کنیم که هر هدف حداقل بوسیله یک حسگر در شبکه پوشش داده شود.

در این مقاله ما یک روش برای افزایش طول عمر شبکه با استفاده از اتوماتای یادگیر ارائه می‌دهیم که در آن حسگرها را طوری به مجموعه‌های پوششی تقسیم می‌کنیم که هر مجموعه بطور کامل تمامی اهداف موجود در شبکه را پوشش دهد. پس از تعیین این مجموعه‌ها آنها بترتیب عملیات پوشش هدف را انجام می‌دهند.

سازماندهی ادامه مقاله بدین صورت است. در بخش ۲ کارهای انجام شده در این زمینه، در بخش ۳ مسئله حداکثر مجموعه‌های پوششی، در بخش ۴ اتوماتای یادگیر، در بخش ۵ روش پیشنهادی و در بخش ۶ نتایج شبیه‌سازی‌ها آمده است. بخش ۷ مربوط به نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- کارهای انجام شده در این زمینه

حسگرها دارای منابع انرژی محدود و توانایی ارتباطی و پردازشی کمی هستند. تعویض باتری در بسیاری از کاربردها قابل اجرا نیست و مصرف انرژی کم یک فاکتور بحرانی نه فقط در سخت افزار و طراحی معماری، بلکه در پروتکل‌های شبکه در لایه‌های مختلف می‌باشد. بنابراین افزایش طول عمر شبکه یکی از اهداف مهم طراحی شبکه است. استفاده از تعداد کمتری از گره‌ها یکی دیگر از اهداف واضح، بخصوص در روش‌های قطعی پخش گره‌ها می‌باشد. در شبکه‌های حسگر که شامل تعداد زیادی از گره‌ها با انرژی کم، عمر کوتاه و غیر قابل اعتماد هستند یکی از اهداف اصلی بدست آوردن چرخه حیات طولانی سیستم و نیز نگهداری پوشش دریافت مناسب و قابل اعتماد است [۸].

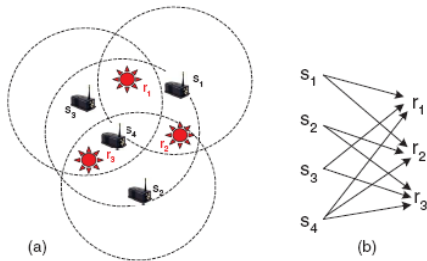
Cardei و Du [۲] مسئله پوشش هدف را بصورت تعداد محدودی از نقاط (اهداف) با مکان مشخص مدل کرده‌اند که نیازمند نظارت هستند. تعداد زیادی از حسگرها که بصورت تصادفی با یک تقریب نزدیک به هدف پخش شده‌اند و اطلاعات مانیتور شده را به یک گره پردازش مرکزی می‌فرستند. نیازمندی ما در این روش این است که هر هدف باید در تمامی زمانها بوسیله حداقل یک گره مانیتور شود، فرض شده که هر حسگر قادر است تمامی اهداف داخل برد دریافتی خودش را مانیتور کند.

یک روش برای افزایش طول عمر شبکه از طریق منابع انرژی این است که مجموعه‌ای از حسگرها را به مجموعه‌های گسسته تقسیم کنیم و هر مجموعه بصورت کامل تمامی اهداف را پوشش دهند. مجموعه‌های گسسته پی در پی فعال می‌شوند بطوریکه در هر لحظه از زمان فقط یک مجموعه فعال است. در نتیجه تمامی اهداف بوسیله هر مجموعه مانیتور می‌شوند، هدف این روش تعیین حداکثر تعداد مجموعه‌های گسسته است طوریکه فاصله زمانی فعالیتها برای هر حسگر مفروض طولانی است. با کاهش کسری از زمان هر حسگر فعال است، زمان کلی تا وقتی که توان برای همه حسگرها مصرف شود افزایش یافته و طول عمر برنامه متناسب با کسر مساوی از تعداد مجموعه‌های گسسته افزایش می‌یابد.

یک راه حل برای این کاربرد در [2] پیشنهاد شده است که مجموعه‌های گسسته را بصورت مجموعه‌های گسسته پوششی مدل می‌کند بطوریکه، هر پوشش بصورت کامل تمامی نقاط اهداف را پوشش دهد. Cardei و Du ثابت کرده اند که پوشش مجموعه‌های گسسته یک NP کامل است و هر الگوریتم تقریبی

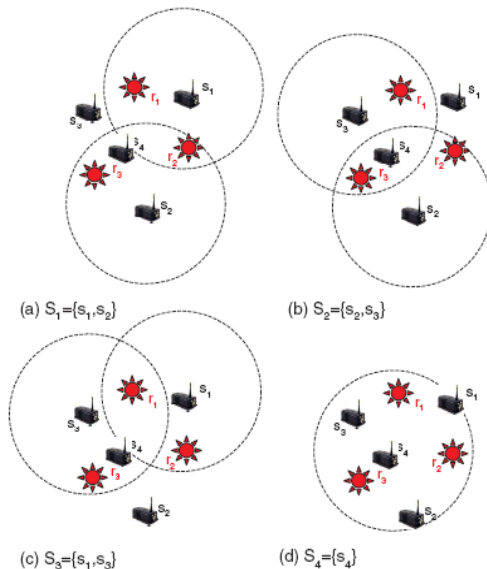
زمان-چندجمله ای یک کران پایین از ۲ دارد. مسئله پوشش مجموعه گسسته را به یک مسئله جریان بیشینه کاهش داده شده و همانند یک برنامه نویسی مرکب مدل شده است.

Potkonjak و Slijepcevic [۱۱] ناحیه را همانند مجموعه ای از میدان‌ها مدل می‌کنند که هر میدان ویژگی دارد که این است هر نقطه ضمیمه شده به آن توسط مجموعه یکسانی از حسگرها پوشش داده شده است. سپس مجموعه‌هایی از حسگرها تشکیل می‌شود که تمامی نقاط را بصورت کامل پوشش می‌دهند.



شکل ۱ یک مثالی از سه هدف و چهار حسگر برای پوشش این اهداف

شکل ۱ شبکه ای با ۴ حسگر و ۳ هدف را نشان می‌دهد. در بخش b شکل نشان داده شده است که هر کدام از حسگرها کدامیک از اهداف را پوشش می‌دهند. رابطه بین اهداف و حسگرها بصورت زیر است: $S_1 = \{r_1, r_2\}$, $S_2 = \{r_2, r_3\}$, $S_3 = \{r_1, r_3\}$, $S_4 = \{r_1, r_2, r_3\}$



شکل ۲ چهار مجموعه پوششی تشکیل شده شکل ۱

که در این صورت ۴ مجموعه پوششی $C_1 = \{s_1, s_2\}$, $C_2 = \{s_2, s_3\}$, $C_3 = \{s_1, s_3\}$, $C_4 = \{s_4\}$ را داریم در حالیکه در روشهای قبلی تعداد مجموعه‌ها ۲ تا و بصورت $C_1 = \{r_1, r_2\}$, $C_2 = \{r_3, r_4\}$ ثابت شده است که یافتن این مجموعه‌ها NP-کامل است [۲-۳].

در [۶] این مسئله برای حالتی مدل کرده‌اند که اهداف در ناحیه تحت نظارت متحرک هستند و با استفاده از اتوماتای یادگیر روشی را ارائه کرده‌اند که در آن اتوماتای یادگیر وظیفه انتخاب گره‌ها برای انجام عملیات پوشش هدف را برعهده دارد. در این روش هر گره در شبکه به یک اتوماتای یادگیر مجهز شده و اتوماتای یادگیر تعیین می‌کند که کدامیک از گره‌ها باید در حالت روش و مشغول انجام پوشش باشند و کدامیک از گره‌ها به یک حالت مصرف انرژی پایین سوئیچ کنند.

۳- مسئله حداکثر مجموعه‌های پوششی

تعریف حداکثر مجموعه‌های پوششی^۱ MSC

فرض کنید n حسگر S_1, S_2, \dots, S_n در یک منطقه برای نظارت m هدف T_1, T_2, \dots, T_m پخش شده اند. برای افزایش ذخیره‌سازی انرژی، هدف تقسیم حسگرها به یک تعداد بیشینه‌ای از مجموعه‌های گسسته است طوریکه هر مجموعه بطور کامل تمامی اهداف را پوشش دهد. فرض شده که هر حسگر بوسیله مکانش شناسایی و زمانی پوشش داده می‌شود که در داخل برد دریافتی یک حسگر قرار داشته باشد.

مسئله بصورت مجموعه‌ای از حسگرها $C = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ که هر حسگر یک زیرمجموعه‌ای از اهداف در $T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ را پوشش می‌دهد. برای مثال: $S_i = \{T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{in}\}$ $1 \leq i \leq n$ ما می‌خواهیم یک تعداد بیشینه‌ای از مجموعه‌های گسسته را تعیین کنیم بطوریکه هر مجموعه بصورت کامل تمامی اهداف را پوشش دهد. هدف از پوشش هدف در این مبحث ایجاد مجموعه‌های پوششی گسسته است طوریکه این مجموعه‌ها هر کدام بصورت

۴- اتوماتای یادگیر

¹ Maximal Set Cover

یک اتوماتای یادگیر [۹] و [۱۲]، ماشینی است که میتواند 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 ۳ مشاهده می شود.



شکل ۳ اتوماتای یادگیر تصادفی

محیط را می توان توسط سه تایی $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$ 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^2 نامیده می شود. در چنین محیطی $\beta_i(n) = 1$ بعنوان پاسخ نامطلوب^۳ یا شکست^۴ و $\beta_i(n) = 0$ بعنوان پاسخ مطلوب^۵ یا موفقیت در نظر گرفته می شوند. در محیط مدل Q^6 ، $\beta_i(n)$ شامل تعداد محدودی از مقادیر قرار گرفته در بازه $[0, 1]$ می باشد. درحالی که در محیط مدل S^7 مقادیر $\beta_i(n)$ یک متغیر تصادفی در بازه $[0, 1]$ می باشد $\beta_i(n) \in [0, 1]$.

اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت توسط پنج تایی $\{\alpha, \beta, F, G, \Phi\}$ 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 $F: \phi \times \beta \rightarrow \phi$ تولید وضعیت جدید اتوماتا و $G: \phi \rightarrow \alpha$ خروجی می باشد که وضعیت کنونی اتوماتا را به خروجی بعدی می نگارد. اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می توان توسط چهار تایی $\{\alpha, \beta, P, T\}$ 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 $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری اتوماتا می باشد. 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

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

ب - پاسخ نامطلوب از محیط

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

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

۵- روش پیشنهادی ($LAMSC^8$)

روش پیشنهادی با استفاده از اتوماتای یادگیر بدین صورت می باشد که ابتدا هر گره را در شبکه به یک اتوماتای یادگیر مجهز می کنیم. اتوماتای یادگیر به گره ها کمک می کند تا حالت مناسب را در هر دوره انتخاب کنند. هر اتوماتای یادگیر دو عمل دارد: ACTIVE و ASLEEP. احتمال انتخاب این دو عمل در

⁸ Learning Automata based Maximal Set Cover

² P-model

³ Unfavorable

⁴ Failure

⁵ Favorable

⁶ Q-Model

⁷ S-Model

ابتدای کار ۰.۵ است. ابتدا تمامی گره‌ها و شروع به دریافت اطلاعات در ناحیه دریافتی خود می‌کنند. با این کار اهداف تحت پوششی خود را تعیین می‌کنند.

عملیات شبکه را به دوره‌هایی تقسیم می‌کنیم و هر دور شامل دو فاز یادگیری و فاز نظارت اهداف می‌باشد. در فاز یادگیری براساس تعداد اهدافی که هر گره پوشش می‌دهد و با توجه به حالت انتخابی همسایه‌های آن به گره پاداش و جریمه اختصاص داده می‌شود. پس از فاز یادگیری هر گره با استفاده از اتوماتای یادگیر حالت خود را تعیین می‌کند. در فاز نظارت اهداف هر گره با توجه به پاداش و جریمه اختصاص یافته در مرحله قبل بهترین حالت خود را انتخاب می‌کند با این کار مجموعه‌هایی تشکیل می‌شود که این مجموعه‌ها می‌توانند بصورت کامل تمامی اهداف را پوشش دهند. فرض شده است که هرهدف حداقل یک توسط یک گره پوشش می‌شود. در ادامه جزئیات این دو مرحله را شرح می‌دهیم.

ابتدا هر گره یک بسته سیگنال که شامل شناسه گره و اهداف پوششی خود را به همسایگانش می‌فرستد. با این کار هر گره لیستی دارد که شامل همسایه‌ها و اهداف تحت پوششی آنها می‌باشد. برای محاسبه انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت بسته‌ها به گره‌های همسایه از روش ارائه شده در [۳۲] استفاده شده است. با شروع فاز یادگیری هر گره با استفاده از اتوماتای یادگیر یک عمل خود را انتخاب می‌کند و یک بسته شامل عمل انتخابی را به همسایه‌های خود می‌فرستد. هر یک از گره‌ها با دریافت این بسته از تمامی همسایه‌های خود بدین صورت عمل می‌کند:

اگر عمل انتخابی برابر ACTIVE باشد:

۱. اتوماتای یادگیر، اعمال انتخابی همسایه‌ها را بررسی می‌کند اگر عمل‌های انتخابی همسایه‌ها طوری باشد که اهداف تحت پوشش این گره را پوشش دهند به این عمل انتخابی توسط اتوماتای یادگیر جریمه اختصاص داده می‌شود. چون این گره بعنوان یک گره افزونه در ناحیه دریافتی می‌باشد.

۲. ولی اگر عمل‌های انتخابی همسایه‌ها طوری باشد که اهداف تحت پوشش این گره را پوشش ندهند به این عمل پاداش داده خواهد شد.

اگر عمل انتخابی برابر ASLEEP باشد.

۱. اتوماتای یادگیر، اعمال انتخابی همسایه‌ها را بررسی می‌کند اگر عمل‌های انتخابی همسایه‌ها طوری باشد

که اهداف تحت پوشش این گره را پوشش دهند به این عمل انتخابی توسط اتوماتای یادگیر پاداش اختصاص داده می‌شود چون این گره بعنوان یک گره افزونه در ناحیه دریافتی می‌باشد و می‌خواهیم برای ذخیره انرژی به این حالت سوئیچ کند.

۲. در غیر اینصورت اگر گره‌های همسایه با اعمال انتخابی خود نتوانند اهداف تحت پوشش این گره را پوشش دهند به عمل انتخابی جریمه داده می‌شود. هر گره در فاز یادگیری زمانی متوقف می‌شود که یکی از شرایط زیر برقرار باشد:

۱. احتمال یکی از اعمال اتوماتای یادگیر هر گره از مقدار آستانه بیشتر شود.

۲. تعداد انتخاب عمل توسط اتوماتای یادگیر هر گره از حداکثر تعداد انتخاب عمل توسط اتوماتای یادگیر تجاوز کند.

در فاز نظارت اهداف، گره‌هایی که احتمال انتخاب عمل خواب (ASLEEP) در آنها به مقدار آستانه موردنظر رسیدند به حالت خواب می‌روند. سایر گره‌ها در حالت فعال خواهند ماند تا عملیات نظارت اهداف را تا پایان دور موردنظر انجام دهند. در نظارت اهداف برای محاسبه زمانی که هر مجموعه باید فعال باشند از روش ارائه شده در [۱۰] استفاده شده است. انرژی مصرفی هر گره در مجموعه پوششی انتخابی براساس سطح انرژی باقیمانده هر گره و تعداد اعضای مجموعه انتخاب می‌شود و طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$ConsumedEnergy_i = \frac{1}{NumberofCoverSetMember}$$

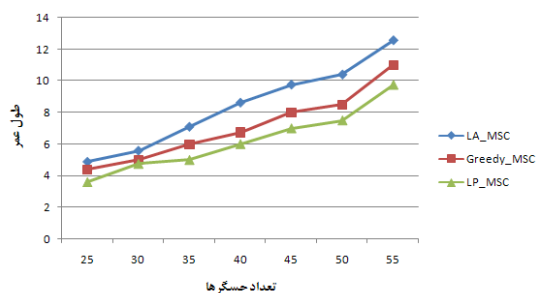
که در این رابطه $NumberofCoverSetMember$ تعداد اعضای مجموعه پوششی و $ConsumedEnergy_i$ انرژی مصرفی گره i در مجموعه پوششی می‌باشد. برای محاسبه طول عمر شبکه نیز هر بسته به میزان انرژی باقیمانده و تعداد گره‌های موجود در مجموعه پوششی انتخاب شده طول عمری را به طول عمر مجموعه پوششی اضافه می‌کند. برای محاسبه طول عمر از رابطه

$$LifeTime_i = \frac{ResidualEnergy_i}{NumberofCoverSetMember}$$

است که در آن $LifeTime_i$ طول عمری است که گره i به طول عمر شبکه اضافه می‌کند.

۶- نتایج شبیه‌سازی‌ها

برای پوشش را ۱۵ هدف در نظر گرفته شده است. برای پوشش این اهداف ما تعداد ۲۵ تا ۵۵ گره را بصورت تصادفی در ناحیه دریافتی موردنظر پخش شده تا این گره‌ها اهداف را پوشش دهند. شعاع دریافتی هریک از گره‌ها ۲۵۰ متر می‌باشد. در هر دور اجرای الگوریتم یک مجموعه از گره‌ها با استفاده از روش پیشنهادی انتخاب می‌شوند تا عملیات دریافت را انجام دهند و سایر گره‌ها برای ذخیره انرژی به حالت ASLEEP سوئیچ می‌کنند. نتایج بدست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی نشان می‌دهد که این روش همواره نتایج بهتری نسبت به روش‌های ارائه شده در این زمینه دارد. علت این امر آن است که در روش پیشنهادی اتوماتای یادگیر به گره‌ها کمک می‌کند تا تعداد گره کمتری برای انجام عملیات نظارت محیط انتخاب شود و گره‌های بیشتری فرصت فعال شدن در اجرای مراحل بعدی الگوریتم را داشته باشند.



شکل ۵ مقایسه طول عمر بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با روش‌های Greedy_MSC و LP_MSC با ۱۵ هدف

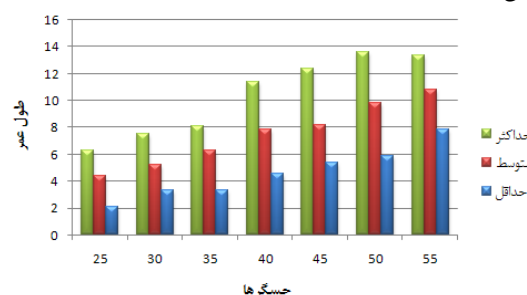
۶-۳ آزمایش سوم

هدف از این آزمایش بررسی طول عمر بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی و تاثیر آن روی طول عمر کلی شبکه حسگر است و نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی با استفاده از اتوماتای یادگیر با الگوریتم LP_MSC و الگوریتم Greedy-MSC ارائه شده در [۳] مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد اهداف مورد نظر برای پوشش ۵ هدف در نظر گرفته شده است. برای پوشش این اهداف تعداد ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵ و ۷۰ گره را بصورت تصادفی در ناحیه دریافتی موردنظر پخش شده تا این گره‌ها اهداف را پوشش دهند. شعاع دریافتی هریک از گره‌ها ۲۵۰ متر می‌باشد. حداکثر طول عمر بدست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی را در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطوریکه در شکل ۸ مشاهده می‌شود طول عمر بدست آمده از روش پیشنهادی همواره بیشتر از طول عمر بدست آمده از روش‌های مورد مقایسه می‌باشد.

برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی ما شبیه‌ساز ارائه شده در [۱۳] را تغییر دادیم و براساس نیازهای موجود کلاس‌هایی را به این شبیه‌ساز اضافه کردیم تا بتوانیم با استفاده از این کلاس‌ها اهداف مورد نظر را در ناحیه تحت نظارت شبیه‌سازی کنیم و با استفاده از این شبیه‌ساز نتایج حاصل از آزمایشات را استخراج کردیم. فرض شده است که تمامی گره‌ها دارای برد دریافتی یکسانی هستند. تعداد حسگرها بین ۲۵ تا ۵۵ متغیر می‌باشد و همچنین فرض شده که گره‌ها دارای انرژی یکسانی هستند مقدار این سطح انرژی برابر یک ژول است. تعداد اهدافی که برای آزمایش در نظر گرفته شده است بین ۵ تا ۲۰ هدف متغیر می‌باشد. ناحیه دریافتی 500m*500m در نظر گرفته شده است.

۶-۱-۱ 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 هدف بررسی شده است. حداقل، مقدار متوسط و حداکثر طول عمر بدست آمده از اجرای مکانیزم پیشنهادی با برد دریافتی ۲۵۰ متر و تعداد گره‌های ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۵ گره با تعداد اهداف ۲۰ را در شکل ۳ دیده می‌شود. برای این آزمایش از اتوماتای یادگیر LA_{RP} با پارامترهای جریمه و پاداش ۰.۱ استفاده شده است.



شکل ۴ طول عمر بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با ۲۰ هدف

۶-۲-۱ آزمایش دوم

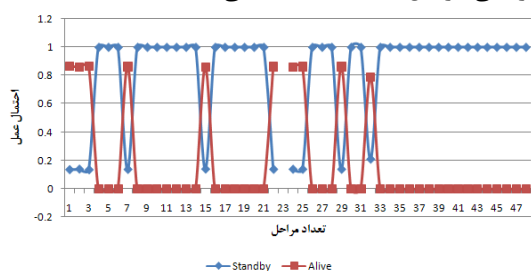
در این آزمایش متوسط طول عمر بدست آمده از روش پیشنهادی و تاثیر آن روی طول عمر کلی شبکه مورد ارزیابی قرار گرفته است و عملکرد الگوریتم پیشنهادی با استفاده از اتوماتای یادگیر با الگوریتم LP_MSC و الگوریتم Greedy-MSC ارائه شده در [۳] مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد اهداف مورد نظر

شعاع دریافتی حسگرها ۲۵۰ متر در نظر گرفته شده است. تعداد اهداف پوششی مدنظر ۱۵ می‌باشد.

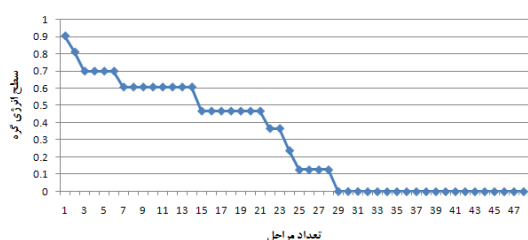
جدول ۱ مقایسه مقادیر طول بدست آمده از اجرای روش پیشنهادی

حداقل	متوسط	حداکثر	حسگرها
3.3	4.9	7.2	25
3.3	5.6	6.9	30
4.1	7.1	10.6	35
6.4	8.6	11.5	40
7.4	9.8	12.5	45
7.0	10.4	13.6	50
7.6	12.6	17.0	55

در شکل ۸ نیز احتمال انتخاب هر یک از عمل‌ها توسط اتوماتای یادگیر را در هر یک از دوره‌های اجرای الگوریتم پیشنهادی را مشاهده می‌کنید که یک گره برای نمونه در نظر گرفته شده است و احتمال هریک از اعمال انتخابی توسط اتوماتای یادگیر را در هریک از دوره‌های انتخاب مجموعه‌های پوششی برای پوشش ۱۵ هدف با شعاع دریافتی ۱۵۰ متر برای هر گره نشان داده شده است. در شکل ۹ نیز انرژی باقیمانده این گره را طی مراحل مختلف مشاهده می‌نمایید.



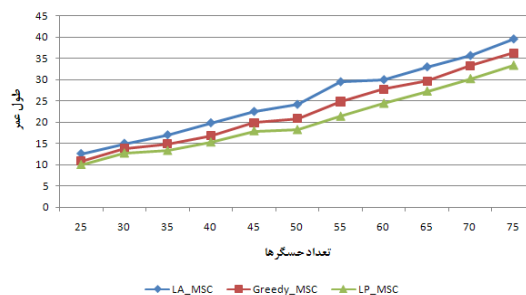
شکل ۸ همگرایی عمل‌های انتخابی توسط اتوماتای یادگیر برای یک گره



شکل ۹ انرژی باقیمانده گره در طی مراحل مختلف اجرای الگوریتم پیشنهادی

۷- نتیجه‌گیری

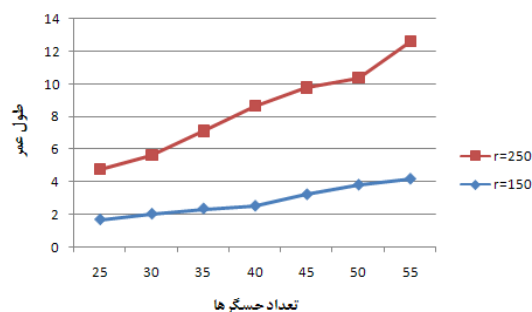
در این کار یک مکانیزم زمانبندی کارآمد انرژی برای پوشش اهداف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. در روش پیشنهادی اتوماتای یادگیر در هر گره وظیفه انتخاب گره برای



شکل ۶ مقایسه طول عمر بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی

۴-۶ آزمایش چهارم

در این آزمایش عملکرد الگوریتم پیشنهادی با استفاده از اتوماتای با بردهای دریافتی متفاوت مورد بررسی قرار می‌گیرد و تاثیر مقدار افزایش برد دریافتی روی طول عمر شبکه با هم مقایسه می‌شود. تعداد اهداف مورد نظر برای پوشش را ۱۵ هدف در نظر گرفته شده است. برای پوشش این اهداف ما تعداد ۲۵ تا ۵۵ گره را بصورت تصادفی در ناحیه دریافتی مورد نظر پخش شده تا این گره‌ها اهداف را پوشش دهند. شعاع دریافتی هریک از گره‌ها ۱۵۰ و ۲۵۰ متر می‌باشد. در هر دور اجرای الگوریتم یک مجموعه از گره‌ها با استفاده از روش پیشنهادی انتخاب می‌شوند تا عملیات دریافت را انجام دهند. نتایج بدست آمده از اجرای الگوریتم را با نتایج بدست آمده از آزمایش دوم را در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطوریکه در شکل ۷ مشاهده می‌شود طول عمر بدست آمده با برد دریافتی ۲۵۰ متر همواره نتایج بسیار بهتری نسبت به برد دریافتی ۱۵۰ متر دارد چون در هر مرحله گره‌های کمتری برای انجام عملیات پوشش هدف انتخاب می‌شود و گره‌های بیشتری فرصت دارند به حالت مصرف انرژی پایین سوئیچ کنند.



شکل ۷ مقایسه طول عمر بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی با ۱۵ هدف به شعاع دریافتی ۱۵۰ و ۲۵۰ متر

در جدول ۱ مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر طول عمر بدست آمده از اجرای روش پیشنهادی را مشاهده می‌کنید که

انجام عملیات پوشش هدف را برعهده دارد. بمنظور مقایسه نتایج بدست آمده که در آن اتوماتای یادگیر بکار گرفته شده است با استفاده از برنامه‌ای که به زبان سی‌شارپ نوشته شده عملیات شبیه‌سازی را انجام داده شد و نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی نشان از بهتر بودن روش پیشنهادی نسبت به روش‌های ارائه شده دارد.

مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," in *Proceedings of the IEEE Communication Magazine*, August 2002, pp. 102-114.
- [2] M. Cardei and D-Z.Du, "Improving Wireless Sensor Network Lifetime through Power Aware Organization," in *accepted to appear in ACM Wireless Networks*.
- [3] M. Cardei, M. T. Thai, Y. Li, and W. Wu, "Energy-Efficient Target Coverage in Wireless Sensor Networks," in *IEEE INFOCOM 2005*, 2005.
- [4] M. Cardei and J. Wu, "Energy-Efficient Coverage Problems in Wireless Ad Hoc Sensor Networks."
- [5] K. Chakrabarty, S. S. Iyengar, H. Qi, and E. Cho, "grid coverage for surveillance and target address in distributed sensor networks," in *IEEE Trans. Comput*, Dec. 2002, pp. 1448-1453.
- [6] M. Esnaashari and M. R. Meybodi, "Dynamic Point Coverage in Wireless Sensor Networks: A Learning Automata Approach," in *Springer Verlag, Proceedings of 13th International CSI Computer Conference of Iran, Kish Island, Iran, March 9-11, 2008*.
- [7] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in *HICSS 2000*.
- [8] J. Kahn, R. H. Katz, and K. Pister, "Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust," in *ACM MOBICOM Conference*, Aug 1999.
- [9] K. S. Narendra and M. A. L. Thathachar, *Learning automata: An introduction*: Prentice Hall, 1989.
- [10] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy-Aware Wireless Microsensor Networks," in *IEEE Signal Processing Magazine*, 2002, pp. 40-50.
- [11] S. Slijepcevic and M. Potkonjak, "Power Efficient Organization of Wireless Sensor Networks," in *ICC Helsinki, Finland, 2001*.
- [12] 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.
- [13] <http://www.djstein.com/projects/index.html>