زمان بندی تطبیقی در شبکه های حسگر بی سیم مبتنی بر مدل Potts

افسون آسا [1] و دکتر مجید وفایی جهان [2]
[1] دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، asa_afsoon@yahoo.com
[2] دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، VafaeiJahan@mshdiau.ac.ir

چکیده -پیشرفت های اخیر در تکنولوژی شبکه های حسگر بی سیم، سبب گسترش استفاده از این تکنولوژی در حوزه های مختلف شده است. به دلیل اهمیت فراوان این شبکه ها، تا کنون تلاش ها و تحقیقات بسیاری در جهت رفع چالش های آن انجام شده است. در این مقاله سعی شده است که برای مقابله با یکی از مهمترین چالش های این شبکه ها، یعنی محدودیت در منابع انرژی از یک الگوریتم زمان بندی تطبیقی استفاده شود. طبق این الگوریتم شبکه حسگر را یک گراف وزن دار در نظر گرفته که هر گره آن یک میدان تصادفی مارکوف است و هر گره دارای سه وضعیت فعال، غیرفعال و استندبای می باشد. در واقع شبکه با مدلی به نام مدل Potts نگاشت می شود که هر گره در هر بازه زمانی، با توجه به وضعیت خود و همسایگان و تاثیر محیط، یکی از سه وضعیت را برای خود در نظر گرفته و فعالیت خود را به طریقی با محیط تطبیق می دهد، که کمترین مقدار انرژی را مصرف کند. در مقایسه این الگوریتم و الگوریتم مشابه آن (با دو وضعیت) مشاهده می شود که در شرایط یکسان، مدل Potts نتایج بهتر و طول عمر بیشتری را برای شبکه حاصل می کند.

کلید واژه – مدل Ising، میدان تصادفی مارکوف (MRF) ، مدل Potts، شبکه های حسگر بی سیم (WSNs)

۱- مقدمه

شبکه های حسگر بی سیم (WSNs) [1]، از دستگاه هایی با منابع محدود تشکیل شده اند، این دستگاه ها که گره حسگر نامیده می شوند با یکدیگر به صورت بی سیم در ارتباط هستند. این گره ها قادر هستند که تغییر وضعیت هایی که در محدوده اثرگذاری آنها رخ می دهد تشخیص، و داده های به دست آمده را پس از پردازش به مراکز مربوطه اطلاع دهند. این ویژگی سبب استفاده از این تکنولوژی در کاربردهای بسیاری شده است، یکی از این کاربردها ردگیری هدف می باشد که به طور گسترده برای کاربردهای متفاوت، در محیط های بی خطر و نیز محیط های ناملایم مورد استفاده قرار می گیرد. اما همان طور که پیش تر بیان شد، این شبکه ها از گره هایی با منابع انرژی محدود تشکیل شده اند بنابراین یکی از مهمترین چالش های این شبکه ها محدودیت انرژی و تلاش برای افزایش طول عمر عملیاتی شبکه می باشد. برای استفاده موثر از شبکه های حسگر نیاز است تا از منابع آگاهی داشته و تا حد امکان از آن ها محافظت کنیم، علت آن این است که گره های حسگر فقط یکبار توزیع می شوند، و منابع انرژی گره های حسگر به ندرت قابل شارژ مجدد می باشند. برای کاهش مصرف انرژی شبکه، معمولا سعی می شود تا از چرخه کاری گره ها کاسته شود، اما در کاربردهایی از شبکه های حسگر بی سیم مانند کشف و ردگیری هدف، نمی توان از قانون ثابتی برای کاهش چرخه گره ها استفاده کرد علت آن این است که رخدادهای مهم به ندرت و به صورت غیرقابل پیش بینی اتفاق می افتند. حال اگر چرخه عملیاتی گره ها را کاهش دهیم ممکن است در زمانی که گره ها فعال نیستند، رخدادی اتفاق بیافتد که عدم کشف و ردگیری صحیح آن عواقب وخیم و خسارات جبران ناپذیری را در پی داشته باشد. تحقیقات زیادی در رابطه با چالش های شبکه های حسگر بی سیم و صرفه جویی در مصرف انرژی این شبکه ها به خصوص در کاربرد ردگیری هدف ارائه و الگوریتم های بسیاری طراحی شده است، یکی از این الگوریتم ها، الگوریتم A-SAS [2] می باشد. طبق این الگوریتم فعالیت گره ها طوری زمانبندی می شود تا گره های شبکه با آگاهی از منابع بتوانند در تمام لحظات هدف را شناسایی کرده و مسیر هدف را به درستی مشخص کنند. هدف اصلی این مقاله توسعه الگوریتم به گونه ای است که علاوه بر تشخیص صحیح هدف، گره ها طوری زمان بندی شوند که کمترین انرژی را مصرف کنند. در الگوریتم پیشنهادی از مدل Potts برای توسعه الگوریتم استفاده شده است. در ادامه مقاله به این صورت سازماندهی می شود، در بخش ۲، به معرفی مدل Ising و Potts پرداخته، در بخش ۳ الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته و در بخش ۴ پس از ارزیابی کارایی الگوریتم، الگوریتم را در

شرایط یکسان با مدل Ising مقایسه کرده و در بخش ۵ نتیجه گیری های لازم اتخاذ خواهد شد.

۲- معرفی مدل Ising و Potts

مدل Potts مدت زیادی است که به مطالعه رفتار سیستم های پیچیده می پردازد. این مدل می تواند بررسی کند که چگونه عناصر داخلی سیستم بر اساس برخی خصوصیات نسبت به هم واکنش نشان می دهند. رخ دادن این واکنش ها سبب ظاهر شدن ویژگی های ماکروسکوپیک سیستم خواهد شد. اثبات شده است که مدل Potts ابزاری بسیار مفید برای شبیه سازی سیستم های واقعی می باشد. این مدل در حیطه ای از مدلسازی ریاضی با عنوان مکانیک آماری مورد استفاده قرار می گیرد. در این مدل سیستم به یک گراف نگاشت داده می شود به طوری که رئوس گراف اجزاء تشکیل دهنده سیستم و یال های آن ارتباط بین این اجزاء می باشد برای بسیاری از کاربردها بهتر است که تصور کنیم که گراف دارای ساختار منظمی می باشد، این گراف منظم را در اصطلاح شبکه [1] می نامند. در راس این گراف ها هر چیزی می تواند در نظر گرفته شود، مثل اتم، انسان، مایعات و سلول و حتی گره حسگر. مدل Potts در واقع مدلسازی می کند که چگونه نزدیکترین عناصر همجوار با اسپین های متفاوت با عناصر دیگر، در شبکه در ارتباط هستند [3].

مدل فوق توسعه یافته مدل Ising می باشد. در مدل Ising برای هر رأس دو حالت در نظر گرفته می شود، اما در مدل Potts، می توان q حالت مختلف برای هر رأس در نظر گرفت. با توجه به این که عناصر می توانند اسپین های مختلفی داشته و با یکدیگر در تعامل باشند (که بستگی به مکان آنها در شبکه و اسپین خاص آنها دارد)، باید معیاری برای محاسبه انرژی کل سیستم موجود باشد. تابعی که انرژی کل را برای یک حالت سیستم محاسبه می کند، تابع همیلتونی نام دارد [4].

$$H(\omega) = -J \sum_{\{i,j\} \in E(G)} \delta_{\sigma_i \sigma_j} \qquad (۱)$$

در این تابع J انرژی بین عناصر مجاور سیستم، σ_i میزان اسپینی است که به رأس i در حالت ω اختصاص پیدا می کند، و δ در صورت یکسان بودن انرژی بین دو عنصر به لبه بین آنها مقدار یک و در صورت متفاوت بودن، به آن مقدار صفر می دهد.

$$\delta_{\sigma_i \sigma_j} = \begin{cases} 1 & \text{if } \sigma_i = \sigma_j \\ 0 & \text{if } \sigma_i \neq \sigma_j \end{cases}$$

تابع پارتیشن مدل Potts

برای یک گراف با n رأس که هر رأس آن می تواند q اسپین مختلف داشته باشد، q^n حالت وجود دارد. مدل Potts در واقع به بررسی این حالات می پردازد. تابع احتمال مدل Potts تابعی است که احتمال پیدا کردن شبکه را در یک حالت خاص محاسبه می کند. این تابع، به توزیع بولتزمن از مکانیک آماری وابسته می باشد. معادله (۲) تابع فوق را با توزیع نمایی نشان می دهد.

$$P(\boldsymbol{\omega}) = \frac{1}{Z_N} \exp(-\beta H(\boldsymbol{\omega})) \qquad (۲)$$

که:

$$Z_N = \sum \exp(-\beta H(\boldsymbol{\omega})) \qquad (۳)$$

معادله (۳) تابع پارتیشن این مدل نامیده می شود. پس:

$$\frac{exp(-\beta h(\omega))}{\sum_{\substack{all\ states \\ \varpi \in \Omega}} exp(-\beta h(\varpi))} \qquad (۴)$$

این معادله احتمال پیدا کردن یک حالت خاص ω را در کل مجموعه حالات ممکن Ω محاسبه می کند. که $\beta = 1/KT$، T دمای سیستم و $k = 1.38 \times 10^{-23}$ (joules/Kelvin) ثابت بولتزمن نام دارد. اما محاسبه تابع پارتیشن تنها برای شبکه های کوچک رام شدنی مناسب می باشد و عموما برای شبکه های بزرگ با qهای بزرگ NP-hard می باشد. ریاضیدانان به ویژگی های تابع پارتیشن مدل Potts از راه های گوناگونی دست یافته اند. یکی از این راه ها تفسیر آن به وسیله چندضلعی Tutte می باشد [5]. روش دیگر تقریب تابع با استفاده از یک تکنیک شبیه سازی با عنوان الگوریتم متروپولیس [6] می باشد.

۳- روش پیشنهادی

ایده استفاده از مدل Potts، در شبکه های حسگر بی سیم در الگوریتمی با نام A-SAS، [2] مطرح شد. این الگوریتم، یک الگوریتم توزیع شده برای شبکه های حسگر بی سیم می باشد تا امکان کشف و ردیابی رخدادهای نایاب و تصادفی را داشته باشند. اما در این الگوریتم از مدل Ising استفاده شده است،

[1] Lattice

یعنی برای گره حسگر تنها دو وضعیت فعال و غیرفعال در نظر گرفته شد.

الگوریتمی که در اینجا ارائه شده است، توسعه الگوریتم A-SAS با استفاده از مدل Potts می‌باشد، پس به جای دو وضعیت برای گره‌ها، سه وضعیت در نظر گرفته و حالت سومی مانند استندبای به آن اضافه می‌کنیم. فرض کنید گره‌های حسگر به حسگر مناسب و الگوریتم‌های مناسب برای کشف و ردیابی رخدادها مجهز باشند. وظیفه گره‌ها این است، که تا زمانیکه منابع موجود می باشد عمل کشف و ردیابی رخدادهای نایاب را انجام دهند. فرضیات مساله: (۱) شبکه تنها یک بار گسترش می یابد. (۲) گره‌های حسگر استاتیک می‌باشند. یعنی همسایگان آن ثابت و از پیش تعیین شده‌اند. (۳) گره‌های حسگر با نزدیکترین همسایگان خود از طریق ارتباطات بی سیم تک پرشی ارتباط برقرار می کنند.

$$H(\mathbf{K}) = \sum_{c \in C} V_c(\mathbf{K}) \qquad (۵)$$

شبکه حسگر به صورت یک گراف وزن دار در نظر گرفته شده است. اگر $G \triangleq (S, E, W)$ را یک گراف وزن‌دار در نظر بگیرید که $S = \{s_1, s_2, \dots s_N\}$ و $N \in \mathbb{N}$ مجموعه تمام گره‌های شبکه و E مجموعه یالهای گراف G می‌باشند که هر یال مشخص کننده فاصله بین دو گره از S می باشند، که با یک پرش با هم در ارتباطند و با لبه $(s_i, s_j) \in E$ مشخص می‌شود. و تابع W بیانگر مجموعه وزن یال‌های گراف می‌باشد و برابر با مقدار $W((s_i, s_j)) = w_{ij}$، مقادیر این تابع با فاکتورهایی مانند فاصله فیزیکی بین گره‌ها مقدار می گیرد. برای تشریح مساله نیاز داریم تا تعریف‌هایی را بیان نماییم: (۱) میدان تصادفی مارکوف: فرض کنید $\partial_i \triangleq \{s_k : (s_i, s_k) \in E\}$ یک مجموعه از همسایگان گره s_i باشد. آنگاه، یک میدان تصادفی نسبت به ∂، در صورتی که خصوصیات مارکوف را دارا باشد یعنی $P(w_i \mid \mathbf{K}_{S\setminus\{i\}}) = P(w_i \mid \mathbf{K}_{\partial i})$ میدان تصادفی مارکوف نامیده می‌شود [7]. که $K_{S\setminus\{i\}}$ و $K_{\partial i}$ به ترتیب پیکربندی های تعیین شده برای مجموعه گره $S\setminus\{i\}$ و ∂_i می باشند؛ P احتمال میدان تصادفی F است. این شرط طبق خصوصیات مارکوف تضمین می کند احتمال اینکه یک گره در یک حالت خاص قرار گیرد متأثر از همسایگان آن می‌باشد. (۲) یک مجموعه گره c که زیرمجموعه یا برابر با مجموعه S می باشد $(c \subseteq S)$ یک دسته یا گروه[۲] نامیده می‌شود.

اگر گرافی که توسط G روی c القا شده کامل باشد (یعنی هر دو گره در c، در G با یکدیگر همسایگی متقابل داشته باشند) [8]. (۳) همیلتونی یا انرژی تابع برای پیکربندی $\mathbf{K}$ به این صورت تعریف می شود که:

۳-۱- فرمول بندی مدل Potts برای یک شبکه حسگر

در این بخش مدل Potts از یک شبکه حسگر، که روی گراف G به صورت یک میدان تصادفی مارکوف معرفی شده است، فرمول بندی خواهد شد. اساس این فرمول بندی این است که رفتار هر گره حسگر کاملا وابسته به همسایگان نزدیک آن می باشد و به همان نسبت گره‌های دور در رفتار گره مورد نظر تأثیر ندارند. برای گره‌های حسگر مقادیری معرفی و پتانسیل هر دسته تعیین می شود، این پتانسیل جهت مدل سازی رفتار گره‌ها مورد استفاده قرار می گیرد. در اینجا هدف دست یافتن به فعالیت مطلوب شبکه حسگر مورد نظر با دیدگاهی احتمالی و توزیع شده می‌باشد. مجموعه حالت (یا برچسب) به صورت $\Omega = \{active, inactive, standby\}$ انتخاب می شود، تا مجموعه گسسته‌ای باشد. و میدان تصادفی F به این صورت تعریف می‌شود:

$$F_i : \Omega \rightarrow \{-1, +1, 0.1\}, \forall i = 1, 2, \dots, N$$

و پتانسیل‌های گروه[۳] (V_c) به این صورت تعریف خواهد شد:

$$V_c = \begin{cases} -B(\mu_i^\tau)\,\sigma_i & ;|C| = 1, S_i \epsilon c \\ -w_{ij}\,\sigma_i\,\hat{\sigma}_j & ;|C| = 2, c = (S_i, S_j) \\ 0 & ;|C| > 2 \end{cases} \qquad (۶)$$

اندازه c $(|c|)$ مبنای تعیین کننده این پتانسیل می‌باشد؛ μ_i^τ مقدار عددی وابسته به زمان τ از گره s_i، $\mathcal{B}(\mu_i^\tau)$ تابع تعریف شده از μ_i^τ؛ و $\hat{\sigma}_j$ مقدار مورد انتظار σ_j می‌باشد. باید توجه داشته باشیم که $V_c(\sigma_i, \sigma_j) \neq V_c(\sigma_j, \sigma_i)$ می‌باشد. که در مدل Potts، $\mathcal{B}(\mu_i^\tau)$ متناظر با میدان مغناطیسی خارجی و w_{ij} ثابت کوپلینگ [9] نامیده شده و دارای مقادیر مثبت می‌باشد. برای گروه‌های با اندازه‌ای بزرگتر از ۲ نیاز به بررسی همسایه به همسایه می‌باشد، که این حالت برای $|c|$های بزرگ بسیار دشوار خواهد بود. بنابراین، از دید پیاده سازی، گروه‌هایی که اندازه‌ای بزرگتر از ۲ دارند در فرمول‌ها مطرح نشده‌اند و مقدار پتانسیل آنها برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. تابع همیلتونی که انرژی پیکربندی $\mathbf{K}$ را نشان می‌دهد با توجه به پتانسیل V_c به این صورت نوشته می شود:

[۲] clique

[۳] clique potentials

$$H(\boldsymbol{K}) = -\sum_{|c|=1,(c=s_i)} \mathcal{B}\,(\mu_i^{\tau})\,\sigma_i - \sum_{|c|=2,(c=(s_i,s_j))} w_{ij}\sigma_i\,\hat{\sigma_j} \qquad (۷)$$

بر طبق معادله (۴) برای پیکربندی مفروض **K**، احتمال شرطی $P(w_i \mid \mathbf{K}_{S\setminus\{i\}})$ به این صورت محاسبه می شود:

$$P(w_i \mid \mathbf{K}_{S\setminus\{i\}}) = \frac{\exp\left(-\beta\sum_{c\epsilon C_i} V_c(\mathbf{K})\right)}{\sum_{w_i'\epsilon\,\Omega}\exp\left(-\beta\sum_{c\epsilon C_i} V_c(\mathbf{K}')\right)} \qquad (۸)$$

که C_i مجموعه همه گروه‌هایی است که شامل گره s_i می باشند; و $\mathbf{K}'$ پیکربندی از **K** می‌باشد که در آن گره s_i با w_i' برچسب گذاری شده است. فرض کنید $\Delta H\,(\sigma_i)$ تغییرات انرژی گره s_i با تغییر حالت آن از حالتی به حالت دیگر باشد. برای گره s_i در نظر بگیرید احتمال فعال بودن با استفاده از معادله (۸) به صورت زیر بیان می شود:

$$P_i^a = \frac{\exp(-\beta\Delta H_i)}{1+\exp(-\beta\Delta H_i)} \qquad (۹)$$

نتایج به دست آمده نشان می دهند که احتمال فعال بودن P_i^a تابعی از وضعیت فعلی گره s_i و رفتار مورد انتظار همسایگان آن می باشد. در نبود میدان مغناطیس $\mathcal{B}(\mu_i^{\tau})$ که بیانگر تأثیر خارجی برحسب تابعی از μ_i^{τ} می باشد، احتمالات گره تنها به رفتار همسایگانش وابسته می شود. سیستم شبکه حسگر یک نقطه ثابت در $P^* = 0.5$ خواهد داشت، نقطه ثابت سیستم تعیین کننده این است که هنگامی که در اطراف حسگر هیچ گونه رخدادی وجود ندارد ویژگی های عملیات سیستم به طور معمول و طبیعی می باشد ($\mu_i = 0\ \forall i$). بنابراین برای استفاده از یک شبکه حسگر، قابلیت انتخاب P^* می بایست که تعریف شده باشد. و $0 < P^* < 1$ مقداردهی می شود. اجازه دهید پتانسیل گروه به این صورت تعریف شود:

$$V_c = \begin{cases} -\left(B_0 + B(\mu_i^{\tau})\right)\sigma_i & ;|C|=1, S_i \epsilon\, c \\ -w_{ij}\,\sigma_i\,\Delta\,\hat{\sigma_j} & ;|C|=2, c=(S_i,S_j) \\ 0 & ;|C|>2 \end{cases} \qquad (۱۰)$$

$$B_0 = \frac{1}{2\beta}\ln\left(\frac{P^*}{1-P^*}\right) \qquad (۱۱)$$

و $\Delta\hat{\sigma_j}$ تغییر در اسپین مورد انتظار همسایه می باشد. برای P^* مورد نظر، $\Delta\hat{\sigma_j} = \hat{\sigma_j}|_{P_i^a} - \hat{\sigma_j}|_{p^*} = 2(P_i^a - P^*)$. بنابراین:

$$H(\boldsymbol{K}) = -\sum_{|c|=1,(c=s_i)} (\mathcal{B}_0 + 2\mathcal{B}\,(\mu_i^{\tau}))\sigma_i - \sum_{|c|=2,(c=(s_i,s_j))} 2w_{ij}\sigma_i\,(P_j^a - P^*) \qquad (۱۲)$$

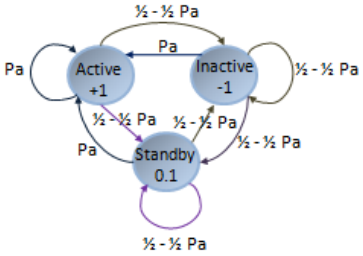
و با توجه به معادلات (۱۱) و (۱۲) داریم:

$$H(\boldsymbol{K}) = -\sum_{|c|=1,(c=s_i)} \left(\frac{1}{2\beta}ln\left(\frac{P^*}{1-P^*}\right) + 2\mathcal{B}\,(\mu_i^{\tau})\right)\sigma_i - \sum_{|c|=2,(c=(s_i,s_j))} 2w_{ij}\sigma_i\,(P_j^a - P^*) \qquad (۱۳)$$

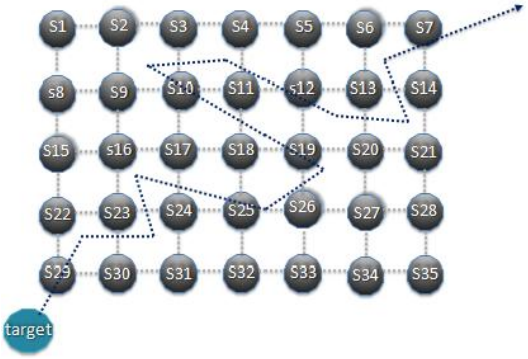
طبق این معادلات، برای گره s_i در لحظه ای که رخدادی را در اطراف خود حس می کند، با توجه به وضعیت گره s_i و همسایگانش، $\Delta H\,(\sigma_i)$ محاسبه شده و در معادله (۹) قرار داده می شود تا احتمال فعال بودن آن به دست آید. فرمول هایی که در اینجا بیان شده‌اند در اصل یک مدل ترکیبی را دنبال می کنند [10] که پتانسیل گروه و متعاقب آن احتمالات، تابعی از دو متغیر گسسته (μ_i) و پیوسته $\hat{\sigma_j}$ می باشد. برای تطبیق با محیط پویای عملیاتی، گره‌های حسگر احتمالات خود را مبتنی بر واکنش همسایگان خود به صورت بازگشتی محاسبه می کنند و بیشتر داده ها را حس (دریافت) می کنند.

۳-۲- پیاده سازی الگوریتم

برای پیاده‌سازی این الگوریتم از نرم‌افزار شبیه‌سازی OPNET استفاده شده است [11]. شبکه حسگر با یک آرایه دوبعدی از گره‌های حسگر شبیه سازی می شود(مانند [12] یا [13,14,15]). شبکه حسگر از ۳۵ (۵*۷) گره تشکیل شده که در یک شبکه (گرید) یکنواخت قرار گرفته‌اند. هر گره حداکثر دارای چهار همسایه می باشد که به صورت متعامد در مجاورت هم قرار دارند، و فاصله بین هر گره مجاور در حدود ۲,۵ واحد تنظیم شده است. نکته اینکه با نزدیکترین همسایگان متعامد، گروه‌های ۳ یا بیشتر وجود نخواهد داشت. مقدار قابل اندازه گیری μ_i اندازه گیری شده است تا شدت سیگنال مشخص شده توسط گره S_i را متعادل (نرمال) سازد. شکل ۴ نمایانگر این شبکه می باشد. هر گره از شبکه فوق، به صورت یک میدان تصادفی مارکوف و با سه وضعیت در نظر گرفته می شود، شکل ۳ یک گره از شبکه حسگر را نمایش می دهد.



شکل ۳: یک راس از گراف با سه وضع active, Inactive و standby.



شکل ۴: شبکه حسگر بی سیم.

برای هر گره حسگر ۴ مد مختلف در نظر گرفته می‌شود: (۱) فعال(دریافت و چک کردن مداوم پیام‌هایی که از همسایگان ارسال می‌شوند)، (۲) غیر فعال(هیچ دریافت و حسی ندارد)، (۳) استندبای(هیچ دریافت و حسی ندارد، در واقع این مد حالتی از مد غیرفعال است که حسگر با توان پایین کار می‌کند اما با سرعت زیادی در حد ۵ تا ۱۰ میکروثانیه به حالت فعال می رود [14])، (۴) انتقال (ارسال p^a جدید به همسایگان).

تنها در صورتی که هر دو گره در حالت فعال و در مد ارتباطی باشند، مبادله اطلاعات بین هر جفت گره حسگر امکان‌پذیر خواهد بود. فعالیت شبکه حسگر به وسیله یک به‌روزرسانی تصادفی حالت گره‌ها زمان‌بندی می‌شود، که در الگوریتم ۱ نشان داده شده است. در یک زمان‌بندی گسسته، گره S_i در هر بازه زمانی مقدار P_i^a را مبتنی بر مقدار جاری μ_i^k محاسبه می کند و در نهایت احتمالات همسایگان را شناسایی کرده و این احتمال را برای آن ها همه پخشی می‌کند (لازم به ذکر است که در هر بار همه پخشی، بسته ارسالی تنها برای همسایگانی ارسال خواهد شد که در فاصله w از گره S_i قرار دارند). گره‌ها مقدار P_i^a را تنها هنگامی که با نسبت δp^a تغییر کرده است همه پخشی می‌کند. بنابراین تغییرات ناچیز P^a همه پخشی نمی‌شود. سپس یک حالت فعال، غیرفعال و یا استندبای را در این بازه زمانی با احتمال Pi^a برای حالت فعال و $\frac{1}{2}-\frac{1}{2}P_i^a$ برای حالت غیرفعال و استندبای به خودش نسبت می‌دهد. این تصمیم محلی تصادفی، برای تطبیق دادن گره با محیط می‌باشد. هر گره برای تغییر حالت به این صورت عمل می‌کند، در صورتی که Pi^a از $\frac{1}{2}-\frac{1}{2}P_i^a$ بزرگتر باشد گره S_i حالت فعال را به خودش نسبت می‌دهد و در غیر این صورت، به دلیل اینکه احتمال حالات غیرفعال و استندبای با هم برابراند، یک عدد تصادفی ایجاد کرده، در صورتی که عدد تولید شده از P^* بزرگتر باشد گره به حالت استندبای رفته در غیر این صورت غیرفعال می‌شود.

Algorithm 1: Adaptive Sensor Activity Scheduling (A-SAS)

```
1. While (1) do
2. {
3.   Generate a random number r_t ∈ [0 , 1];
4.   If r_t <= P_i^a then
5.     { Sense for T_act and Compute μ_i ;
6.       Listen to any broadcasting neighbor S_j for their new P_j^a ;
7.       If μ_i or any P_j^a has changed then
8.         {
9.           Compute new P_i^a ;
10.                If P_i^a changes by δp^a then
11.                  Broadcast P_i^a for neighbors till T_exp
12.              }
13.            }
14.          Else
15.            Go to standby for T_standby
16.        }
```

الگوریتم ۱: A-SAS با مدل Potts.

فرض کنید، شبکه شکل ۴ در منطقه‌ای مرزی برای ردیابی نفوذ دشمن تعبیه شده و هدفی قصد دارد تا از مسیری که در این شکل مشخص شده عبور کند. گره‌های حسگر در طی مسیر، هدف مورد نظر را شناسایی کرده و نتایج حاصل از تشخیص‌های خود را به سینک داده اعلام می‌کنند. در الگوریتم پیشنهادی تعامل همسایگی، یک گره حسگر را قادر خواهد کرد تا فعالیت خود را برای یک رخدادی که در مجاورت آن رخ می‌دهد زمان بندی کند. برای نشان دادن تاثیر همسایگی، رخداد طوری شبیه سازی شده است که تنها توسط یک گره قابل تشخیص باشد. مطابق شکل ۴، در لحظات ابتدایی، اولین و تنها گرهی که هدف را تشخیص می‌دهد S_{29} می‌باشد، این وضعیت با μ_{29}=1 برای S_{29} و μ_i=0 برای همه گره‌های S_i که i≠29، در محاسبه P^a نشان داده خواهد شد. پارامترهای دیگر P^*، β، w و B_1 به ترتیب با مقادیر ۰,۳ و ۰,۲ و ۲,۵ و ۱۰ مقداردهی خواهند شد. در این الگوریتم برای تغییر در احتمال فعالیت جهت همه‌پخشی به همسایگان، δp^a برابر ۰,۰۲ در نظر گرفته شده. T_{act}، T_{inact} و $T_{standby}$ که در الگوریتم ۱ به ترتیب مدت زمان وضعیت فعال، غیرفعال یا استندبای بودن می‌باشند، در اینجا مقادیر ۲، ۳ و ۲ ثانیه برای آنها در نظرگرفته شده است.

۴- ارزیابی کارایی الگوریتم

برای ارزیابی کارایی الگوریتم فوق، هردو الگوریتم را شبیه سازی کرده و نتایج را ثبت می کنیم. جدول ۱ طول عمر شبکه را (بر حسب ثانیه) در مدل Potts و Ising نشان می دهد.

۱: طول عمر شبکه در مدل Potts و Ising .

عنوان الگوریتم	Potts	Ising
طول عمر شبکه(sec)، $w = 1.5$	۴۹,۰۴۱۵۳۶	۳۸,۲۴۱۰۲۴
طول عمر شبکه(sec)، $w = 2.5$	۳۱,۷۷۱۵۳۶	۲۱,۷۱۱۵۳۶
طول عمر شبکه(sec)، $w = 3$	۱۶,۴۳۱۵۳۶	۱۴,۶۹۱۰۲۴

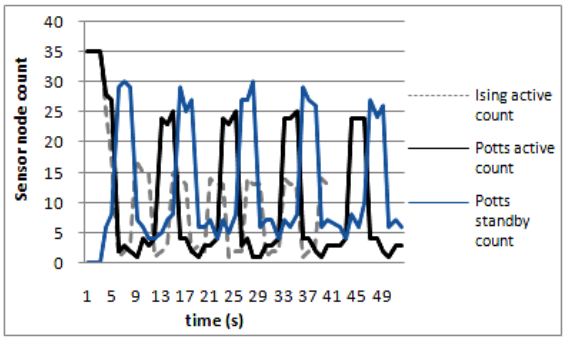
برطبق نتایج به دست آمده، مشاهده می شود که مدل Potts در شرایط یکسان طول عمر بیشتری نسبت به مدل Ising دارد. در نمودارهای ارائه شده سعی شده است، تعداد گره های فعال و گره هایی که در وضعیت استندبای قرار دارند در هر لحظه از شبیه سازی نشان داده شده است.

۵- نتیجه

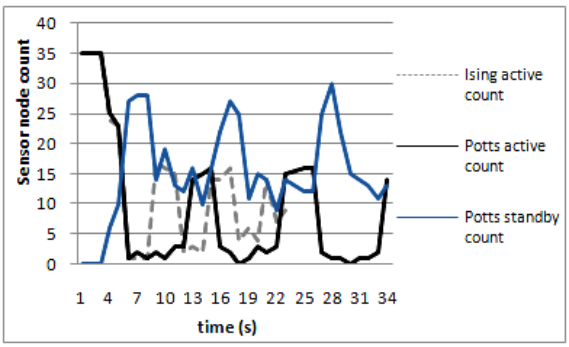
در این مقاله از مدل Potts برای افزایش طول عمر شبکه حسگر بی سیم و بهبود مسیریابی هدف استفاده شده است، مشاهده می شود که هر دو مدل Potts و Ising در شرایط یکسان عملکرد صحیحی را دارا می باشند و مسیر هدف را به درستی تشخیص می دهند اما در مدل Potts به دلیل وجود حالت استندبای، هنگامی که هیچگونه رخدادی در اطراف گره های حسگر وجود ندارد به جای فعال بودن، می توانند به حالت استندبای بروند و در صورت وقوع رخداد به جای صرف انرژی زیاد، انرژی کمی را مصرف کرده و بدین صورت در مصرف انرژی صرفه جویی کنند. در نمودارها مشاهده می شود که در بیشتر مواقع تعداد گره های استندبای نسبت به گره های فعال بیشتر می باشند، اما با افزایش w، به دلیل افزایش ارتباطات در هر دو مدل از طول عمر شبکه کاسته می شود.

مراجع

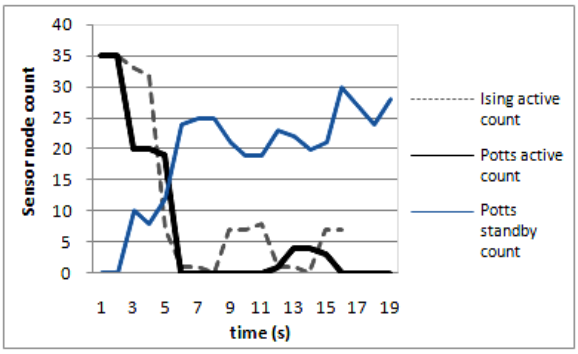
[1] . I. F. Akyildiz, et al., Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks, Vol. 38, pp. 393–422, 2002.
[2]. Abhishek Srivastav, Asok Ray, and Shashi Phoha, "Adaptive Sensor Activity Scheduling in Distributed Sensor Networks: A Statistical Mechanics Approach," International Journal of Distributed Sensor Networks, 5: pp. 242–261, 2009.
[3] . Laura Beaudin, "A Review of the Potts Model: Its Connection to the Tutte Polynomial and its Application to Complex Experiments" Saint Michael's College, 2007.
[4] .Chang, Shu-Chiuan; Shrock, Robert. "Exact partition function for the Potts model with next-nearest neighbor couplings on arbitrary-length ladders." International Journal of Modern Physics B, Vol. 15, No. 5, pp. 443-478, 2001.
[5]. Welsh, D. J. A.; Merino, C. "The Potts model and the Tutte polynomial. Probabilistic techniques in equilibrium and nonequilibrium statistical physics." J. Math. Phys. Vol. 41, No. 3, pp. 1127-1152, 2000.
[6]. Jorgensen, William L. "Perspective on 'Equation of state calculations by fast computing machines.'" Theoretical Chemistry Accounts. Vol. 103, pp. 225-227. July, 1999.
[7]. G. R. Grimmett, ''A theoremabout random fields,'' Bull. London Math. Soc., vol. 5, no. 1, pp. 81–84, 1973. [Online]. Available: http://blms.oxfordjournals.org.
[8] . D. B. West, Introduction to Graph Theory, 2nd ed. Prentice Hall, pp. 1-100, 2000.
[9]. K. Huang, Statistical Mechanics, 2nd ed. New York, NY, USA: John Wiley, 1987.
[10]. P. Bouthemy, C. Hardouin, G. Piriou, and J. Yao, ''Mixed-state auto-models and motion texture modeling,'' J. Math. Imaging Vis., vol. 25, no. 3, pp. 387–402, 2006.
[11]. Jinhua Guo, Weidong Xiang, and Shengquan, "Reinforce Networking Theory with OPNET Simulation", Journal of Information Technology Education, Wang University of Michigan-Dearborn, MI, USA, . Vol. 6, pp. 215-226, 2007.
[12]. J. Polastre, R. Szewczyk, and D. E. Culler, ''Telos: enabling ultra-low power wireless research.'' in IPSN, pp. 364–369, 2005.
[13]. J. L. Hill and D. E. Culler, ''Mica: A wireless platform for deeply embedded networks,'' IEEE Micro, vol. 22, no. 6, pp. 12–24, 2014.
[14].http://www.digikey.com/us/en/techzone/sensors/resources/articles/low-power-wireless-sensor-networks.html.
[15] M.Vafaei Jahan, M.R. Akbarzadeh Totonchi, "From Local Search to Global Conclusions: Migrating Spin Glass-based Distributed Portfolio Selection", Journal of IEEE Transaction on Evolutionary Computation, No. 14, Issue 4, pp:591-601, August 2010.
[16] M. Vafaei Jahan, M.R. Akbarzadeh Totonchi, "Extremal Optimization vs. Learning Automata: Strategies for Spin Selection in Portfolio Selection Problems" Applied Soft Computing, Volume 12, Issue 10, pp:3276–3284, October 2012.



نمودار ۱: تعداد گره های فعال و استندبای در مدل Potts و تعداد گره های فعال در مدل Ising با $w = 1.5$، در واحد زمان.



نمودار ۲: تعداد گره های فعال و استندبای در مدل Potts و تعداد گره های فعال در مدل Ising با w = 2.5، در واحد زمان.



نمودار ۳: تعداد گره های فعال و استندبای در مدل Potts و تعداد گره های فعال در مدل Ising با w = 3، در واحد زمان.