

# ارائه یک الگوریتم مسیریابی توزیع شده آگاه از انرژی برای شبکه های حسگر بیسیم

سید مهدی جامعی<sup>۱</sup>، کریم فائز<sup>۲</sup>، محمد رضا میبدی<sup>۳</sup>

## چکیده

شبکه های حسگر بی سیم از حسگرهای کوچک با قابلیت محاسباتی و ارتباطاتی تشکیل شده‌اند. اینگونه شبکه‌ها به دلیل کاربرد وسیع در زمینه‌های مختلف بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. نمونه‌ای از این کاربردها عبارتند از نظارت بر محل سکونت و همچنین نظارت بر انفجار آتش‌فشان. تا کنون تحقیقات زیادی در زمینه مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی سیم انجام شده است. در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی بر پایه اتوماتا ی یادگیر برای شبکه‌های حسگر ارائه شده است. اهداف اصلی این روش، کاهش سربار ناشی از عملیات پخش همگانی، مصرف عادلانه و متوازن انرژی و افزایش طول عمر شبکه است. در شبیه سازی های انجام شده پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های مسیریابی EBRP و Directed Diffusion مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که در روش پیشنهادی سربار کاهش یافته و همچرین بداخل مصرف متوازن انرژی، طول عمر شبکه افزایش می‌ظاید.

## کلمات کلیدی

شبکه‌های حسگر بی سیم، پروتکل مسیریابی، اتوماتا یادگیر، طول عمر شبکه.

## Proposing a Distributed Energy-Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks

Seyed Mahdi Jamei; Karim Faez; Mohamad Reza Meybodi

### ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (WSNs) consist of small sensors with computing and Communications capabilities. Development of WSN is highly demanded since these networks promise a wide range of potential applications such as habitat monitoring and monitor volcanic eruption. There has been a considerable amount of research in developing routing in WSN. In this paper, we proposed a new routing protocol based on Learning Automata. This protocol focuses on fairness of energy consumption and reduction of flooding overhead to increase the network lifetime. We have simulated our protocol and compared its functionality to EBRP and Directed Diffusion routing protocols. Simulation results show that our protocol achieves fairness of energy consumption, reduction of flooding overhead and load balancing across the network.

### KEYWORDS

Wireless sensor network (WSN), Routing protocol, Learning Automata, Network lifetime.

<sup>۱</sup> عضو هیات علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، [Jamei@Shahryariau.ac.ir](mailto:Jamei@Shahryariau.ac.ir)

<sup>۲</sup> عضو هیات علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر، [Kfaez@aut.ac.ir](mailto:Kfaez@aut.ac.ir)

<sup>۳</sup> عضو هیات علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، [mmeybodi@aut.ac.ir](mailto:mmeybodi@aut.ac.ir)

## ۱ مقدمه

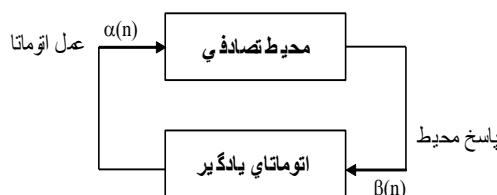
شبکه های حسگر شبکه هایی هستند که از تعداد زیادی عنصر بنام گره حسگر تشکیل شده اند. هر یک از این گره های حسگر، شامل اجزاء مختلفی می باشند از قبیل واحد حسگر، واحد پردازشگر، واحد ارتباطی و واحد انرژی. در اینگونه شبکه ها معمولاً گره ای بنام گره مرکزی وجود دارد و هر گره حسگر داده های جمع آوری شده را بطور مستقیم یا از طریق چندین گره دیگر برای این گره مرکزی ارسال می کند. محدودیت های زیادی در این نوع شبکه ها وجود دارد که هنگام طراحی چنین شبکه هایی باید به دقت مد نظر قرار گیرند. برخی از این محدودیت ها عبارتند از: انرژی محدود در گرهها، پهنای باند محدود، عدم وجود ساخت مشخص در شبکه، کیفیت پایین ارتباطات، قدرت محاسبات محدود در گره ها و پویایی شبکه. بدلیل بالا بودن تعداد گره ها و امکان پذیر نبودن جایگزینی باطری آنها پس از استقرار، کارایی انرژی باید بعنوان حیاتی ترین معیار همیشه مد نظر قرار گیرد. از آنجا که پروتکل های مسیریابی، کارایی شبکه را تا حد زیادی تحت تاثیر قرار می دهد، نیاز به پروتکل های مسیریابی کارا از نظر انرژی برای افزایش طول عمر شبکه به خوبی حس می شود. به دلیل ماهیت پویای شبکه های حسگر بیسیم، این پروتکل ها باید قادر باشند تا به خوبی از عهده این پویایی برآیند تا هر گره بتواند به آسانی به شبکه ملحق شود و یا از آن جدا شود. در این مقاله، یک الگوریتم مسیریابی توزیع شده آگاه از انرژی برای شبکه های حسگر ارائه می گردد که در آن از اتوماتای یادگیر برای رسیدن به اهداف فوق استفاده شده است. ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. بخش دوم به بررسی کارهای انجام شده در این زمینه می پردازد. در بخش سوم اتوماتای یادگیر بطور اختصار معرفی می شود. در بخش چهارم روش پیشنهادی ارائه می گردد. نتایج شبیه سازی های انجام گرفته در بخش پنجم آمده است و بخش ششم نتیجه گیری است.

## ۲ کارهای گذشته

تا کنون الگوریتم های مسیریابی متعددی برای شبکه های حسگر معرفی شده اند. پروتکلهای مسیریابی در شبکه های حسگر را از نظر ساختار شبکه میتوان به سه دسته اصلی مسطح ۱، سلسه مراتبی ۲ و مبتنی بر مکان ۳ تقسیم نمود [۱]. در پروتکلهای مسیریابی مسطح، مفهوم گره رهبر وجود ندارد و تمامی گرهها یکسان میباشند. برخی از این روشها عبارتند از: GEAR [۲]، SPIN [۳]، Directed Diffusion [۴]، EBRP [۵]، GBR [۶]، EAR [۷]، GAF [۸]، SPEED [۹]، MECN [۱۰]، TEEN [۱۱]، LEACH [۱۲]، MECN [۱۳] و HPAR [۱۴]. در پروتکلهای مسیریابی بر اساس اطلاعات مکانی، از اطلاعات مکانی برای فرستادن داده ها به مناطق مورد نظر استفاده می شود. نمونه هایی از این روشها عبارتند از: SPEED، GEAR، GAF، MECN. در پروتکلهای مسیریابی را بسته به اینکه فرستنده چگونه یک مسیر به سمت گیرنده پیدا میکند به سه دسته Reactive و proactive تقسیم میکنند [۱۵]. در پروتکلهای proactive تمام مسیرها قبل از اینکه واقعاً مورد نیاز باشند محاسبه می شوند در حالیکه در پروتکلهای Reactive فقط در هنگام نیاز محاسبه می شوند. پروتکلهای Hybrid ترکیبی از دو دسته قبلی است. در بسیاری از پروتکل های مطرح شده، سربار ناشی از عملیات پخش همگانی و عدم توزیع یکنواخت ترافیک در شبکه، باعث افت کارایی و کاهش طول عمر آن می گردد. در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی توزیع شده و آگاه از انرژی ارائه می گردد که در آن از اتوماتای یادگیر برای حل مشکلات فوق استفاده شده است.

## ۳ اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر، 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 حد اکثر برساند. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل (۱) مشاهده می شود.



شکل (۱): ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را میتوان توسط سه تایی  $E = \{\alpha, \beta, c\}$  نشان داد که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودیها،  $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$  مجموعه احتمالهای جریمه میباشد. هرگاه  $\beta$  مجموعه دو عضوی باشد، محیط از نوع P میباشد. در  $\beta(n).Q$  چنین محیطی  $\beta_i = \beta_i$  به عنوان جریمه و  $\beta_i = \beta_i$  به عنوان پاداش در نظر گرفته میشود. در محیط از نوع  $i$  احتمال میتواند به طور گسسته یک مقدار از مقادیر محدود در فاصله  $[0, 1]$  و در محیط از نوع  $S$  متغیر تصادفی در فاصله  $[0, 1]$  است. اینکه عمل  $a$  نتیجه نامطلوب داشته باشد میباشد. در محیط ایستا، مقادیر  $c_i$  بدون تغییر میمانند، حال آنکه در محیط غیر ایستا این مقادیر در طی زمان تغییر میکنند. اتوماتای یادگیر به دو گروه اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت و اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر تقسیم میشوند. یک اتوماتای با ساختار ثابت توسط پنج تایی  $\langle a, \varphi, \beta, F, G \rangle$  نشان داده می شود که  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عمل هایی هستند که انتخاب از بین آن ها باید صورت گیرد.  $\Phi_s = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s\}$  مجموعه حالات درونی هستند.  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$  مجموعه ورودی است که یک به معنی جریمه و صفر به معنی جایزه است.  $F: \Phi \times \beta \rightarrow \Phi$ : تابع گذار حالت است. یعنی مشخص می کند با رسیدن یک ورودی اتوماتا به چه حالتی خواهد رفت.  $\alpha \rightarrow G$ : تابع خروجی است و مشخص کننده عملی است که در حالت  $\beta$  توسط اتوماتا انتخاب می شود. اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را میتوان توسط چهارتایی  $\{\alpha, \beta, P, T\}$  نشان داد که  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عملهای اتوماتا،  $P(n+1) = T[\alpha(n)]$ ,  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$  مجموعه ورودیهای اتوماتا،  $P_i = P_1, P_2, \dots, P_r$  بردار احتمال انتخاب هریک از عملها و  $P(n)$  الگوریتم یادگیری می باشد. نحوه فعالیت این اتوماتا به صورت زیر است. اتوماتا یک عمل از مجموعه عملهای خود را بصورت تصادفی و مطابق بردارهای احتمال  $P_i$  انتخاب کرده و بر محیط اعمال میکند. اگر عمل انتخاب شده  $\alpha_i$  باشد، پس از دریافت پاسخ محیط، اتوماتا بردار احتمال عملهای خود را در صورت دریافت پاسخ مطلوب بر اساس رابطه  $(1)$  و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب طبق رابطه  $(2)$  بروز میکند.

رابطه (۱)- پاسخ نامطلوب

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) = (1-a)p_j(n) \quad \forall j \neq i$$

رابطه (۲)- پاسخ مطلوب

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) = (b/r-1) + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \neq i$$

در روابط فوق،  $a$  پارامتر پاداش و  $b$  پارامتر جریمه می باشند. با توجه به مقادیر  $a$  و  $b$  سه حالت زیر را می توان در نظر گرفت. زمانیکه  $a$  و  $b$  با هم برابر باشند، الگوریتم را  $L_{RP}^*$  می نامیم، زمانیکه  $b$  از  $a$  خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را  $L_{RP}^5$  می نامیم و زمانیکه  $b$  مساوی صفر باشد الگوریتم را  $L_{RI}^*$  مینامیم [۱۶].

با توجه به وضعیت پویای شبکه و تغییر در وضعیت انرژی گرهها، در این مقاله از اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر استفاده شده است.

## ۴ پروتکل پیشنهادی

روش پیشنهادی از دو معیار انرژی باقیمانده در گره ها و نزدیکی به گره مرکزی برای انتخاب گره بعدی در عملیات مسیریابی استفاده می کند. این روش با کاهش سربار ناشی از عملات پخش همگانی و همچنین توزیع یکنواخت بار روی گره ها بر حسب انرژی باقیمانده آن ها، به مصرف بهینه انرژی و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه دست می یابد. روش پیشنهادی جزو روش های مسیریابی مسطح و Reactive است، چون هرگاه گره ای داده ای برای ارسال داشته باشد با استفاده از اطلاعات محلی اش گره بعدی را برای ارسال داده به آن انتخاب می کند و هیچ مسیر از پیش تعیین شده ای وجود ندارد. این روش، یک روش توزیع شده و مقیاس پذیر است که در آن، هر گره به یک اتوماتای یادگیر مجهز است و در آن گره ها ساکن فرض می شوند. این روش از دو فاز اصلی تشکیل شده است:

- فاز شناسایی
- فاز ارسال داده ها.

**فاز شناسایی:** در این فاز هر گره اقدام به شناسایی همسایگان خود کرده و اطلاعاتی در مورد انرژی باقیمانده در آن ها و فاصله آنها از گره مرکزی بدست می آورد. البته به دلیل ایستا فرض نمودن شبکه، عمل بدست آوردن فاصله گره های همسایه از گره مرکزی فقط یکبار انجام می شود. پس از اینکه هر گره این اطلاعات را در مورد همسایگانش کسب کرد، میانگین انرژی باقیمانده گره های همسایه ( $E_{avg}$ ) و میانگین فاصله گره های همسایه از گره مرکزی ( $D_{avg}$ ) را محاسبه می کند تا در فاز بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

فاز ارسال داده ها": در این فاز هرگاه گره ای بخواهد داده ای را به گره مرکزی ارسال کند، باید یکی از گره های همسایه خود را برای ارسال داده به آن انتخاب کند. این کار بوسیله اتماتای یادگیری انجام میشود که هر گره به آن مجهز شده است. اتماتای یادگیر هر گره به تعداد گره های همسایه آن که در فاز قبل شناسایی شد دارای عمل مبایشد. انتخاب هر عمل به معنی انتخاب گره همسایه متناظر با آن عمل است. در ابتدای کار بردار احتمال انتخاب عملهای اتماتای یادگیر طبق رابطه زیر مقداردهی اولیه شده است:

$$\forall i \quad i \leq n \quad p_i = 1/n \quad \text{ر ابطه}$$

در این رابطه،  $n$  تعداد همسایه های گره مورد نظر و  $i$  شماره عمل اتماتای یادگیر است. همانطور که این فرمول نشان می دهد در ابتدای احتمال انتخاب هر یک از گره ها یکسان است ولی با گذشت زمان این بردار احتمالات تغییر کرده و بروز رسانی می شوند. به این صورت که بعد از اینکه یک گره همسایه برای ارسال داده به آن انتخاب شد، انرژی باقیمانده در آن ( $E_{avg}$ ) با  $E_{avg}$  و همچنین فاصله آن از گره مرکزی ( $D_{avg}$ ) با مقایسه شده و سپس با توجه به چهار حالت زیر، عمل انتخاب شده طبق رابطه (۱) به اندازه  $a_1$  جایزه می گیرد و یا طبق رابطه (۲) به اندازه  $a_2$  تنبیه می شود:

حالت اول: اگر  $D_{avg} <= E_{avg}$  و  $E_{avg} <= D_{avg}$  در اینصورت، عمل انتخاب شده به اندازه  $a_1$  جایزه می گیرد.

حالت دوم: اگر  $D_{avg} > E_{avg}$  و  $E_{avg} > D_{avg}$  در اینصورت، عمل انتخاب شده به اندازه  $a_2$  جایزه می گیرد.

حالت سوم: اگر  $D_{avg} < E_{avg}$  و  $E_{avg} < D_{avg}$  در اینصورت، عمل انتخاب شده به اندازه  $a_3$  جایزه می گیرد.

حالت چهارم: اگر  $D_{avg} > E_{avg}$  و  $E_{avg} < D_{avg}$  در اینصورت، عمل انتخاب شده به اندازه  $b$  تنبیه می شود.

در این روش برای اینکه به دو فاکتور انرژی باقیمانده در گره ها و نزدیکی آن ها به گره مرکزی بصورت همزمان توجه زیادی شود، باید مقدار  $a_1$  بیشتر از  $a_2$  و  $a_3$  انتخاب شود. در نتیجه گره مورد نظر برای ارسال داده، گره ای را از بین گره های همسایه که هم انرژی بالایی دارد و هم به گره مرکزی نزدیک تر است با احتمال بالاتری انتخاب می کند و از میزان مشارکت گره های کم انرژی نیز کاسته می شود. این امر باعث می شود تا ترافیک روی هر گره متناسب با انرژی باقیمانده آن باشد و به توزیع یکنواخت انرژی روی شبکه دست یابیم. در صورتیکه هیچیک از دو معیار نزدیکی به گره مرکزی و بیشتر بودن انرژی گره انتخاب شده از میانگین انرژی گره های همسایه برقرار نباشد، عمل مربوط به انتخاب آن گره طبق حالت چهارم تنبیه می شود. پس از گذشت مدت زمان خاصی، فاز اول باید مجددا تکرار شود تا هر گره، اطلاعاتی از قبیل متوسط انرژی باقیمانده در همسایگانش را بروز رسانی کند.

## ۵- نتایج شبیه سازی

در این مقاله برای انجام شبیه سازی از شبیه ساز J-sim استفاده شده است. J-sim یک محیط شبیه سازی مبتنی بر مولفه و مقیاس پذیر است که برای شبیه سازی شبکه های بی سیم مورد استفاده قرار می گیرد [۱۷][۱۸]. در این شبیه سازی، روش پیشنهادی با پروتکل های مسیریابی Directed Diffusion و EBRP مقایسه شده است. معیارهای مصرف عادلانه انرژی، سربار ناشی از پخش همگانی، انرژی باقیمانده در گره ها و طول عمر شبکه برای انجام این مقایسه در نظر گرفته شده اند. برای این منظور یک شبکه حاوی  $N$  گره در نظر گرفته ایم که بصورت یکنواخت و تصادفی در محیطی به مساحت  $100 * 100$  متر مربع توزیع شده اند. در این شبیه سازی از پروتکل ارتباطی IEEE ۸۰۲.۱۱ استفاده شده است و گرههای حسگر و همچنین گره مرکزی در مدت شبیه سازی ساکن فرض می شوند. شعاع حس گرهها در کل زمان شبیه سازی ثابت و برابر  $10$  متر می باشد. انرژی اولیه تمام گرهها یکسان و برابر  $1$  ژول و انرژی لازم جهت ارسال و دریافت اطلاعات  $0.003$  ژول و اندازه هر بسته  $53$  بایت در نظر گرفته شده است. همچنین در شبیه سازی از آتماتای یادگیر با پارامترهای پاداش و جریمه مختلف استفاده شده است. در انجام آزمایشات برای شبیه سازی روش پیشنهادی، هر  $10$  ثانیه فاز اول تکرار شده است تا اطلاعات مربوط به همسایه های هر گره دریافت شود.

در آزمایش اول شبکه ای با تعداد  $N=100$  گره در نظر گرفته شده است و طول عمر شبکه را با توجه به مقادیر مختلف برای پارامترهای پاداش و جریمه اتماتای یادگیر اندازه گیری کرده ایم. برخی از این مقادیر در جدول (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در حالتی که به هر دو معیار انرژی باقیمانده در گره ها و نزدیکی آن ها به گره مرکزی بصورت همزمان توجه بیشتری شود طول عمر شبکه بیشتر خواهد بود.

جدول (۱): طول عمر شبکه با توجه به مقادیر مختلف پاداش و جریمه

$a_1$	$a_2$	$a_3$	B	Lifetime (sec)
۰.۱	۰.۲	۰.۲	۰.۱	۶۵۰
۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۸۰۰
۰.۲	۰.۱	۰.۱۵	۰.۲	۱۰۵۰
۰.۲	۰.۱۵	۰.۱	۰.۲	۱۱۰۰
۰.۲	۰.۱	۰.۱	۰.۲	۱۲۰۰

با توجه به این آزمایش، در ادامه برای انجام دیگر آزمایشات، مقادیر پاداش و جریمه بصورت زیر در نظر گرفته شده است:  
 $a_1=0.2$ ,  $a_2=0.1$ ,  $a_3=0.1$  و  $b=0.2$ .

در آزمایش دوم نیز تعداد گره ها را ثابت و برابر  $N=100$  در نظر گرفت ایم و مصرف عادلانه انرژی در روش پیشنهادی را با روش EBRP و Directed Diffusion در طول زمان مقایسه نموده ایم. مصرف عادلانه انرژی از طریق فاکتور  $F$  که در رابطه (۴) نشان داده شده اندازه گیری شده است و دامنه آن بین صفر و یک است و مقدار آن هر چقدر به یک نزدیکتر باشد، مصرف انرژی در بین گره ها عادلانه تر خواهد بود.

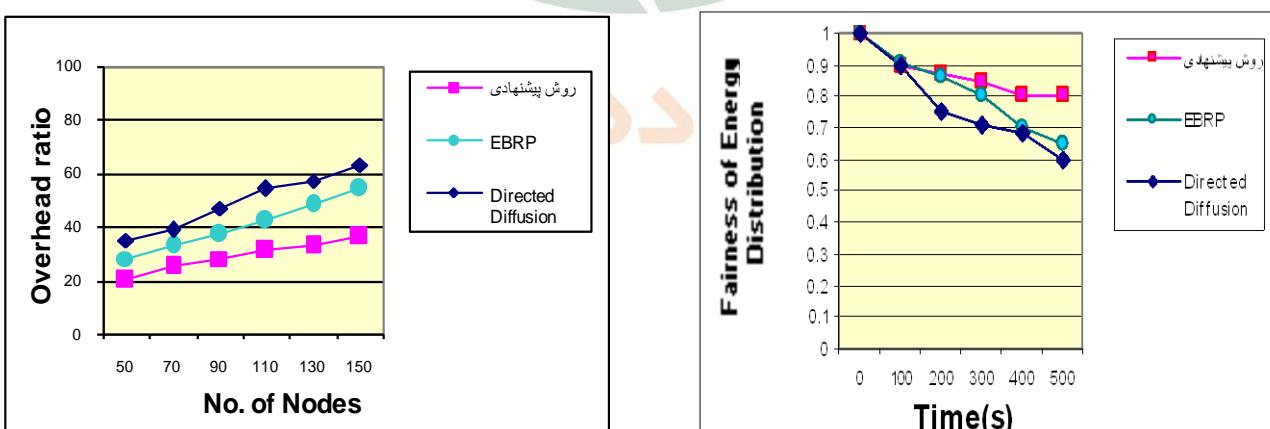
$$F = \left( \sum_{i=1}^n (E_i) \right)^2 \div (n \times \sum_{i=1}^n (E_i)^2) \quad \text{رابطه (۴)}$$

نتیجه این مقایسه در نمودار (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در روش پیشنهادی با گذشت زمان، اختلاف انرژی گره ها نسبت به دو روش دیگر کمتر است و یکنواختی در انرژی گره ها نسبتاً باقی مانده است. دلیل این امر این است که اتوماتاتی یادگیر تمایل بیشتری به انتخاب گره های با انرژی بالاتر دارد و ترافیک روی گره های با انرژی کمتر کاهش می یابد.

در آزمایش سوم، نرخ سربار ناشی از عملیات پخش بسته های کنترلی، در روش پیشنهادی با پروتکل EBRP و Directed Diffusion با در نظر گرفتن تعداد گره های مختلف مقایسه شده است. در این آزمایش برای تعیین نرخ سربار از رابطه (۵) استفاده شده است.

$$\text{Overhead rate} = \text{PKT}_{\text{overhead}} / (\text{PKT}_{\text{overhead}} + \text{PKT}_{\text{delivered}}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

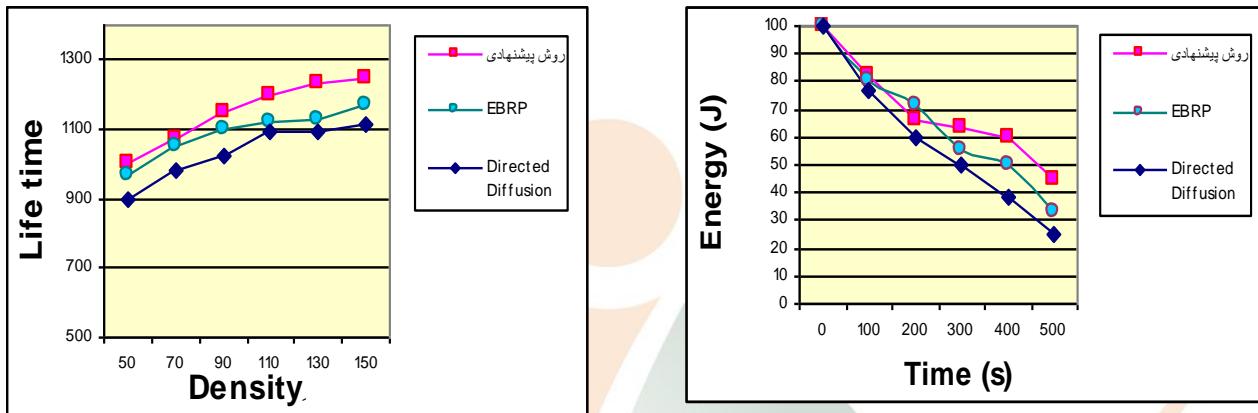
در این رابطه  $\text{PKT}_{\text{overhead}}$  تعداد بسته های مربوط به فاز اول است که گره ها برای شناسایی و بدست آوردن اطلاعات همسایه های خود ارسال کرده اند. همچنین بسته های مربوط به ارسال مجدد و تصدیق رسیدن بسته ها را نیز شامل می شود.  $\text{PKT}_{\text{delivered}}$  نیز تعداد بسته های داده است که به مقصد مورد نظر رسیده اند. نتیجه این آزمایش در نمودار (۲) آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در روش پیشنهادی به دلیل کاهش پخش بسته های کنترلی و تمرکز بیشتر روی تصمیم گیری های محلی، نرخ سربار از دو روش دیگر کمتر است.



نمودار (۲) : مقایسه نرخ سربار در روش پیشنهادی و پروتکل های EBRP و Directed Diffusion بر حسب تعداد گره های متفاوت

نمودار (۱) : مقایسه روش پیشنهادی با پروتکل های EBRP و Directed Diffusion از نظر میزان عدالت در مصرف انرژی

در آزمایش چهارم با در نظر گرفتن تعداد ۱۰۰ گره، مجموع انرژی باقیمانده در گره ها را در روش پیشنهادی با روش های EBRP و Directed Diffusion مقایسه نموده ایم. در نمودار (۳) نتایج این آزمایش آورده است. در آزمایش پنجم، با در نظر گرفتن تعداد گره های متفاوت، طول عمر شبکه را در روش پیشنهادی با روش های EBRP و Directed Diffusion مقایسه نموده ایم. تعداد گره ها در بازه ۵۰ تا ۲۰۰ و به فاصله ۵۰ به انتخاب شده اند. در نمودار (۴) نتایج این آزمایش آورده شده است. در روش پیشنهادی، با افزایش تعداد گره ها، مسیرهای بیشتری بین گره مبدأ و گره مرکزی وجود خواهد داشت. از آنجا که ترافیک روی هر مسیر متناسب با انرژی باقیمانده گره های متعلق به آن مسیر است، حمایت بیشتری از گره های ضعیف تر انجام می گردد و در نتیجه طول عمر شبکه افزایش می یابد.



نمودار (۴) : مقایسه طول عمر شبکه در روش پیشنهادی و پروتکل های EBRP و Directed Diffusion بر حسب تعداد گره های متفاوت

نمودار (۳) : مقایسه جمیع انرژی باقیمانده در گره ها در روش پیشنهادی، پروتکل Directed Diffusion و پروتکل EBRP

در این مقاله یک پروتکل مسیریابی جدید توزیع شده برای شبکه های حسگر ارائه شد که منجر به کاهش سربار ناشی از عملیات پخش همگانی و توزیع عادلانه بار روی شبکه گردید. ایده مورد استفاده در این روش این بود که هر گره به یک اتوماتی یادگیر مجهز شد و برای انتخاب گره بعدی در مسیریابی، دو فاکتور نزدیکی به گره مرکزی و انرژی باقیمانده در گره بطور همزمان مورد توجه قرار گرفت. در شبیه سازی های انجام شده پروتکل پیشنهادی با پروتکل های مسیریابی EBRP و Directed Diffusion مقایسه شد. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که نرخ سربار در روش پیشنهادی کاهش یافته و همچنین با گذشت زمان به دلیل مشارکت کمتر گره های کم انرژی در مسیریابی، انرژی در شبکه بطور یکنواختی توزیع شده است. در نتیجه طول عمر شبکه افزایش یافته است. همچنین نرخ سربار کاهش یافته است.

## مراجع

- [۱] J.N. AL-KARAKI, A.E. KAMAL, " ROUTING ECHNIQUES IN WIRELESS SENSOR NETWORKS: A SURVEY", IEEE Wireless Communications • December ۲۰۰۴.
- [۲] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks", Proceedings of the ۵th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'۹۹), Seattle, WA, August ۱۹۹۹.
- [۳] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks", Proceedings of the First Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA), Atlanta, GA, October ۲۰۰۲.
- [۴] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", Proceedings of ACM MobiCom '۰۰, pp. ۵۶-۷۷ Boston, MA, ۲۰۰۰.
- [۵] S. Madiraju, C. Mallanda, R. Kannan, A. Durresi, and S. S. Iyengar, "EBRP: Energy Band based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", Department of Computer Science, Louisiana State University, LA, ۲۰۰۳, USA, ۲۰۰۳.
- [۶] C. Schurgers and M.B. Srivastava, "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks", MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force, McLean, VA, ۲۰۰۱.
- [۷] R. C. Shah and J. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks", IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Orlando, FL March ۱۷-۲۱, ۲۰۰۲.

- [۸] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks", UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-022, May ۲۰۰۱.
- [۹] T. He, et al., "SPEED: A Stateless Protocol for Real Time Communication in Sensor Networks", Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems, Providence, RI, May ۲۰۰۲.
- [۱۰] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the ۴th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '۰۴), January ۲۰۰۴.
- [۱۱] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April ۲۰۰۱.
- [۱۲] V. Rodoplu and T.H. Meng, "Minimum Energy Mobile Wireless networks", IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. ۱۷, No. ۴, pp. ۱۳۳۳-۱۳۴۶, ۱۹۹۹.
- [۱۳] Q. Li and J. Aslam and D. Rus, "Hierarchical Power aware Routing in Sensor Networks", Proceedings of the DIMACS Workshop on Pervasive Networking, May, ۲۰۰۱.
- [۱۴] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, " Geography-informed Energy Conservation for \_ Ad hoc \_ Routing", Proceedings of the ۶th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile\_ Computing and Networking (MobiCom'00), Rome, Italy, July ۲۰۰۰.
- [۱۵] F. K.Akkaya and M.Younis, "Asurvey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," in the Elsevier AdHoc Network Journal, Vol. ۲/۲ pp. ۲۲۵-۲۴۹, ۲۰۰۴.
- [۱۶] K. S. Narendra and Thathachar, Learning Automata: An Introduction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, ۱۹۸۹.
- [۱۷] J-sim simulator, <http://www.j-sim.org>
- [۱۸] A. Sobehi, J. C. Hou, L.-C. Kung, N. Li, H. Zhang, W.-P. Chen, H.-Y. Tyan, and H. Lim. J-Sim: A simulation and emulation environment for wireless sensor networks. IEEE Wireless Communications magazine, 13(4):104{119, 2006

زیرنویس ها

- ＼ Flat
- ＼ Hierarchical
- ＼ Location Based
- ＼ Linear Reward Penalty
- Linear Reward Epsilon Penalty
- ＼ Linear Reward Inaction

# کنفرانس داده کاوی ایران