

ارائه یک الگوریتم مسیریابی توزیع شده آگاه از انرژی برای

شبکه های حسگر بیسیم

سید مهدی جامعی^۱، کریم فائز^۲، محمد رضا میبیدی^۳

چکیده

شبکه های حسگر بی سیم از حسگر های کوچک با قابلیت محاسباتی و ارتباطاتی تشکیل شده اند. اینگونه شبکه ها به دلیل کاربرد وسیع در زمینه های مختلف بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. نمونه ای از این کاربردها عبارتند از نظارت بر محل سکونت و همچنین نظارت بر انفجار آتشفشان. تا کنون تحقیقات زیادی در زمینه مسیریابی در شبکه های حسگر بی سیم انجام شده است. در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی بر پایه اتوماتا ی یادگیر برای شبکه های 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 پروتکل های مسیریابی EBRP و Directed Diffusion مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که در روش پیشنهادی سربار کاهش یافته و همچنین مصرف متوازن انرژی، طول عمر شبکه افزایش می یابد.

کلمات کلیدی

شبکه های حسگر بی سیم، پروتکل مسیریابی، اتوماتای 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.

^۱ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، Jamei@Shahrvariau.ac.ir

^۲ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Kfaez@aut.ac.ir

^۳ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mmevbodi@aut.ac.ir

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 معمولا 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 گررها، پهنای باند محدود، عدم وجود زیر 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 باتری 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 میشود. در بخش چهارم روش پیشنهادی ارائه میگردد. نتایج شبیه سازیهای انجام گرفته در بخش پنجم آمده است و بخش ششم نتیجه گیری است.

۲- کارهای گذشته

تا کنون الگوریتمهای مسیریابی متعددی برای شبکههای حسگر معرفی شدهاند. پروتکلهای مسیریابی در شبکههای حسگر را از نظر ساختار شبکه میتوان به سه دسته اصلی مسطح ۱، سلسله مراتبی ۲ و مبتنی بر مکان ۳ تقسیم نمود [۱]. در پروتکلهای مسیریابی مسطح، مفهوم گره رهبر وجود ندارد و تمامی گررها یکسان میباشند. برخی از این روشها عبارتند از: [۱] SPIN، [۲] Rumor، [۳] Directed Diffusion، [۴] EBRP، [۵] GBR، [۶] EAR، [۷] GEAR، [۸] SPEED [۹]. در پروتکلهای مسیریابی سلسله مراتبی، گررها دستهبندی میشوند و برخی گررها که دارای انرژی بیشتری نسبت به سایر گررها هستند به عنوان سردسته انتخاب میشوند. نمونههایی از این روشها عبارتند از: [۱۰] LEACH، [۱۱] TEEN، [۱۲] MECN، [۱۳] HPAR و [۱۴] GAF. در پروتکلهای مسیریابی بر اساس اطلاعات مکانی، از اطلاعات مکانی برای فرستادن دادهها به مناطق مورد نظر استفاده میشود. نمونههایی از این روشها عبارتند از: SPEED، GEAR، GAF، MECN. پروتکلهای مسیر یابی را بسته به اینکه فرستنده چگونه یک مسیر به سمت گیرنده پیدا میکند به سه دسته Reactive، proactive و Hybrid تقسیم میکنند [۱۵]. در پروتکلهای proactive تمام مسیرها قبل از اینکه واقعا مورد نیاز باشند محاسبه میشوند در حالیکه در پروتکلهای Reactive مسیرها 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- اتوماتاهای یادگیر

اتوماتای یادگیر، ماشینی است که میتواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی میشود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده میشود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تاثیر میگیرد. 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 (۱) مشاهده میشود.



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، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$ مجموعه خروجیها و $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمالات جریمه میباشد. هرگاه β مجموعه دو عضوی باشد، محیط از نوع P میباشد. در چنین محیطی $\beta_i = 1$ به عنوان جریمه و $\beta_i = 0$ به عنوان پاداش در نظر گرفته میشود. در محیط از نوع $\beta(n), Q$ میتوان به طور گسسته یک مقدار از مقادیر محدود در فاصله $[0, 1]$ و در محیط از نوع $S, \beta(n)$ متغیر تصادفی در فاصله $[0, 1]$ است. c_i احتمال اینکه عمل α_i 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 $\langle \alpha, \phi, \beta, F, G \rangle$ 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. $\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s\}$ مجموعه حالات درونی هستند. $\beta = \{0, 1\}$ 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. $G: \Phi \rightarrow \alpha$ تابع خروجی است و مشخص کننده عملی است که در حالت Φ_j توسط اتوماتا انتخاب می شود. اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را میتوان توسط چهار تایی $\{\alpha, \beta, P, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عملهای اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$ مجموعه ورودیهای اتوماتا، $P = \{P_1, P_2, \dots, P_r\}$ بردار احتمال انتخاب هریک از عملها و $P(n+1) = T(\alpha(n), \beta(n), P(n))$ 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 α_i باشد، پس از دریافت پاسخ محیط، اتوماتا بردار احتمال عملهای خود را در صورت دریافت پاسخ مطلوب بر اساس رابطه (۱) و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب طبق رابطه (۲) بروز میکند.

رابطه (۱) - پاسخ مطلوب

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

رابطه (۲) - پاسخ نامطلوب

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

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. زمانی که a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP} ^۴ می نامیم، زمانی که b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را L_{ReP} ^۵ می نامیم و زمانی که b مساوی صفر باشد الگوریتم را L_{RI} ^۶ مینامیم [۱۶]. با توجه به وضعیت پویای شبکه و تغییر در وضعیت انرژی گرورها، 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 عملیات 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 اتوماتای یادگیری انجام میشود که هر گره به آن مجهز شده است. اتوماتای یادگیر هر گره به تعداد گره های همسایه آن که در فاز قبل شناسایی شد دارای عمل میباشد. انتخاب هر عمل به معنی انتخاب گره همسایه متناظر با آن عمل است. در ابتدای کار بردار احتمال انتخاب عملهای اتوماتای یادگیر طبق رابطه زیر مقداردهی اولیه شده است:

$$\forall i \quad i \leq n \quad p_i = 1/n$$

رابطه

در این رابطه، n تعداد همسایه های گره مورد نظر و i شماره عمل اتوماتای یادگیر است. همانطور که این فرمول نشان می دهد در ابتدا 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_i) با E_{avg} و همچنین فاصله آن از گره مرکزی (D_i) با D_{avg} مقایسه شده و سپس با توجه به چهار حالت زیر، عمل انتخاب شده طبق رابطه (۱) به اندازه a جایزه می گیرد و یا طبق رابطه (۲) به اندازه b تنبیه می شود:

حالت اول: اگر $E_i \geq E_{avg}$ و $D_i \leq D_{avg}$ در اینصورت، عمل انتخاب شده به اندازه a_1 جایزه می گیرد.

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

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

حالت چهارم: اگر $E_i < E_{avg}$ و $D_i > D_{avg}$ 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 مجدداً 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 EBRP و Directed Diffusion 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 802.11 استفاده شده است و گره های حسگر و همچنین گره مرکزی در مدت شبیه سازی ساکن فرض میشوند. شعاع حس گره ها در کل زمان شبیه سازی ثابت و برابر ۱۰ متر می باشد. انرژی اولیه تمام گره ها یکسان و برابر ۱ ژول و انرژی لازم جهت ارسال و دریافت اطلاعات 0.003 ژول و اندازه هر بسته ۵۳ بایت در نظر گرفته شده است. همچنین در شبیه سازی از آتوماتای یادگیر با پارامترهای پاداش و جریمه متفاوت استفاده شده است. در انجام آزمایشات برای شبیه سازی روش پیشنهادی، هر ۱۰ 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 اتوماتای 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:

$$a_1=0.2, a_2=0.1, a_3=0.1 \text{ و } b=0.2.$$

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.

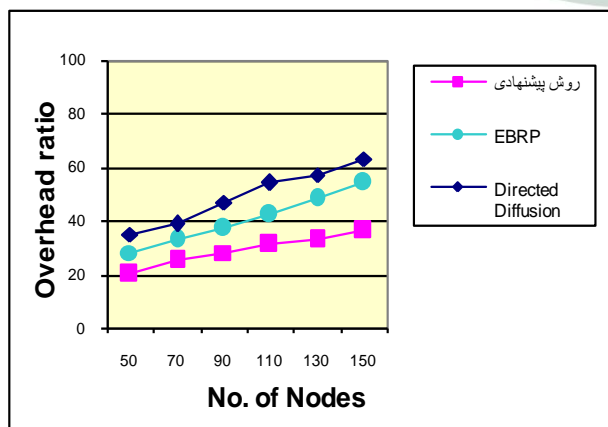
$$F = \left(\sum_{i=1}^n (E_i) \right)^2 \div \left(n \times \sum_{i=1}^n (E_i)^2 \right) \quad \text{رابطه ۴}$$

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 اتوماتای یادگیر تمایل بیشتری به انتخاب گره های با انرژی بالاتر دارد و ترافیک روی گره های با انرژی کمتر کاهش می یابد.

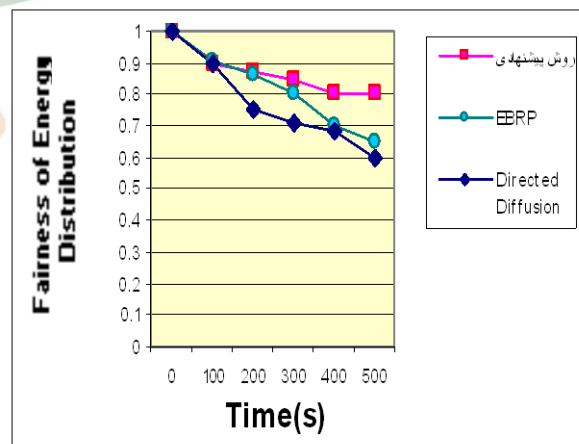
در آزمایش سوم، نرخ سر بار ناشی از عملیات پخش بسته های کنترلی، در روش پیشنهادی با پروتکل EBRP و Directed Diffusion با در نظر گرفتن تعداد گره های مختلف مقایسه شده است. در این آزمایش برای تعیین نرخ سر بار از رابطه (۵) استفاده شده است.

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

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 سر بار از دو روش دیگر کمتر است.



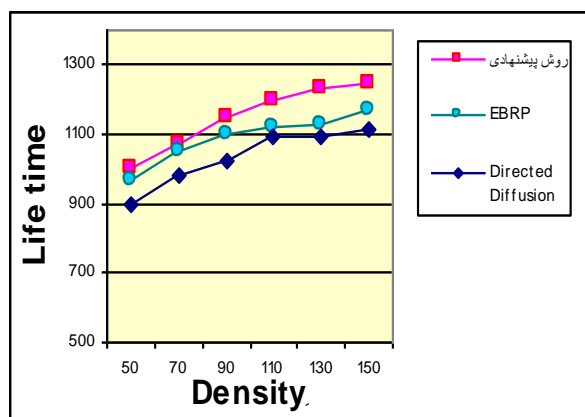
نمودار (۲): مقایسه نرخ سر بار در روش پیشنهادی و پروتکل های EBRP و Directed Diffusion بر حسب تعداد گره های متفاوت



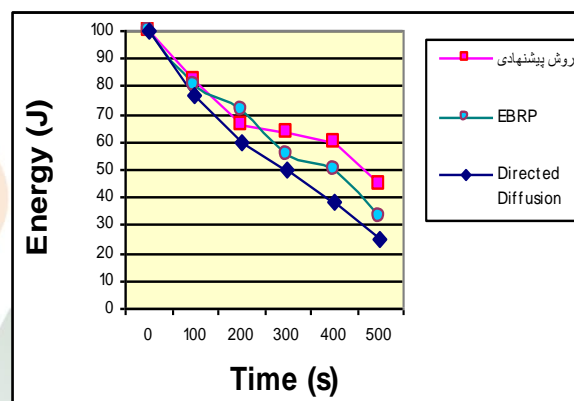
نمودار (۱): مقایسه روش پیشنهادی با پروتکل های EBRP و Directed Diffusion از نظر میزان عدالت در مصرف انرژی

در آزمایش چهارم با در نظر گرفتن تعداد ۱۰۰ گره، مجموع انرژی باقیمانده در گره‌ها را در روش پیشنهادی با روش‌های EBRP و Directed Diffusion مقایسه نموده ایم. در نمودار (۳) نتایج این آزمایش آورده شده است.

در آزمایش پنجم، با در نظر گرفتن تعداد گره‌های متفاوت، طول عمر شبکه را در روش پیشنهادی با روش‌های EBRP و Directed Diffusion مقایسه نموده ایم. تعداد گره‌ها در بازه ۵۰ تا ۱۵۰ و به فاصله ۲۰ انتخاب شده اند. در نمودار (۴) نتایج این آزمایش آورده شده است. در روش پیشنهادی، با افزایش تعداد گره‌ها، مسیرهای بیشتری بین گره مبدا و گره مرکزی وجود خواهد داشت. از آنجا که ترافیک روی هر مسیر متناسب با انرژی باقیمانده گره‌های متعلق به آن مسیر است، حمایت بیشتری از گره‌های ضعیف تر انجام می‌گردد و در نتیجه طول عمر شبکه افزایش می‌یابد.



نمودار (4): مقایسه طول عمر شبکه در روش پیشنهادی و پروتکل‌های EBRP و Directed Diffusion بر حسب تعداد گره‌های متفاوت



نمودار (3): مقایسه مجموع انرژی باقیمانده در گره‌ها در روش پیشنهادی، پروتکل EBRP و پروتکل Directed Diffusion

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک پروتکل مسیریابی جدید توزیع شده برای شبکه‌های 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 اتوماتای 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 شبیه‌سازی‌های انجام شده پروتکل پیشنهادی با پروتکل‌های مسیریابی EBRP و Directed Diffusion مقایسه شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که نرخ سربار در روش پیشنهادی کاهش یافته و همچنین با گذشت زمان به دلیل مشارکت کمتر گره‌های 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 TECHNIQUES 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 4th 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. ۵۶-۶۷ 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, ۷۰۸۰۳, USA, ۲۰۰۴.
- [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-01-0023*, May 2001.
- [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 2003*.
- [۱۰] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", *Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '01)*, January 2001.
- [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 2001*.
- [۱۲] V. Rodoplu and T.H. Ming, "Minimum Energy Mobile Wireless networks", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 14, No. 4, pp. 1333-1344, 1996.
- [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, 2001*.
- [۱۴] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad hoc Routing", *Proceedings of the 9th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'01)*, Rome, Italy, July 2001.
- [۱۵] F. K. Akkaya and M. Younis, "A survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," in the *Elsevier AdHoc Network Journal*, Vol. 2 pp. 225-249, 2005.
- [۱۶] K. S. Narendra and Thathachar, *Learning Automata: An Introduction*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [۱۷] J-sim simulator, <http://www.j-sim.org>
- [۱۸] A. Sobeih, 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

- ۱ Flat
- ۲ Hierarchical
- ۳ Location Based
- ۴ Linear Reward Penalty
- ۵ Linear Reward Epsilon Penalty
- ۶ Linear Reward Inaction

کنفرانس داده کاوی ایران