

ارائه الگوریتم مسیریابی جدید مبتنی بر کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

^۱ علی غفاری، ^۲ زهرا همراهی

^۱گروه کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، A.ghaffari@iaut.ac.ir

^۲گروه کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، Zahra_hamrahi@yahoo.com

چکیده

در بسیاری از کاربردهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیازمند تضمین پارامترهای کیفیت خدمات می‌باشیم. تکنیک‌های مسیریابی به عنوان روشی برای حمایت از کیفیت خدمات در این نوع شبکه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. پروتکل‌های مسیریابی بسیاری جهت ارسال موفق با قابلیت اطمینان بالا و انتقال بلادرنگ با در نظر گرفتن کارایی مصرف انرژی، برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است. انتخاب مسیر بهینه از لحاظ صرفه‌جویی در انرژی و کاهش تأخیر ارسال داده با توجه به محدودیت زیاد منابع از چالش‌های بسیار مهم محسوب می‌شود. در این مقاله روش مسیریابی جدیدی ارائه شده که بر اساس مسیریابی با قابلیت بهبود کیفیت خدمات در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. در این روش جهت کاهش تأخیر بسته‌های بلادرنگ و عادی در گره‌های میانی از صف‌های اولویت‌دار استفاده شده است. به منظور اجتناب از ازدحام، بسته‌هایی که نتوانند در مهلت تعیین شده به مقصد برسند، حذف می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش ارائه شده باعث بهبود پارامترهای کیفیت خدمات همچون قابلیت اطمینان، انرژی و تأخیر شده است.

واژگان کلیدی - تأخیر، شبکه حسگر بی‌سیم، قابلیت اطمینان، کیفیت خدمات، مسیریابی

۱- مقدمه

پروتکل‌های مسیریابی مختلفی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم طراحی شده است [2,3]. از آنجا که کاربردهای مختلف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نیازمند برآورده‌سازی پارامترهای کیفی متفاوتی می‌باشند، طراحی پروتکل‌هایی که نیازمندی‌های مربوط به کیفیت خدمات را مدنظر قرار می‌دهند، ضروری است. فراهم آوردن پروتکل مسیریابی‌ای که از تمام زمینه‌های کیفیت خدمات پشتیبانی نماید و مصرف بهینه انرژی داشته باشد یک مساله NP-Hard می‌باشد. در روش ارائه شده، نیازی به نگهداری جدول اطلاعاتی کل مسیر از مبدأ تا مقصد ندارد و فقط اطلاعات همسایگانی که به اندازه یک گام با گره مبدأ فاصله دارند و نسبت به ایستگاه پایه نزدیک‌ترند در جدول گره ذخیره می‌گردد و از این لحاظ از حافظه کمتری استفاده می‌کند. گره مبدأ با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به انرژی، تأخیر، نرخ ارسال موفق بسته و موقعیت مکانی آنها با ایجاد یک تابع هزینه، بهینه‌ترین مسیر را انتخاب می‌کند ولی با این حال یک تعادل بین مصرف انرژی، قابلیت اطمینان و تأخیر ارسال بسته وجود دارد. در ادامه مقاله، در بخش ۲ الگوریتم جدید پیشنهادی را توضیح می‌دهیم. در بخش ۳ نتایج شبیه‌سازی آورده شده و بخش آخر نتایج مقاله و کارهای آتی را شامل می‌شود.

یک شبکه حسگر بی‌سیم، از تعداد زیادی گره‌های حسگر تشکیل شده است که در یک محیط به طور گسترده پخش شده و به جمع‌آوری اطلاعات از محیط می‌پردازند. این گره‌های حسگر با یکدیگر در ارتباط‌اند تا یک کار متداول را انجام دهند. گره‌های حسگر به علت قابلیت‌های رادیویی محدود، دارای برد ارسال کوتاه می‌باشند. از اینرو داده‌ها بایستی بوسیله گره‌های میانی به سوی مقصد بازپخش شود. داده‌ها از طریق سطح بی‌سیم به یک ایستگاه پایه یا چاهک گزارش داده می‌شوند. برای ارسال داده‌های جمع‌آوری شده از مبدأ به مقصد به پروتکل‌های مسیریابی نیاز داریم [1]. پروتکل‌های مسیریابی به منظور تسهیل ارتباطات داخل شبکه و پوشش دادن مسیرهای بین گره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس استانداردهای موجود، مسیریابی در لایه شبکه انجام می‌شود و تمام تکنیک‌ها و الگوریتم‌های بکار گرفته شده بایستی با توجه به محدودیت‌ها و شرایط موجود در شبکه و نیز طبق معیارها و پارامترهای مدنظر، بهترین مسیر انتقال بسته‌های اطلاعاتی از مبدأ تا مقصد را مهیا سازند.

۲- الگوریتم پیشنهاد شده

یکی از مهمترین مزایای پروتکل‌های پیشنهادی ما عدم نیاز به فازهای ایجاد و نگهداری مسیر است. تمامی تصمیم‌گیری‌ها بر اساس اطلاعات محلی و نه بر اساس اطلاعات کل شبکه صورت می‌گیرد. در این بخش ابتدا فرضیات و الگوی مصرف انرژی استفاده شده در پروتکل جدید را توضیح می‌دهیم و سپس قسمت‌های ساختاری الگوریتم پیشنهاد شده را توصیف می‌کنیم.

۱-۲- فرضیات

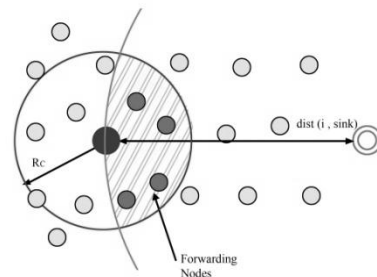
تمامی گره‌ها به صورت تصادفی یکنواخت در محیط پخش شده‌اند. هر کدام از گره‌ها شناسه منحصر بفردی دارند. در ابتدا انرژی اولیه همه گره‌ها یکسان است و فرض شده است که با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی [4] یا سایر الگوریتم‌های توزیعی [5] از موقعیت مکانی خود آگاه هستند. بنابراین داریم:

$$\text{dist}(s,d) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

مجموعه همسایه‌های i گره‌هایی هستند که فاصله آنها تا گره، از برد رادیویی آن کوچک‌تر باشد. بنابراین داریم:

$$NS_i = \{j | d(i,j) \leq R_c\} \quad (2)$$

که در آن R_c برد رادیویی گره i و $\text{dist}(i,j)$ فاصله اقلیدسی بین دو گره همسایه i و j می‌باشد. ناحیه ارسال به جلوی i ناحیه‌ای است که به شعاع برد رادیویی گره i که گره‌های موجود در این ناحیه به چاهک نزدیک‌تر هستند (شکل ۱).



شکل (۲): ناحیه ارسال به جلو

برای بدست آوردن اطلاعات کافی برای ساخت و نگهداری جدول مسیریابی تک‌گامی، هر گره حسگر یک بسته HELLO را برای تمامی همسایگان تک‌گامی‌اش که در ناحیه ارسال به جلو قرار گرفته‌اند، پخش می‌کند. قالب بندی بسته HELLO شامل Node ID، Energy requirement، Used buffer، Link quality و انرژی باقیمانده می‌باشد.

۲-۲- الگوی مصرف انرژی

در این الگوریتم، الگوی مصرف انرژی [6] را بکار می‌بریم که از کانال‌های فضای آزاد و کانال‌های چندمسیری با محاسبه فاصله بین فرستنده و گیرنده استفاده می‌کند. انرژی مصرفی برای انتقال بسته l بیتی در فاصله d چنین محاسبه می‌شود:

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs} d^2, & d \leq d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp} d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (3)$$

که d_0 فاصله آستانه است و با معادله (۴) بدست می‌آید:

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (4)$$

E_{elec} به فاکتورهای نظیر کدینگ دیجیتال، مدولاسیون، نوع فیلترینگ و نوع انتشار سیگنال بستگی دارد. در رابطه (۳)، d فاصله بین فرستنده و گیرنده است. پارامترهای $\epsilon_{fs}d^2$ و $\epsilon_{mp}d^4$ به فاصله بین فرستنده و گیرنده و نیز نویز موجود در دو طرف بستگی دارد. انرژی مصرفی برای دریافت بسته l بیتی چنین محاسبه می‌شود:

$$E_{RX}(l) = lE_{elec} \quad (5)$$

۳-۲- تابع هزینه

در این قسمت یک تابع هزینه جهت انتخاب بهترین گره همسایه تک‌گامی ارائه می‌دهیم. این تابع تمامی جوانب ارسال بسته را در نظر گرفته و از بین همسایگانی که پتانسیل ارسال را دارند بهترین را انتخاب می‌کند. ضمناً قبل از اتمام مدت تعیین شده برای بسته می‌توان بطور تقریبی مدت زمان انتظار بسته در صف‌های اولویت را اندازه‌گیری کرد. یعنی نیازی به ارسال و گردش بسته‌های بی‌مورد در شبکه وجود ندارد.

تابع هزینه را بصورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$\text{Cost} = \alpha(\text{EnergyReq}) + \beta(\text{UsedBuffer}) + \gamma(1/\text{LinkQuality}) + \delta(1/\text{Residual Energy}) \quad (6)$$

$$\text{LinkQuality} = (1 - \frac{1}{2} \exp^{-\frac{\alpha}{2}})^{8f} \quad (7)$$

که در آن $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ فاکتورهای وزنی و مجموع آنها برابر یک می‌باشد و f اندازه بسته است.

از میان گره‌های کاندید، آنهایی را انتخاب می‌کنیم که دارای حداقل هزینه باشند. انتخاب یک مسیر خوب برای ارسال می‌تواند طول ارسال و در نهایت انرژی مصرفی برای سیگنال‌رسانی را کاهش دهد. برای تخمین تعداد گام‌های باقی‌مانده تا مقصد راه‌های بسیاری وجود دارد. یافتن تعداد گام‌ها، جهت بدست آوردن تاخیر انتهابه‌انتهای ضروری است. با توجه به عدم وجود اطلاعات سراسری از کل شبکه، با اطلاعات محلی می‌توانیم به طور تخمینی تعداد گام‌ها را محاسبه کنیم.

۳- شبیه سازی و ارزیابی کارایی

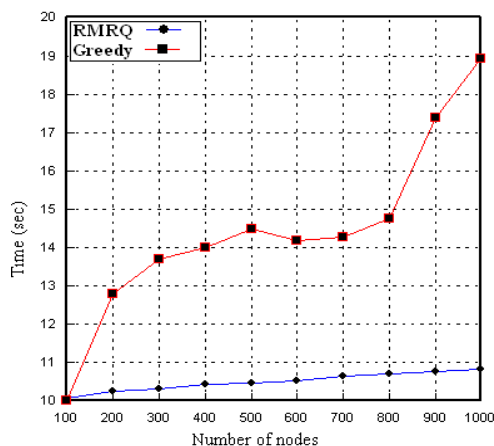
در این قسمت، ما روی نتایج شبیه سازی کارایی پروتکل پیشنهادی بحث می کنیم. پروتکل پیشنهادی RMRQ را با NET. شبیه سازی و با پروتکل Greedy مقایسه کردیم. پارامترهای شبیه سازی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): پارامترهای شبیه سازی

پارامترها	مقادیر
E(init)	2J/batt
Data Packet size	100 bits
E(elec)	50 nJ/bit
E(amp)	0.0013 pJ/bit/m ⁴
E(fs)	10 pJ/bit/m ²
Radio Range	50 m
Network Grid	(0, 0) to (1000, 1000)
Band width	200 kpbs

۳-۱- تأخیر انتها به انتها

میانگین تأخیر انتها به انتها به صورت نسبت زمان مورد نیاز برای ارسال بسته از گره مبدا به گره چاهک از طریق گره های میانی به صورت چندگامی تعریف شده است. نمودار شکل (۳) تأخیر متوسط هر بسته بر اساس تعداد گره های حسگر در انتظار سرویس را نشان می دهد. دلیل کاهش تأخیر در RMRQ در نظر گرفتن کیفیت ارتباط در ارسال به گره بعدی است که به طور چشمگیری تأخیر انتها به انتها را کاهش می دهد و دلیل دیگر آن، استفاده از صف M/G/1 با دو کلاس اولویت است، که باعث می شود که بسته های بلادرنگ هرگز معطل ارسال بسته های عادی نشوند که در پایین ترین سطح اولویت قرار دارند.



شکل (۳): تأخیر انتها به انتها

$$h_i^{sink} = \frac{dist(i, sink)}{avg\{dist(i, j)\}} \quad (8)$$

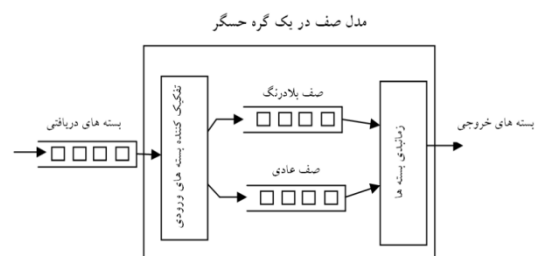
که در آن h_i^{sink} تعداد گام ها از گره i تا چاهک و $dist(i, sink)$ فاصله گره تا چاهک می باشد.

هر بسته به تناسب نوع خود دارای یک ضرب الاجل زمانی جهت رسیدن به مقصد دارد و پس از اتمام آن دیگر ارزشی برای مقصد نخواهد داشت. با توجه به رابطه (۹) می توان میزان ضرب الاجل بسته را چنین محاسبه نمود:

$$Deadline_i^{Sink}(x) = h_i^{Sink} \times Max[Delay_i^j] \quad (9)$$

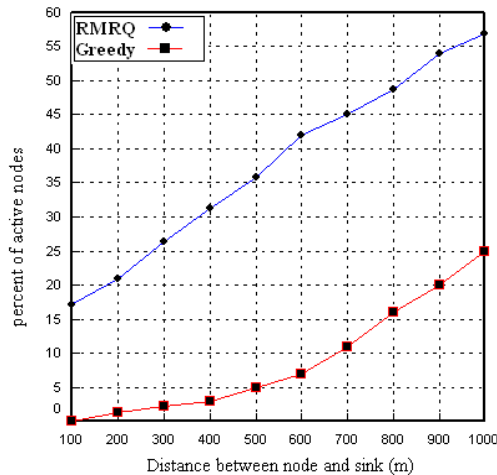
ما این ضرب الاجل را به سرآیند بسته اضافه می کنیم. اگر مدت زمان مورد نیاز بسته کمتر از زمان کل محاسبه شده باشد و یا ضرب الاجل فعلی بسته کمتر از فاصله زمانی باقیمانده تا ایستگاه پایه باشد، برای کنترل ازدحام و کاهش مصرف انرژی بسته حذف می شود. در شرایط یکسان برای بسته ها، پروتکل ما بسته ای را حذف خواهد نمود که هزینه کمتری برای شبکه داشته باشد. برای مثال بسته ای که دارای تعداد گام های طی کرده بیشتری باشد را حذف نمی کنیم و به آن اجازه ارسال تا گام بعدی را می دهیم به این امید که به مقصد برسد.

در این الگوریتم، ما از صف چندسطحی M/G/1 غیرانحصاری همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده، استفاده می کنیم. بسته های رسیده از گره های قبلی برای قرار گرفتن در صف M/G/1 با توجه به میزان اولویت شان دسته بندی می شوند. در این پروتکل دو سطح اولویت در نظر گرفته شده است، اولویت بالا و پایین. گره های میانی با توجه به ضرب الاجل و تعداد گام های باقیمانده بسته های رسیده از گره مبدا، مسئول اولویت بندی بسته ها هستند. این دسته بندی بسته ها از منظر ماندن بسته ها برای ارسال بسته هایی با اولویت پایین تر جلوگیری می کند. بسته ها در هر صف بصورت FCFS سرویس دهی می شوند. بنابراین بسته های با اولویت بالا سریع تر به گره کاندید بعدی ارسال می شوند و در نتیجه تأخیر انتها به انتها تا حد زیادی کاهش می یابد.



شکل (۲): یک صف اولویت دار با دو کلاس اولویت

روش Greedy در مقایسه با این روش کمتر کارا بوده و صرفاً فاکتور نزدیکی مسیر را مورد توجه قرار داده است.



شکل (۵): انرژی باقیمانده در گره ها

۴- نتایج

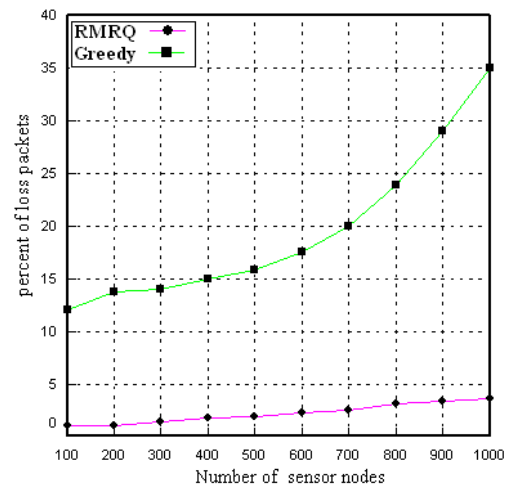
با توجه به اینکه برای انتخاب گره بعدی پارامترهای مربوط به تأخیر، نرخ کیفیت ارتباطی و انرژی باقیمانده گره ها در نظر گرفته شده اند و گره بهینه از بین گره های مجموعه همسایگی با تابع هزینه بهینه انتخاب خواهد شد، بنابراین روش ارائه شده از توازن بار خوبی برخوردار می باشد در نتیجه تأخیر انتهایی آنها کاهش یافته و درصد بسته هایی که در ضرب الاجل تعیین شده به مقصد می رسند افزایش پیدا کرده است. زیرا روش پیشنهادی با استفاده از صف های اولویت دار، میزان تأخیر بسته های بلا درنگ در گره های میانی را کاهش داده است برای افزایش قابلیت اطمینان، گره هایی به عنوان گره های کاندیدی بعدی در نظر گرفته خواهند شد، که از نرخ کیفیت ارتباطی بالاتری داشته باشند. الگوریتم پیشنهادی ما، بطور موثری بار ترافیکی شبکه را بین گره ها توزیع کرده و در نتیجه طول عمر سراسری شبکه را افزایش داده است.

۵- مراجع

- [1] I.F.Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramanian, E.Cyirci, "Wireless sensor network: a survey", Computer Networks 38(4)(2002)902-913.
- [2] Kemal Akkaya, Mohamed Younis, "A Survey on Routing for Wireless Sensor Networks", Journal of Ad Hoc Networks, Volume, 3, Pages: 325- 349, 2005.
- [3] D.Chen, K.Varshney; "QoS support in wireless sensor networks: A survey", International Conference on Wireless Networks, 2004.
- [4] B. Karp and H. Kung, "Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," Proc. IEEE/ACM Int'l Conf. Mobile Computing and Networking, pp. 243-254, 2000.

۲-۳- تعداد بسته های گم شده

گم شدن بسته ها ممکن است به دلیل بروز خطا در بسته ها اتفاق بیافتد و یا به دلیل نبود گره واجد شرایط برای ارسال بسته ها رخ دهد. در این الگوریتم، هرگاه ضرب الاجل تعیین شده برای بسته بیشتر از زمان محاسبه شده باشد، بسته می تواند در صف منتظر بماند در غیر این صورت توسط گرهی که بسته را دریافت کرده، از بین می رود. نمودار (۴) نشان می دهد روش پیشنهادی ما، دارای نرخ از بین رفتن بسته کمتری نسبت به روش Greedy می باشد و آن بدلیل تصمیمات بهینه ای است که در جریان مسیریابی و بر اساس آگاهی از اطلاعات موجود در گره ها گرفته می شود.



شکل (۴): تعداد بسته های گم شده

۳-۳- انرژی باقیمانده در گره ها

پس از سپری شدن ۵۰۰۰ ثانیه می توان متوسط انرژی موجود در گره ها را ملاحظه کرد. این انرژی بر حسب فاصله گره ها از ایستگاه پایه می باشد. با توجه به نمودار (۵) می توان دریافت که گره های نزدیک ایستگاه پایه انرژی کمتری نسبت به گره های با فاصله بیشتر از آن دارند. این یکنواختی در اثر توزیع عادلانه بسته به گره های میانی می باشد. روش جدید ارائه شده در این مقاله با یک آهنگ ثابت، موجب تعادل بار در کلیه مسیرها شده است. عدم وجود مسیرهای پر ازدحام باعث شده که کاهش سطح انرژی در گره ها روندی ثابت داشته باشد. با توجه به اینکه یکی دیگر از مشکلات روش های مسیریابی کاهش انرژی در گره های نزدیک به ایستگاه پایه می باشد و این گره ها در طول عمر شبکه دارای ترافیک شدید می باشند، لذا بالا نگه داشتن سطح انرژی در این گره ها بسیار حیاتی می باشد. زیرا این گره ها رابط بین گره های دورتر و ایستگاه پایه می باشند. روش ارائه شده می تواند تا حد خوبی جلوی کاهش انرژی در این گره ها را مانع شود. حال آنکه



سومین کنفرانس مهندسی برق و الکترونیک ایران
3rd Iranian Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE2011)
دانشگاه آزاد اسلامی گناباد - ۲۳ و ۲۴ تیر ماه ۱۳۹۰



- [5] T. He, C. Huang, B. Blum, J. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," Proc. Mobicom Conf. , 2003
- [6] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.