مجله علمی-پژوهشی رایانش نرم و فن‌آوری اطلاعات

جلد ۵، شماره ۲، تابستان سال ۱۳۹۵ شاپا: ۱۰۰۶-۲۳۸۳

استفاده از روش کدگذاری شبکه در مسیریابی شبکه‌های حسگر بی‌سیم

علی غفاری

گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران، A.Ghaffari@iaut.ac.ir

چکیده- محدودیت انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی بسته‌ها را با چالش‌های اساسی روبرو کرده است. در کاربردهای مبتنی بر رخداد، محدودیت‌های ذاتی این شبکه‌ها باعث شده است که بر اثر ترافیک بیش از حد بسته‌ها، گره‌های حسگر نزدیک چاهک انرژی خود را تخلیه نمایند. در اثر این تخلیه ماموریت شبکه با مشکل اساسی روبرو خواهد شد. روش کدگذاری شبکه با کدگذاری و کدگشایی بسته‌های داده، گذردهی شبکه را بهبود داده، تاخیر انتها به انتها را کاهش داده و شبکه را در برابر برخی خطاها مقاوم می‌نماید. در این مقاله یک الگوریتم مسیریابی با استفاده از کدگذاری شبکه ارائه شده است. در روش پیشنهادی برای تعیین مسیرها، پارامترهای کیفیت پیوند ارتباطی و انرژی موجود همسایه‌ها را در نظر گرفته و علاوه بر آن برای ارسال اطلاعات از کدینگ شبکه استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش دیگر، قابلیت اطمینان را افزایش و انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، قابلیت اطمینان، مسیریابی، کدگذاری شبکه، انرژی مصرفی.

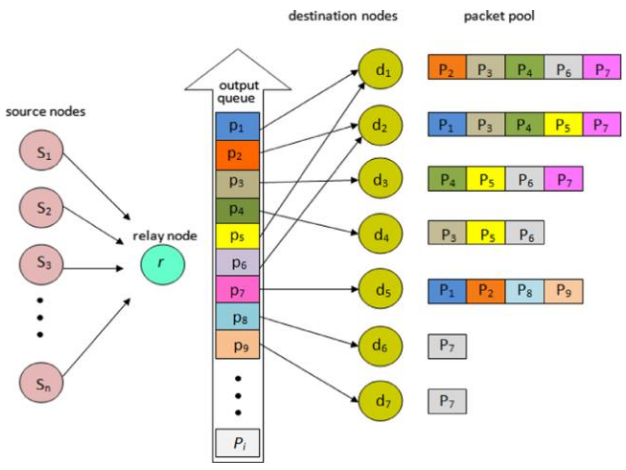
۱- مقدمه

کاربرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم در صنایع مختلف مثل نظارت بر محیط، میدان نبرد، ردیابی هدف و مسائل امنیتی موجب شده است که این شبکه‌ها مورد توجه زیادی قرار بگیرد. از چالش‌های اساسی این شبکه‌ها، می‌توان به محدودیت منابع، پایین بودن کیفیت پیوند ارتباطی با توجه به محیط تحت عملیات آنها و بی-سیم بودن رسانه انتقال اشاره کرد [۱-۴]. یکی از موثرترین روش‌های پیشنهاد شده برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش انرژی مصرفی، پردازش درون شبکه‌ای با استفاده از روش کدینگ شبکه است [۵, ۶]. اهداف این روش افزایش طول عمر شبکه، کاهش ترافیک ارسالی، کنترل افزونگی بسته‌های ارسالی، افزایش قابلیت اطمینان، متوازن‌سازی بار، استفاده بهینه از پهنای باند و افزایش امنیت شبکه می‌باشد [۷-۹].

شکل ۱ مثالی ساده برای کدگذاری شبکه را نشان می‌دهد. در این شکل گره ارسال کننده r بسته‌های دریافتی از گره‌های منبع متفاوت $(S_1, S_2, S_3, \ldots, S_n)$ را با اعمال کدگذاری شبکه به سمت مقصد ارسال می‌نماید. با فرض این که گره r دارای یک مجموعه بسته i تایی $P=\{p_1, p_2, p_3, \ldots, p_i\}$ در صف خروجی خود داشته باشد که این بسته‌ها توسط گره‌های مقصد $d_1, d_2, d_3, \ldots, d_7$ دریافت شده‌اند. گره ارسال کننده دارای اطلاعات ذیل می‌باشد:

الف- کدام بسته‌ها توسط کدام گره مقصد دریافت شده است.

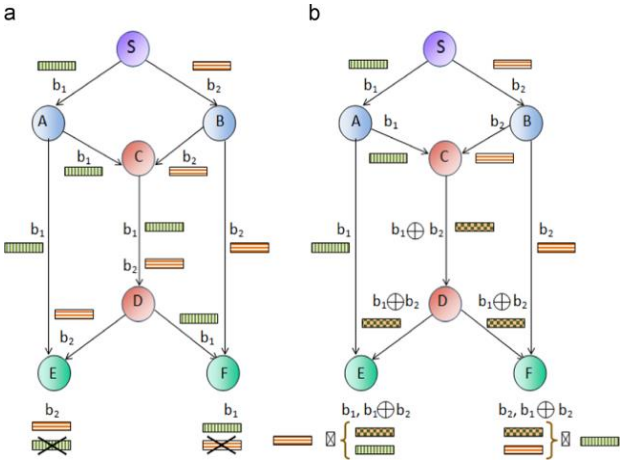
ب- گره‌های مقصد هنوز نیازمند دریافت کدام بسته‌ها می‌باشد. با این اطلاعات گره ارسال کننده بسته‌ها را با XOR کردن آنها با یکدیگر کدگشایی می‌نماید. در این شکل، ابتدا گره ارسال کننده، یک بسته داده کدگذاری شده را با رابطه $p_3 \oplus p_5 \oplus p_6 \oplus p_4$ کدگذاری کرده و آن را به سوی گره‌های d_1, d_2, d_3, d_4 ارسال می-نماید. این گره‌های دریافت کننده بسته، می‌توانند بسته‌های مورد نیاز خود p_5, p_6, p_3, p_4 را کدگشایی نمایند.



شکل ۱: مثالی ساده برای کدگذاری شبکه [۱۰]

مزایای استفاده از کدگذاری شبکه در شبکه پروانه‌ای شکل ۲ نشان داده شده است. در شکل ۲، گره S مبدا و گره‌های E و F

مقصد و SA، AC، CD و DE پیوندهای ارتباطی می‌باشند. گره مبدا S داده‌های b_1 و b_2 را به سمت گره‌های E و F به‌صورت توزیعی ارسال می‌نماید. در این حالت گره‌های مقصد می‌توانند هر دو بسته را در صورت عدم گم شدن بسته‌ها دریافت نمایند. اما در شکل ۱۰- ب، گره C با دریافت بسته‌های b_1 و b_2، آنها را با هم XOR کرده و $b_1 \oplus b_2$ را به صورت توزیعی از طریق پیوند CD ارسال می‌نماید. در نهایت گره D می‌تواند بسته‌های دریافتی را کدگشایی نماید. بنابراین، گره‌های E و F بسته‌های b_1 و b_2 را در یک واحد زمانی دریافت نماید. با این کار قابلیت اطمینان و نرخ دریافت بسته‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۲: کدگذاری شبکه: (a) مسیریابی سنتی، (b) مسیریابی مبتنی بر کدگذاری شبکه [۱۰]

ایده کدینگ شبکه اولین بار توسط Ahlswede و همکارانش مطرح شد. هدف آنها نشان دادن این حقیقت بود که به منظور رسیدن به بیشینه نرخ انتقال ممکن در چندپخشی اطلاعات، باید داده‌ها را در گره‌های شبکه با یکدیگر کد کرد. پس از آن Li و همکارانش این نتیجه را گسترش دادند که با کدینگ خطی [۱۱] داده‌ها هم می‌توان به بیشینه ظرفیت چندپخشی دست پیدا کرد.

فرض کنید تعدادی بسته اطلاعاتی $M_1,\ldots, M_n$ توسط یک یا چند گره تولید شده‌اند. در کدینگ خطی هر بسته به دنباله‌ای از ضرایب $g_1, \ldots, g_n$ که به آن بردار ضرایب می‌گویند و مقادیر آنها از یک میدان F_{2^n} انتخاب می‌شوند نسبت داده می‌شود. بنابراین خواهیم داشت [۱۲-۱۴]:

$$x = \sum_{i=1}^{n} g_i M_i \qquad (۱)$$

فرض بر این است که ماتریس ضرایب هم به همراه بسته کد شده ارسال می‌شود. کدینگ شبکه می‌تواند به‌صورت بازگشتی در گره‌هایی به غیر از گره مبدا نیز انجام شود. به‌عنوان مثال گره‌ای را در نظر بگیرید که مجموعه $(g^1.x^1),\ldots,(g^m.x^m)$ از بسته‌های کد شده به همراه ماتریس ضرایب را دریافت کرده باشد. این گره می‌تواند یک بسته کد شده جدید (g', x') را با انتخاب ضرایب دلخواه $h_1,\ldots, h_m$ و محاسبه رابطه (۲) ایجاد کند [۱۲-۱۴]:

$$x' = \sum_{j=1}^{m} h_j x^j \qquad (۲)$$

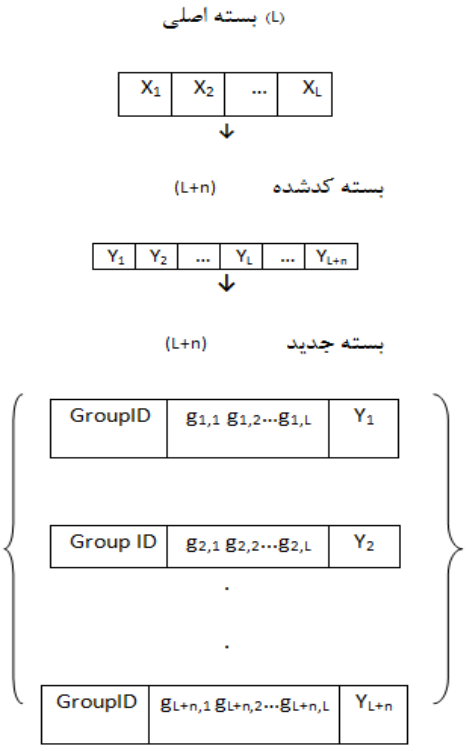
ماتریس ضرایب جدید هم از معادله زیر به دست می‌آید[۱۲-۱۴]:

$$g'_i = \sum_{j=1}^{m} h_j g_i^j \qquad (۳)$$

فرض کنیم گره‌ای مجموعه $(g^1.x^1),\ldots,(g^m.x^m)$ را دریافت کرده باشد. به منظور بازیابی بسته‌های اصلی، این گره باید سیستم خطی معادله (۴) را حل کند [۱۲-۱۴]:

$$x^j = \sum_{i=1}^{n} g_i^j M^i \qquad (۴)$$

این یک سیستم با m معادله n مجهولی است و باید m>=n باشد تا بتوان همه داده‌ها را بازیابی کرد. از طرفی، شرط m=n برای حل این معادله کافی نیست زیرا ممکن است برخی از ترکیب‌های خطی به هم وابسته باشند. بنابراین، مسئله انتخاب ضرایب هم در طراحی کد شبکه مهم است. یک راه ساده این است که هر گره به‌صورت تصادفی ضرایبش را از یک میدان محدود انتخاب کند. شکل ۳ نحوه کدگذاری بسته ارسالی را نشان می‌دهد.



شکل ۳ : نحوه کدگذاری بسته

طبق روابط (۵) و (۶) بسته موردنظر در گره مبدأ کدگذاری و در گره مقصد کدگشایی می‌شود [۴]:

$$\begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1L} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ g_{(L+n)1} & \cdots & g_{(L+n)L} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{L+n} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1L} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ g_{L1} & \cdots & g_{LL} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_L \end{bmatrix} \quad (۶)$$

مقدار n زیربسته که به‌وسیله کدکردن بسته‌ها به بسته اصلی افزوده می‌شود، باید طوری انتخاب شود که افزونگی زیادی به بسته اعمال نشود و همچنین کدگشایی آن در گره مقصد با مشکل مواجه نشود، چون اگر مقدار n بزرگ انتخاب شود، افزونگی زیادی به بسته اعمال خواهد شد و اندازه بسته، بزرگ خواهد بود و اگر مقدار n کوچک انتخاب شود، کدگشایی آن در گره مقصد مشکل خواهد بود. در این مقاله، فصل ۱ مقدمه و روش کدگذاری شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را مورد بررسی قرار می‌دهد. فصل ۲ و ۳ به‌ترتیب کارهای پیشین و روش پیشنهادی را بررسی کرده و فصل ۴ و ۵ به‌ترتیب به ارزیابی کارایی روش پیشنهادی و نتیجه-گیری آن می‌پردازد.

۲- کارهای مرتبط

پروتکل EERNC، گره مبدأ بسته موردنظر را کدگذاری می‌کند و از طریق چندین مسیر به سمت گره چاهک ارسال می‌کند، گره‌هایی که بسته کدشده را دریافت می‌کنند آن‌را کدگشایی و دوباره کدگذاری می‌کنند و به سمت چاهک ارسال می‌کنند. گره چاهک پس از دریافت بسته‌ها از تمامی مسیرها، آنها را کدگشایی نموده و بسته اصلی را به‌دست می‌آورد [۱۵].

پروتکل مسیریابی MPNC، یک پروتکل مسیریابی بهم بافته‌شده می‌باشد [۱۶]. روش‌های ارسال چندمسیری به دو صورت چند مسیره بهم بافته شده و جدا از هم انجام می‌شوند. در روش به‌هم بافته شده، هر گره داخلی می‌تواند بسته‌های دریافت شده از هر گره بالادست خود را به مسیرهای مورد نظر خود ارسال نماید. در روش جدا از هم، هر گره داخلی بسته دریافت شده از فقط یک گره بالادست خود را به مسیر مورد نظر ارسال نماید. تعداد گام‌های هر گره تا چاهک به‌صورت متناوب محاسبه می‌شود. برای ارسال داده‌ها از ارسال چندمسیری استفاده می‌شود. به این‌صورت که ابتدا گره مبدأ به تعداد مسیرهای موردنیاز، از میان همسایگان خود که کمترین تعداد گام تا گره چاهک را نسبت به گره مبدأ دارند، انتخاب می‌نماید. گره‌ای که کمترین تعداد گام تا چاهک را دارا می‌باشد به عنوان سرخوشه و بقیه گره‌ها به‌عنوان اعضای خوشه انتخاب می‌شوند. برای تشکیل خوشه‌ی بعدی، گره سرخوشه همان مراحل قبلی را تکرار می‌کند. این مراحل تا رسیدن به گره چاهک ادامه پیدا می‌کند تا مسیرهایی که برای ارسال داده موردنیاز هستند بین مبدأ و چاهک تشکیل شوند. بعد از تعیین مسیرهای موردنظر و تشکیل خوشه‌ها، بسته‌های کدشده از طریق این مسیرها به سمت چاهک ارسال می‌شوند. گره‌های خوشه، بسته‌های دریافت شده را بدون کدگشایی و کدگذاری به سرخوشه‌ی خود ارسال می‌کنند. سرخوشه پس از دریافت بسته‌ها از تمامی گره‌های خوشه، آنها را کدگشایی نموده و دوباره کدگذاری می‌کند و به تمام اعضای خوشه‌ی بعدی ارسال می‌کند. این روند تا رسیدن بسته‌های کدشده به گره چاهک ادامه پیدا می‌کند. اگر تعداد بسته‌های دریافت شده در گره‌های سرخوشه برابر L+n باشد، دیگر نیازی به کدگشایی و کدگذاری بسته نمی‌باشد. در این‌صورت گره سرخوشه همان L+n بسته را به گره‌های خوشه‌ی بعدی ارسال می‌کند. در این روش تعداد گره‌هایی که عمل کدگذاری و کدگشایی داده را انجام می‌دهند، کاهش پیدا می‌کند چون فقط سرخوشه‌ها این عمل را انجام می‌دهند [۱۶]. پروتکل LIEMRO [۱۷] با ارسال چند مسیری قابلیت تامین پارامترهای کیفیت سرویس را برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌نماید. هدف این پروتکل بهبود قابلیت اطمینان و افزایش طول عمر شبکه از طریق متوازن‌سازی بار بر روی مسیرهای چندگانه می‌باشد. پروتکل UASN [۱۸] برای شبکه‌های حسگر صوتی زیرآبی ارائه شده است که از ارسال چندمسیری به همراه کدگذاری بسته‌های ارسالی استفاده می‌نماید. در مرحله اول پروتکل سه مسیر مجزا برای ارسال بسته‌ها تعیین می‌نماید. سپس دو بسته داده A و B با استفاده از کدگذاری اطلاعات کدگذاری شده و بر روی دو مسیر جانبی ارسال می‌گردد. گروه دیگری از بسته‌ها یعنی بسته C(C=A⊕B) بر روی مسیر وسطی ارسال می-گردد. در این پروتکل دو گره می‌توانند خطاهای گره سوم را از طریق بسته‌های بافر شده در حافظه خود و بسته‌های رله شونده تصحیح نمایند [۱۳].

۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل چند مرحله می‌باشد. در مرحله اول، تعداد مسیرهای مورد نیاز برای تامین قابلیت اطمینان مورد نیاز بسته تعیین می‌گردد. در مرحله بعد، مسیرهای مورد نیاز از گره مبدا تا چاهک تعیین می‌شود. برای تعیین مسیرها و گره بعدی، از یک تابع هزینه مناسب استفاده می‌گردد. در نهایت، برای افزایش قابلیت اطمینان، علاوه بر استفاده از ارسال چند مسیری از روش کدینگ شبکه نیز استفاده می‌شود.

۳-۱- تعیین تعداد مسیرها

برای تعیین تعداد مسیرهای مورد نیاز، جهت تامین قابلیت اطمینان بسته ارسالی، از رابطه (۷) استفاده می‌گردد [۱۹]:

$$paths = x_\alpha \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N} p_i(1-p_i)} + \sum_{i=1}^{N} p_i \qquad (۷)$$

در رابطه (۷)، P_i احتمال ارسال موفق بسته به مقصد بوده و مقدار x_α از جدول ۱ و با توجه به قابلیت اطمینان مورد نیاز بسته ارسالی تعیین می‌گردد.

جدول ۱: مقادیر x_α بر حسب قابلیت اطمینان.

α	95%	90%	85%	80%	50%
x_α	-1.65	-1.28	-1.03	-0.85	0

۳-۲- تعیین مسیرها از گره مبدا تا چاهک

برای افزایش قابلیت اطمینان از ارسال چند مسیری استفاده می‌گردد. برای تعیین مسیرهای لازم از مبدا تا چاهک، ابتدا گره‌ها با ارسال پیغام HELLO مطابق شکل ۴ اطلاعات لازم برای تعیین مسیرهای فوق را به‌دست می‌آورند.

کیفیت پیوند ارتباطی	انرژی باقیمانده گره	شماره شناسایی گره	موقعیت جغرافیایی گره

شکل ۴ -ساختار بسته **Hello**

گره‌های حسگر با ارسال بسته HELLO، مشخصات دریافتی گره‌ها را در جدولی تحت عنوان جدول مسیریابی یادداشت می‌نمایند. روش پیشنهادی از ارسال چند مسیری برای ارسال داده‌های خود استفاده می‌نماید. بدین صورت که هر گره مبدا چند مسیر تا گره چاهک برای ارسال داده‌های خود تعیین می‌نماید. برای تعیین مسیر و انتخاب گره بعدی، از یک تابع هزینه استفاده می‌نماید که تابع هزینه انرژی موجود و میزان بافر آزاد گره بعدی را در نظر می‌گیرد. تابع هزینه از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$C(j) = \max\left\{\alpha\left(\frac{E_{res}}{E_{ini}}\right) + (1-\alpha)(l_q)\right\} \qquad (۸)$$

در رابطه (۸)، c(j) تابع هزینه گره j، α پارامتر وزن بوده و مقدار آن بین ۰ و ۱ می‌باشد. E_{res} و E_{ini} به‌ترتیب مقادیر انرژی موجود، انرژی اولیه گره‌های حسگر و L_q برابر کیفیت ارتباطی بین گره‌های همسایه می‌باشد. برای انتخاب گره بعدی، گره فعلی C(j) ماکزیمم را از بین همسایه‌های رو به جلو خود (گره‌هایی که بین گره فعلی و گره چاهک قرار دارند) در نظر می‌گیرد. به این صورت که گره‌ای از بین گره‌های همسایه انتخاب می‌شود که انرژی موجود و کیفیت پیوند ارتباطی آن گره بیشتر باشد. برای اینکه اثرات انرژی و کیفیت پیوند ارتباطی در انتخاب گره بعدی به‌صورت یکسان در نظر گرفته شده و بر روی هم اثر نداشته باشند، مقدار پارامترهای فوق نرمال‌سازی شده است. پارامتر α یک پارامتر وزن می‌باشد که مقدار آن با توجه به شبیه‌سازی‌های متناوب $\alpha = 0.6$ در نظر گرفته شده است. برای تعیین کیفیت پیوند ارتباطی بین گره‌های شبکه، از رابطه (۹) استفاده می‌شود:

$$Lq(t+1) = \beta\, Lq(t) + (1-\beta)\frac{r_p}{s_p} \qquad (۹)$$

در رابطه (۹)، Lq کیفیت پیوند ارتباطی مابین دو گره فرضی شبکه می‌باشد. برای تعیین آن تعداد بسته‌های دریافتی (r_p) بر تعداد بسته‌های کل ارسالی (s_p) تقسیم می‌گردد. پارامتر β یک پارامتر وزن بوده که یک مصالحه بین مقدار قبلی و مقدار فعلی کیفیت پیوند ارتباطی برقرار می‌نماید. مقدار این پارامتر نیز $\beta = 0.6$ در نظرگرفته شده است.

برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش انرژی مصرفی، در ارسال‌های چندمسیری از روش کدگذاری شبکه استفاده می‌شود. در مسیرهای متقاطع گره بسته‌های دریافتی از گره‌های دیگر را در بافر خود ذخیره کرده و با بسته‌های دیگر عمل کدگذاری را انجام می‌دهد. با این کار، تعداد بسته‌های ارسالی افزایش و در نتیجه انرژی مصرفی لازم برای ارسال مجدد بسته‌ها کاهش می‌یابد.

۳-۳- مدل انرژی مصرفی

یکی از پارامترهای بسیار مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، انرژی می‌باشد. انرژی مورد نیاز برای ارسال یک بسته k بیتی، به گره‌ای با فاصله d از آن از رابطه (۱۰)، محاسبه می‌شود [۲۰]:

$$E_{TX}(k,d) = K(E_{elec} + E_{amp}d^{\alpha})f(x) = \begin{cases} k(E_{elec} + \varepsilon_{fs}d^2), & d < d_0 \\ k(E_{elec} + \varepsilon_{mp}d^4), & d \geq d_0 \end{cases} \quad (۱۰)$$

در رابطه (۱۰)، d_0 حد آستانه فاصله بوده و مقدار آن برابر $d_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon_{amp}}{\varepsilon_{fs}}}$ می‌باشد. E_{elec} انرژی لازم برای کدینگ دیجیتال، مدولاسیون و فیلترینگ می‌باشد. انرژی مصرفی برای دریافت یک بسته k بیتی توسط گره گیرنده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد [۲۰]:

$$E_{RX} = KE_{elec} \quad (۱۱)$$

بنابراین، مجموع انرژی مورد نیاز برای ارسال و دریافت یک بسته k بیتی از رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد [۲۰]:

$$E_{total}(k) = E_{TX}(k,d) + E_{RX}(k) = \begin{cases} k(2E_{elec} + \varepsilon_{fs}d^2), & d < d_0 \\ k(2E_{elec} + \varepsilon_{mp}d^4), & d \geq d_0 \end{cases} \quad (۱۲)$$

در روابط (۱۰) و (۱۱) و (۱۲)، مقادیر ε_{fs}، ε_{mp} و E_{elec} ثابت می‌باشند.

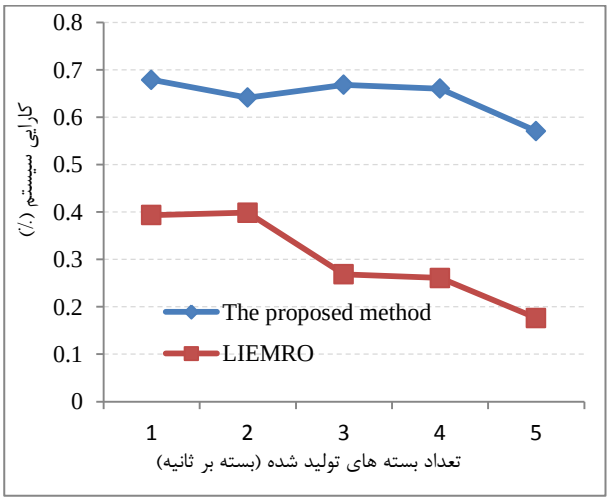
۴- مدل شبکه و پارامترهای شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی روش پیشنهادی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. در این شبیه‌سازی تعداد ۵۰ گره همگن در محیطی به مساحت ۲۰۰×۲۰۰ مترمربع به‌صورت یکنواخت توزیع شده‌اند. فرض می‌شود گره‌ها ثابت بوده و هیچ حرکتی ندارند. گره‌ها به‌صورت گام به گام داده‌های خود را به سمت چاهک ارسال می‌نمایند. جدول شماره ۲ پارامترهای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

در این بخش، کارایی سیستم بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در روش پیشنهادی و روش LIEMRO مقایسه شده است. با توجه به نتایج نمودار شکل ۵، کارایی روش پیشنهادی نسبت به روش دیگر بهتر است. دلیل این کار در نظر گرفتن کدینگ شبکه، ارسال چندمسیری و در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره‌های همسایه در انتخاب گره بعدی می‌باشد. از طرفی با افزایش تعداد بسته‌های ارسالی کارایی سیستم در هر دو روش کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن ارسال بسته‌های بیشتر می‌باشد.

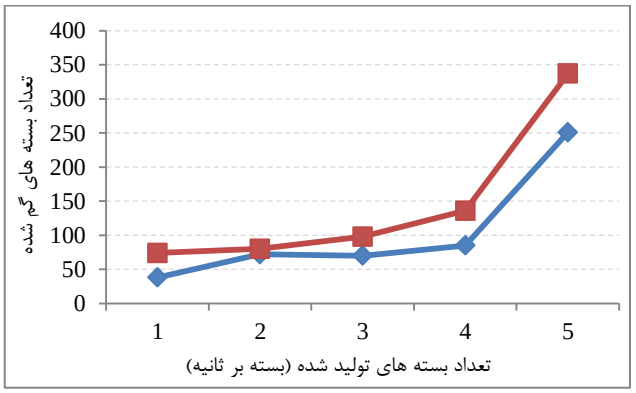
جدول ۲: پارامترهای شبیه‌سازی.

پارامتر	مقدار پارامتر
انرژی اولیه‌ی گره‌ها (ژول)	۵
اندازه‌ی بافر گره‌ها (بسته)	۱۰۰۰
تعداد راندهای شبیه‌سازی	۵۰۰۰
اندازه‌ی شبکه (متر)	۲۰۰×۲۰۰
موقعیت چاهک (متر)	(۲۰۰،۲۰۰)
تعداد گره‌ها	۵۰
برد رادیویی گره‌ها (متر)	۷۰
E_{elec}	۵۰nj/bit
ε_{amp}	۱۰۰pj/bit/m^2
α	/۶



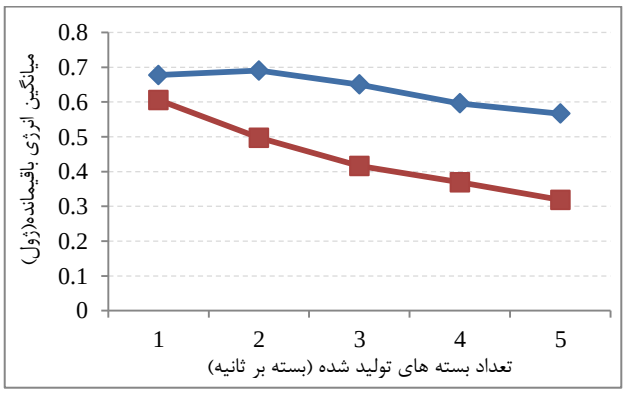
شکل ۵: نمودار کارایی بر حسب تعداد بسته‌های تولیدی

در نمودار شکل ۶ تعداد بسته‌های گم شده بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در روش پیشنهادی و روش LIEMRO مقایسه شده است. با توجه به نتایج نمودار شکل ۶، تعداد بسته‌های گم شده روش پیشنهادی نسبت به روش دیگر بهتر است. دلیل این کار در نظر گرفتن کدینگ شبکه، ارسال چندمسیری و در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره‌های همسایه در انتخاب گره بعدی می‌باشد. از طرفی با افزایش تعداد بسته‌های ارسالی تعداد بسته‌های گم شده سیستم در هر دو روش کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن ارسال بسته‌های بیشتر می‌باشد.



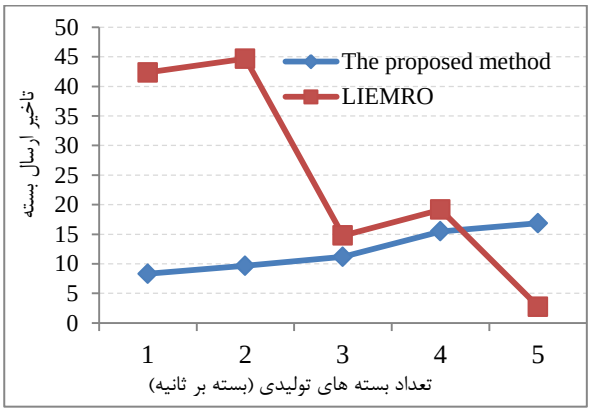
شکل ۶: نمودار تعداد گره‌های زنده بر حسب تعداد بسته‌های تولیدی

میانگین انرژی باقیمانده بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در روش پیشنهادی و روش LIEMRO در شکل ۷ با هم مقایسه شده است. با توجه به نتایج نمودار شکل ۷، میانگین انرژی باقیمانده روش پیشنهادی نسبت به روش دیگر بهتر است. دلیل این کار در نظر گرفتن کدینگ شبکه، ارسال چندمسیری و در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره‌های همسایه در انتخاب گره بعدی می‌باشد. از طرفی با افزایش تعداد بسته‌های ارسالی میانگین انرژی باقیمانده در هر دو روش کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن ارسال بسته‌های بیشتر می‌باشد.



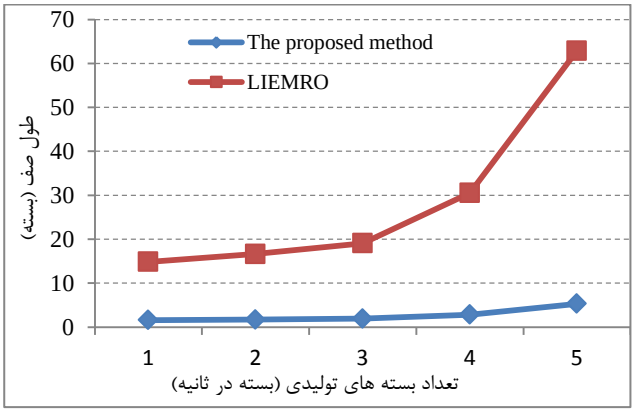
شکل ۷: مودار میانگین انرژی باقیمانده بر حسب تعداد بسته‌های تولیدی

میانگین تاخیر ارسال بسته بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در روش پیشنهادی و روش LIEMRO در شکل ۸ مقایسه شده است. با توجه به نتایج نمودار شکل ۹، تاخیر ارسال روش پیشنهادی نسبت به روش دیگر تا نقطه ۴ ارسال در هر ثانیه بهتر است. ولی با افزایش تعداد بسته‌های ارسالی تاخیر روش پیشنهادی به دلیل استفاده از کدینگ شبکه افزایش پیدا می‌کند.



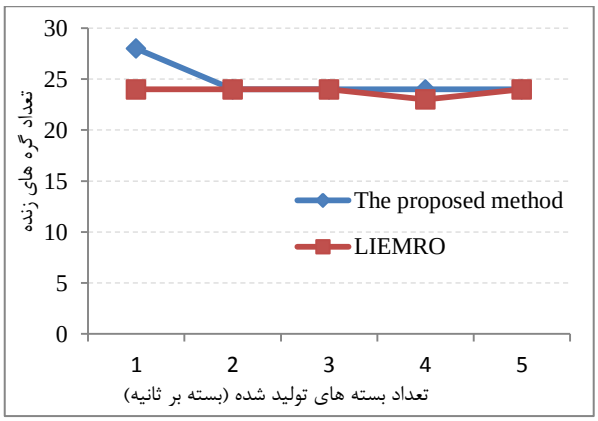
شکل ۸: نمودار تاخیر بسته‌ها بر حسب تعداد بسته‌های تولیدی

طول صف اشغالی بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در روش پیشنهادی و روش LIEMRO در نمودار شکل ۹ مقایسه شده است. با توجه به نتایج نمودار شکل ۹، میانگین طول صف اشغالی روش پیشنهادی نسبت به روش دیگر بیشتر است که از معایب روش پیشنهادی محسوب می‌گردد. دلیل این کار در نظر گرفتن کدینگ شبکه می‌باشد. زیرا گره‌ها با بافر کردن بسته‌ها در بافر خود برای استفاده در کدینگ شبکه، طول صف اشغالی خود را افزایش می‌دهند.



شکل ۹: نمودار طول صف بر حسب تعداد بسته‌های تولیدی

در این بخش، تعداد گره‌های زنده بر اساس تعداد بسته‌های تولیدی در روش پیشنهادی و روش LIEMRO مقایسه شده است. با توجه به نتایج نمودارشکل ۱۰، تعداد گره‌های زنده روش پیشنهادی نسبت به روش دیگر تا حدودی بهتر است. دلیل این کار در نظر گرفتن کدینگ شبکه و در نظر گرفتن انرژی باقیمانده گره‌های همسایه در انتخاب گره بعدی می‌باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن انرژی موجود گره‌های شبکه در ارسال بسته‌ها برای تعیین گره بعدی، در انرژی مصرفی صرفه‌جویی می‌شود.



شکل ۱۰: نمودار تعداد گره‌های زنده بر حسب تعداد بسته‌های تولیدی

۵- نتیجه‌گیری و کارهای آتی

با توجه به محدودیت‌های ذاتی شبکه‌های حسگر بی‌سیم از جمله انرژی، توان پردازشی و حافظه، افزایش قابلیت اطمینان و مصرف بهینه انرژی در پروتکل‌های مسیریابی از چالش‌های اساسی برای شبکه‌های مذکور محسوب می‌گردد. پروتکل‌های رایج برای افزایش قابلیت اطمینان از ارسال بسته تایید (ACK) در برابر بسته دریافتی یا FEC استفاده می‌نمایند. از طرفی، استفاده از روش‌هایی به‌عنوان مثال روش درخواست تکرار خودکار (ARQ) برای شبکه-های حسگر بی‌سیم مناسب نمی‌باشد. محدود بودن ظرفیت شبکه باعث می‌گردد که استفاده از افزونگی برای افزایش قابلیت اطمنان با مشکلات اساسی روبرو شود. بنابراین، استفاده از روش کدینگ اطلاعات برای افزایش قابلیت اطمینان این شبکه‌ها می‌تواند مفید واقع شود. در این طرح یک الگوریتم چندمسیری با استفاده از کدگذاری شبکه ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با استفاده از ارسال چندمسیری و کدگذاری اطلاعات، قابلیت اطمینان را افزایش و انرژی مصرفی را کاهش می‌دهد. به‌عنوان کار آتی می‌توان امنیت روش پیشنهادی و تاخیر انتها به انتهای آن را در نظر گرفت.

مراجع

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.

[2] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," *Computer networks*, vol. 52, pp. 2292-2330, 2008.

[3] A. Ghaffari, "Congestion control mechanisms in wireless sensor networks: A survey," *Journal of network and computer applications*, vol. 52, pp. 101-115, 2015.

[4] A. Ghaffari and V. A. Takanloo, "QoS-based routing protocol with load balancing for wireless multimedia sensor networks using genetic algorithm," *World Appl. Sci. J*, vol. 15, pp. 1659-1666, 2011.

[5] R. R. Rout and S. K. Ghosh, "Enhancement of lifetime using duty cycle and network coding in wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, pp. 656-667, 2013.

[6] X. Wang, J. Wang, and Y. Xu, "Data dissemination in wireless sensor networks with network coding," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2010, p. 465915, 2010.

[7] A. Ghaffari and L. Azari, "Proposing a novel method based on network-coding for optimizing error recovery in wireless sensor networks," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, p. 859, 2015.

[8] R. Mohammadi and A. Ghaffari, "Optimizing reliability through network coding in wireless multimedia sensor networks," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 8, p. 834, 2015.

[9] A. Ghaffari and A. Rahmani, "Fault tolerant model for data dissemination in wireless sensor networks," in *Information Technology, 2008. ITSim 2008. International Symposium on*, 2008, pp. 1-8.

[10] M. Z. Farooqi, S. M. Tabassum, M. H. Rehmani, and Y. Saleem, "A survey on network coding: From traditional wireless networks to emerging cognitive radio networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 46, pp. 166-181, 2014.

[11] S.-Y. Li, R. W. Yeung, and N. Cai, "Linear network coding," *IEEE transactions on information theory*, vol. 49, pp. 371-381, 2003.

[12] Z. Wei, T. Zhenmin, Y. Yuwang, and W. Lei, "Network Coding Based Reliable Multi-path Routing in Wireless Sensor Network," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 11, pp. 7754-7761, 2013.

[13] Y.-W. Yang, L. Gu, Y.-T. Ju, Y. Zheng, Y.-M. Su, and J.-Y. Yang, "Reliable braided multipath routing with network coding for underwater sensor networks," *China Ocean Engineering*, vol. 24, pp. 565-574, 2010.

[14] Y. Yang, C. Zhong, Y. Sun, and J. Yang, "Network coding based reliable disjoint and braided multipath routing for sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 33, pp. 422-432, 2010.

[15] K. Sha, J. Gehlot, and R. Greve, "Multipath routing techniques in wireless sensor networks: A survey," *Wireless personal communications*, pp. 1-23, 2013.

[16] L. Wang, Y. Yang, and W. Zhao, "Network coding-based multipath routing for energy efficiency in wireless sensor networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2012, p. 115, 2012.

[17] M. Radi, B. Dezfouli, S. A. Razak, and K. A. Bakar, "LIEMRO: a Low-Interference energy-efficient multipath routing protocol for improving QoS in event-based wireless sensor networks," in *Sensor Technologies and Applications (SENSORCOMM), 2010 Fourth International Conference on*, 2010, pp. 551-557.

[18] Q. Tuanfa, L. Jianzhong, T. Zhenhua, and L. Jiafeng, "An Energy-Efficient Network Coded Cooperation Scheme in Wireless Sensor Networks," *China Communications*, vol. 8, pp. 166-172, 2011.

[19] L. Shan-Shan, Z. Pei-Dong, L. Xiang-Ke, C. Wei-Fang, and P. Shao-Liang, "Energy efficient multipath routing using network coding in wireless sensor networks," in *International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless*, 2006, pp. 114-127.

[20] M. Handy, M. Haase, and D. Timmermann, "Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection," in *Mobile and Wireless Communications Network, 2002. 4th International Workshop on*, 2002, pp. 368-372.

Using network coding in wireless sensor networks routing protocol

Ali Ghaffari
Department of computer engineering, Tabriz branch, Islamic azad university, Tabriz, Iran.
A.Ghaffari@iaut.ac.ir

Abstract- Energy constraint in wireless sensor networks, have been made the packets routing with essential issues. In event based applications, the inherent constraint of these networks and large packet traffics affects the networks lifetime. Hence, the energy of sensor nodes near the sink node will be exhusted and the duty of WSNs will be affected with this problem. Network coding scheme with encoding and decoding of data packets, have improved the throughput, reduces the average end-to-end delays and resilient the networks against the fails. In this paper, we proposes a routing algorithm using network coding scheme. For selecting appropriate routing paths, the proposed scheme considers the link quality and residual energy of neighbor nodes. Simulation results show that the proposed scheme increases the network reliability and decreases the energy consumption in comparing with other relate scheme.

Keywords- Wireless sensor networks, Reliability, Routing, Network coding, Energy efficiency.