

کنترل کیفیت سرویس در شبکه حسگر بیسیم مبتنی بر انرژی حسگرها

مصطفی میلانی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، دانشگاه امیرکبیر

mostafa.milani@aut.ac.ir

محمد رضا میبدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، دانشگاه امیرکبیر

mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده: معیارهای مختلفی در تعیین کیفیت سرویس در شبکه‌های حسگر بیسیم وجود دارد که بیشتر وابسته به کاربرد هستند. یکی از مهمترین معیارهای ارزیابی کیفیت سرویس تعداد گره‌های ارسال-کننده یا فعال در شبکه است. با توجه به افزونگی حسگرها می‌توان با فعال کردن تعداد کافی از حسگرها و غیرفعال کردن بقیه‌ی آنها، همزمان با تأمین کیفیت سرویس مورد نیاز، طول عمر شبکه را افزایش داد. روش تعیین فعال یا غیرفعال بودن حسگرها تأثیر مستقیم بر طول عمر آنها و شبکه دارد. لذا ارائه‌ی روشی که از انرژی کلیه گره‌ها بطور یکسان استفاده کند در افزایش طول عمر شبکه بسیار مؤثر است. در این مقاله روشی مبتنی بر انرژی حسگرها برای کنترل کیفیت سرویس ارائه شده است. مقایسه‌ی این روش با روش‌های مشابه نشان می‌دهد با کمک این روش ضمن حفظ کیفیت سرویس، بدلیل استفاده‌ی متعادل از انرژی کلیه حسگرها، طول عمر شبکه بطور چشمگیری افزایش پیدا کرده است.

واژه های کلیدی: کیفیت سرویس، شبکه حسگر بیسیم

۱- مقدمه

پیشرفت در زمینه‌ی طراحی حسگرها و فرستنده-گیرنده‌های رادیویی در شبکه‌های سنسور بیسیم منجر به کم شدن اندازه، وزن و هزینه‌ی حسگرها، افزایش برد و دقت فرستنده و گیرنده‌ها شده است. با ادامه‌ی این روند استفاده از شبکه‌های حسگر بیسیم در بسیاری از کاربردهای روزمره مانند کنترل نور و حرارت اماکن، نظارت پزشکی بر بیماران و کمک به مراقبت از کودکان امکان‌پذیر خواهد شد.

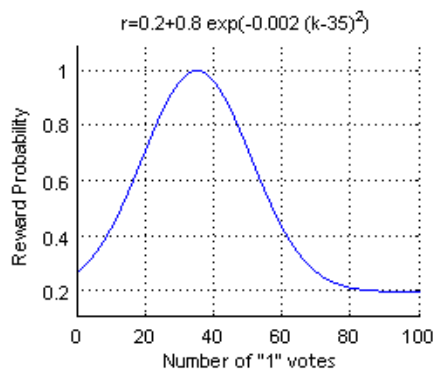
بدلیل اهمیت شبکه حسگر بیسیم، تحقیقات زیادی در زمینه‌ی معماری شبکه، طراحی پروتکل‌های ارتباطی و نحوه‌ی کم کردن مصرف انرژی انجام شده است ولی به موضوع کیفیت سرویس در این شبکه‌ها کم‌تر توجه شده است. این بیشتر به خاطر تفاوت کیفیت سرویس در کاربردهای مختلف در شبکه‌های سنسور بیسیم است. در این شبکه‌ها برخلاف شبکه‌های سنتی معیار مشترکی برای ارزیابی کیفیت سرویس وجود ندارد و با توجه به کاربرد، نیازمندی کیفیت سرویس متفاوت است.

کیفیت سرویس از دو جنبه‌ی کاربرد و خود شبکه قابل بررسی است [۱]. از نظر کاربرد نیازمندی‌های مختلفی در کیفیت سرویس شبکه در نظر گرفته می‌شود. در این زمینه معیارهای پوشش [۲]، آشکارسازی [۳]، خطای سنجش و تعداد سنسورهای فعال [۴] مطرح شده‌اند. از جنبه‌ی شبکه کیفیت سرویس وابسته به مدل تحویل داده است. یعنی با توجه به اینکه شبکه با چه مدلی داده را ارائه می‌کند، نیازمندی‌های متفاوتی برای کیفیت سرویس تعریف می‌شود. سه مدل اصلی برای تحویل داده رخداد-محرك، جستار-محرك و مدل تحویل متوالی هستند. در مدل رخداد-محرك شبکه در اثر اتفاق افتادن یک رخداد شروع به جمع‌آوری و تحویل داده می‌کند. مثلاً شبکه‌ای که برای تشخیص عبور یک حیوان در قسمتی از جنگل طراحی شده است از این مدل داده‌ای استفاده می‌کند. در این مدل درستی تشخیص و میزان تأخیر در گزارش کردن آن، معیارهای ارزیابی کیفیت سرویس هستند. در مدل جستار-محرك جستار از طرف گره‌ی مرکزی مطرح می‌شود و شبکه با جمع‌آوری داده‌ی مناسب به آن پاسخ می‌دهد. در این مدل زمان پاسخ به جستار و دقت پاسخ از معیارهای کیفیت سرویس هستند. در مدل تحویل متوالی، گره‌ها در پریودهای زمانی مشخص دائماً اطلاعات به گره‌ی مرکزی ارسال می‌کنند. در این مدل هم پوشش شبکه معیار اصلی تعریف کیفیت سرویس است.

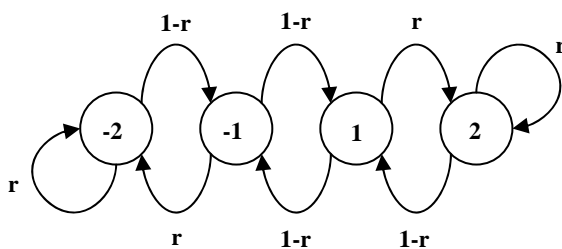
در این مقاله از معیار تعداد گره‌های فعال برای ارزیابی کیفیت سرویس استفاده شده است. gur game [۴] اولین روش ارائه شده برای کنترل تعداد گره‌های فعال است. در این روش هر گره یک ماشین حالت دارد که براساس وضعیت آن فعال یا غیرفعال می‌شود. گره‌ی مرکزی با استفاده از یک کانال مستقل سیگنال کنترلی به گره‌ها انتشار می‌دهد و با تغییر وضعیت ماشین حالت گره‌ها، کنترل کیفیت سرویس را بر عهده دارد. در مقاله‌ی [۵] از ack automata استفاده شده است. گره‌ها براساس احتمالی که وضعیت ماشین حالتشان مشخص می‌کند ارسال می‌کنند. مشابه روش gur game در روش ack automata هم گره‌ی مرکزی با ارسال سیگنال کنترلی به حسگرها و تغییر وضعیت آنها تعداد گره‌ها ارسال‌کننده را کنترل می‌کند. در این روش گره‌ی مرکزی بلافاصله بعد از دریافت هر بسته با بررسی تعداد بسته‌های رسیده سیگنال کنترلی متناسب را انتشار

می‌دهد. بنابراین حسگرها بلافاصله بعد از ارسال بسته سیگنال کنترلی را از گرهی مرکزی دریافت می‌کنند. لذا فرستنده-گیرنده‌ی حسگرها در اکثر اوقات غیرفعال است و این موجب کاهش مصرف انرژی گره‌ها نسبت به روش گور می‌شود. در مقاله‌ی [۶] از اتوماتای یادگیر استفاده شده است یعنی هر گره یک اتوماتای یادگیر دارد که تصمیم‌گیری را بکمک آن انجام می‌دهد. هر اتوماتای یادگیر به تعداد حالاتش بردار احتمال دارد که براساس این بردار احتمال حرکت بعدی انجام می‌شود. در ضمن بردارهای احتمال با دریافت بازخورد از محیط (جریمه یا پاداش) بروز می‌شوند. نقطه‌ی قوت این روش قابلیت تغییر در بردارهای احتمال و در نتیجه یادگیری اتوماتا است. علاوه بر این با توجه به کلیت روش می‌توان از سیگنال بازخورد مناسب‌تری نسبت به روش‌های قبلی استفاده کرد که اطلاعات بیشتری به گره‌ها منتقل کند.

در روش ack automata گره‌هایی که زودتر ارسال می‌کنند بدلیل دریافت پاداش در پریودهای بعدی مجدداً ارسال انجام می‌دهند. این روند ادامه پیدا می‌کند و انرژی این گره‌ها به اتمام می‌رسد در حالیکه گره‌های دیگر هنوز انرژی کمی مصرف کرده‌اند. این مصرف غیریکسان انرژی موجب می‌شود با مرگ زود هنگام گره‌های ارسال‌کننده شبکه قادر به تأمین کیفیت سرویس مورد نظر نباشد. در این مقاله با تغییر روش ack automata جدیدی برای فعال کردن گره‌ها پیشنهاد شده است. در این روش گره‌های بیشتری در ارسال داده شرکت می‌کنند و مصرف انرژی بین گره‌ها تقسیم می‌شود. این موضوع باعث می‌شود طول عمر متوسط گره‌ها افزایش پیدا کند که موجب افزایش طول عمر شبکه هم خواهد شد. در ادامه خلاصه‌ای از روش gur game و ack automata آورده شده است. بعد روش پیشنهادی مطرح شده است و در انتها این سه روش مقایسه شده‌اند و کارایی روش پیشنهادی در افزایش طول عمر شبکه و کنترل کیفیت سرویس نشان داده شده است.



شکل ۱- نمونه‌ای از تابع پاداش در روش gur game



شکل ۲ - حافظه gur با اندازه‌ی n=۲

در مقاله‌ی [۵] از gur game برای کنترل تعداد گره‌های ارسال‌کننده استفاده شده است. یعنی گره‌ها مانند بازیکنان gur game بکمک ماشین حالت تصمیم می‌گیرند که ارسال انجام دهند و

با توجه به افزونگی گره‌ها در شبکه‌های حسگر بیسیم، با غیرفعال کردن گره‌های اضافی و فعال کردن آنها می‌توان طول عمر شبکه را افزایش داد. شبکه‌ی حسگری را در نظر بگیرید که در آن تعدادی حسگر بطور تصادفی در محیطی توزیع شده‌اند. این شبکه بطور پریودیک یک متغیر محیطی مثل رطوبت یا دما را اندازه‌گیری می‌کند. برای این منظور در هر پریود تعدادی از گره‌های شبکه مقدار حس شده را به گرهی مرکزی ارسال می‌کنند. برای تأمین کیفیت سرویس باید تعداد گره‌های ارسال‌کننده به تعداد کافی باشد. این تعداد را در ادامه با پارامتر k^* نشان می‌دهیم. با توجه به مرگ حسگرها و اضافه شدن گره‌های جدید در زمان فعالیت شبکه، تعداد کل گره‌ها قابل پیش‌بینی نیست. لذا رسیدن به تعداد ارسال k^* در هر پریود نیازمند اعمال روش‌های ویژه‌ای است.

۲- طرح مسئله و روش‌های قبلی

با توجه به افزونگی گره‌ها در شبکه‌های حسگر بیسیم، با غیرفعال کردن گره‌های اضافی و فعال کردن آنها می‌توان طول عمر شبکه را افزایش داد. شبکه‌ی حسگری را در نظر بگیرید که در آن تعدادی حسگر بطور تصادفی در محیطی توزیع شده‌اند. این شبکه بطور پریودیک یک متغیر محیطی مثل رطوبت یا دما را اندازه‌گیری می‌کند. برای این منظور در هر پریود تعدادی از گره‌های شبکه مقدار حس شده را به گرهی مرکزی ارسال می‌کنند. برای تأمین کیفیت سرویس باید تعداد گره‌های ارسال‌کننده به تعداد کافی باشد. این تعداد را در ادامه با پارامتر k^* نشان می‌دهیم. با توجه به مرگ حسگرها و اضافه شدن گره‌های جدید در زمان فعالیت شبکه، تعداد کل گره‌ها قابل پیش‌بینی نیست. لذا رسیدن به تعداد ارسال k^* در هر پریود نیازمند اعمال روش‌های ویژه‌ای است.

در روش ارائه شده در این مقاله با اصلاح روش ack automata و تعدیل مصرف انرژی بین گره‌ها، همزمان با حفظ کیفیت سرویس، طول عمر شبکه به طور محسوسی افزایش پیدا کرده است.

۳- روش پیشنهادی

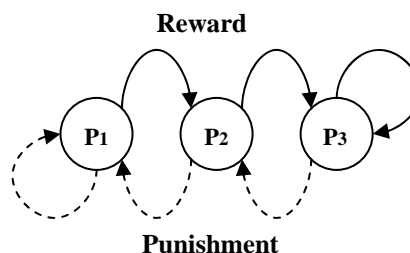
در سناریوی بررسی شده در [۴، ۵] گره‌ها با دوره‌ی تناوب یکسانی پارامتر محیطی حس شده را به گره‌ی مرکزی ارسال می‌کنند. در روش ack automata گره‌ها بدون نیاز به همزمانی و اطلاع از ابتدا و انتهای هر پریود، با دوره‌ی تناوب یکسان با گره‌ی مرکزی (T) فعال می‌شوند و برای ارسال تصمیم می‌گیرند. بنابراین گره‌هایی که در ابتدای یک پریود فعال می‌شوند در پریودهای بعدی هم قبل از بقیه‌ی گره‌ها فعال می‌شوند. این گره‌ها در صورت ارسال به گره‌ی مرکزی جزو k^* حسگر ابتدایی خواهند بود که ارسال انجام داده‌اند. لذا پاداش دریافت می‌کنند و به وضعیت با احتمال ارسال بیشتر تغییر وضعیت می‌دهند. بنابراین بقیه‌ی گره‌ها حتی در صورت ارسال بسته پاداش دریافت نمی‌کنند و وضعیت ماشین حالت آنها به وضعیت‌های با احتمال ارسال کمتر تغییر می‌کند. این مکانیزم منجر به ارسال مجدد بسته توسط k^* گره‌ی ابتدایی در پریودهای بعدی خواهد شد. یعنی k^* گره که از نظر زمانی در ابتدای پریود ارسال می‌کنند در وضعیت با بیشترین احتمال ارسال باقی می‌مانند و بقیه گره‌ها در وضعیت با کمترین احتمال ارسال ثابت خواهند شد. با توجه به اینکه گره‌های ارسال کننده انرژی به مراتب بیشتری مصرف می‌کنند، انرژی گره‌هایی که در همه‌ی پریودها ارسال انجام می‌دهند بعد از مدتی تخلیه می‌شود. بقیه‌ی گره‌ها تا قبل از مرگ این گره‌ها با احتمال کمی ارسال می‌کنند و لذا بیشتر انرژی آنها باقی خواهد ماند.

با حفظ تعادل در مصرف انرژی گره‌ها می‌توان طول عمر شبکه را افزایش داد. فرض کنید شبکه حسگری شامل ۱۰۰ گره باشد و گره‌ی مرکزی $k^*=65$ ارسال در هر پریود را نیاز داشته باشد. براساس توضیحات ارائه شده، ۶۵ گره‌ی ابتدایی به طور مداوم در همه‌ی پریودها ارسال می‌کنند. به این ترتیب کیفیت سرویس در این پریودها بطور مطلوبی تأمین می‌شود ولی بلافاصله بعد از تخلیه‌ی انرژی این گره‌ها و خارج شدن آنها از شبکه ۳۵ گره‌ی باقیمانده قادر به تأمین کیفیت سرویس مورد نظر نخواهند بود و پایان عمر شبکه اعلام خواهد شد. در حالیکه این ۳۵ گره از بیشتر انرژی خود استفاده نکرده‌اند. لذا مشارکت این گره‌ها در پریودهای قبلی و متعادل کردن مصرف انرژی گره‌ها، طول عمر شبکه افزایش چشمگیری خواهد داشت.

برای برطرف کردن این نقص گره‌هایی که در معرض تخلیه شدن انرژی هستند باید دیرتر فعال شوند تا گره‌های دیگر شانس پاداش گرفتن و تغییر وضعیت به وضعیت‌های با احتمال ارسال بیشتر را پیدا کنند. برای این منظور گره‌ها باید از اطلاعات

بعد با روشن نگه داشتن گیرنده‌های خود منتظر دریافت مقدار پاداش می‌شوند. این مقدار در اتمام هر پریود توسط گره‌ی مرکزی محاسبه و منتشر می‌شود. در این روش گیرنده‌ی کلیه گره‌ها، حتی گره‌هایی که ارسال نکرده‌اند، باید تا پایان پریود منتظر دریافت مقدار پاداش باشند. این موضوع موجب اتلاف زیاد انرژی و کاهش طول عمر شبکه می‌شود.

در روش ack automata مانند روش gur game گره‌ها از ماشین حالت برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. در این روش به هر وضعیت در ماشین حالت‌ها احتمال مشخصی تعلق می‌گیرد. این احتمالات مانند شکل ۳ بطور صعودی متناظر با برچسب آنها تعیین شده‌اند ($p_1 < p_2 < p_3$). گره‌ها با قرار گرفتن در هر وضعیت با احتمال مشخص ارسال می‌کنند. لذا قرار گرفتن در وضعیت با برچسب بزرگتر به منزله‌ی احتمال ارسال بیشتر است. در این روش هم گره‌ی مرکزی با ارسال سیگنالی تعداد ارسال‌ها را کنترل می‌کند. در این روش گره‌ها در هر پریود با احتمال مشخص شده در وضعیت جاری ماشین حالت خود تصمیم می‌گیرند که ارسال کنند. در صورت ارسال نکردن تا پریود بعدی غیرفعال می‌شوند و در پریود بعدی دوباره بر اساس همین مقدار احتمال تصمیم می‌گیرند. در صورت ارسال کردن منتظر پاسخ از گره‌ی مرکزی می‌شوند. گره‌ی مرکزی بلافاصله بعد از دریافت بسته از هر گره با مقایسه‌ی تعداد ارسال‌ها در پریود جاری ($k(t)$) و تعداد لازم برای تأمین کیفیت سرویس (k^*)، سیگنال پاداش را که مقدار "۰" یا "۱" دارد منتشر می‌کند. مقدار "۰" نشان می‌دهد که بسته‌ی دریافتی اضافی است و تعداد ارسال‌ها تا این لحظه کافی بوده است. مقدار "۱" نشان می‌دهد بسته‌های بیشتری لازم است. لذا گره‌ها با دریافت مقدار "۰" ("۱") به وضعیت با احتمال کمتر (بیشتر) تغییر وضعیت می‌دهند. در این روش گره‌ی مرکزی برای هر گره متناسب با زمان ارسال آن سیگنال پاداش را ایجاد می‌کند. یعنی k^* گره‌ای که ابتدا ارسال می‌کنند مقدار "۱" و گره‌های ارسال کننده‌ی بعدی مقدار "۰" دریافت می‌کنند. با توجه به اینکه گره‌ها در این روش بطور متناوب برای ارسال تصمیم می‌گیرند، گره‌هایی که زودتر برای تصمیم‌گیری فعال می‌شوند پاداش می‌گیرند و در تکرارهای بعدی هم با احتمال بیشتری ارسال می‌کنند. این موضوع موجب تخلیه‌ی انرژی این گره‌ها و مرگ سریعتر آنها می‌شود که باعث کاهش طول عمر کل شبکه خواهد شد.



شکل ۳- یک نمونه ack automata

بیشتری برای تصمیم‌گیری استفاده کنند. در روش این مقاله هر گرهی ارسال‌کننده علاوه بر مقدار پارامتر محیطی حس‌شده، مقدار انرژی باقی‌مانده‌ی خود را هم به گرهی مرکزی اعلام می‌کند. گرهی مرکزی هم بعد از اتمام هر پریود به کمک این اطلاعات میانگین انرژی گره‌های ارسال‌کننده را محاسبه می‌کند و در پریود بعدی همراه با سیگنال کنترلی به گره‌ها منتشر می‌کند. بنابر این هر گره بعد از ارسال از مقدار میانگین انرژی گره‌های ارسال‌کننده در پریود قبلی (E_{avg}) مطلع می‌شود.

هر گرهی ارسال‌کننده با داشتن و مقایسه‌ی آن با مقدار انرژی خودش (E) متوجه می‌شود که انرژی‌اش در حال تخلیه شدن است یا اینکه بیشتر از میانگین انرژی دارد. اگر دوره‌ی تناوب گرهی مرکزی و فعال شدن گره‌ها را با T نشان دهیم در صورتیکه گره‌ای تنها در یک پریود بجای T واحد زمانی وقفه، بعد از $T - \tau$ واحد زمانی فعال شود، شانس بیشتری برای قرار گرفتن در k^* گرهی ابتدایی خواهد داشت. بالعکس اگر گره‌ای در یک پریود بعد از $T + \tau$ واحد زمانی فعال شود، شانس کمتری برای دریافت پاداش در دوره‌ی بعد دارد. در روش پیشنهادی براساس شبه کد ۱ گره‌های ارسال‌کننده مقدار T را برای فعال شدن در پریود بعدی مشخص می‌کنند.

```

if ( $E_{avg} > E$  and  $|E_{avg} - E| > \eta$ ) then
     $T_{next} = T + \tau$ 
else if ( $E_{avg} < E$  and  $|E_{avg} - E| > \eta$ ) then
     $T_{next} = T - \tau$ 
else

```

شبه کد ۱- تعیین مقدار T برای پریود بعدی در روش پیشنهادی

این شبه کد مقدار T_{next} یا فاصله‌ی زمانی فعال شدن در تکرار بعد را مشخص می‌کند. پارامتر η اختلاف انرژی بین گره‌ها را کنترل می‌کند. براساس این شبه کد اگر انرژی گره‌ای به اندازه‌ی η واحد از میانگین انرژی کمتر باشد، گره برای تکرار بعد τ واحد زمانی دیرتر فعال می‌شود. همینطور اگر گره‌ای به اندازه‌ی η واحد بیشتر از میانگین انرژی داشته باشد، در تکرار بعد τ واحد زمانی زودتر فعال می‌شود. اگر اختلاف انرژی گره با میانگین انرژی گره‌های ارسال‌کننده کمتر از η باشد، مقدار T_{next} تغییر نخواهد کرد.

با اعمال این روش کیفیت سرویس مشابه روش ack automata خواهد بود. روش پیشنهادی تنها با تغییر زمان فعال شدن گره‌ها احتمال پاداش گرفتن آنها را تغییر می‌دهد. نکته‌ی مهم در این روش عدم تغییر نحوه‌ی کنترل کیفیت سرویس نسبت به روش ack automata است. اگر مقدار τ در مقایسه با T کوچک باشد، هر گرهی ارسال‌کننده در پریود بعدی هم با توجه به قرار

داشتن در وضعیت با احتمال ارسال زیاد، ارسال انجام خواهد داد ولی احتمال دریافت پاداش برای این گره کمتر می‌شود و لذا گره‌های دیگری جایگزین آن خواهند شد. بنابراین تعداد ارسال‌کننده‌ها نسبت به روش قبلی کاهشی نخواهد داشت که این موضوع در آزمایش‌ها هم بررسی شده است.

موفقیت روش پیشنهادی در تعدیل مصرف انرژی گره‌ها وابسته به مقادیر احتمال وضعیت‌های ماشین حالت گره‌هاست. اگر مقدار احتمال ارسال برای وضعیت‌های با برچسب کوچکتر در گره‌ها تا حدی کم باشد که این گره‌ها تا انتهای عمر شبکه فعال نشوند روش پیشنهادی کارایی نخواهد داشت. این روش تنها در حالتی که این گره‌ها فعال شوند این امکان را برای آنها فراهم می‌کند که در رقابت با گره‌های دیگر شانس بیشتری برای دریافت پاداش داشته باشند. لذا مقدار احتمال وضعیت‌های با برچسب کوچکتر نقش مهمی در تأثیرگذاری این روش دارد.

۴- نتایج آزمایش‌ها

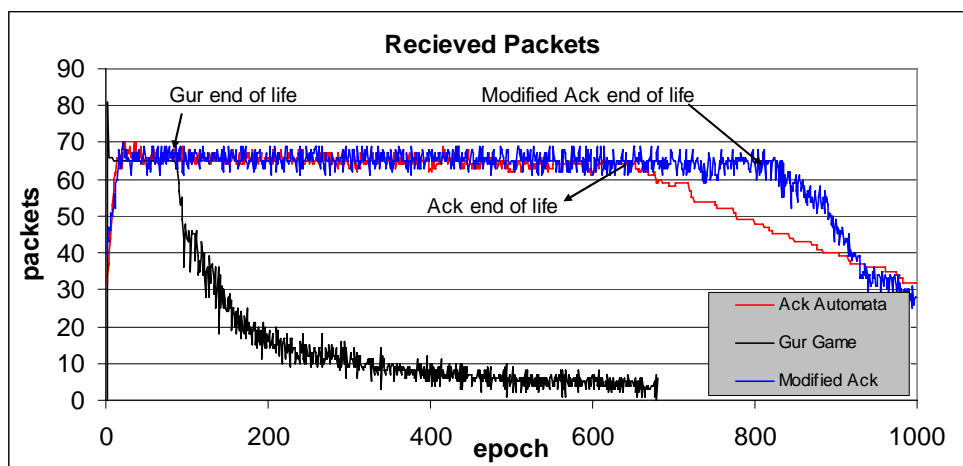
در این تحقیق، برای مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش‌های ack automata و gur game از سناریوی پیاده‌سازی شده در مقاله‌های [۴، ۵] استفاده شده است. در این سناریو، برای سادگی، جزئیات کانال رادیویی حذف شده است. فرض می‌کنیم ۱۰۰ گره در محیط بطور تصادفی و با توزیع یکسان پخش شده‌اند. گرهی مرکزی با اتصال تک-گامه از گره‌ها بسته دریافت می‌کند. ولی برخلاف این دو مقاله در این آزمایش فرض شده که گرهی مرکزی نرخ دریافت ۶۵ بسته در هر پریود زمانی را می‌خواهد. در هر پریود گره‌ها داده‌ی محیطی را به گرهی مرکزی ارسال می‌کنند و گرهی مرکزی متناسب با تعداد گره‌های ارسال‌کننده و نیازمندی کیفیت سرویس، مقدار پاداش را برای گره‌ها انتشار می‌دهد.

این آزمایش با هر سه روش و در ۱۰۰۰ اپیک اجرا شده است. مقادیر ثانیه $\tau = 2$ و ثانیه $T = 10$ و $J = 0.25$ در نظر گرفته شده‌اند. نمودار ۱ تعداد بسته‌های فرستاده شده در هر اپیک را نشان می‌دهد. این نمودار تأمین کیفیت سرویس در این سه روش را مقایسه می‌کند. براساس نتایج، روش پیشنهادی تقریباً تا ۸۰۰ تکرار کیفیت ۶۵ بسته در هر تکرار را تأمین کرده است در حالیکه روش gur game و روش ack automata بدلیل مرگ زیاد حسگرها قادر به تأمین کیفیت سرویس تا این تکرار نیستند.

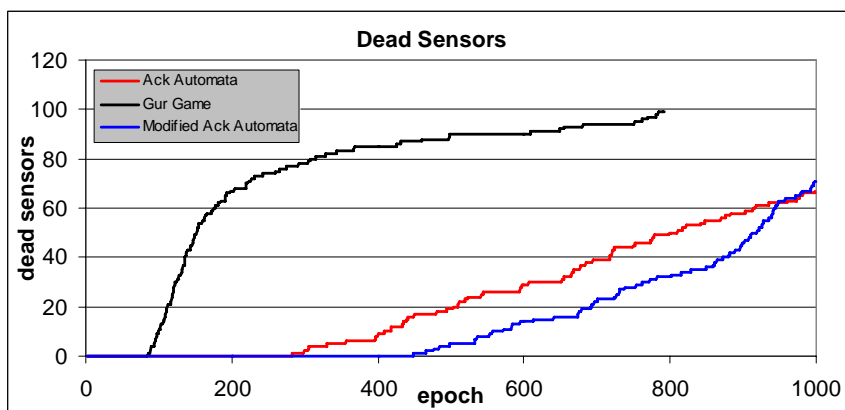
نمودار ۲ تعداد گره‌های خارج شده از شبکه را در سه روش را مقایسه می‌کند. نکته‌ی مهم در این نمودار تفاوت تعداد گره‌های مرده در روش پیشنهادی و روش ack automata است. در روش ack automata بعد از اتمام انرژی اولین گره، تعداد گره‌های خارج شده از شبکه با شیب تقریباً ثابتی افزایش پیدا می‌کند. ولی در روش پیشنهادی در ابتدا تعداد گره‌های مرده به کندی افزایش پیدا می‌کند ولی در انتهای تکرارها این تعداد بطور ناگهانی و با شیب تندی اضافه می‌شود. این پدیده اثبات می‌کند که در روش پیشنهادی انرژی گره-

automata نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار مشخص است میانگین انرژی در دو روش یکسان است که این موضوع با توجه به کیفیت سرویس یکسان دو روش و یکسان بودن زمان فعال بودن گره‌ها قابل پیش‌بینی بود. نکته‌ی بعدی نزدیکتر بودن مقادیر

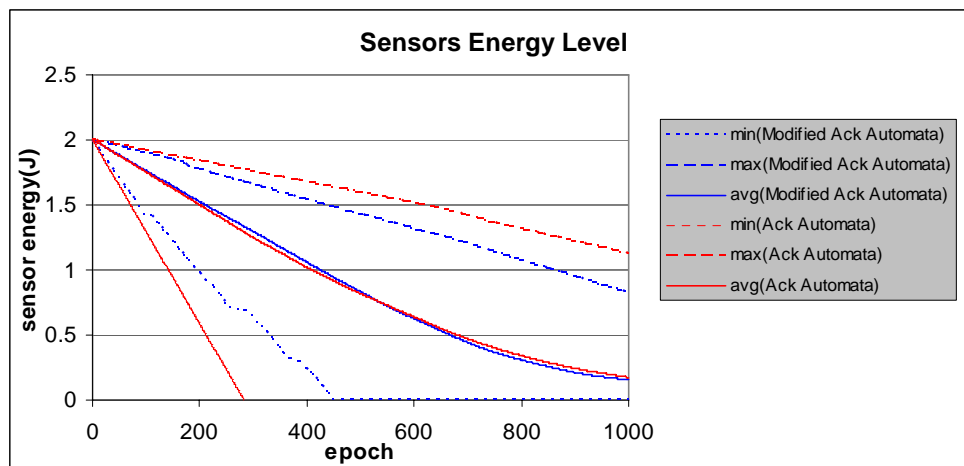
ها تقریباً بطور همزمان به اتمام می‌رسد و مصرف انرژی گره‌ها متعادل و یکسان صورت می‌گیرد. این موضوع در نمودار ۳ بیشتر قابل بررسی است. این نمودار انرژی کمترین و بیشترین و میانگین انرژی گره‌ها را در اپک‌های مختلف برای روش پیشنهادی و روش ack



نمودار ۱- تعداد بسته‌های فرستاده شده در هر تکرار



نمودار ۲- نمودار تعداد گره‌های خارج شده از شبکه در هر تکرار



نمودار ۳- نمودار بیشترین، کمترین و مقدار میانگین انرژی گره‌ها در هر تکرار

Sensor Networks," in IEEE Infocom, Anchorage, Alaska, USA, 2001, pp. 1380-1387

[3] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, G. Qu, and M. Potkonjak, "Exposure In Wireless Ad-Hoc Sensor Networks," in International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2001, pp. 139 - 150.

[4] R. Iyer and L. Kleinrock, "QoS control for sensor networks," in International Conference on Communications, Anchorage, Alaska, USA, 2003, pp. 517- 521.

[5] J. Frolik, "QoS Control for Random Access Wireless Sensor Networks," in Wireless Communication and Networking Conference, Atlanta, Georgia, USA, 2004, pp. 1522- 1527.

[6] M. Esnaashari, M. R. Meybodi, and M. Sabaei, "A Novel Method for QoS Support in Sensor Networks," in Annual CSI Computer Conference of Iran, Tehran, Iran, 2007, pp. 740- 747.

[7] B. Tung and L. Kleinrock, "Using Finite State Automata to Produce Self-Optimization and Self-Control," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 7, pp. 439 - 448, 1996.

بیشترین و کمترین انرژی به مقدار میانگین در روش پیشنهادی است. این موضوع نشان می‌دهد در روش پیشنهادی نسبت به روش ack automata همه‌ی گره‌ها در ارسال مشارکت داشته‌اند و لذا از انرژی همه‌ی گره‌ها مصرف شده است. در حالیکه در روش automata بعضی از گره‌ها به سرعت انرژی خود را از دست داده‌اند و گره‌های دیگر انرژی نزدیک به انرژی اولیه دارند.

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های قبلی طول عمر بیشتری را برای شبکه تأمین می‌کند که ناشی از مصرف متعادل انرژی گره‌هاست و مشارکت همه‌ی گره‌ها در تأمین کیفیت سرویس است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله ما با تغییر روش ack automata در کنترل کیفیت سرویس توانستیم طول عمر شبکه را افزایش محسوس دهیم. این تغییر که مبتنی بر انرژی گره‌هاست باعث می‌شود مصرف انرژی گره‌ها به شکل متعادل صورت بگیرد. لذا شبکه بخوبی قادر به تأمین کیفیت سرویس تا مصرف انرژی همه‌ی گره‌هاست. گرچه روش پیشنهاد شده در این مقاله مصرف انرژی را متعادلتر از روش ack automata مدیریت کرده است ولی همچنان انرژی گره‌ها همزمان به اتمام نمی‌رسد. ارائه روشی برای کنترل کیفیت سرویس که اختلاف سطح انرژی گره‌ها را کمتر کند منجر به افزایش بیشتر طول عمر شبکه خواهد شد.

مراجع

[1] D. Chen and P. K. Varshney, "QoS Support in Wireless Sensor Networks: A Survey," in International Conference on Wireless Networks, Las Vegas, Nevada, USA, 2004, pp. 227- 233.

[2] S. Meguerdichian, F. Koushanfar, M. Potkonjak, and M. B. Srivastava, "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc