

روشی جدید برای دستیابی به کیفیت سرویس در شبکه‌های سنسوری

مهدی اثنی‌عشری^{*}، محمد رضا میبیدی[†]، مسعود صباei[‡]

چکیده

کیفیت سرویس^۱ در شبکه‌های سنسور تعاریف متفاوتی دارد که از آن جمله می‌توان به پوشش^۲ مناسب شبکه، تعداد ندهای فعال در یک زمان، صحت اطلاعات دریافتی در ند مرکزی و مدت زمان انتقال اطلاعات به ند مرکزی اشاره کرد. در این مقاله بر مبنای تعریف تعداد ندهای فعال به عنوان کیفیت سرویس، به ارائه روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر جهت دستیابی به کیفیت مورد انتظار خواهیم پرداخت. در این روش، با خوشه‌بندی شبکه و قرار دادن رؤوس خوشه‌ها به عنوان مسؤول بررسی تعداد ندهای فعال در هر خوشه، پوشش مناسبی از تعداد ندهای فعال در سطح کل شبکه به دست خواهد آمد. هر ند مجهز به یک اتوماتای یادگیر می‌باشد که در طول فعالیت شبکه و از طریق پاسخ‌هایی که از رأس خوشه دریافت می‌دارد، لزوم فعال یا غیرفعال بودن ند را مشخص می‌کند. از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری نشان داده می‌شود که روش ارائه شده، می‌تواند کیفیت سرویس مطلوبی را از دیدگاه ارائه شده تولید کند.

کلمات کلیدی

شبکه های سنسوری، کیفیت سرویس، اتوماتاهای یادگیر

A Novel Method for QoS Support in Sensor Networks

M. Esnaashari, M. R. Meybodi, M. Sabaei

Computer Engineering and Information Technology Department
Amirkabir University, Tehran, Iran

Abstract

Up to now, many different definitions are given for QoS support in wireless sensor networks. Some of these definitions are environment coverage, ratio of active to all deployed nodes, accuracy of data at sink and end to end transmission delay. In this paper, we provide a novel method for QoS support in sensor networks using learning automata and based on two definitions of QoS as environment coverage and ratio of active to all deployed nodes. In this method, using a clustering algorithm, we try to control the number of active nodes in each cluster separately. This way, a perfect coverage of the environment as well as the expected ratio of active to deployed nodes would approximately be obtained. Each node in this method equipped with a learning automaton, which can specify the state of the node as active or not based on the feedbacks received from cluster head. Simulation results show that the specified method can provide desirable QoS support based on the above two definitions.

Keywords

Sensor Networks, QoS, Learning Automata

^{*} دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، esnaashari@aut.ac.ir

[†] دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mmeybodi@aut.ac.ir

[‡] دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، sabaei@aut.ac.ir

۱- مقدمه

شبکه‌های سنسور شبکه‌هایی هستند که از تعداد زیادی (که ممکن است به هزاران مورد برسد) ندهای کوچک با قابلیت‌های بسیار پائین تشکیل شده‌اند. این ندها که هر کدام یک سنسور نامیده می‌شوند، می‌توانند ویژگی خاصی (نظیر رطوبت، دما، فشار و ...) را در محیط اطراف خود حس کرده و آن را برای همسایگان خود ارسال دارند. به عبارت دیگر، دو قابلیت اصلی این سنسورها حس کردن پارامتری خاص از محیط اطراف و توانایی برقراری ارتباط می‌باشد. اگرچه ممکن است در برخی از کاربردها، این ندها توسط کابل‌های ارتباطی به یکدیگر متصل شده باشند، ولی در اکثر موارد، یک شبکه سنسور کاملاً بی‌سیم می‌باشد. ندها در چنین شبکه‌هایی عموماً ثابت هستند و یا دارای حرکت بسیار محدودی می‌باشند.

بر خلاف شبکه‌های ثابت و نیز سایر شبکه‌های بی‌سیم که کیفیت سرویس در آنها دارای تعریفی کاملاً مشخص می‌باشد، در شبکه‌های سنسور تعریف ثابت و مشخصی بدین منظور ارائه نشده است. برخی از تعاریفی که بدین منظور ارائه شده‌اند عبارتند از: پوشش مناسب شبکه، تعداد ندهای فعال در هر زمان، صحت اطلاعات دریافتی در ند مرکزی و مدت زمان انتقال اطلاعات به ند مرکزی [1]. تعدادی از این تعاریف مانند پوشش مناسب و تعداد ندهای فعال در هر زمان وابسته به کاربرد^۲ می‌باشند، و برخی دیگر نظیر صحت اطلاعات دریافتی و مدت زمان انتقال اطلاعات به ند مرکزی خصوصیات شبکه^۴ را مد نظر قرار می‌دهند.

یکی از ویژگی‌های مهم شبکه‌های سنسور، احتمال بالای وجود خرابی در برخی از ندها خصوصاً به دلیل از دست رفتن انرژی می‌باشد. به همین دلیل، در بسیاری از موارد، تعداد ندهای موجود در یک شبکه سنسور بسیار بیشتر از تعداد مورد نیاز می‌باشد. در این صورت، اگر برخی از ندها بنا به دلایلی از بین بروند، سایر ندها می‌توانند جایگزین آنها شوند. لذا لازم است که همواره تعداد مشخصی از این ندها در شبکه فعال باشند، و سایر ندها در حالت غیرفعال قرار گیرند تا انرژی آنها مصرف نشود. بنابراین می‌توان کیفیت سرویس در این شبکه‌ها را به صورت تعداد ندهای فعال در آنها تعریف کرد، زیرا اگر بتوان این تعداد را در حد مطلوب نگاه داشت، طول عمر شبکه به مراتب افزایش خواهد یافت.

در کنار تعریف فوق، توجه به این مسأله نیز لازم است که ندهای فعال در هر زمان باید پوشش مطلوبی از کل شبکه را نیز به همراه داشته باشند. زیرا در صورتی که اقدام به نگاه داشتن تعداد ندهای فعال در حد مطلوب بدون توجه به فاکتور پوشش کل شبکه صورت پذیرد، ممکن است در برخی از نواحی شبکه کلیه ندها غیرفعال باقی بمانند، که در این صورت هیچ گونه اطلاعاتی از آن مناطق به دست نخواهد آمد. بنابراین می‌توان گفت که به منظور رسیدن به یک کیفیت

سرویس مناسب و مطلوب، لازم است که دو فاکتور تعداد ندهای فعال و پوشش کل شبکه هر دو مد نظر قرار گیرند.

در این مقاله، به ارائه روشی جدید و مبتنی بر اتوماتای یادگیر برای دستیابی به کیفیت سرویس بر مبنای دو فاکتور فوق خواهیم پرداخت. در این روش، به منظور دستیابی به پوشش مطلوب، ابتدا خوشه‌بندی شبکه انجام خواهد شد و سپس تعداد ندهای فعال در هر خوشه به صورت مجزا تحت کنترل قرار خواهد گرفت. رأس خوشه وظیفه کنترل تعداد ندهای فعال در خوشه خود را بر عهده خواهد داشت، و سایر ندهای خوشه با استفاده از اتوماتای یادگیر خود و پاسخ‌هایی که از رأس خوشه دریافت می‌دارند، وضعیت فعال یا غیرفعال بودن خود را تعیین می‌کنند. از طریق آزمایشات نشان خواهیم داد که این روش می‌تواند کیفیت سرویس مورد انتظار را در حد مطلوبی فراهم نماید.

در ادامه این مقاله ابتدا در بخش ۲ به بررسی کارهای گذشته پرداخته می‌شود. در بخش ۳ الگوریتم خوشه‌بندی مورد استفاده و در بخش ۴ روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. در بخش ۵ نتایج شبیه‌سازی‌ها آمده است و بخش ۶ نتیجه‌گیری می‌باشد.

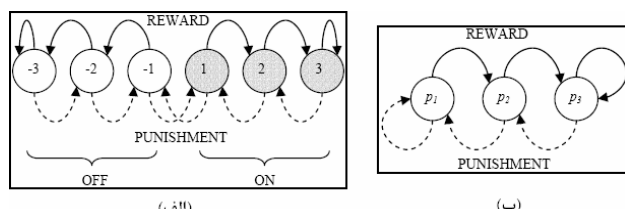
۲- کارهای گذشته

در مرجع [1] مروری بر فعالیتهای صورت پذیرفته در زمینه کیفیت سرویس در شبکه‌های سنسور صورت پذیرفته است. بیان شده است که با توجه به ارتباط این دسته از شبکه‌های بی‌سیم با محیط اطراف، دستیابی به کیفیت سرویس مطلوب در آنها نیازمند در نظر گرفتن پارامترهای متعددی نظیر محدودیت منابع انرژی، ترافیک غیرمتعادل به دلیل انتقال کلیه داده‌ها به سمت یک ند خاص که ند مرکزی نامیده می‌شود، افزونگی اطلاعات به دلیل بیشتر بودن تعداد ندها از تعداد مورد نیاز و تغییرات شبکه به دلیل از بین رفتن برخی از ندها می‌باشد. تلاش‌های صورت پذیرفته در زمینه کیفیت سرویس در این مرجع به سه دسته کیفیت سرویس پایان به پایان^۵، تضمین قابلیت اطمینان^۶ و وابسته به کاربرد تقسیم‌بندی شده‌اند. در کیفیت سرویس پایان به پایان، دستیابی به سرعت یا صحت انتقال اطلاعات به صورت پایان به پایان مد نظر می‌باشد. در تضمین قابلیت اطمینان، اطمینان از رسیدن بسته‌های اطلاعاتی به مقصد مد نظر مورد توجه می‌باشد. بسته‌های مختلف دارای سطوح تضمین مختلف می‌باشند که با توجه به این سطح و پهنای باند موجود در شبکه، رسیدن آنها به مقصد تضمین می‌شود. در نهایت، در کیفیت سرویس وابسته به کاربرد، تعداد ندهای فعال در هر زمان مد نظر قرار می‌گیرد.

مرجع [2] دو پارامتر نرخ انتقال داده و مصرف انرژی برای یک کانال ارتباطی در شبکه سنسور را به عنوان مبنایی برای کیفیت سرویس در نظر گرفته است. در روش ارائه شده، با ثابت نگهداشتن یکی از این دو پارامتر، سعی شده است پارامتر دیگر به حداکثر برسد. مراجع [3] و [4] سعی کرده‌اند با ارائه یک الگوریتم مسیریابی مناسب،

برخی از وضعیت‌های داخلی اتوماتا معادل فعال، و سایر وضعیت‌ها معادل غیرفعال می‌باشند. در اتوماتای Ack، به هر وضعیت داخلی اتوماتا احتمالی منتسب می‌شود. ند مزبور بسته به احتمال متناسب با وضعیت فعلی اتوماتای خود، فعال یا غیرفعال خواهد بود. بنابراین در هر دوره جمع‌آوری اطلاعات، هر ند بر اساس وضعیت داخلی اتوماتای خود، فعال یا غیرفعال خواهد بود. ند مرکزی با دریافت بسته‌های اطلاعاتی از ندهای فعال، تعیین می‌کند که آیا تعداد ندهای فعال حد مورد نظر بیشتر است یا خیر. در صورتی که تعداد ندهای فعال بیش از حد مورد نظر باشد، پاسخ منفی و در غیر این صورت پاسخ مثبت برای کلیه ندها ارسال می‌شود. این پاسخ به عنوان پاسخ محیط به اتوماتای هر ند بازگردانده می‌شود و اتوماتا با دریافت این پاسخ وضعیت داخلی خود را تغییر می‌دهد. بدین ترتیب، هر ند از طریق اتوماتای خود سعی می‌کند به وضعیتی منتقل شود که از دید شبکه مطلوب می‌باشد. به عبارت دیگر، عملکرد محلی اتوماتای هر ند، سبب بروز عملکرد کلی مورد انتظار، یعنی فعال بودن تعداد مشخصی از ندها در سطح شبکه می‌شود.

در این مرجع همچنین نشان داده شده است که اتوماتای Ack عملکرد مطلوب‌تری نسبت به اتوماتای Gur دارد. در [13] نیز عملکرد اتوماتای Ack در چنین محیطی مورد تحلیل قرار گرفته و نقش تعداد وضعیت‌های داخلی هر اتوماتا و نیز مقدار احتمال منتسب شده به هر یک در همگرایی عملکرد شبکه و دستیابی به کیفیت سرویس مورد انتظار بررسی شده است.



شکل (۱) (الف) ساختار اتوماتای Gur، (ب) ساختار اتوماتای Ack [12]

روش ارائه شده در [12] از چند دیدگاه دارای ضعف می‌باشد. اولاً در این روش، تنها بحث کیفیت سرویس از دیدگاه تعداد ندهای فعال مد نظر قرار گرفته و به پوشش کل شبکه اشاره‌ای نشده است. در ثانی، با توجه به استفاده از یک اتوماتای با ساختار ثابت، انعطاف‌پذیری پائینی در این روش وجود دارد. زیرا هر اتوماتا تنها دارای تعداد محدودی وضعیت می‌باشد که از پیش کاملاً تعریف شده‌اند. به علاوه، لازم است که تعداد وضعیت‌های داخلی اتوماتا و احتمال‌های منتسب به هر یک به طور بهینه تعیین شود. بر اساس تحلیل ارائه شده در [13]، بسته به تعداد کل ندها و نیز تعدادی از آنها که باید در وضعیت فعال باشند، این مقادیر نیز تغییر می‌کند. بنابراین با توجه به آنکه در شبکه‌های سنسور، احتمال از بین رفتن ندها و لذا تغییر تعداد آنها بسیار بالا می‌باشد، روش ارائه شده نمی‌تواند روشی مطلوب در این شبکه‌ها محسوب گردد. نقطه ضعف دیگر این روش آن است که پاسخ محیط به عملکرد اتوماتا باینری می‌باشد. این پاسخ تنها نشان می‌دهد

کیفیت سرویس مد نظر خود که میزان انرژی مصرفی و سرعت بوده است را فراهم آورند. مراجع [5] و [6] نیز با ارائه الگوریتم مسیریابی در لایه MAC، اقدام به تأمین کیفیت سرویس مورد انتظار نموده‌اند. مرجع [7] به ارائه روشی برای دستیابی به کیفیت سرویس بر مبنای تعداد ندهای فعال در هر زمان پرداخته که در آن از پیش‌بینی تعداد ندهای فعال در دوره بعدی بر اساس تعداد ندهای فعال در دوره‌های قبلی استفاده شده است. با استفاده از این پیش‌بینی، روش پیشنهادی تعداد ندهای فعال در زمان فعلی را به گونه‌ای تعیین می‌کند که در درازمدت، تعداد ندهای فعال در هر زمان در حد مورد انتظار باشد.

روش ارائه شده در مرجع [8] را می‌توان جزء روش‌هایی دانست که کیفیت سرویس را بر مبنای تضمین قابلیت اطمینان تعریف کرده‌اند. در این روش، تعدادی ند تولید کننده و تعدادی ند مصرف کننده فرض شده است. هر ند مصرف کننده، تقاضای خود مبنی بر میزان تأخیر قابل قبول برای دریافت بسته‌ها را به یک ند تقسیم کننده اعلام می‌کند. ند تقسیم کننده با دریافت بسته‌ها از تولید کننده‌ها، بسته به میزان تأخیر قابل قبول مصرف کننده‌ها، بسته‌های اطلاعاتی را برای آنها ارسال می‌دارد. مرجع [9] به ارائه بستری برای تولید نرم‌افزارهای مدیریتی برای شبکه‌های سنسور پرداخته است که در آن کلیه جزئیات مورد استفاده جهت برقراری ارتباط میان ندها و انتقال داده‌های اطلاعاتی و مدیریتی مخفی شده است. لذا به سادگی می‌توان یک نرم‌افزار مدیریتی شامل کلیه سرویس‌های مدیریتی لازم از جمله کیفیت سرویس را روی آن پیاده‌سازی کرد.

در مرجع [10] به بررسی پیچیدگی‌های موجود در شبکه‌های سنسور برای دستیابی به کیفیت سرویس در انتقال ترافیک تصویر و ویدئو پرداخته شده است. از جمله این پیچیدگی‌ها می‌توان به محدودیت پهنای باند، چگونگی حذف افزونگی اطلاعات، موازنه میزان انرژی مصرفی و تأخیر دریافت اطلاعات، محدودیت حجم بافر ندها و چگونگی مواجهه با ترافیک‌های دارای تایپ‌های مختلف اشاره کرد. مرجع [11] به ارائه یک برنامه زمان‌بندی برای تعیین سطح فعالیت ندها و چگونگی مسیریابی برای انتقال اطلاعات ندهای فعال به ند مرکزی پرداخته است. این برنامه زمان‌بندی سعی می‌کند تعداد مشخصی از ندها را در طول زمان حیات شبکه به گونه‌ای فعال نگاه دارد که باعث مصرف کمترین میزان انرژی شود.

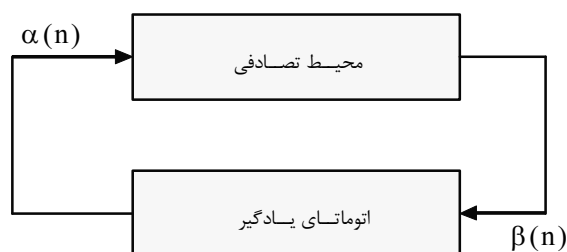
در میان فعالیت‌های صورت پذیرفته، مرجع [12] سعی کرده است با ارائه روشی مبتنی بر اتوماتای یادگیر، به حل مسأله کیفیت سرویس مبتنی بر تعداد ندهای فعال در شبکه‌های سنسور بپردازد. در روش ارائه شده، دو اتوماتای با ساختار ثابت Gur و Ack معرفی شده و مسأله مد نظر توسط دو اتوماتا به صورت مجزا حل شده است. شکل (۱) ساختار این دو اتوماتا را نشان می‌دهد. در این مرجع فرض شده است که کلیه ندها می‌توانند به صورت مستقیم با ند مرکزی ارتباط برقرار نمایند. هر ند مجهز به یک اتوماتا می‌باشد و بسته به وضعیت داخلی اتوماتای خود، می‌تواند فعال یا غیرفعال باشد. در اتوماتای Gur،

۴- راهکار پیشنهادی

برای دستیابی به کیفیت سرویس مناسب بر مبنای تعریف تعداد ندهای فعال در هر لحظه، در این بخش راهکاری مبتنی بر اتوماتای یادگیر ارائه خواهیم داد. بدین منظور، ابتدا توضیح مختصری پیرامون اتوماتای یادگیر ارائه خواهیم نمود، و سپس به بیان الگوریتم مد نظر خواهیم پرداخت.

۴-۱- اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر یک مدل انتزاعی است که بطور تصادفی یک عمل از مجموعه متناهی عمل‌های خود را انتخاب کرده و بر محیط اعمال می‌کند. محیط عمل انتخاب شده توسط اتوماتا را ارزیابی کرده و نتیجه ارزیابی خود را توسط سیگنال تقویتی به اتوماتای یادگیر اعلام می‌کند. اتوماتا با استفاده از عمل انتخاب شده و سیگنال تقویتی وضعیت داخلی خود را تغییر داده و سپس عمل بعدی خود را انتخاب می‌کند. شکل (۲) ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد [15].



شکل (۱) ارتباط اتوماتای یادگیر با 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 احتمالهای جریمه می‌باشد. هرگاه β مجموعه دو عضوی باشد، محیط از نوع P می‌باشد. در چنین محیطی $\beta_1 = 1$ به عنوان جریمه و $\beta_2 = 0$ به عنوان پاداش در نظر گرفته می‌شود. در محیط از نوع Q، مجموعه β دارای تعداد متناهی عضو می‌باشد و در محیط از نوع S، مجموعه β دارای تعداد نامتناهی عضو می‌باشد. c_i احتمال جریمه شدن عمل α_i است. اتوماتاهای یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم‌بندی می‌گردند. در ادامه اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر معرفی می‌شود.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر توسط چهار تایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داده می‌شود که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ 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 هر یک از عمل‌ها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. نحوه فعالیت این اتوماتا به صورت زیر است. اتوماتا یک عمل از مجموعه عمل‌های خود را به صورت تصادفی و مطابق بردارهای احتمال

که تعداد ندهای فعال بیش از حد انتظار بوده است یا خیر، ولی در مورد اینکه این تعداد چه مقدار بیشتر یا کمتر بوده است تحلیلی ارائه نمی‌دهد. به همین دلیل، نتایج عملکرد اتوماتا در درازمدت نمی‌تواند دقیق و باثبات باشد، این مسأله خصوصاً در مورد شبکه‌هایی که تعداد سنسورها در آنها کم است بیشتر به چشم می‌خورد.

روش ارائه شده در این مقاله نقاط ضعف مطرح شده در روش [12] را از طریق خوشه‌بندی و استفاده از اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر برطرف می‌کند. از طریق آزمایشات نشان خواهیم داد که روش ارائه شده به نسبت روش [12] عملکرد بسیار مطلوب‌تر، دقیق‌تر و باثبات‌تری دارد.

۳- خوشه‌بندی

الگوریتم خوشه‌بندی مورد استفاده در این مقاله، الگوریتم HEED^۱ می‌باشد که در مرجع [14] معرفی شده است. به منظور روشن‌تر شدن بحث، ابتدا مرور مختصری بر این الگوریتم خواهیم داشت.

در الگوریتم HEED هدف افزایش طول عمر شبکه، اتمام فاز خوشه‌بندی پس از طی تعداد متناهی و مشخصی از تکرار، حداقل کردن سربار کنترلی و توزیع متناسب خوشه‌ها در سطح شبکه دنبال می‌شود. هر ند با احتمالی (CH_{prob}) متناسب با میزان انرژی باقیمانده خود تصمیم می‌گیرد که رأس خوشه باشد. این تصمیم‌گیری در ابتدا موقتی است، و پس از گذشت چندین تکرار نهائی می‌شود. ندهائی که خود را به عنوان رأس خوشه برگزیده‌اند، به همسایگان خود این مسأله را ابراز می‌دارند. هر یک از همسایگان، در صورتی که پیش از این عضو خوشه‌ای نشده باشد، عضو این خوشه می‌گردد. در صورتی که همسایه‌ای پیش از این عضو خوشه دیگری باشد که انرژی باقیمانده رأس آن نسبت به انرژی باقیمانده رأس خوشه جدید پائین‌تر باشد، همسایه به خوشه جدید ملحق می‌شود. به علاوه، در صورتی که همسایه‌ای خود را رأس خوشه باشد، پس از مقایسه میزان انرژی باقیمانده خود با میزان انرژی باقیمانده رأس خوشه معرفی شده، تصمیم می‌گیرد که همچنان رأس خوشه باقی بماند یا به خوشه جدید منتقل شود. هر رأس خوشه، در صورتی که برای ملحق شدن به خوشه دیگری تصمیم نگرفته باشد، مقدار CH_{prob} خود را دو برابر کرده و مجدداً خود را به عنوان رأس خوشه به همسایگانش معرفی می‌کند. اگر مقدار CH_{prob} در ندی بزرگ‌تر از ۱ شد، آن ند خود را به عنوان رأس خوشه نهائی برمی‌گزیند. در این صورت، همسایگان این ند نیز، عضو خوشه‌ای نهائی خواهند شد که دیگر تغییری در آن به وجود نمی‌آید. در پایان این فاز، در صورتی که ندی، هیچ پیام معرفی خوشه‌ای را دریافت نکرده باشد، خود تصمیم می‌گیرد که رأس خوشه‌ای جدید باشد.

محاسبه کند. در صورتی که تعداد ندهای فعال خوشه k در دور r را با Act_k نشان دهیم، در دور R این مجموع به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$SUM(Act_k) = \sum_{r=1}^R Act_k \quad (3)$$

در این صورت، میانگین مد نظر از رابطه (۴) قابل محاسبه است.

$$E(Act_k) = \frac{SUM(Act_k)}{R \times N_k} \quad (4)$$

سپس رأس خوشه مقدار $ON_RATIO - E(Act_k)$ را در سطح خوشه خود منتشر می‌کند. در این رابطه ON_RATIO حد آستانه‌ای مد نظر می‌باشد. هر ند فعال در دور جاری، پاسخ دریافتی از ند مرکزی را به عنوان پاسخ محیط به اتوماتای خود ارائه می‌دهد. اتوماتا بر اساس این پاسخ دریافتی، عمل انتخابی خود که معادل فعال بودن در دور جاری می‌باشد را جریمه یا پاداش می‌دهد. اگر این پاسخ مقدار منفی داشته باشد، به مفهوم آن است که تعداد ندهای فعال بیش از حد مورد انتظار بوده است و لذا اتوماتا عمل خود را با استفاده از رابطه (۵) جریمه می‌کند. در غیر این صورت، اتوماتا عمل خود را مطابق رابطه (۶) پاداش می‌دهد.

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1 - (-(ON_RATIO - E(Act_k)))) \cdot p_i(n) \\ p_j(n+1) &= (1 - p_j) \cdot (- (ON_RATIO - E(Act_k))) + p_j \quad \forall j \neq i \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + (ON_RATIO - E(Act_k)) \cdot (1 - p_i(n)) \\ p_j(n+1) &= p_j(n) - (ON_RATIO - E(Act_k)) \cdot p_j(n) \quad \forall j \neq i \end{aligned} \quad (6)$$

در رابطه (۵)، با توجه به آنکه مقدار $ON_RATIO - E(Act_k)$ منفی می‌باشد، برای استفاده در رابطه، این مقدار در یک منفی ضرب شده است.

بدین ترتیب، در طی زمان اتوماتای هر ند لزوم فعال بودن یا نبودن آن ند را فرا می‌گیرد. بدیهی است در صورتی که پس از همگرایی، ند فعالی به هر دلیل از کار بیفتد، عملکرد اتوماتای ندهای غیرفعال به گونه‌ای خواهد بود که سرانجام ندی جایگزین ند از کار افتاده شود.

۵- نتایج آزمایش‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ارائه شده، در این بخش آزمایشاتی را ترتیب داده و در آنها نتایج حاصل از عملکرد این الگوریتم را در مقایسه با روش ارائه شده در [12] مشخص نموده‌ایم. همانگونه که بیان شد، در مرجع [12] دو اتوماتای Gur و Ack به منظور دستیابی

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.

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

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1 - b) \cdot p_i(n) \\ p_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1 - b) p_j(n) \quad \forall j \neq i \end{aligned} \quad (2)$$

در روابط (۱) و (۲)، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشد. اگر a و b با هم برابر باشند، الگوریتم $L_R - P$ ، و اگر b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم $L_{RE} - P$ و اگر b مساوی صفر باشد، الگوریتم $L_R - I$ نام دارد.

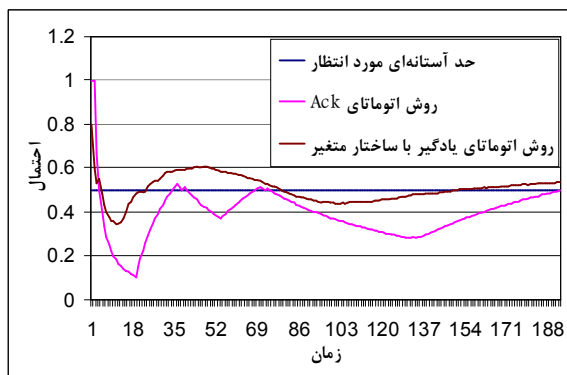
۴-۲- کیفیت سرویس با استفاده از اتوماتای یادگیر

پس از اتمام فاز خوشه‌بندی، هر ند عضویت خود را به رأس خوشه‌ای که خود را به آن منتسب کرده است اعلام می‌کند. در این صورت، هر رأس خوشه می‌داند که چه تعداد ند در خوشه او موجود می‌باشد. این تعداد را برای خوشه k با N_k نشان می‌دهیم.

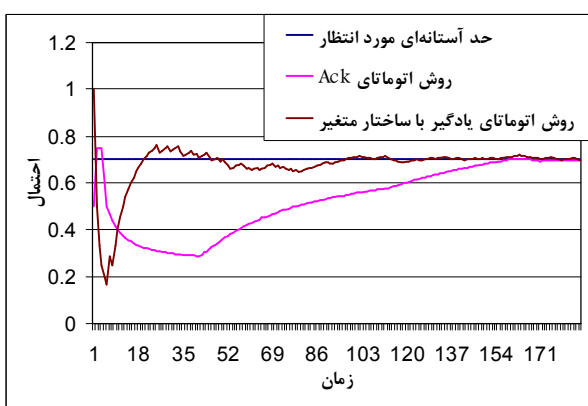
هر ند به یک اتوماتای یادگیر مجهز است که دارای تنها دو عمل می‌باشد. یکی از این دو عمل معادل فعال بودن ند و عمل دیگر معادل غیرفعال بودن آن می‌باشد. در ابتدا، هر دو عمل اتوماتا احتمال برابر ۰/۵ دارند. در هر دور از جمع‌آوری اطلاعات، اتوماتای هر ند، بر اساس احتمال منتسب به هریک از اعمالش، یکی از آنها را به طور تصادفی انتخاب می‌کند. این انتخاب نشان می‌دهد که در دور جاری ند مزبور باید فعال یا غیرفعال باشد. در صورتی که ند در این دور فعال باشد، محیط خود را حس کرده و اطلاعات دریافتی از محیط را برای رأس خوشه خود می‌فرستد.

رأس خوشه مدت زمانی را صبر می‌کند تا مطمئن شود که بسته اطلاعاتی کلیه ندهای فعال در دور جاری موجود در خوشه خود را دریافت کرده است. سپس رأس خوشه تعداد بسته‌های اطلاعاتی دریافتی را تعیین می‌کند. در روش ارائه شده در [12] ند مرکزی با شمارش تعداد بسته‌های اطلاعاتی دریافتی در دور جاری، در صورتی که این تعداد از حد مورد نیاز بیشتر باشد پاسخ منفی و در غیر این صورت پاسخ مثبت را به شبکه و ندهای آن باز می‌گرداند. اما استفاده از این روش باعث می‌شود که همگرایی مناسبی به دست نیاید.

با توجه به آنکه در حقیقت لازم است متوسط تعداد بسته‌های دریافتی در طول زمان نسبت به تعداد کل ندها از حد آستانه‌ای مد نظر پایین‌تر باشد، در روش ارائه شده در این مقاله، هر رأس خوشه، مجموع بسته‌های دریافتی از ندهای خوشه خود در طی تمامی دورهای جمع‌آوری اطلاعات تا کنون را نگاه می‌دارد تا بتواند میانگین مد نظر را



شکل (۴) همگرایی الگوریتم مبتنی بر اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر در مقایسه با روش اتوماتای Ack در صورتی که حد آستانه‌ای ندهای فعال ۰/۵ باشد



شکل (۵) همگرایی الگوریتم مبتنی بر اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر در مقایسه با روش اتوماتای Ack در صورتی که حد آستانه‌ای ندهای فعال ۰/۷ باشد

۵-۲- آزمایش دوم

در این آزمایش، $E(Act_k)$ برای کلیه خوشه‌ها در پایان شبیه‌سازی مد نظر قرار دارد. برای شبکه‌هایی حاوی ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ند و با مقادیر ۰/۳۵، ۰/۵ و ۰/۷ به عنوان ON_RATIO به مدت ۳ ساعت و ۲۰ دقیقه شبیه‌سازی صورت پذیرفته است. در هر آزمایش، $E(Act_k)$ در پایان شبیه‌سازی برای هر رأس خوشه محاسبه شده است. شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) نتایج حاصل از این آزمایشات را نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌شود، روش ارائه شده نسبت به روش اتوماتای Ack نتایج مطلوب‌تر و باثبات‌تری دارد. اکثر خوشه‌ها در این روش تا حد مطلوبی به آستانه ON_RATIO نزدیک شده‌اند، در حالیکه در اتوماتای Ack برخی از خوشه‌ها فاصله زیادی تا مقدار آستانه‌ای مورد انتظار دارند. جدول (۱) میزان خطای عملکرد این دو روش را بر اساس رابطه (۷) ارائه می‌کند. در این رابطه N تعداد خوشه‌های موجود در شبکه می‌باشد.

$$Error = \sum_{k=1}^N (E(Act_k) - ON_RATIO)^2 \quad (7)$$

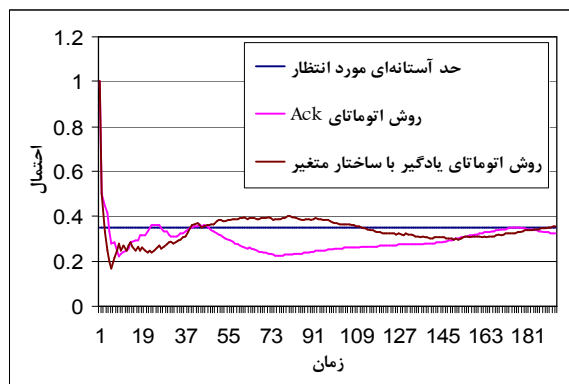
به کیفیت سرویس مد نظر مطرح شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به آنکه در این مرجع برتری اتوماتای Ack بر اتوماتای Gur نشان داده شده است، به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها در اینجا تنها اتوماتای Ack مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلیه شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار NS2 صورت پذیرفته است. در کلیه شبیه‌سازی‌ها، چینش ندها در محیط به صورت توری^{۱۱} منظم دو بعدی در نظر گرفته شده است. این چینش به دلیل سادگی بیشتر آزمایش الگوریتم‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، ولی در حالت کلی هر چینش تصادفی از ندها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

پارامترهای P_{Min} و C_{prob} مورد استفاده در الگوریتم خوشه‌بندی ارائه شده در [14] به ترتیب برابر ۰/۲ و ۰/۰۱ قرار گرفته‌اند. اتوماتای Ack مورد استفاده در این شبیه‌سازی‌ها دارای ۴ وضعیت داخلی T_0 تا T_4 می‌باشد که احتمال منتسب به این وضعیت‌ها به ترتیب برابر ۰/۰۱، ۰/۴، ۰/۸ و ۱ در نظر گرفته شده است. اتوماتای یادگیر مورد استفاده نیز همانگونه که بیان شد دارای دو عمل متفاوت می‌باشد که در ابتدای شبیه‌سازی هریک دارای احتمال ۰/۵ می‌باشند.

۵-۱- آزمایش اول

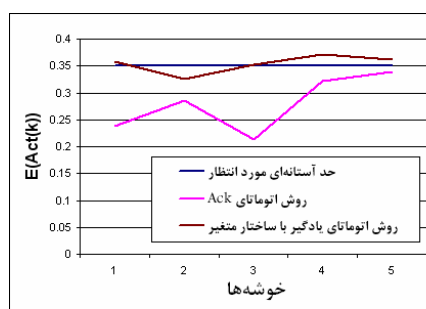
در این آزمایش چگونگی همگرایی الگوریتم مورد استفاده جهت دستیابی به کیفیت سرویس، مد نظر قرار دارد. بدین منظور، شبکه‌ای متشکل از ۵۰ ند در نظر گرفته شده است. این شبکه ابتدا خوشه‌بندی می‌شود. سپس برای یکی از خوشه‌ها که به طور تصادفی انتخاب می‌شود، $E(Act_k)$ در هر دور از جمع‌آوری اطلاعات تعیین می‌شود. انتظار آن است که مقدار $E(Act_k)$ در طول زمان به سمت حد آستانه‌ای مد نظر که با ON_RATIO بیان می‌شود همگرا گردد. آزمایش برای مقادیر ON_RATIO برابر ۰/۳۵، ۰/۵ و ۰/۷ و به مدت ۳ ساعت و ۲۰ دقیقه (۱۲۰،۰۰۰ ثانیه) تکرار شده است. نتایج این آزمایشات در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) دیده می‌شود. همانگونه که دیده می‌شود، روش ارائه شده نسبت به روش اتوماتای Ack همگرایی سریع‌تر و دقیق‌تری دارد.



شکل (۳) همگرایی الگوریتم مبتنی بر اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر در مقایسه با روش اتوماتای Ack در صورتی که حد آستانه‌ای ندهای فعال ۰/۳۵ باشد

جدول (۱) مقایسه میزان خطای ناشی از روش اتوماتای Ack و اتوماتای با ساختار متغیر برای حدود آستانه‌ای ۰/۳۵، ۰/۵ و ۰/۷ در شبکه‌هایی با تعداد ندها ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰

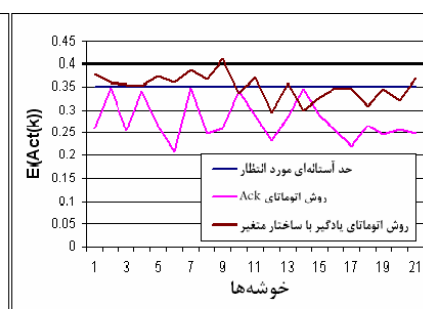
حد آستانه: ۰/۷		حد آستانه: ۰/۵		حد آستانه: ۰/۳۵		تعداد ندها
اتوماتای ساختار متغیر	اتوماتای Ack	اتوماتای ساختار متغیر	اتوماتای Ack	اتوماتای ساختار متغیر	اتوماتای Ack	
۰/۰۰۲۰۸	۰/۱۴۹۶۱	۰/۰۰۵۳	۰/۰۸۲۹۷	۰/۰۰۱۳۳	۰/۰۳۶۴۹	۵۰
۰/۰۰۳۰۸	۰/۳۱۶۰۳	۰/۰۰۵۰۵	۰/۰۹۶۹۱	۰/۰۱۴۸۹	۰/۱۰۸۸	۱۰۰
۰/۰۰۴۱۹	۰/۴۶۹۶۵	۰/۰۱۵۳۴	۰/۱۳۰۸۶	۰/۰۱۷۲۳	۰/۱۵۳۹۴	۲۰۰



(الف)

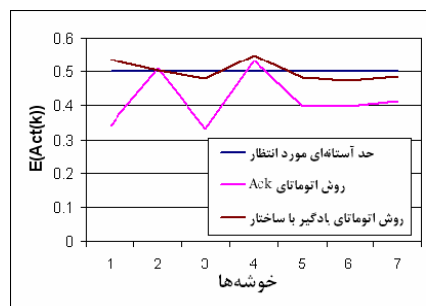


(ب)

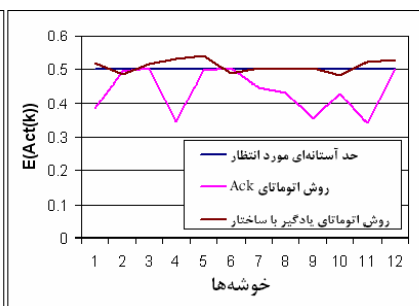


(پ)

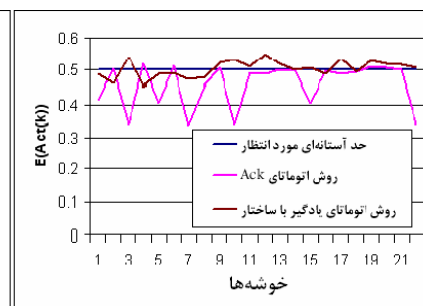
شکل (۶) مقدار $E(Ack_k)$ برای خوشه‌های مختلف در صورتیکه مقدار ON_RATIO برابر ۰/۳۵ باشد، (الف) شبکه دارای ۵۰ ند، (ب) شبکه دارای ۱۰۰ ند و (پ) شبکه دارای ۲۰۰ ند



(الف)

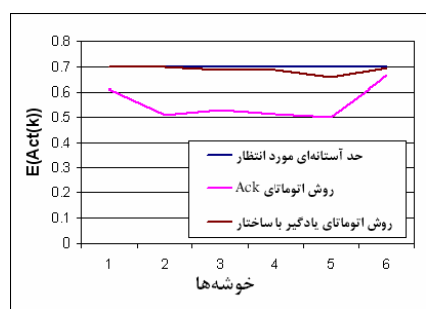


(ب)

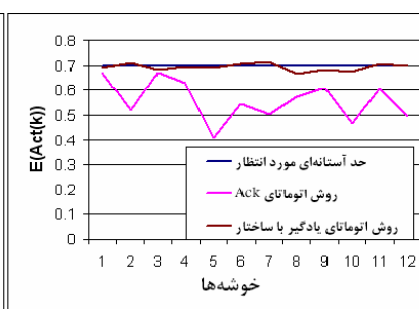


(پ)

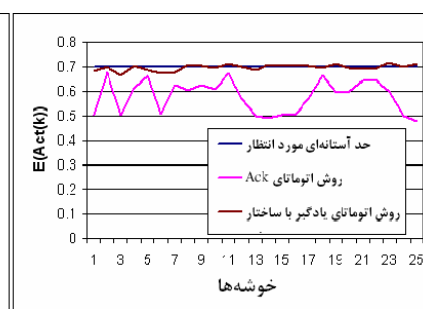
شکل (۷) مقدار $E(Ack_k)$ برای خوشه‌های مختلف در صورتیکه مقدار ON_RATIO برابر ۰/۵ باشد، (الف) شبکه دارای ۵۰ ند، (ب) شبکه دارای ۱۰۰ ند و (پ) شبکه دارای ۲۰۰ ند



(الف)



(ب)



(پ)

شکل (۸) مقدار $E(Ack_k)$ برای خوشه‌های مختلف در صورتیکه مقدار ON_RATIO برابر ۰/۷ باشد، (الف) شبکه دارای ۵۰ ند، (ب) شبکه دارای ۱۰۰ ند و (پ) شبکه دارای ۲۰۰ ند

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش جدیدی مبتنی بر اتوماتای یادگیر برای دستیابی به کیفیت سرویس در شبکه‌های سنسور ارائه گردید. کیفیت سرویس در این مقاله به صورت تعداد ندهای فعال در شبکه تعریف می‌شود. بیان کردیم که تنها در نظر گرفتن فاکتور تعداد ندها به عنوان کیفیت سرویس نمی‌تواند نتایج مطلوبی را به دنبال داشته باشد، بلکه لازم است پوشش کل شبکه نیز در کنار این فاکتور قرار گیرد. بدین منظور، با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی ارائه شده در [14] ابتدا شبکه سنسور مد نظر خوشه‌بندی می‌شود و سپس تعداد ندهای فعال در هر خوشه تحت کنترل قرار می‌گیرد. پس از انجام خوشه‌بندی، رأس هر خوشه مسؤول کنترل تعداد ندهای فعال در آن خوشه خواهد بود. به منظور دستیابی به کیفیت سرویس مد نظر، به هر یک از اتوماتای یادگیر منتسب می‌شود. این اتوماتای یادگیر وضعیت فعال یا غیرفعال بودن ندها در دور جاری ارسال اطلاعات را تعیین می‌کند، و در طی زمان با دریافت پس‌خور^{۱۲} از رأس خوشه خود، لزوم فعال بودن یا نبودن ندها را خود را فرا می‌گیرد. از طریق آزمایشات نشان دادیم که روش ارائه شده نسبت به روش‌های مشابه عملکرد بسیار مطلوب و باثبات‌تری دارد.

مراجع

- [8] M. A. Taleghan, A. Taherkordi, M. Sharifi, "Quality of Service Support in Distributed Sink-Based Wireless Sensor Networks", The 2nd IEEE International Conference on Information and Communication Technologies: from Theory to Applications (ICTTA'06), Omayyad Palace, Damascus, Syria, April 24-28, 2006.
- [9] W. Heinzelman, A. Murphy, H. Carvalho, M. Perillo, "Middleware to Support Sensor Network Applications", IEEE Network Magazine Special Issue. Jan. 2004.
- [10] M. Younis, K. Akayya, M. Eltoweissy, A. Wadaa, "On Handling QoS Traffic in Wireless Sensor Networks", in the Proc. of the Intl. Conf. on System Sciences (HICSS-37), Big Island, Hawaii, January 2004.
- [11] M. Perillo, W. Heinzelman, "Providing Application QoS Through Intelligent Sensor Management", in Proc. of the 1st IEEE Intl. Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA '03), May 2003.
- [12] J. Frolik, "QoS control for random access wireless sensor networks", Wireless Communications and Networking Conference (WCNC04), Atlanta, March 2004.
- [13] J. Kay and J. Frolik, "Quality of Service analysis and control for wireless sensor networks", the 1st IEEE Intl. Conf. on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS 2004), Ft. Lauderdale, FL., Oct. 25-27, 2004.
- [14] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach", In Proc. of IEEE INFOCOM, volume 1, pp. 629-640, March 2004.
- [15] Narendra, K.S. and M. A. L. Thathachar, *Learning automata: An introduction*, Prentice Hall, 1989.

زیرنویس‌ها

- ¹ Quality of Service (QoS)
- ² Coverage
- ³ Application Specific QoS
- ⁴ Network QoS
- ⁵ End to end
- ⁶ Reliability Assurance
- ⁷ Hybrid Energy-Efficient Approach
- ⁸ Linear Reward-Penalty
- ⁹ Linear Reward epsilon Penalty
- ¹⁰ Linear Reward Inaction
- ¹¹ Grid
- ¹² Feedback

- [1] D. Chen and P. K. Varshney, "QoS support in wireless sensor networks: a survey", in Proc. of International Conference on Wireless Networks (ICWN '04), pp. 227-233, Las Vegas, Nev., USA, June 2004.
- [2] N. Ehsan and M. Liu, "Minimizing Power Consumption in Sensor Networks with Quality of Service Requirement", in Annual Allerton Conference on Communications, Control and Computing (Allerton 2005), September 2005, Allerton, IL.
- [3] T. He, J. A. Stankovic, C. Lu, T. F. Abdelzaher, "SPEED: A Real-Time Routing Protocol for Sensor Networks", in Proc. of IEEE conference on Real-time communication and coordination in embedded sensor networks, July 2003.
- [4] W. Su, *Enabling Quality of Service Applications in Sensor Networks*, Phd Thesis, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, April 2004.
- [5] Q. Zhao, L. Tong, "Quality-of-Service Specific Information Retrieval for Densely Deployed Sensor Networks", in Proc. of IEEE Military Communication Conference, Oct., 2003, Boston, MA.
- [6] Q. Zhao, L. Tong, "QoS Specific Medium Access Control for Wireless Sensor Networks with Fading", in Proc. of the Eighth International Workshop on Signal Processing for Space Communications, Sept., 2003, Italy.
- [7] B. Liang, J. Frolik, X. S. Wang, "A Predictive QoS Control Strategy for Wireless Sensor Networks", the 1st Workshop on Resource Provisioning and Management in Sensor Networks (PRMSN 05) in conjunction with the 2nd IEEE MASS, Washington D. C. Nov. 2005.