

## روشی جدید برای دستیابی به کیفیت سرویس در شبکه‌های سنسوری

مهندی اثی عشری<sup>\*</sup>، محمد رضا میبدی<sup>†</sup>، مسعود صبائی<sup>‡</sup>

### چکیده

کیفیت سرویس<sup>۱</sup> در شبکه‌های سنسور تعاریف متفاوتی دارد که از آن جمله می‌توان به پوشش<sup>۲</sup> مناسب شبکه، تعداد ندهای فعال در یک زمان، صحبت 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

شبکه‌های 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](mailto:esnaashari@aut.ac.ir)

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

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

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

در این مقاله، به ارائه روشی جدید و مبتنی بر اتماتای یادگیر برای دستیابی به کیفیت سرویس بر مبنای دو فاکتور فوق خواهیم پرداخت. در این روش، به منظور دستیابی به پوشش مطلوب، ابتدا خوشبندی شبکه انجام خواهد شد و سپس تعداد ندهای فعال در هر خوشة به صورت مجزا تحت کنترل قرار خواهد گرفت. رأس خوشه وظیفه کنترل تعداد ندهای فعال در خوشة خود را بر عهده خواهد داشت، و سایر ندهای خوشه با استفاده از اتماتای 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 خوشبندی 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 نظری محدودیت منابع انرژی، ترافیک غیرمعادل 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<sup>۱</sup>، تضمین قابلیت اطمینان<sup>۲</sup> و وابسته به کاربرد تقسیم‌بندی شده‌اند. در کیفیت سرویس پایان به پایان، دست‌یابی به سرعت یا صحت انتقال اطلاعات به صورت پایان به پایان مدنظر می‌باشد. در تضمین قابلیت اطمینان، اطمینان از رسیدن بسته‌های اطلاعاتی به مقصد مدنظر مورد توجه می‌باشد. بسته‌های مختلف دارای سطوح تضمین مختلف می‌باشند که با توجه به این سطح و پهنه‌ای باند موجود در شبکه، رسیدن آنها به مقصد تضمین می‌شود. در نهایت، در کیفیت سرویس وابسته به کاربرد، تعداد ندهای فعال در هر زمان مدنظر قرار می‌گیرد.

مرجع [2] دو پارامتر نرخ انتقال داده و مصرف انرژی برای یک کانال ارتباطی در شبکه سنسور را به عنوان مبنای 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 حداقل برسد. مراجع [3] و [4] سعی کردۀ‌اند با ارائه یک الگوریتم مسیریابی مناسب،

## ۱- مقدمه

شبکه‌های سنسور شبکه‌های 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 شبکه‌های عموماً ثابت هستند و یا دارای حرکت بسیار محدودی می‌باشند.

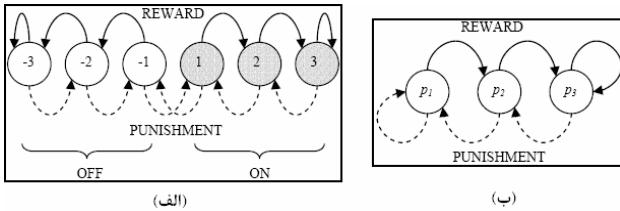
برخلاف شبکه‌های ثابت و نیز سایر شبکه‌های بی‌سیم که کیفیت سرویس در آنها دارای تعریفی کاملاً مشخص می‌باشد، در شبکه‌های سنسور تعریف ثابت و مشخصی بدین منظور ارائه نشده است. برخی از تعاریفی که بدین منظور ارائه شده‌اند عبارتند از: پوشش مناسب شبکه، تعداد ندهای فعال در هر زمان، صحت اطلاعات دریافتی در ند مرکزی 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<sup>۳</sup> می‌باشند، و برخی دیگر نظیر صحت اطلاعات دریافتی و مدت زمان انتقال اطلاعات به ند مرکزی خصوصیات شبکه<sup>۴</sup> را مدنظر 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 مسئله نیز لازم است که ندهای فعل 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 فعل 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

برخی از وضعیت‌های داخلی اوتوماتا معادل فعال، و سایر وضعیت‌ها معادل غیرفعال می‌باشند. در اوتوماتای Ack، به هر وضعیت داخلی اوتوماتا احتمالی منتنسب می‌شود. ند مزبور بسته به احتمال متناسب با وضعیت فعلی اوتوماتای خود، فعال یا غیرفعال خواهد بود. بنابراین در هر دوره جمع‌آوری اطلاعات، هر ند بر اساس وضعیت داخلی اوتوماتای خود، فعال یا غیرفعال خواهد بود. ند مرکزی با بسته‌های اطلاعاتی از ندهای فعال، تعیین می‌کند که آیا تعداد ندهای فعال از 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 اوتوماتای هر ند بازگردانده می‌شود و اوتوماتا با دریافت این پاسخ وضعیت داخلی خود را تغییر می‌دهد. بدین ترتیب، هر ند از طریق اوتوماتای خود سعی می‌کند به وضعیتی منتقل شود که از دید شبکه مطلوب می‌باشد. به عبارت دیگر، عملکرد محلی اوتوماتای 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 اوتوماتای Ack عملکرد مطلوب‌تری نسبت به اوتوماتای Gur دارد. در [13] نیز عملکرد اوتوماتای Ack در چنین محیطی مورد تحلیل قرار گرفته و نقش تعداد وضعیت‌های داخلی هر اوتوماتا و نیز مقدار احتمال منتنسب شده به هریک در همگرائی عملکرد شبکه و دستیابی به کیفیت سرویس مورد انتظار بررسی شده است.



شکل ۱(ا) (الف) ساختار اوتوماتای Gur، (ب) ساختار اوتوماتای 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 اشاره‌های نشده است. در ثانی، با توجه به استفاده از یک اوتوماتای با ساختار ثابت، انعطاف‌پذیری پائینی در این روش وجود دارد. زیرا هر اوتوماتا تنها دارای تعداد محدودی وضعیت‌های می‌باشد که از پیش کاملاً تعریف شده‌اند. به علاوه، لازم است که تعداد وضعیت‌های داخلی اوتوماتا و احتمال‌های منتنسب 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 می‌کنند. 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 داخلی اوتوماتای خود، می‌تواند فعال یا غیرفعال باشد. در اوتوماتای Gur،

کیفیت سرویس مدنظر 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 تعريف 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 کننده، 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، موازنۀ 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 برنامۀ زمان‌بندی برای تعیین سطح فعالیت ندها و چگونگی مسیریابی برای انتقال اطلاعات ندهای فعال به ند مرکزی پرداخته است. این برنامۀ 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.

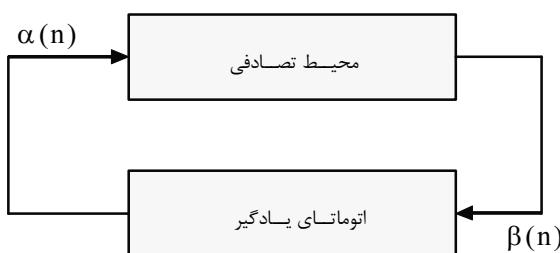
در میان فعالیت‌های صورت پذیرفته، مرجع [12] سعی کرده است با ارائه روشی مبتنی بر اوتوماتای یادگیر، به حل مسئله کیفیت سرویس مبتنی بر تعداد ندهای فعال در شبکه‌های سنسور پردازد. در روش ارائه شده، دو اوتوماتای با ساختار ثابت Gur و Ack معرفی شده و مسئله مد نظر توسط دو اوتوماتا به صورت مجزا حل شده است. شکل (۱) ساختار این دو اوتوماتا 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 اوتوماتا می‌باشد و بسته به وضعیت داخلی اوتوماتای خود، می‌تواند فعال یا غیرفعال باشد. در اوتوماتای 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 اتماتای یادگیر ارائه خواهیم داد. بدین منظور، ابتدا توضیح مختصری پیرامون اتماتای یادگیر ارائه خواهیم نمود، و سپس به بیان الگوریتم مد نظر خواهیم پرداخت.

### ۴-۱- اتماتای 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 اتماتا را ارزیابی کرده و نتیجه ارزیابی خود را توسط سیگنال تقویتی به اتماتای یادگیر اعلام می‌کند. اتماتا 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 اتماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد [۱۵].



شکل (۱) ارتباط اتماتای یادگیر با محیط

محیط را می‌توان توسط سه‌تایی  $\{ \alpha, \beta, c \} = E$  نشان داد که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه ورودیها،  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$  مجموعه احتمالهای جریمه می‌باشد. هرگاه  $\beta$  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  $\beta$  دارای تعداد متناهی عضو می‌باشد و در محیط از نوع S، مجموعه  $\beta$  دارای تعداد متناهی عضو می‌باشد. احتمال جریمه شدن عمل  $\alpha_i$  است. اتماتاهای یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم‌بندی می‌گردند. در ادامه اتماتای یادگیر با ساختار متغیر معرفی می‌شود.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر توسط چهارتایی  $\{\alpha, \beta, p, T\}$  نشان داده می‌شود که در آن  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$  مجموعه عمل‌های اتماتا،  $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$  مجموعه ورودیهای اتماتا،  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_r\}$  بردار احتمال انتخاب هر یک از عمل‌ها و  $T[\alpha(n), \beta(n), p(n)] = p(n+1)$  الگوریتم یادگیری می‌باشد. نحوه فعالیت این اتماتا به صورت زیر است. اتماتا 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 اتماتا در درازمدت نمی‌تواند دقیق و باثبات باشد، این مسئله 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 خوشبندی و استفاده از اتماتای 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- خوشبندی

الگوریتم خوشبندی مورد استفاده در این مقاله، الگوریتم HEED 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 خوشبندی پس از طی تعداد متناهی و مشخصی از تکرار، حداقل کردن سریار کنترلی و توزیع متناسب خوشبدها در سطح شبکه دنبال می‌شود. هرند 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. ندهایی که خود را به عنوان رأس خوشه برگزیده‌اند، به همسایگان خود این مسئله 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 خوشة جدید ملحق می‌شود. به علاوه، در صورتی که همسایه‌ای خود رأس خوشه باشد، پس از مقایسه میزان انرژی باقیمانده خود با میزان انرژی باقیمانده رأس خوشة معرفی شده، تصمیم می‌گیرد که همچنان رأس خوشه باقی بماند یا به خوشة 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 مجدد 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 خوشة 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 خوشة  $k$  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 مدنظر 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 خوشة خود منتشر می‌کند. در این رابطه  $ON\_RATIO$  حد آستانه‌ای مدنظر می‌باشد. هرند فعال در دور جاری، پاسخ دریافتی از ند مرکزی را به عنوان پاسخ محیط به اتماتاتی خود ارائه می‌دهد. اتماتات 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 اتماتاتا عمل خود را با استفاده از رابطه (۵) جریمه می‌کند. در غیر این صورت، اتماتاتا عمل خود را مطابق رابطه (۶) پاداش می‌دهد.

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

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

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 اتماتاتی هرند لزوم فعال بودن یا نبودن آنند را فرا می‌گیرد. بدیهی است در صورتی که پس از همگرائی، ند فعلی به هر دلیل از کار بیفتند، عملکرد اتماتاتی 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 اتماتاتی Gur و Ack به منظور دستیابی

$P_i$  انتخاب کرده و بر محیط اعمال می‌کند. اگر عمل انتخاب شده  $\alpha_i$  باشد، پس از دریافت پاسخ محیط، اتماتاتا 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.

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

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

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  $L_{REP}$  و اگر  $b$  مساوی صفر باشد، الگوریتم  $L_{R-I}$  نام دارد.

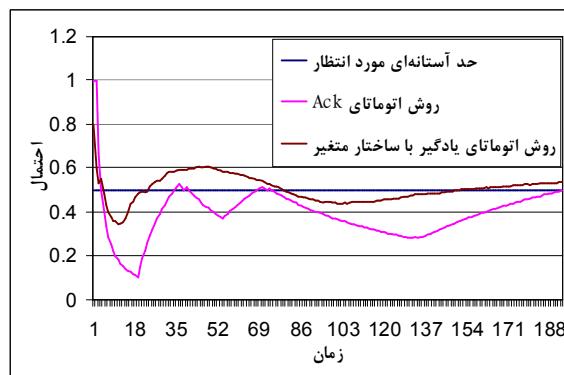
## ۴- کیفیت سرویس با استفاده از اتماتاتی یادگیر

پس از اتمام فاز خوشه‌بندی، هرند 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 خوشة او موجود می‌باشد. این تعداد را برای خوشة  $k$  با  $N_k$  نشان می‌دهیم.

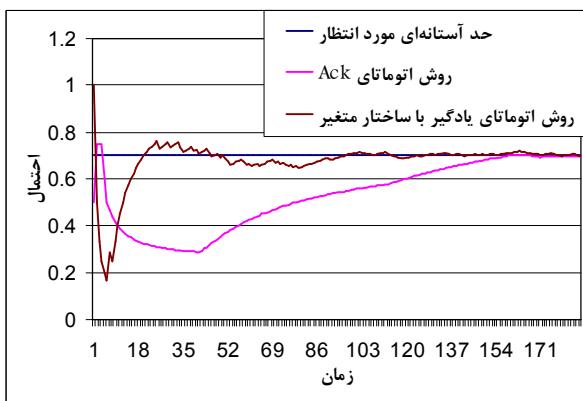
هرند به یک اتماتاتی یادگیر مجذب است که دارای تنها دو عمل می‌باشد. یکی از این دو عمل معادل فعل بودن ند و عمل دیگر معادل غیرفعال بودن آن می‌باشد. در ابتدا، هر دو عمل اتماتاتا احتمال برابر ۰/۵ دارند. در هر دور از جمع‌آوری اطلاعات، اتماتاتای هرند، بر اساس احتمال مناسب به هریک از اعمالش، یکی از آنها را به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

رأس خوشه مدت زمانی را صبر می‌کند تا مطمئن شود که بسته اطلاعاتی کلیه ندهای فعل در دور جاری موجود در خوشة 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 همگرائی 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 مدنظر پائین‌تر باشد، در روش ارائه شده در این مقاله، هر رأس خوشه، مجموع بسته‌های دریافتی از ندهای خوشة خود در طی تمامی دورهای جمع‌آوری اطلاعات تا کنون را نگاه می‌دارد تا بتواند میانگین مدنظر را



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



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

## ۲- آزمایش دوم

در این آزمایش،  $E(Act_k)$  برای کلیه خوشه‌ها در پایان شبیه‌سازی مد نظر قرار دارد. برای شبکه‌های حاوی ۱۰۰، ۵۰ و ۲۰۰ ند و با مقادیر ۰/۳۵، ۰/۰۵ و ۰/۰۷ 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 اتوماتیک نتایج مطلوب‌تر و باثبات‌تری دارد. اکثر خوشه‌ها در این روش تا حد مطلوبی به آستانه ON\_RATIO نزدیک شده‌اند، در حالیکه در اتوماتیک 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.

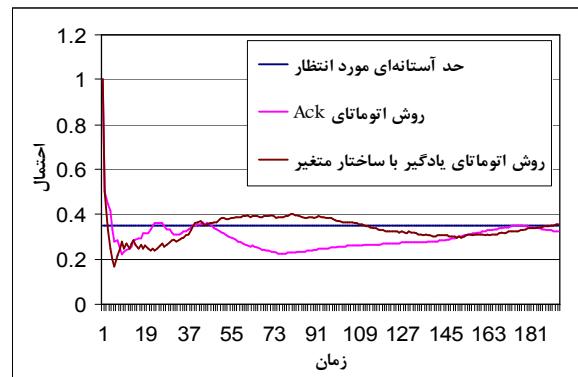
$$Error = \sum_{k=1}^N (E(Act_k) - ON\_RATIO)^2 \quad (7)$$

به کیفیت سرویس مد نظر مطرح شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به آنکه در این مرجع برتری اتوماتیک Ack بر اتوماتیک Gur نشان داده شده است، به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها در اینجا تنها اتوماتیک 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<sup>۱۱</sup> 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  $C_{prob}$  و  $P_{Min}$  مورد استفاده در الگوریتم خوشه‌بندی ارائه شده در [۱۴] به ترتیب برابر ۰/۰۱ و ۰/۰۲/۰۲ و ۰/۰۱ قرار گرفته‌اند. اتوماتیک Ack مورد استفاده در این شبیه‌سازی‌ها دارای ۴ وضعیت داخلي  $T_0$  تا  $T_4$  می‌باشد که احتمال مناسب به این وضعیت‌ها به ترتیب برابر ۰/۰۱، ۰/۰۸ و ۰/۰۷ در نظر گرفته شده است. اتوماتیک یادگیر مورد استفاده نیز همانگونه که بیان شد دارای دو عمل متفاوت می‌باشد که در ابتدای شبیه‌سازی هریک دارای احتمال ۰/۰۵ می‌باشند.

## ۱-۵- آزمایش اول

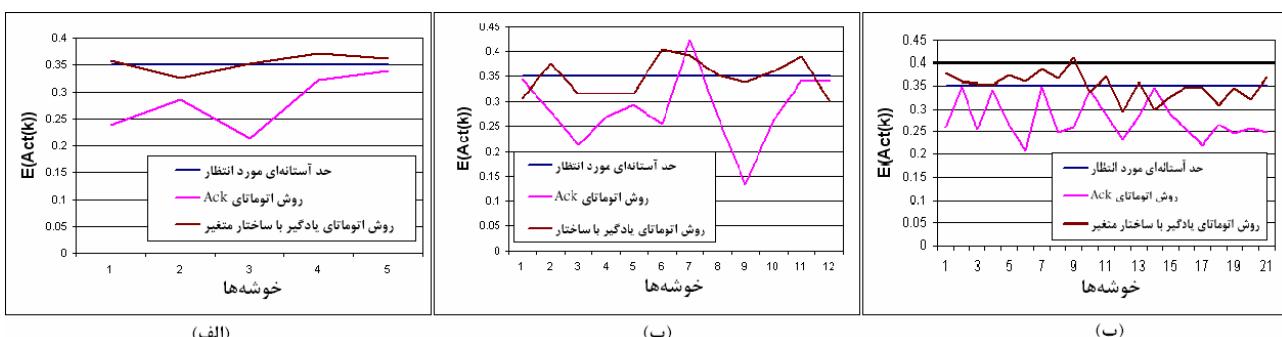
در این آزمایش چگونگی همگرائی الگوریتم مورد استفاده جهت دستیابی به کیفیت سرویس، مد نظر قرار دارد. بدین منظور، شبکه‌ای متشکل از ۵۰ ند در نظر گرفته شده است. این شبکه ابتدا خوشه‌بندی می‌شود. سپس برای یکی از خوشه‌ها که به طور تصادفی انتخاب می‌شود،  $E(Act_k)$  در هر دور از جمع‌آوری اطلاعات تعیین می‌شود. انتظار آن است که مقدار  $E(Act_k)$  در طول زمان به سمت حد آستانه‌ای مدد نظر که با  $ON\_RATIO$  بیان می‌شود همگرا گردد. آزمایش برای مقادیر  $ON\_RATIO$  برابر ۰/۰۳۵، ۰/۰۵ و ۰/۰۷ 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 اتوماتیک Ack همگرائی سریع‌تر و دقیق‌تری دارد.



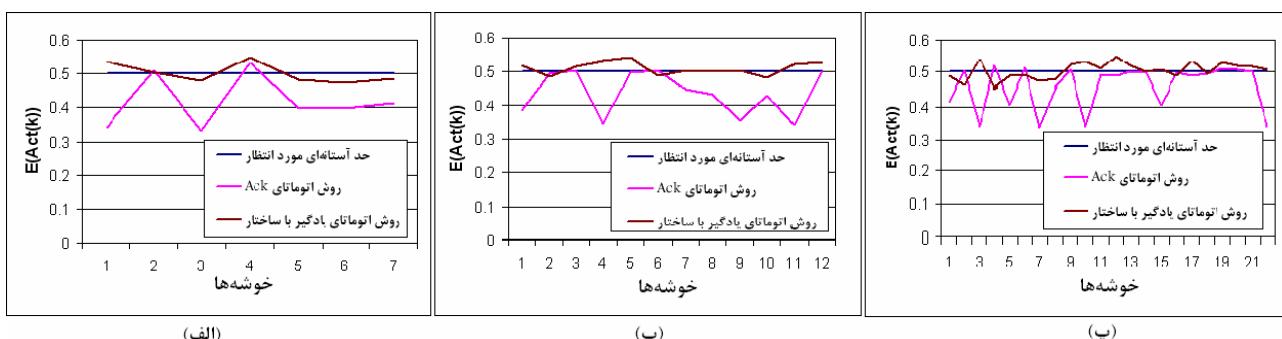
شکل (۳) همگرائی الگوریتم مبتنی بر اتوماتیک یادگیر با ساختار متغیر در مقایسه با روش اتوماتیک Ack در صورتی که حد آستانه‌ای ندهای فعال ۰/۳۵ باشد

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

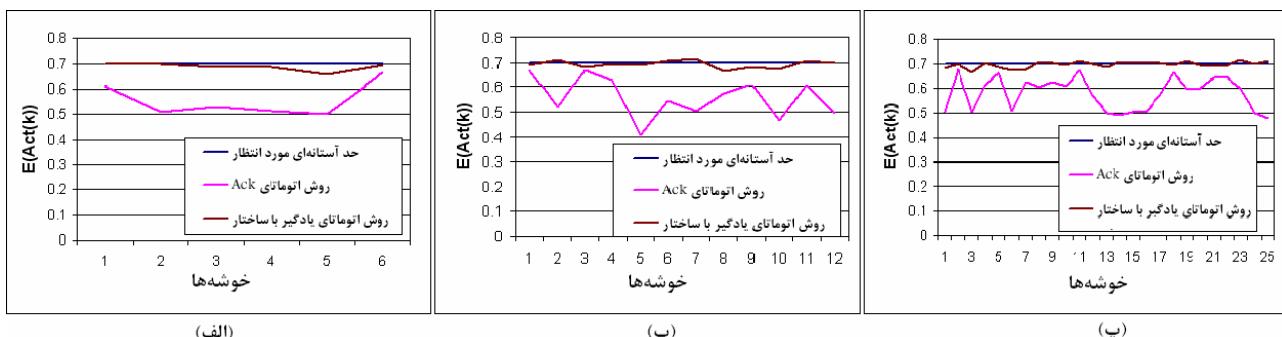
تعداد ندها	حد آستانه: ۰/۰	حد آستانه: ۰/۵	حد آستانه: ۰/۳۵	حد آستانه: ۰/۰	حد آستانه: ۰/۵	حد آستانه: ۰/۳۵
۵۰	۰/۰۰۲۰۸	۰/۱۴۹۶۱	۰/۰۰۵۳	۰/۰۸۲۹۷	۰/۰۱۳۳	۰/۰۳۶۴۹
۱۰۰	۰/۰۰۳۰۸	۰/۳۱۶۰۳	۰/۰۰۵۰۵	۰/۰۹۶۹۱	۰/۰۱۴۸۹	۰/۱۰۸۸
۲۰۰	۰/۰۰۴۱۹	۰/۴۶۹۶۵	۰/۰۱۵۳۴	۰/۱۳۰۸۶	۰/۰۱۷۲۳	۰/۱۵۳۹۴



شکل (۶) مقدار  $E(Act_k)$  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



شکل (۷) مقدار  $E(Act_k)$  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



شکل (۸) مقدار  $E(Act_k)$  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

- [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. Eltowiesy, 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

<sup>1</sup> Quality of Service (QoS)

<sup>2</sup> Coverage

<sup>3</sup> Application Specific QoS

<sup>4</sup> Network QoS

<sup>5</sup> End to end

<sup>6</sup> Reliability Assurance

<sup>7</sup> Hybrid Energy-Efficient Approach

<sup>8</sup> Linear Reward-Penalty

<sup>9</sup> Linear Reward epsilon Penalty

<sup>10</sup> Linear Reward Inaction

<sup>11</sup> Grid

<sup>12</sup> Feedback

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش جدیدی مبتنی بر اتماتای 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 مدنظر 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 مدنظر، به هر ند یک اتماتای یادگیر منتبث می‌شود. این اتماتای یادگیر وضعیت فعال یا غیرفعال بودن ند در دور جاری ارسال اطلاعات را تعیین می‌کند، و در طی زمان با دریافت پس‌خور<sup>۱۳</sup> از رأس خوشه خود، لزوم فعال بودن یا بودن ند خود را فرا می‌گیرد. از طریق آزمایشات نشان دادیم که روش ارائه شده نسبت به روش‌های مشابه عملکرد بسیار مطلوب و باثبات‌تری دارد.

## مراجع

- [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.