

یک مکانیزم زمانبندی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای ارتباط سرخوشه با اعضای خوشه در پروتکل‌های سلسله مراتبی برای شبکه‌های حسگر

سید محمد ابوالحسنی محمد رضا میبدی مهدی اثنی عشری

آزمایشگاه محاسبات نرم

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

sm_abolhasani@aut.ac.ir, mmeybodi@aut.ac.ir, esnaashari@aut.ac.ir

چکیده: برای پروتکل‌های سلسله مراتبی مکانیزم‌های مختلفی برای ارتباط سرخوشه با اعضاء خوشه پیشنهاد شده است. مکانیزم‌های مورد استفاده بدون توجه به شرایط ندها به هر یک از اعضاء خوشه، زمان یکسانی برای ارتباط با سرخوشه می‌دهند. در این مقاله یک مکانیزم زمانبندی بر اساس اتوماتاهای یادگیر که آنرا LASM مینامیم برای ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه پیشنهاد می‌گردد. در این روش هر سرخوشه به یک اتوماتای یادگیر مجهز است و عهده دار ارتباط سر خوشه با اعضای آن می‌باشد. اتوماتای یادگیر به مرور زمان یاد می‌گیرد که برای اعضای از خوشه که دارای اطلاعات بیشتری برای ارسال می‌باشند شانس بیشتری برای ارتباط با سرخوشه فراهم کند. به منظور ارزیابی، پروتکل LEACH که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است ($LEACH_{LASM}$) و پروتکل LEACH از مکانیزم زمانبندی TDMA استفاده میکند ($LEACH_{TDMA}$) با استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز ns2 شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده با همدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی‌ها برتری روش پیشنهادی را نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر، اتوماتاهای یادگیر، پروتکل سلسله مراتبی، مکانیزم زمانبندی

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند از تعداد زیادی (که ممکن است به هزاران مورد برسد) نند حسگر کوچک، ارزان قیمت با قابلیت و قدرت پایین تشکیل شده‌اند. این حسگرها می‌توانند اطلاعاتی را از محیط اطراف خود دریافت کرده و برای حسگرهای همسایه ارسال دارند [1,2]. شبکه‌های حسگر می‌توانند در کاربردهایی مانند نظارت هوشمند بر بزرگراه‌ها، امداد رسانی در حوادث غیرمترقبه، دیده‌بانی محیط و پیگیری هدف [3,4] بکار گرفته شوند. یکی از مسایل مهم در شبکه‌های حسگر مسایلی می‌باشد که برای حل آن الگوریتم‌های فراوانی گزارش شده است. اکایا^۱ و یانیس^۲ در [5] پروتکل‌های مسیریابی را به چهار گروه کلی "داده محور"، "سلسله مراتبی"، "بر اساس موقعیت" و "آگاه از کیفیت سرویس و جریان شبکه" تقسیم می‌کنند. در معماری سلسله مراتبی، ندهای با انرژی بالاتر وظیفه پردازش و ارسال به عهده دارند درحالیکه ندهای با انرژی پایینتر تنها نقش حسگر را در محیط بازی میکنند در مسیریابی سلسله مراتبی، ندها به خوشه‌های منطقی تقسیم می‌شوند. در هر خوشه برخی ندها سرخوشه و ندهای دیگر به عنوان اعضاء خوشه در نظر گرفته میشوند. اعضاء خوشه اطلاعات مورد نظر را با توجه به کاربرد از محیط به دست می‌آورند و سپس این اطلاعات را به سرخوشه ارسال می‌کنند. سرخوشه نیز با جمع‌آوری این اطلاعات آنها را به ند sink می‌فرستد. اکثر پروتکل‌های سلسله مراتبی دارای دو مرحله برای مسیریابی هستند مرحله اول انتخاب سرخوشه و مرحله دوم مسیریابی می‌باشد. مسیریابی سلسله مراتبی یک راه موثر برای کاهش پیغامهای ارسالی به ایستگاههای اصلی و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه می‌باشد.

به منظور ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه خود پروتکل‌های سلسله مراتبی از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند. AIMRP³ از روشی مشابه IEEE 802.11 استفاده می‌کند [6]. در پروتکل‌های TEEN^۴ و APTEN^۵ پس از تشکیل خوشه‌ها، رأس هر خوشه دو حد آستانه قوی و ضعیف را در سطح خوشه خود منتشر می‌کند [7,8]. حد آستانه قوی حداقل مقدار حس شده از محیط که قابل ارسال برای سرخوشه می‌باشد، را نشان می‌دهد. و حد آستانه ضعیف نشان می‌دهد که پس از گذشتن مقدار حس شده از حد قوی، تغییرات به وجود آمده در این مقدار در چه حدی باشد تا مجدداً نیاز به ارسال اطلاعات به رأس خوشه باشد. مکانیزمی که به طور معمول برای ارتباط اعضاء خوشه با سرخوشه استفاده می‌شود^۶ TDMA است که در پروتکل‌های زیادی استفاده شده است [9-15]. مکانیزم زمانبندی TDMA تمایزی بین عضو خوشه‌ای که همواره داده‌ای برای ارسال دارد و عضو خوشه‌ای که داده‌ای برای ارسال ندارد قائل نیست و به هر دو عضو خوشه زمان یکسانی را برای ارتباط با سرخوشه می‌دهد.

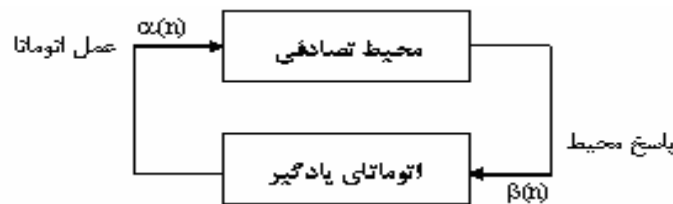
لازم بذکر است که اگر عضو خوشه‌ای همواره داده‌ای برای ارسال دارد نشان دهنده این است که عضو خوشه مورد نظر در منطقه‌ای قرار دارد که اطلاعات محیطی در آن منطقه مدام در حال تغییر است و بایستی این اطلاعات سریعتر به مقصد فرستاده شود.

اخیراً اتوماتهای یادگیر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد استفاده قرار گرفته است در [16] با استفاده از اتوماتهای یادگیر مکانیزمی برای بیدار و خواب کردن ندها به منظور حفظ کیفیت سرویس ارایه گردید. در [17] پروتکل $LACA^7$ که مبتنی بر اتوماتهای یادگیر می‌باشد برای خوشه‌بندی ندها و در [18] پروتکلی بر اساس اتوماتهای یادگیر برای چندپخش متحرک برای شبکه‌های حسگر ارائه شده است. در این مقاله یک مکانیزم زمانبندی بر اساس اتوماتهای یادگیر که آنرا $LASM^8$ مینامیم برای ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه پیشنهاد می‌گردد. در این روش هر سرخوشه به یک اتوماتای یادگیر مجهز است و عهده دار ارتباط سر خوشه با اعضای آن می‌باشد. اتوماتای یادگیر به مرور زمان یاد می‌گیرد که برای اعضای از خوشه که دارای اطلاعات بیشتری برای ارسال می‌باشند شانس بیشتری برای ارتباط با سرخوشه فراهم کند. به منظور ارزیابی، پروتکل $LEACH^9$ که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است ($LEACH_{LASM}$)، و پروتکل $LEACH$ که از مکانیزم زمانبندی TDMA استفاده میکند ($LEACH_{TDMA}$) با استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز ns2 [19] شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده با همدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج مقایسه برتری روش پیشنهادی را نشان داده است.

سازماندهی ادامه مقاله به این صورت است. در بخش ۲ اتوماتهای یادگیر و در بخش ۳ پروتکل $LEACH$ به اختصار شرح داده می‌شوند. در بخش ۴ مکانیزم زمانبندی پیشنهادی توضیح داده می‌شود و در بخش ۵ نتایج شبیه سازی ها آمده است. بخش ۶ نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- اتوماتهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر [20,21]، ماشینی است که می‌تواند تعدادی متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می‌شود و نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اتوماتا داده می‌شود و اتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تاثیر می‌گیرد. هدف نهایی این است که اتوماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداکثر برساند. کارکرد اتوماتای یادگیر در تعامل با محیط، در شکل ۱ مشاهده می‌شود.



شکل (۱): ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می‌توان توسط سه تایی $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی‌ها، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی‌ها و $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ 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، $\beta(n)$ می‌تواند به طور گسسته، یک مقدار از مقادیر محدود در فاصله $[0, 1]$ و در محیط از نوع S، $\beta(n)$ متغیر تصادفی در فاصله $[0, 1]$ است. c_i احتمال اینکه عمل α_i نتیجه نامطلوب داشته باشد می‌باشد. در محیط ایستا مقادیر c_i بدون تغییر می‌مانند، حال آنکه در محیط غیر ایستا این مقادیر در طی زمان تغییر می‌کنند.

اتوماتای یادگیر با ساختار ثابت توسط پنج تایی $\{\alpha, \beta, F, G, \phi\}$ نشان داده می‌شود که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل‌های اتوماتا، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه ورودی‌های اتوماتا، $\phi \equiv \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_s\}$ وضعیت‌های داخلی اتوماتا، تابع تولید وضعیت جدید اتوماتا و $F: \phi \times \beta \rightarrow \phi$ تابع خروجی می‌باشد که وضعیت کنونی اتوماتا را به خروجی بعدی می‌نگارد. اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان توسط چهار تایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل‌های اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$ مجموعه ورودی‌های اتوماتا، $p = \{p_1, \dots, p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هریک از عمل‌ها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم‌های یادگیری خطی است. فرض کنید عمل α_i در مرحله n ام انتخاب شود.

پاسخ مطلوب

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

پاسخ نامطلوب

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

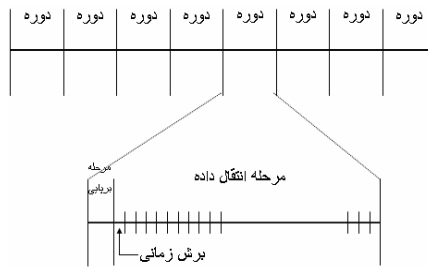
در روابط (۱) و (۲)، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشند. با توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را می‌توان در نظر گرفت. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP} می‌نامند، زمانیکه b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را L_{ReP} می‌نامند و زمانیکه b مساوی صفر باشد الگوریتم را L_{RI} می‌نامند [22].

۳- پروتکل LEACH

یکی از اولین و معروفترین پروتکل‌های سلسله‌مراتبی ارائه شده برای شبکه‌های سنسور، پروتکل LEACH می‌باشد [14]. در این پروتکل، مدت زمان فعالیت شبکه به دوره‌هایی تقسیم می‌شود (شکل ۲). در ابتدای هر دوره، به صورت تصادفی تعدادی از ندها به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند. برای این کار هر ند یک عددی تصادفی مابین ۰ و ۱ تولید می‌کند. در صورتیکه این عدد از مقدار $T(n)$ که با استفاده از رابطه ۳ به دست می‌آید، کمتر باشد ند مزبور به عنوان سرخوشه معرفی می‌شود. در رابطه فوق P نسبت تعداد خوشه‌ها به تعداد کل ندهای شبکه، r شماره دور و G تعداد ندهائی می‌باشد که در $1/P$ دور قبل به عنوان رأس خوشه برگزیده نشده‌اند.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})}, & \text{if } n \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

پس از مشخص شدن ندهای سرخوشه، سایر ندها بر اساس قدرت سیگنال دریافتی از هر سرخوشه، تصمیم می‌گیرند که به عضویت کدام خوشه در آیند. ند سرخوشه مدت زمانی که این مسولیت را دارد به تعدادی برش زمانی^۱ تقسیم می‌کند (شکل ۲). سرخوشه در هر برش زمانی با یکی از اعضا خود با توجه به روش TDMA ارتباط برقرار می‌کند و اقدام به جمع‌آوری بسته‌های داده از اعضای خوشه خود می‌کند. سرخوشه در هر چند برش زمانی، اطلاعات دریافتی از اعضای خود را برای sink ارسال می‌کند. به منظور توزیع بار بر روی ندهای مختلف پس از اتمام یک دور سرخوشه‌ها عوض می‌شوند و سپس یک دور جدید شروع می‌شود.



شکل ۲: دور و برش زمانی در پروتکل LEACH

۴- مکانیزم زمانبندی پیشنهادی

در این قسمت مکانیزم زمان بندی پیشنهادی که آنرا LASM مینامیم شرح داده می‌شود. این مکانیزم بعد از مرحله خوشه بندی و برای جمع‌آوری اطلاعات از اعضای خوشه به کار گرفته می‌شود. در مکانیزم پیشنهادی هر سرخوشه، مجهز به یک اتوماتای یادگیر است. سرخوشه با استفاده از اتوماتای یادگیرش عضو خوشه‌ای را که باید با آن ارتباط برقرار کند انتخاب می‌کند. در مکانیزم پیشنهادی LASM فرض بر این است که اگر عضو خوشه‌ای بسته‌ای برای ارسال در لحظه t دارد با احتمال زیاد در لحظه $t+1$ نیز بسته‌ای برای ارسال خواهد داشت. به همین دلیل، احتمال انتخاب آن عضو خوشه برای مراحل بعد بر طبق الگوریتم یادگیری افزایش می‌یابد و اگر عضو خوشه‌ای اعلام کند که بسته‌ای برای ارسال ندارد، آنگاه احتمال انتخاب برای مرحله بعد بر طبق الگوریتم یادگیری کاهش می‌یابد. تعداد اعمال هر یک اتوماتاهای یادگیر برابر با تعداد اعضا خوشه متناظر با آن می‌باشد. انتخاب یک عمل توسط اتوماتای یادگیر به معنای انتخاب یک عضو از خوشه برای ارتباط با سرخوشه است. بردار احتمال انتخاب اعمال اتوماتای یادگیر هر خوشه طبق رابطه ۴ مقدار دهی اولیه می‌شود. در این رابطه n تعداد اعضا خوشه و $EnergyLevel_i$ سطح انرژی عضو i ام خوشه است.

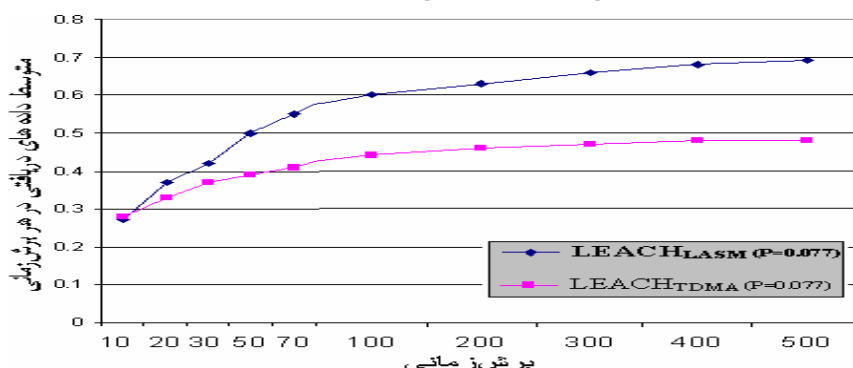
$$\forall i \quad i \leq n \quad P_i = \frac{EnergyLevel_i}{\sum_{i=1}^n EnergyLevel_i} \quad (4)$$

در ادامه اتوماتای یادگیر سرخوشه یکی از اعمال خود را انتخاب می‌کند. سرخوشه انتخاب شده از عضوی را که اتوماتای یادگیر انتخاب کرده درخواست بسته داده می‌کند. اگر عضو خوشه بسته‌ای برای فرستادن داشته باشد آن بسته را به سرخوشه می‌فرستد و سپس عمل انتخابی پاداش داده می‌شود و اگر عضو خوشه بسته‌ای برای فرستادن نداشته باشد آن عمل جریمه می‌شود. سرخوشه روند انتخاب اعضاء خوشه برای ارتباط با خود را با استفاده از اتوماتای یادگیر تا دور جدید خوشه‌بندی ادامه می‌دهد. سرخوشه بعد از هر چند برش زمانی، اطلاعات دریافتی از اعضاء خوشه خود را برای sink ارسال می‌کند. تا sink از این طریق اطلاعات ندهای حسگر را دریافت کند.

۵- نتایج شبیه‌سازی‌ها

به منظور ارزیابی، پروتکل LEACH که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است ($LEACH_{LASM}$) و پروتکل LEACH که از مکانیزم زمانبندی TDMA استفاده می‌کند ($LEACH_{TDMA}$) با استفاده از نرم‌افزار شبیه ساز ns2 [19] شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده با همدیگر مقایسه شده‌اند. برای انجام شبیه سازی‌ها تعداد ۱۰۰ ند حسگر در منطقه‌ای به مساحت 100×100 مترمربع بخش شده است و ند Sink به طور تصادفی مشخص می‌شود. ندها درجه حرارت را از محیط دریافت و تغییرات آن را به اطلاع sink می‌رسانند [3]. کارایی پروتکل‌های $LEACH_{LASM}$ و $LEACH_{TDMA}$ برای مقادیر مختلف P (نسبت تعداد خوشه‌ها به تعداد ندهای شبکه) آزمایش گردیده‌اند. هر ندی که به عنوان سرخوشه انتخاب شود برای ۵۰۰ برش زمانی این مسولیت را به عهده دارد و در هر برش زمانی با یکی از اعضای خود ارتباط برقرار می‌کند. سرخوشه بعد از هر ۵ برش زمانی داده‌های دریافتی را در یک بسته قرار داده و آن را به sink می‌فرستد. شبکه برای بارهای (میانگین تعداد بسته های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک ند) ۰/۱۲۵، ۰/۲۵۰، ۰/۳۷۵، ۰/۵۰۰، ۰/۱۰۰۰، ۰/۱۵۰۰، ۰/۲۰۰۰، ۰/۲۵۰۰ و ۰/۳۰۰۰ مورد آزمایش قرار گرفته است. زمان شبیه‌سازی ۶۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است که در این مدت چندین بار مرحله خوشه بندی انجام می‌شود.

آزمایش ۱: در این آزمایش نشان داده می‌شود که عملکرد مکانیزم پیشنهادی به مرور زمان بهبود پیدا می‌کند یعنی اتوماتاهای یادگیر به مرور زمان اعضای از خوشه که دارای اطلاعات بیشتری برای ارسال دارند را مشخص می‌کنند و برای آنها شانس بیشتری برای ارتباط با سر خوشه ها فراهم می‌کنند. برای این منظور پروتکل LEACH با مقدار $P=0.077$ با استفاده از دو مکانیزم زمانبندی پیاده سازی گردید. پس از مرحله خوشه‌بندی بر اساس پروتکل LEACH، سرخوشه‌ها اقدام به جمع‌آوری بسته‌های داده از اعضاء خوشه خود با مکانیزم پیشنهادی LASM و یا TDMA می‌کنند. بعد از گذشت مدت زمان مشخص دوباره خوشه‌بندی انجام می‌شود و سرخوشه ها بسته‌های داده را از اعضاء خوشه خود جمع‌آوری می‌کنند و این روند ادامه می‌یابد. میانگین تعداد بسته های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک ند (بار) برای این آزمایش ۰/۱ در نظر گرفته شده است. با توجه به در نظر گرفتن ۵۰۰ برش زمانی برای هر سرخوشه برای ارتباط با اعضاء خوشه و تعداد بسته‌های دریافتی در برش‌های زمانی گوناگون، برای پروتکل $LEACH_{LASM}$ مشاهده می‌شود که هر چه زمان می‌گذرد، سرخوشه شرایط اعضای خود را بهتر می‌شناسد و با عضوی که داده های بیشتری برای ارسال دارد در برش‌های زمانی بیشتری ارتباط برقرار می‌کند و در نتیجه بسته‌های داده بیشتری را از اعضاء خود دریافت می‌کند. نتایج این آزمایش در شکل ۳ آمده است. همانطور که دیده می‌شود هرچه سرخوشه بیشتر با اعضاء خوشه ارتباط برقرار می‌کند داده‌های بیشتری را دریافت می‌کند. در حالی که برای پروتکل $LEACH_{TDMA}$ با گذشت زمان سرخوشه ها تمایزی بین اعضای خود قابل نمی‌شوند. به منظور بررسی تاثیر پارامتر P بر پروتکل‌های $LEACH_{LASM}$ و $LEACH_{TDMA}$ ، این پروتکل‌ها برای مقادیر مختلف P آزمایش شده اند که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. مشاهده می‌شود که متوسط داده‌های دریافتی در یک برش زمانی با گذشت زمان برای پروتکل $LEACH_{LASM}$ افزایش می‌یابد.

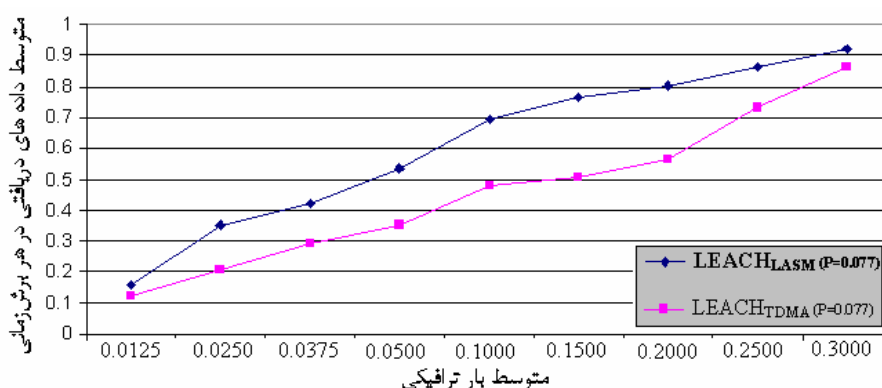


شکل ۳: افزایش متوسط داده‌های دریافتی با گذشت زمان برای پروتکل‌های $LEACH_{LASM} (p=0.077)$ و $LEACH_{TDMA} (p=0.077)$

جدول ۱: متوسط داده‌های دریافتی در یک برش زمانی برای تعداد برش‌های زمانی متفاوت برای پروتکل‌های مختلف

نوع پروتکل	تعداد برش زمانی	LEACH _{TDMA} (P=0.05)	LEACH _{LASM} (P=0.05)	LEACH _{TDMA} (P=0.0625)	LEACH _{LASM} (P=0.0625)	LEACH _{TDMA} (P=0.077)	LEACH _{LASM} (P=0.077)	LEACH _{TDMA} (P=0.1)	LEACH _{LASM} (P=0.1)
	10	0.25	0.30	0.27	0.25	0.28	0.27	0.23	0.27
	20	0.34	0.42	0.36	0.37	0.33	0.37	0.29	0.34
	30	0.38	0.46	0.38	0.42	0.37	0.42	0.32	0.38
	50	0.45	0.53	0.42	0.51	0.39	0.50	0.36	0.44
	70	0.48	0.58	0.44	0.55	0.41	0.55	0.37	0.48
	100	0.52	0.63	0.46	0.58	0.44	0.60	0.39	0.50
	200	0.55	0.70	0.49	0.65	0.46	0.63	0.41	0.55
	300	0.58	0.74	0.50	0.68	0.47	0.66	0.41	0.57
	400	0.59	0.76	0.50	0.70	0.48	0.68	0.42	0.59
	500	0.59	0.77	0.51	0.72	0.48	0.69	0.42	0.61

آزمایش ۲: در این آزمایش عملکرد پروتکل پیشنهادی برای بارهای مختلف برای دو پروتکل LEACH_{TDMA} و LEACH_{LASM} برای $P=0.077$ مورد بررسی قرار میگیرد نشان داده شد که پروتکل LEACH_{LASM} همواره متوسط داده‌های دریافتی بالاتری از پروتکل LEACH_{TDMA} در هر برش زمانی دارد. علت این امر این است که در پروتکل LEACH_{LASM}، سرخوشه اعضاء فعال را به مرور زمان می‌شناسد و در نتیجه با آنها بیشتر ارتباط برقرار می‌کند و به عبارت دیگر با استفاده از مکانیزم LASM سرخوشه‌ها یاد می‌گیرند که با اعضاء فعال بیشتر ارتباط برقرار کنند که این به خاطر استفاده از اتوماتای یادگیر در سرخوشه‌ها است. نتایج این شبیه سازی با بارهای مختلف در شکل ۴ دیده می‌شود. نتایج دو پروتکل LEACH_{TDMA} و LEACH_{LASM} برای مقادیر مختلف P و بار (میانگین تعداد بسته های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک ند) در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان دهنده برتری پروتکل LEACH_{LASM} بر پروتکل LEACH_{TDMA} است.



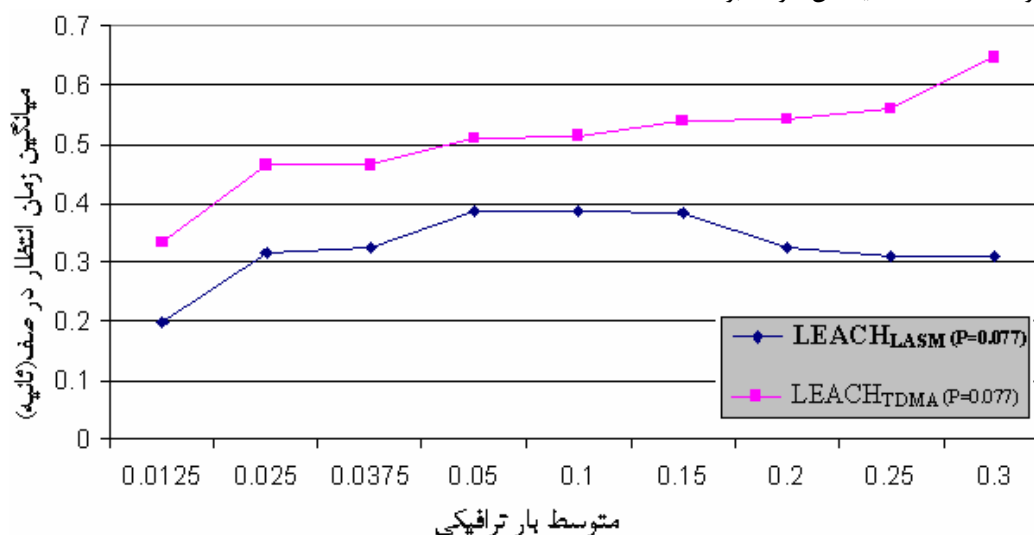
شکل ۴: متوسط داده‌های دریافتی در هر برش برای مقادیر مختلف بار ترافیکی برای پروتکل LEACH (p=0.077)

جدول ۲: متوسط داده‌های دریافتی در هر برش برای پروتکل‌های مختلف با بارهای مختلف

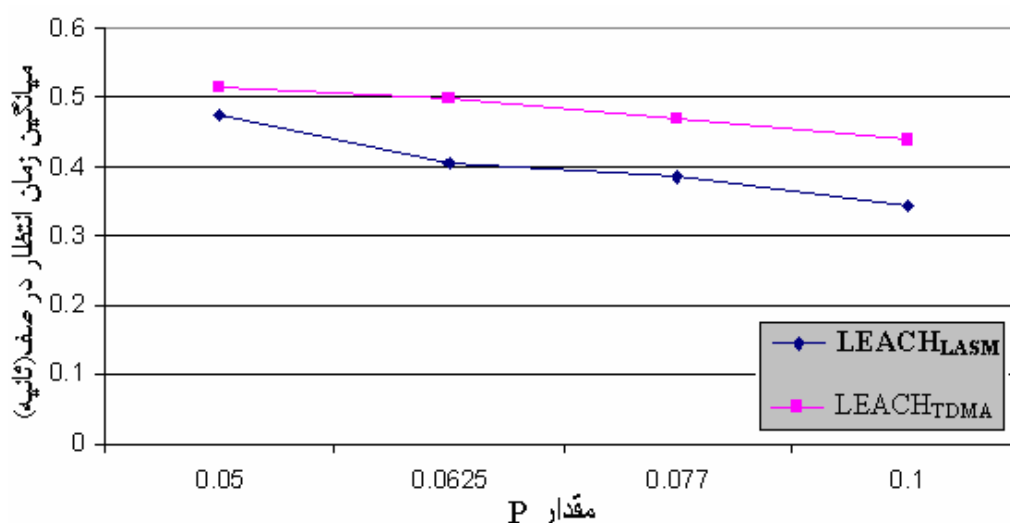
بار پیشنهادی (packet/slot)						نوع پروتکل
0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	
0.91	0.77	0.64	0.59	0.59	0.37	LEACH _{TDMA} (P=0.05)
0.94	0.87	0.91	0.82	0.77	0.56	LEACH_{LASM} (P=0.05)
0.88	0.80	0.57	0.54	0.51	0.31	LEACH _{TDMA} (P=0.0625)
0.91	0.89	0.81	0.76	0.72	0.49	LEACH_{LASM} (P=0.0625)
0.87	0.73	0.56	0.51	0.48	0.35	LEACH _{TDMA} (P=0.077)
0.92	0.86	0.80	0.77	0.69	0.54	LEACH_{LASM} (P=0.077)
0.78	0.70	0.59	0.43	0.42	0.29	LEACH _{TDMA} (P=0.1)
0.86	0.89	0.87	0.72	0.61	0.43	LEACH_{LASM} (P=0.1)

آزمایش ۳: هدف از این آزمایش بررسی میانگین مدت زمان انتظار هر بسته در صف برای مکانیزم زمانبندی پیشنهادی می‌باشد. برای این منظور دو پروتکل LEACH_{TDMA} و LEACH_{LASM} با $P=0.077$ برای بارهای مختلف پیاده سازی و میانگین مدت زمانی که هر بسته در داخل صف

منتظر میماند محاسبه گردید. نتایج آزمایش نشان دهنده عملکرد بهتر پروتکل $LEACH_{LASM}$ در مقایسه با پروتکل $LEACH_{TDMA}$ است. در پروتکل $LEACH_{LASM}$ سرخوشه‌ها با اطلاعاتی که از طریق اتوماتای یادگیر به دست می‌آورند اعضاء خوشه فعال را تشخیص داده و با آنها بیشتر ارتباط برقرار می‌کنند که از این طریق زمان انتظار در صف کاهش مییابد. در صورتیکه در پروتکل $LEACH_{TDMA}$ هر سرخوشه به نوبت با اعضای خود ارتباط برقرار میکند و بهمین دلیل بعد از اتمام ارتباط با یک ند، آن ند تا نوبت بعدی خود برای ایجاد ارتباط با سرخوشه اش بایستی منتظر بماند و همین باعث افزایش زمان انتظار بسته داده در صف میگردد. نتایج این آزمایش در شکل ۵ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش بار زمان انتظار در صف نیز افزایش می‌یابد. علت کاهش زمان انتظار در صف برای پروتکل $LEACH_{LASM}$ ، در بارهای ترافیکی بیشتر از ۰/۱۵، این است که به علت افزایش تولید بسته های داده توسط ندهای فعال، سرخوشه‌ها ند های فعال را در مدت زمان کمتری تشخیص داده و به همین دلیل فرصت بیشتری برای ارتباط با ند های فعال پیدا خواهد کرد که این خود منجر به کاهش زمان انتظار در صف میگردد. به منظور بررسی تاثیر پارامتر P بر پروتکل‌های $LEACH_{LASM}$ و $LEACH_{TDMA}$ ، این پروتکلها برای مقادیر مختلف P و بار (میانگین تعداد بسته های فرستاده شده در هر برش زمانی توسط یک ند) ۰/۱ شبیه سازی گردیدند که نتیجه آن در شکل ۶ نشان داده شده است. نتایج حاکی از عملکرد بهتر پروتکل $LEACH_{LASM}$ در مقایسه با پروتکل $LEACH_{TDMA}$ است. همان گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود با افزایش مقدار P و در نتیجه افزایش تعداد سرخوشه‌ها زمان انتظار بسته ها در صف کاهش پیدا می‌کند. این به علت کم شدن تعداد اعضاء هر خوشه و در نتیجه افزایش برش زمانی اختصاص داده شده به هر عضو خوشه میباشد. با توجه به اینکه در الگوریتم مسیریابی تغییری ایجاد نشده است تاخیر انتها به انتها برای هر دو پروتکل $LEACH_{LASM}$ و $LEACH_{TDMA}$ یکسان خواهد بود.



شکل ۵: متوسط زمان انتظار در صف برای مقادیر مختلف بار ترافیکی برای پروتکل $LEACH (p=0.077)$



شکل ۶: متوسط زمان انتظار در صف با مقادیر مختلف P ، برای پروتکل $LEACH$

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک مکانیزم زمانبندی بر اساس اتوماتای یادگیر برای ارتباط اعضای یک خوشه با سرخوشه پیشنهاد گردید. به منظور ارزیابی، پروتکل LEACH که در آن مکانیزم زمانبندی پیشنهادی به کار گرفته شده است و پروتکل LEACH که از مکانیزم زمانبندی TDMA استفاده میکند با استفاده از نرم افزار شبیه ساز ns2 شبیه سازی و نتایج بدست آمده با همدیگر مقایسه گردید. نتایج مقایسه برتری روش پیشنهادی را نشان داد.

مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks, pp. 393-422, Vol. 38, 2002.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor network", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002.
- [3] D. Janakiram, R. Venkateswarlu and S. Nitin, "A survey on programming languages, middleware and applications in wireless sensor networks", IITM-CSE-DOS-2005-04, 2005.
- [4] D. Estrin, "Embedded everywhere: A research agenda for network systems of embedded computers", National Academy Press, 2001, Computer Science and Telecommunication Board (CSTB) Report.
- [5] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks", Elsevier Ad Hoc Network Journal, pp. 325-349, 2005.
- [6] S. Kulkarni, A. Iyer and C. Rosenberg, "An address-light, integrated MAC and routing protocol for wireless sensor networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, August 2005.
- [7] A. Manjeshwar and D. Agrawal, "TEEN: A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks", 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001.
- [8] A. Manjeshwar and D. Agrawal, "Apteen: A hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks", IPDPS, 2002.
- [9] M. Younis, M. Youssef and K. Arisha, "Energy-Aware routing in cluster-based sensor networks", Proceedings of the 10th IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS2002), Fort Worth, Texas, October 2002.
- [10] M. Younis, M. Youssef and K. Arisha, "Energy-Aware management in cluster-based sensor networks", The International Journal on Computer Networks, Vol. 43, No. 5, pp. 649-668, December 2003.
- [11] I. Saha Misra, S. Dolui and A. Das, "Enhanced-Efficient adaptive clustering protocol for distributed sensor networks", ICON 2005
- [12] T. Voig, A. Dunkels, J. Alonso, H. Ritter and J. Schiller, "Solar-aware clustering in wireless sensor networks", Computers and Communications, 2004. Proceedings. ISCC 2004. Ninth International Symposium on Volume 1, 28 June-1 July 2004.
- [13] T. T. Huynh, and C. S. Hong, "Prolonging network lifetime via intra-cluster routing in wireless sensor networks", Proceedings of ICMU2005, pp. 162-167, April. 2005.
- [14] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor network", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '00), January 2000.
- [15] R. Musunuri and J. A. Cobb, "Hierarchical-battery aware routing in wireless sensor networks", Vehicular Technology Conference, 2005.
- [16] M. Esnaashari, M. R. Meybodi and M. Sabaei, "A novel method for QoS support in sensor networks", Proceedings of CSICC2007, pp. 740-747, 2007.
- [17] N. Farajzadeh and M. R. Meybodi, "Learning automata-based clustering algorithm for sensor networks", Proceedings of CSICC2007, pp. 780-787, 2007.
- [18] M. Gholipour and M. R. Meybodi, "LA-Mobicast: A learning automata based distributed protocol for mobicast in sensor networks", Proceedings of CSICC2007, pp. 1154-1161, 2007.
- [19] The Network Simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [20] K. S. Narendra and M. A. L. Thathachar, *Learning automata: An introduction*, Prentice Hall, 1989.
- [21] H. Beigy and M. R. Meybodi, "A mathematical framework for cellular learning automata", Advances on Complex Systems, Vol. 7, Nos. 3-4, pp. 295-320, September/December 2004.
- [22] M. A. L. Thathachar and P. S. Sastry, "Varieties of learning automata: An overview", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, Vol. 32, No. 6, pp. 711-722, 2002.

¹ Akkaya

² Younis

³ Address-light Integrated MAC, and Reporting Protocol

⁴ Threshold-Sensitive Energy-Efficient Protocol⁴

⁵ Adaptive Periodic TEEN

⁶ Time-division multiple-access

⁷ Learning Automata-based Clustering Algorithm

⁸ Learning Automata-based Scheduling Mechanism

⁹ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy

¹⁰ Slot