LA-Mobicast: یک پروتکل توزیع شده مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای چندپخشی متحرک در شبکه‌های سنسور

مجید قلی پور*، محمدرضا میبدی⊕

چکیده

در این مقاله یک پروتکل توزیع‌شده مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای چندپخشی متحرک پیشنهاد می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، پروتکل ارائه شده ضمن تضمین دریافت پیغام، تعداد گره‌های سنسوری درگیر، تعداد پیغام‌های ردوبدل شده و میانگین زمان سکون را به میزان قابل توجهی در مقایسه با روش‌های موجود کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی

چندپخشی متحرک, اتوماتاهای یادگیر، شبکه سنسور

LA-Mobicast: A Learning Automata Based Distributed Protocol for Mobicast in Sensor Networks

Majid Gholipour, Mohammad Reza Meybodi

Abstract

This paper presents a distributed protocol based on learning automata for mobicast in sensor networks. To show the performance of the proposed protocol computer simulations have been conducted. Simulation results show performance enhancements in the number of nodes involved, the number of messages exchanged, average slack time and predicted guarantee comparing to existing mobicast routing protocols.

Keywords

Mobicast, Learning Automata, Sensor Network

* دانشکده مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه آزاد اسلامی- واحد قزوین – ایران gholipur@gmail.com

⊕ دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران ایران mmeybodi@aut.ac.ir

۱- مقدمه

شبکه‌های سنسور از تعدادی زیاد (که ممکن است به هزاران مورد برسد) سنسورهای کوچک، ارزان قیمت با قابلیت و قدرت پایین تشکیل شده‌اند. این سنسورها می‌توانند اطلاعاتی را از محیط اطراف خود دریافت کرده و برای سنسورهای همسایه ارسال دارند[۱]. شبکه‌های سنسوری می‌توانند در سیستم‌هایی مانند سیستم‌های هوشمند نظارت بر بزرگراه‌ها، امداد رسانی در حوادث غیرمترقبه[۲]بکار گرفته شوند. هدف بسیاری از شبکه‌های سنسوری(نظیر نظارت مناسب[۱][۳] و ردگیری محرمانه[۲] [۴]) آگاهی از موقعیت شیء متحرک موجود در محیط می‌باشد. در این شبکه‌ها تنها سنسورهای نزدیک به شیء متحرک مورد بررسی به عنوان سنسورهای فعال در فرآیند تجمیع داده‌ها[۳] شرکت می‌کنند، چرا که سنسورهایی که از شیء متحرک فاصله دارند در صورت فعال بودن، بدون اینکه مفید باشند، انرژی گرانبهای خود را هدر می‌دهند.

جهت نظارت مستمر بر یک شیء متحرک، شبکه سنسور در ابتدا یک گروه از سنسورها را به عنوان گروه سنسورهای فعال تعیین می‌نماید. اعضای این گروه، گره‌هایی هستند که در جهت حرکت شیء و با فاصله مشخصی از آن قرار دارند. اعضای گروه فعال در طی زمان تغییر می‌کنند، چرا که با حرکت شیء مورد نظر گره‌هایی که شیء از آنها دور شده، از عضویت گروه فعال خارج و گره‌هایی که شیء متحرک به آنها نزدیک می‌شود به عضویت گروه فعال در می‌آیند. برای این منظور یک مکانیزم ارتباطی نیاز می‌باشد تا از طریق آن هر سنسور، اطلاعات خود را درباره شیء متحرک ، به سنسورهای دیگر (که شیء در آینده به آنها خواهد رسید) ارسال کند. پیغام ارسالی بایستی قبل از اینکه شیء متحرک به سنسور برسد تحویل داده شود تا بدین‌وسیله سنسورهای دریافت‌کننده پیغام، بتوانند در زمان مناسب فعال[۴] شده و فعالیت‌های خود را بر اساس اطلاعات دریافتی تنظیم نمایند[۴] . به ناحیه‌ای که گروه سنسوری فعال در آن قرار دارد و در هر لحظه با حرکت شیء تغییر می‌نماید، ناحیه تحویل[۵] گفته می‌شود.

با توجه به بحث فوق، در بسیاری از شبکه‌های سنسوری محدودیت مکانی[۶] - زمانی[۷] بایستی برقرار گردد، یعنی داده‌ها باید در یک زمان مشخص به یک مکان مناسب برسند. چندپخشی‌متحرک که در آن محدودیت مکانی – زمانی[۸] رعایت می‌شود، روش جدیدی جهت ارتباط در شبکه‌های سنسوری می‌باشد[۵] [۶]. استفاده از چندپخشی متحرک[۹] این امکان را فراهم می‌سازد تا در یک شبکه، سنسورها پیغام را در زمان مناسب به گره‌های موجود در ناحیه تحویل، ارسال نمایند. چندپخشی متحرک به وسیله چندتایی <m, Z[t], T_s, T> نشان داده می‌شود، که m پیغام چندپخشی ،Z[t] ناحیه‌ای است که در آن پیغام باید تا لحظه t دریافت شود(ناحیه تحویل)، T_s زمان ارسال پیغام و T مدت زمان انجام چندپخشی متحرک است. با تغییر ناحیه تحویل Z[t] گره‌های سنسوری دریافت کننده پیغام m نیز تغییر می‌نمایند. پروتکل چندپخشی متحرک باید تضمین نماید، همه گره‌هایی که در ناحیه تحویل قرار دارند پیغام m را قبل از ورودشان به این ناحیه دریافت کرده باشند. در این مقاله فرض می‌شود که گره‌های سنسوری بدون حرکت می‌باشند و ناحیه تحویل Z[t] با سرعت ثابتی در محیط حرکت می‌نماید.

یک شبکه سنسور می‌تواند با استفاده از چندپخشی متحرک از طریق هماهنگی‌های محلی[۱۰] و تجمیع داده‌ها به منظور تعقیب یک شیء متحرک مورد استفاده قرار گیرد. هنگامی‌که شیء متحرک کشف شد، گروه سنسوری دریافت‌کننده اولیه شکل می‌گیرد و پیغام توسط آغازکننده چندپخشی متحرک به گره‌های موجود در ناحیه تحویل (گره‌هایی که باید پیغام را دریافت دارند)، داده می‌شود. پیغام چندپخشی متحرک شامل محل، سرعت، جهت حرکت و زمان کشف شیء متحرک می‌باشد. گره‌ها با دریافت نسخه‌ای از پیغام در صورتیکه در ناحیه تحویل باشند، به عضویت گروه در می‌آیند و سپس پیغام را برای دستیابی سایر اعضای گروه همه‌پخشی[۱۱] محلی می‌نمایند. گره‌ها بعد از عبور از ناحیه تحویل از عضویت گروه خارج می‌شوند.

با توجه به اینکه سنسورها بطور تصادفی در محیط پخش می‌شوند یک شبکه سنسور ممکن است شامل گودال[۱۲] باشد. دو سنسور ممکن است از نظر فیزیکی از همدیگر فاصله کمی داشته باشند ولی از نظر منطقی(تعداد گام‌های شبکه) از همدیگر دور باشند و باعث ایجاد گودال شوند. شکل(۱) عبور ناحیه تحویل را از یک گودال نشان می‌دهد. برای عبور از گودال در چندپخشی متحرک می‌توان از ناحیه‌ای به نام ناحیه ارسال[۱۳] F[t] استفاده کرد. ناحیه ارسال ناحیه‌ای بزرگتر از ناحیه تحویل، هم جهت و هم سرعت با آن می‌باشد. گره‌های موجود در این ناحیه تنها به عنوان واسط، پیغام را برای سایر گره‌ها ارسال می‌دارند. یک گره در ناحیه ارسال به محض دریافت پیغام آنرا همه‌پخشی محلی می‌نماید، اما گره‌هایی که در ناحیه تحویل قرار دارند، نه تنها پیغام را همه‌پخشی محلی می‌نمایند، بلکه بلافاصله پیغام را جهت بررسی به لایه کاربرد[۱۴] تحویل می‌دهند. گره‌هایی که در ناحیه ارسال قرار ندارند، اما در آینده در این ناحیه قرار می‌گیرند، در صورت دریافت پیغام به حالت نگهداری و ارسال[۱۵] می‌روند. یعنی پیغام را نگهداری کرده و زمانی که وارد ناحیه ارسال شدند آنرا همه‌پخشی محلی نمایند.

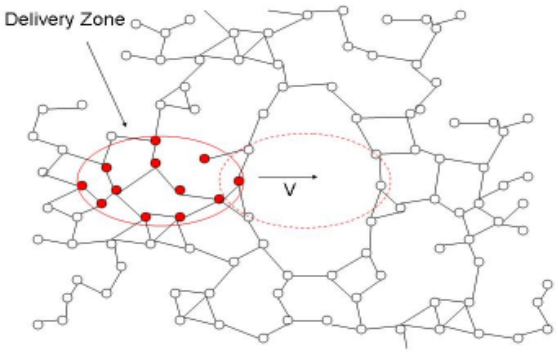
با انتخاب ناحیه ارسال مناسب، می‌توان با بدست آوردن حداکثر تضمین، تحویل پیغام را با کمترین تعداد گره درگیر بدست آورد. هر چه تعداد گره‌های درگیر در اجرای الگوریتم افزایش یابد، تعداد پیغام‌ها و نیز زمان سکون[۱۶](مدت زمانی که پیغام زودتر از زمان ورود گره به ناحیه تحویل دریافت می‌شود) افزایش می‌یابد. در ادامه این بخش روش‌های گزارش شده برای محاسبه ناحیه ارسال بطور خلاصه شرح داده می‌شود.

روش چندپخشی متحرک اولین بار توسط هانگ[۱۷] در [۵] مطرح شد که ما در این مقاله آن را رو BM[۱۸] می‌نامیم. در روش BM، ناحیه ارسال به صورت سراسری محاسبه می‌گردد و اندازه آن در طول مسیر ثابت باقی می‌ماند. هانگ نشان داد که با استفاده از این روش، تحویل پیغام بطور صددرصد تضمین می‌شود اما از آنجا که در این روش، اندازه ناحیه ارسال، باید برابر با اندازه بزرگترین گودال موجود در نظر گرفته شود، تعداد گره‌های درگیر در تحویل پیغام، پیغام‌های ردوبدل شده و زمان سکون گره‌ها به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث افزایش مصرف انرژی می‌گردد. این روش، برای شبکه‌های تصادفی که در آنها تراکم به صورت پویا تغییر می‌کند مناسب نمی‌باشد. برای حل این مشکل هانگ در [۶] یک پروتکل تطبیقی[۱۹] ارایه نمود که بر اساس آن اندازه ناحیه ارسال با توجه به تراکم شبکه تغییر می‌کند. در این روش بدلیل اینکه هر گره به اطلاعاتی درباره همسایگان خود نیازمند است، هر سنسور نیاز به حافظه بالایی داشته، در اکثر مواقع قابل استفاده نمی‌باشد. از معایب دیگر این روش آن است که با تغییر بازه رادیویی کلیه محاسبات پیچیده برای محاسبه اندازه ناحیه ارسال و جایگزاری اطلاعات در سنسورها بایستی از نو صورت گیرد. در [۶]برای حل سربار ارسال پیغام، پروتکل دیگری به نام چندپخشی متحرک خوشبینانه ارائه شده است که در آن با چشم‌پوشی درصدی از تضمین، سربار ارسال پیغام به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. این روش تنها برای آن گروه از شبکه‌های سنسور مناسب است که گودال درنقاط انتهایی محیط عبور ناحیه تحویل باشد، چرا که اگر گودال در نقاط ابتدایی یا میانی محیط عبور ناحیه تحویل باشد، ممکن است روش خوشبینانه منجر به اتمام ناخواسته و پیش از موعد الگوریتم شود که این خود باعث کاهش چشمگیر درصد تضمین می‌گردد.

هانگ در [۷] با استفاده از روش‌های مطرح‌شده در[۸] [۹] با استفاده از تعریف همسایگان محلی و فضایی یک گره، برای محاسبه ناحیه ارسال روشی به نام FAR[۲۰] ارائه کرد. در این روش پیغام حتماً به گره‌های موجود در ناحیه تحویل می‌رسد ولی ممکن است این تحویل در زمان مناسب صورت نگیرد. این روش در شبکه‌هایی با گودال‌های کوچک و همچنین در شبکه‌هایی با رنج رادیویی مناسب، خوب عمل می‌کند، اما در بسیاری از موارد به دلیل ارسال پیغام در چند جهت، سربار شبکه افزایش می‌یابد، ضمن اینکه در بعضی از موارد پیغام ممکن است دیر به مقصد برسد.

در [۱۲] شیان‌چن[۲۱] یک پروتکل مسیریابی بیضی شکل[۲۲]، که در این مقاله آن را VE-Mobicast می‌نامیم برای محاسبه ناحیه ارسال در شبکه‌های سنسوری ارائه کرد. این پروتکل به صورت پویا مکان و شکل ناحیه تحویل را تعیین می‌نماید. یکی از مشکلات این روش وابستگی شدید به گره و مصرف بالای انرژی می‌باشد. اخیراً شیان‌چن در [۱۳] یک پروتکل چندپخشی متحرک مبتنی بر روش خوشه[۲۳] ارائه داده است. در این روش، ناحیه ارسال در هر لحظه به وسیله تعدادی خوشه تعیین می‌گردد. در این روش گره‌ها به دو دسته گره راس و گره‌های معمولی تقسیم می‌شوند. این روش راه‌حلی متمرکز برای محاسبه ناحیه ارسال ارائه داده که بدلیل نیاز به محاسبات پیچیده در هر گره، در بسیاری از موارد مناسب نمی‌باشد، علاوه بر این در بسیاری از شبکه‌ها نمی‌تواند تضمین مناسبی جهت عبور از گودال‌ها را ارائه دهد.

در این مقاله یک پروتکل توزیع‌شده چندپخشی متحرک، که در آن تعیین ناحیه ارسال با استفاده از اتوماتاهای یادگیر انجام شده و دارای مشکلات فوق‌الذکر نمی‌باشد پیشنهاد می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، پروتکل ارائه شده ضمن تضمین دریافت پیغام، تعداد گره‌های سنسوری درگیر، تعداد پیغام‌های ردوبدل شده و میانگین زمان سکون[۲۴] را به میزان قابل توجهی نسبت به روش‌های پیشین کاهش می‌دهد. ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتوماتاهای یادگیر بطور اختصار شرح داده می‌شود و در بخش ۳ روش پیشنهادی ارایه می‌گردد. بخش ۴ اختصاص به ارایه نتایج شبیه‌سازی‌ها برای الگوریتم پیشنهادی و مقایسه این نتایج با روش‌های پیشین دارد. بخش نهایی مقاله نتیجه‌گیری می‌باشد.



شکل(۱): مثالی از گودال در شبکه

۲- اتوماتاهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر مدلی 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 اتوماتای یادگیر را ارزیابی کرده و نتیجه ارزیابی خود را توسط یک سیگنال تقویتی به اتوماتای یادگیر اعلام می‌کند. اتوماتای یادگیر با استفاده از عمل انتخاب شده و سیگنال تقویتی وضعیت داخلی خود را بروز کرده و سپس عمل بعدی خود را انتخاب می‌کند. شکل ۲ ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد[۱۴].

شکل(۲): ارتباط اتوماتای یادگیر با محیط

محیط را می‌توان توسط سه‌تایی $E = \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_r\}$ مجموعه ورودی‌ها، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, ..., \beta_r\}$ مجموعه خروجی‌ها و $c = \{c_1, c_2, ..., c_r\}$ 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 اتوماتاهای یادگیر با ساختار متغیر معرفی می‌شود.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر[۲۵] توسط چهارتایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داده می‌شود که در آن $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل‌های اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_r\}$ مجموعه ورودی‌های اتوماتا، $p = \{p_1, p_2, \cdots, p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هر یک از عمل‌ها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. نحوهٔ فعالیت این اتوماتا به صورت زیر است. اتوماتا یک عمل از مجموعه عمل‌های خود را به صورت تصادفی و مطابق بردارهای احتمال P_I 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 رابطهٔ (۱) و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب طبق رابطهٔ (۲) بروز می‌کند.

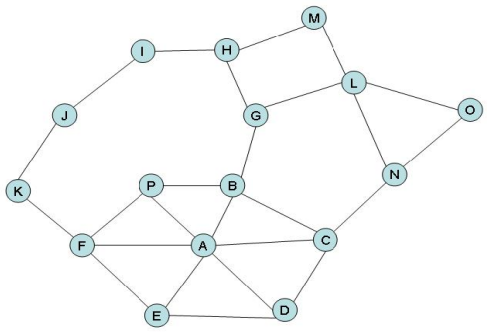
$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a.(1 - p_i(n)) \\ p_j(n+1) &= p_j(n) - a.p_j(n) \qquad \forall j \;\; j \neq i \end{aligned} \tag{۱}$$

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b).p_i(n) \\ p_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1-b)\,p_j(n) \qquad \forall j \;\; j \neq i \end{aligned} \tag{۲}$$

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}[۲۶]، و اگر b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم $L_{R\varepsilon P}$[۲۷] و اگر b مساوی صفر باشد، الگوریتم L_{R-I}[۲۸] نامیده می‌شود.

۳- پروتکل پیشنهادی

در این بخش یک پروتکل توزیع شده مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای چند پخشی متحرک ارایه می‌گردد. روش پیشنهادی از طریق تنظیم ناحیه ارسال در ضمن تضمین قابل قبول تحویل، میزان ارسال مجدد پیغام و همچنین تعداد گره‌های موجود در ناحیه ارسال را به میزان چشمگیری کاهش می‌دهد. قبل از اینکه روش پیشنهادی توضیح داده شود تعاریف همسایه‌های مستقیم و همسایه‌های پیش‌روی یک گره ارائه داده می‌شود. درجه گره یا تعداد همسایه‌های مستقیم یک گره عبارتند از تعداد گره‌هایی که به صورت مستقیم به آن گره متصل هستند. درجه پیش‌روی یا همسایه‌های پیش‌روی یک گره عبارتند از تعداد گره‌هایی که درمسیرحرکت ناحیه تحویل جلوتر از آن گره بوده و به صورت مستقیم به آن گره متصل هستند. تعداد همسایه‌های پیش‌روی یک گره کوچکتر مساوی تعداد همسایه‌های مستقیم آن گره می‌باشد. مثلاً در شکل۳ گره A دارای ۶ همسایه مستقیم B,C,D,E,F,P بوده و اگر مسیر حرکت ناحیه تحویل به سمت راست باشد، آنگاه این گره دارای ۳ همسایه پیش روی B,C,D می باشد.



شکل(۳): نمایش همسایه‌های مستقیم و پیش‌روی در یک گراف

در روش پیشنهادی هر سنسور در شبکه مجهز به یک اتوماتای یادگیر می‌باشد. وظیفه این اتوماتای یادگیر کاهش ویا افزایش ناحیه ارسال برای فرستادن پیغام توسط گره می‌باشد. این اتوماتای یادگیر دارای r عمل $\{\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_r\}$ می‌باشد. هر عمل در این مجموعه نشان‌دهنده مقدار افزایش و یا کاهش اندازه ناحیه ارسال می‌باشد. اتوماتای یادگیر گره‌ای که چندپخشی متحرک را آغاز می‌کند، یکی از اعمال خود را بر طبق بردار احتمالات اعمال انتخاب می‌کند. برای گره شروع کننده چندپخشی متحرک احتمال انتخاب همه عمل‌ها یکسان می‌باشد. عمل انتخابی با شعاع ناحیه ارسال جمع شده تا اندازه جدید ناحیه ارسال بدست آید. آنگاه گره با قراردادن تعداد همسایگان پیش‌روی و عمل انتخابی خود، در سربند پیغام[۲۹]، پیغام را چندپخشی

می‌نماید. سربند پیغام چندپخشی علاوه بر اطلاعات فوق شامل اندازه(شعاع) ناحیه‌تحویل، سرعت و جهت حرکت ناحیه تحویل، مکان فرستندهٔ پیغام، زمان ارسال، اندازه(شعاع) ناحیه ارسال، عمل آتوماتای انتخابی، تعداد همسایگان پیش روی و همچنین بردار احتمال اعمال می‌باشد. گره‌ای که پیغام را دریافت می‌کند، در صورتی‌که در ناحیه ارسال باشد، تعداد همسایگان پیش‌روی خود را با تعداد همسایگان پیش‌روی موجود در سربند مقایسه می‌نماید.

چنانچه تعداد همسایگان پیش‌روی گره، بیشتر از تعداد همسایگان پیش‌روی موجود در سربند (فرستنده پیغام) باشد، بدان معنی است که تراکم شبکه افزایش یافته است، که در این صورت باید اندازه ناحیه ارسال کاهش یابد. حال اگر عمل انتخابی در سربند پیغام دریافت شده، عددی منفی باشد، این بدان معنی است که گره قبلی (فرستنده پیغام) عمل کوچک کردن اندازه ناحیهٔ ارسال را انجام داده که در این صورت عمل انتخابی عمل مناسبی بوده و به آن جایزه داده می‌شود، یعنی احتمال آن عمل در بردار احتمالات افزایش‌یافته و احتمال سایر اعمال کاهش می‌یابد. اما اگر مقدار عمل انتخابی در سربند، عددی مثبت باشد، یعنی گره قبلی(فرستنده پیغام) عمل بزرگ کردن اندازهٔ ناحیهٔ ارسال را انجام داده که در این حالت چون تراکم شبکه افزایش یافته است، بزرگ کردن ناحیه ارسال عمل نامطلوبی بوده و باید آنرا جریمه کرد.

چنانچه تعداد همسایگان پیش‌روی گره، کمتر از تعداد همسایگان پیش‌روی موجود در سربند (فرستنده پیغام) باشد، بدان معنی است که تراکم شبکه کاهش یافته و احتمال مواجه شدن با گودال وجود دارد، و در نتیجه اندازه ناحیه ارسال بایستی افزایش یابد. حال اگر عمل انتخابی در سربند پیغام دریافت شده، عددی منفی باشد، یعنی گره قبلی (فرستنده پیغام) عمل کوچک کردن اندازه ناحیهٔ ارسال را انجام داده، عمل انتخابی عملی نامناسب بوده و بایستی جریمه شود. یعنی احتمال آن عمل در بردار احتمالات کاهش یافته و احتمال سایر اعمال افزایش می‌یابد. اما اگر مقدار عمل انتخابی در سربند، عددی مثبت باشد، یعنی گره قبلی(فرستنده پیغام) عمل بزرگ کردن اندازهٔ ناحیهٔ ارسال را انجام داده که در این حالت چون تراکم شبکه کاهش یافته است، بزرگ کردن ناحیه ارسال عمل مطلوبی بوده و به آن عمل پاداش داده می‌شود یعنی احتمال آن عمل در بردار احتمالات افزایش یافته و احتمال سایر اعمال کاهش می‌یابد. پس از به روز شدن احتمال عمل‌ها، یکی از عمل‌ها بر طبق بردار احتمالات بروز شده، انتخاب و سپس پیغام جدیدی (مانند گره آغاز کننده چندپخشی)برای گره‌های بعدی فرستاده می‌شود. این فرآیند تا زمانیکه سیستم بکار مشغول است ادامه می‌یابد. چند نکته درباره پروتکل پیشنهادی حائز اهمیت است که در زیر به آن اشاره می‌شود.

- در روش پیشنهادی اتوماتای یادگیر هر گره با استفاده از اطلاعات موجود در سربند پیغام دریافتی و اطلاعات همسایگان پیش‌روی خود مستقلاً بردار احتمال انتخاب اعمال خود را بروز می‌کند و سپس پیغام را به همسایگانش ارسال می‌نماید.
- عمل انتخاب شده توسط یک گره ممکن است در گره‌های دریافت کننده این عمل با توجه به شرایط آن گره نتایج متفاوتی(نتیجه مطلوب و یا نا مطلوب) تولید نماید، یعنی ممکن است پس از دریافت پیغام توسط دوگره(از گره‌ای مشترک)، یکی از گره‌ها عمل انتخابی قبلی را جریمه و دیگری همان عمل را تشویق نماید، بعنوان مثال در شکل (۳) چنانچه گرهٔ K پیغامی را به گره‌های F و J ارسال نماید، چون درجهٔ همسایگان پیش‌روی گرهٔ F بیشتر از درجهٔ همسایگان پیش‌روی گرهٔ K و درجهٔ همسایگان پیش‌روی گرهٔ J کمتر از درجهٔ همسایگان پیش‌روی گرهٔ K می‌باشد، عمل انتخابی توسط گره K توسط یکی از گره‌های F یا J جریمه و توسط گره دیگری پاداش داده شود. (این بدان علت است که تراکم شبکه در ناحیه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد.) در واقع ناحیه ارسال به‌صورت کاملاً توزیع‌شده بزرگ و کوچک می‌شود، یعنی همانند آنچه در شکل (۳) دیده می‌شود، اگر در یک لحظه در بخشی از ناحیه ارسال تراکم شبکه بالا (تعداد گره‌ها زیاد باشد) و در بخشی دیگر تراکم پایین باشد (تعداد گره‌ها کم باشد)، اتوماتای یادگیر تدریجاً ناحیه ارسال را برای ناحیه متراکم، کوچک و برای ناحیه کم تراکم، بزرگ می‌نماید

شکل(۴) پروتکل چندپخشی متحرک پیشنهادی را با جزییات بیشتر نشان می‌دهد. این شبه‌کد عملیاتی را که به محض دریافت پیغام چندپخشی متحرک $\tilde{m}$ در هر گره، اگر $t < t_0 + T$ باشد انجام میگیرد را نشان می‌دهد.

1. **if** ($\tilde{m}$) is new and t < t_0 +T
2. **if** (I am in F[t]) **then**
3. ***execute learning program***;
4. broadcast $\tilde{m}$ immediately; // Fast forward
5. **if** (I am in Z[t]) **then**
6. deliver the message data D to the application layer;
7. **else**
8. compute the earliest time t_{in} for me to enter the delivery zone;
9. **if** t_{in} exists and t_{in} < t_0 +T
10. schedule delivery of data D to application layer at t_{in};
11. **end if**
12. **end if**
13. **else**

14. compute the earliest time t' for me to enter the forwarding zone;
15. **if** t' exists
16. **if** $t_0 \le t' \le t$
17. ***execute learning program;***
18. broadcast $\tilde{m}$ immediately; // catch-up
19. **else if** $t < t' < t_0 + T$
20. ***execute learning program;***
21. schedule a broadcast of $\tilde{m}$ at t'; //hold and forward
22. **end if**
23. **end if**
24. **end if**
25. **end if**

Learning program:
(*NIN*: The number of neighborhood nodes in front of a node)
***(NIM*: The number of neighborhood nodes in front of a node in message $\tilde{m}$)**

1. compute *NIN* and *NIM*
2. **if** *NIN* > *NIM* // *more compact*
3. **if** previous action is diminishing *the forwarding zone*
4. give reward to the action;
5. **else**
6. **if** previous action is increasing or do not change the forwarding zone
7. give penalty to the action;
8. **end if**
9. **end if**
10. **if** *NIN* < *NIM* // *less compact*
11. **if** previous action is increasing *the forwarding zone*
12. give reward to the action;
13. **else**
14. **if** previous action is diminishing or not change the forwarding zone
15. give penalty to the action;
16. **end if**
17. **end if**
18. **if** *NIN* = *NIM* // *equal compact*
19. **if** previous action do not change the forwarding zone
20. give reward to the action;
21. **else**
22. **if** previous action is increasing or diminishing *the forwarding zone*
23. give penalty to the action;

شکل(۴): پروتکل پیشنهادی

۴- نتایج شبیه‌سازی‌ها

برای نشان دادن کارایی پروتکل پیشنهادی، در ادامه روش‌های چندپخشی متحرک موجود و نیز روش چندپخشی متحرک مبتنی بر آتوماتای یادگیر توسط نرم افزار شبیه‌ساز GloMoSim شبیه‌سازی و سپس مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در تمامی آزمایش‌ها شعاع ناحیه تحویل ۵۰ متر، سرعت حرکت ناحیه تحویل ۲۰ کیلومتر در ساعت و ابعاد محیط ۴۰۰×۱۰۰۰ متر مربع، در نظر گرفته شده است. همچنین در تمامی آزمایشات، ۴۰۰ گره به‌صورت تصادفی در محیط پخش شده و بازه رادیویی گره‌های سنسوری ۵۰ متر می‌باشد. مقادیری که در جداول آمده است میانگین نتایج ده آزمایش می‌باشند.

اولین آزمایش که نتایج آن در جدول ۱ آمده است تاثیر مقادیر ضرایب a و b اتوماتای یادگیر L_{RP} [۳۰] با مجموعه اعمال (۵- ، ۲- ، ۰ ، ۲ ، ۵) را بر عملکرد روش پیشنهادی نشان می‌دهد. در آزمایش دوم که نتایج آن در جدول ۲ آمده است روش پیشنهادی با سایر روش‌ها مقایسه می‌شود. بر طبق نتایج جدول۲ روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها از عملکرد بالاتری برخوردار است. در آزمایش سوم تاثیر اندازه عمل‌های آتوماتای یادگیر بر عملکرد روش پیشنهادی بررسی می‌شود. در این آزمایش مجموعه اعمال اتوتای یادگیر (۴- ، ۲- ، ۰ ، ۲ ، ۴) در نظر گرفته شده است. نتایج این آزمایش در جدول ۳ آمده است. در آزمایش چهارم، جهت بررسی تاثیر تعداد عمل‌های آتوماتای یادگیر، آزمایش را با مجموعه اعمال (۳- ، ۰ ، ۳) انجام گرفته است که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. نتایج جداول فوق نشان می‌دهد که پروتکل پیشنهادی برای محدوده وسیعی از مقادیر انتخابی برای ضرایب جریمه و پاداش ، تعداد اعمال و اندازه اعمال برای اتوماتاهای یادگیر بهتر از روش‌های موجود عمل می‌کند. آزمایش‌ها همچنین نشان داده‌اند که برای پروتکل پیشنهادی میزان دریافت پیغام توسط گره‌های موجود در ناحیه تحویل بالاتر از ۹۰ درصد بوده است. این چنین عملکرد بالایی برای الگوریتم پیشنهادی در حالی حاصل شده است که هر گره در شبکه در مقایسه با روش‌های دیگر از اطلاعات کمتری استفاده می‌کند.

جدول(۱): نتایج پروتکل پیشنهادی با مجموعه اعمال (۵-، ۲-، ۰، ۲، ۵) برای ضرایب جریمه و پاداش متفاوت

مقادیر ضرایب a و b	۰,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۵	۰,۷	۰,۹۹
مجموع زمان سکون	۵۷,۳۲	۱۳۶,۱۴۹	۱۷۰,۶۱۳	۱۳۰,۳۹۷	۱۴۴,۰۵۹	۱۵۸,۳۰
تعداد پیغام ردوبدل شده	۳۵۷	۷۷۰	۹۳۴	۶۸۸	۸۴۹	۸۷۸
تعداد گره‌های درگیر	۹۰	۱۷۰	۱۹۵	۱۶۶	۱۸۲	۱۸۸
میانگین زمان سکون	۱,۰۸	۱,۳۹	۱,۷۴	۱,۳۶	۱,۴۷	۱,۶۲
تعداد گره‌های ناحیه تحویل	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
درصد تضمین	۵۴,۰۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مجموع اتصالات مستقیم	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷

جدول(۲):مقایسه پروتکل پیشنهادی با سایر روش‌ها

	روش پیشنهادی	FAR	BM	First Hung's Mobicast	VE_Mobicast	HVE_Mobicast
مجموع زمان سکون	۱۳۰,۳۹۷	۱۵۴,۲	۱۶۶,۲۹۵	۱۶۲,۵۵	۱۵۳,۵	۱۴۶,۲۵
تعداد پیغام ردوبدل شده	۶۸۸	۷۴۶	۸۸۴	۲۸۱	۷۸۱	۷۲۱
تعداد گره‌های درگیر	۱۶۶	۱۸۴	۱۹۷	۷۵	۱۸۱	۱۷۶
میانگین زمان سکون	۱,۳۳	۱,۵۷	۱,۷	۲,۱۶	۱,۵۱	۱,۴۵
تعداد گره‌های ناحیه تحویل	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
درصد تضمین	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۳,۵	۱۰۰	۱۰۰

جدول(۳): نتایج پروتکل پیشنهادی با مجموعه اعمال (۴-، ۲-، ۰، ۲، ۴) برای ضرایب جریمه و پاداش متفاوت

اندازه ضرایب a و b	۰,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۵	۰,۷	۰,۹۹
مجموع زمان سکون	۵۷,۳۲	۱۴۶,۱۴۳	۱۸۸,۴۱۵	۱۳۸,۱۹۲	۱۵۱,۲۱۷	۱۶۱,۷
تعداد پیغام ردوبدل شده	۳۵۷	۸۱۰	۹۸۱	۷۰۲	۸۷۶	۸۹۸
تعداد گره‌های درگیر	۹۰	۱۸۸	۲۰۲	۱۶۶	۱۹۵	۱۹۳
میانگین زمان سکون	۱,۰۸	۱,۴۹	۱,۹۲	۱,۴۱	۱,۵۴	۱,۶۷
تعداد گره‌های ناحیه تحویل	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
درصد تضمین	۵۴,۰۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مجموع اتصالات مستقیم	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷

جدول(۴): نتایج پروتکل پیشنهادی با مجموعه اعمال (۳-، ۰، ۳) برای ضرایب جریمه و پاداش متفاوت

اندازه ضرایب a و b	۰,۱	۰,۲	۰,۳	۰,۵	۰,۷	۰,۹۹
مجموع زمان سکون	۵۷,۳۲	۱۰۱,۱۴۳	۱۹۸,۴۱۵	۱۴۱,۱۹۲	۱۵۰,۱۱۳	۱۵۳,۷۱
تعداد پیغام ردوبدل شده	۳۵۷	۵۲۷	۱۰۰۳	۷۰۹	۸۶۳	۸۷۰
تعداد گره‌های درگیر	۹۰	۱۱۶	۲۳۲	۱۷۱	۱۸۵	۱۹۰
میانگین زمان سکون	۱,۰۸	۱,۵۴	۲,۰۲	۱,۴۴	۱,۵۴	۱,۵۶
تعداد گره‌های ناحیه تحویل	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
درصد تضمین	۵۴,۰۸	۷۳,۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مجموع اتصالات مستقیم	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک پروتکل توزیع‌شده مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای چندپخشی متحرک پیشنهاد گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که پروتکل ارائه شده ضمن تضمین دریافت پیغام، تعداد گره‌های سنسوری درگیر، تعداد پیغام‌های ردوبدل شده و میانگین زمان سکون را به میزان قابل توجهی نسبت به روش‌های گزارش شده کاهش می‌دهد.

مراجع

[1] I. F. Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramaniam, and E. Cayircl, "A Survey on Sensor Network", IEEE Communication Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002

[2] D. Estrin et al., "Embedded Everywhere: A Research Agenda for Network Systems of Embedded Computers", National Academy Press, 2001, Computer Science and Telecommunication Board (CSTB) Report.

[3] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L.Girod, M. Hamilton, "Habit Monitoring: Application Driver for Wireless Communications Technology", ACM SIGCOMN Workshop on Data communications in Latin America and the Caribbean, 2001.

[4] D. Li, K. Wong, Y. Hu, and A. Sayeed, "Detection, Classification and Tracking of Targets in Distributed Sensor Networks" IEEE Signal processing magazine, Vol. 19, No. 2, March 2002.

[5] Q. Hang, C. Lu, and G. C. Roman, "Spatiotemporal Multicast in Sensor Network". Proceedings of the ACM Conference on Embedded Networked sensor systems (Sensys), pages 205-217, November 2003.

[6] Q. Hang, C. Lu, and G. C. Roman, "Design and Analysis of Spatiotemporal Multicast Protocols for Wireless Sensor Networks". Telecommunication Systems, Special Issue on Wireless Sensor Networks, Vol 26, No. 2-4, pp.129-160, August 2004.

[7] Q. Hang, C.Lu, and G.-C. Roman "Reliable Mobicast via Face-aware Routing", Proceeding of the IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCM), March 2004.

[8] Mark de Berg, Marc van Kerveld, Mark Overmars, and Otfired Schwarzkopf", Computational Geometry “, Springer, 1999.
[9] J. W. Jaromczyk and G. T. Toussaint, “Relative Neighborhood Graphs and Their Relatives”, Proceedings of IEEE, Vol. 80, No.9, pp. 1502-1517 1995.
[10] B. Karp and H. T. Kung, “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Network”, Proceeding of the 6th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and networking” (mobicom2000), pp. 243-254, 2000,
[11] F. Kuhn, R.r Wattenhofer, Y. Zhang, and A. Zollinger, “Geometric Ad-Hoc Routing: Of Theory and Practice”, Proceedings of 22nd ACM Int. Symposium on the Principles of Distributed computing (PODC), 2003.
[12] Yuh-Shyan Chen and Shin-Yi Ann “VE-Mobicast: A Variant-Egg-Based Mobicast Routing Protocol for Sensornets ", ACM Wireless Networks (SCI), 2006.
[13] Yuh-Shyan Chen and Shin-Yi Ann "HVE-Mobicast: A Hierarchical-Variant-Egg-Based Mobicast Routing Protocol for Sensornets," in Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE WCNC 2006), Las Vegas, NV, USA, 3-6 April 2006.
[14] K. S. Narendra and M. A. L. Thathachar, "Learning automata: An introduction", Prentice Hall, 1989.

زیرنویس‌ها

[1] Habit Monitoring
[2] Intruder Tracking
[3] Data Aggregation
[4] Wake up
[5] Delivery Zone
[6] Spatial
[7] Temporal
[8] Spatiotemporal
[9] Spatiotemporal Multicast Protocol (mobicast)
[10] Local Coordination
[11] Broadcast
[12] Hole
[13] Forwarding Zone
[14] Application layer
[15] Hold and Forward
[16] Slack Time
[17] Huang
[18] Basic Mobicast
[19] Adaptive Protocol
[20] Face-aware Routing
[21] Shyan Chen
[22] Variant-egg-based mobicast
[23] Cluster Based Approach
[24] Slack Time
[25] Variable Structure
[26] Linear Reward-Penalty
[27] Linear Reward epsilon Penalty
[28] Linear Reward Inaction
[29] header
[30] Linear Reward Penalty (L_{RP}) Scheme