

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

مجید قلی پور^{*} ، محمدرضا میبدی

چکیده

در این مقاله یک پروتکل توزیع شده 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 ردوبلد 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

gholipur@gmail.com –
mmeybodi@aut.ac.ir

*
•

۱- مقدمه

چندپخشی متوجه 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 $[t]Z$ با سرعت ثابتی در محیط حرکت می‌نماید.

یک شبکه سنسور می‌تواند با استفاده از چندپخشی متوجه از طریق هماهنگی‌های محلی^{۱۰} و تجمیع داده‌ها^{۱۱} به منظور تعییب یک شیء متوجه مورد استفاده قرار گیرد. هنگامی که شیء متوجه کشف شد، گروه سنسوری دریافت‌کننده اولیه شکل می‌گیرد و پیغام توسط آغازکننده چندپخشی متوجه به گرههای موجود در ناحیه تحویل (گرههایی که باید پیغام را دریافت دارند)، داده می‌شود. پیغام چندپخشی متوجه شامل محل، سرعت، جهت حرکت و زمان کشف شیء متوجه 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^{۱۲} محلی می‌نمایند. گره‌ها بعد از عبور از ناحیه تحویل از عضویت گروه خارج می‌شوند.

با توجه به اینکه سنسورها بطور تصادفی در محیط بخش می‌شوند یک شبکه سنسور ممکن است شامل گودال^{۱۳} باشد. دو سنسور ممکن است از نظر فیزیکی از هم‌دیگر فاصله کمی داشته باشند و لی 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 متوجه می‌توان از ناحیه‌ای به نام ناحیه ارسال $F[t]$ 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 واسطه، 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 با فاصله پیغام را جهت بررسی به لایه کاربرد 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^{۱۴} 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 حداقل تضمین، تحویل پیغام را کمترین تعداد گره درگیر بدست آورد. هر چه تعداد گرههای درگیر در اجرای الگوریتم افزایش یابد، تعداد پیغام‌ها و نیز زمان سکون^{۱۵} (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.

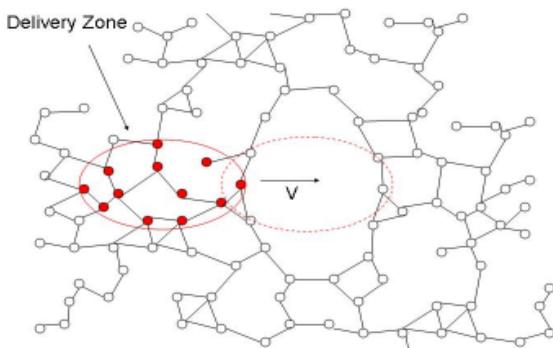
شبکه‌های سنسور از تعدادی زیاد (که ممکن است به هزاران مورد برسد) سنسورهای کوچک، ارزان قیمت با قابلیت و قدرت پایین تشکیل شده‌اند. این سنسورها می‌توانند اطلاعاتی را از محیط اطراف خود دریافت کرده و برای سنسورهای همسایه ارسال دارند^{۱۶}. شبکه‌های سنسوری می‌توانند در سیستم‌های مانند سیستم‌های هوشمند نظارت بر بزرگراه‌ها، امداد رسانی در حوادث غیرمتوجه^{۱۷} [بکار گرفته شوند. هدف بسیاری از شبکه‌های سنسوری (نظیر نظارت مناسب^{۱۸} [۳] و ردگیری محramانه^{۱۹}] آگاهی از موقعیت شیء متوجه موجود در محیط می‌باشد. در این شبکه‌ها تنها سنسورهای نزدیک به شیء متوجه مورد بررسی به عنوان سنسورهای فعل در فرآیند تجمیع داده‌ها^{۲۰} شرکت می‌کنند، چرا که سنسورهایی که از شیء متوجه فاصله دارند در صورت فعل بودن، بدون اینکه مفید باشند، انرژی گرانبهای خود را هدر می‌دهند.

جهت نظارت مستمر بر یک شیء متوجه، 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 متوجه 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 متوجه، به سنسورهای دیگر (که شیء در آینده به آنها خواهد رسید) ارسال کند. پیغام ارسالی بایستی قبل از اینکه شیء متوجه به سنسور بررسی نیاز می‌باشد تا بدینوسیله سنسورهای دریافت‌کننده پیغام، بتوانند در زمان مناسب فعل^{۲۱} شده و فعالیت‌های خود را بر اساس اطلاعات دریافتی تنظیم نمایند^{۲۲}. به ناحیه‌ای که گروه سنسوری فعل در آن قرار دارد و در هر لحظه با حرکت شیء تغییر می‌نماید، ناحیه تحویل^{۲۳} گفته می‌شود.

با توجه به بحث فوق، در بسیاری از شبکه‌های سنسوری محدودیت مکانی^{۲۴} - زمانی^{۲۵} بایستی برقرار گردد، یعنی داده‌ها باید در یک زمان مشخص به یک مکان مناسب برسند. چندپخشی متوجه که در آن محدودیت مکانی - زمانی^{۲۶} رعایت می‌شود، روش جدیدی جهت ارتباط در شبکه‌های سنسوری می‌باشد^{۲۷} [۶]. استفاده از چندپخشی متوجه^{۲۸} این امکان را فراهم می‌سازد تا در یک شبکه، سنسورها پیغام را در زمان مناسب به گرههای موجود در ناحیه تحویل، ارسال نمایند. چندپخشی متوجه به وسیله چندتایی $m, Z[t], T_s, T$ نشان داده $Z[t]$ ناحیه تحویل را در این ناحیه ارسال می‌کند. پیغام چندپخشی^{۲۹} $Z[t]$ نیز تعیین می‌شود، که در آن پیغام باید تا لحظه t دریافت شود(ناحیه تحویل)، T_s زمان ارسال پیغام و T مدت زمان انجام چندپخشی متوجه است. با تغییر ناحیه تحویل $Z[t]$ گرههای سنسوری دریافت کننده پیغام m نیز تغییر می‌نمایند. پروتکل

وسیله تعدادی خوش تعیین می‌گردد. در این روش گره‌ها به دو دسته گره راس و گره‌های معمولی تقسیم می‌شوند. این روش راه حلی 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 توزیع شده چندپخشی متحرک، که در آن تعیین ناحیه ارسال با استفاده از اتماتاهای یادگیر انجام شده و دارای مشکلات فوق الذکر نمی‌باشد پیشنهاد می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، پروتکل ارائه شده ضمن تضمین دریافت پیغام، تعداد گره‌های سنسوری در گیر، تعداد پیغام‌های روبدل شده و میانگین زمان سکون^{۳۴} را به میزان قابل توجهی نسبت به روش‌های پیشین کاهش می‌دهد. ادامه مقاله بدين صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتماتاهای 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- اتماتاهای یادگیر

یک اتماتای 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 اتماتای یادگیر را ارزیابی کرده و نتیجه ارزیابی خود را توسط یک سیگنال تقویتی به اتماتای یادگیر اعلام می‌کند. اتماتای 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 اتماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد^[۱۴].

روش چندپخشی متحرک اولین بار توسط هانگ^{۱۷} در [۵] مطرح شد که ما در این مقاله آن را روش 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، تحويل پیغام بطور صدرصد 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 در گیر در تحويل پیغام، پیغام‌های روبدل شده و زمان سکون گره‌ها به طور چشمگیری افزایش می‌باید 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 بالای 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 جایگزاري اطلاعات در سنسورها بايستی 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 می‌باید. این روش تنها برای آن گروه از شبکه‌های سنسور مناسب است که گودال در نقاط انتهایی محیط عبور ناحیه تحويل باشد، چرا که اگر گودال در نقاط ابتدایی یا میانی محیط عبور ناحیه تحويل باشد، ممکن است روش خوشبینانه منجر به اتمام چشمگیر درصد تضمین می‌گردد.

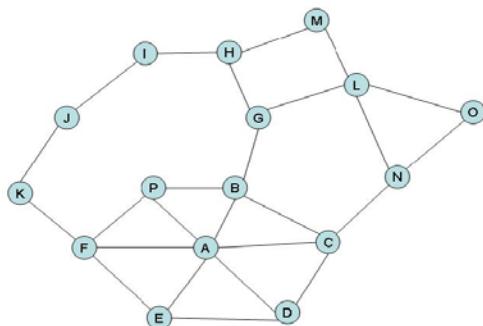
هانگ در [۷] با استفاده از روش‌های مطرح شده در [۸] [۹] با استفاده از تعریف همسایگان محلی و فضایی یک گره، برای محاسبه ناحیه ارسال روشنی به نام FAR^{۲۰} ارائه کرد. در این روش پیغام حتماً به گره‌های موجود در ناحیه تحويل می‌رسد ولی ممکن است این تحويل در زمان مناسب صورت نگیرد. این روش در شبکه‌هایی با گودال‌های 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 می‌باید، ضمن اینکه در بعضی از موارد پیغام ممکن است دیر به مقصد برسد.

در [۱۲] شیان چن^{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 تحويل را تعیین می‌نماید. یکی از مشکلات این روش وابستگی شدید به گره و مصرف بالای انرژی می‌باشد. اخیراً شیان چن در [۱۳] یک پروتکل چندپخشی متحرک مبتنی بر روش خوشه^{۲۳} ارائه داده است. در این روش، ناحیه ارسال در هر لحظه به

a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم L_{REP} ^{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 تحويل، 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 در مسیر حرکت ناحیه تحويل 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 شکل ۳ گره A دارای ۶ همسایه مستقیم آن گره بوده و اگر مسیر حرکت ناحیه تحويل به سمت راست باشد، آنگاه این گره دارای ۳ همسایه پیش‌روی D بوده و آنگاه این گره دارای ۳ همسایه پیش‌روی C 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 و یا افزایش ناحیه ارسال برای فرستادن پیغام توسط گره می‌باشد. این اتوماتای یادگیر دارای r عمل $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ 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



شکل(۲): 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، $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه خروجی‌ها و $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r\}$ مجموعه دو عضوی باشد، محیط از نوع P می‌باشد. در چنین محیطی $\beta_1 = 1$ به عنوان جرمیمه 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 جرمیمه 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 $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ 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 $T[\alpha(n), \beta(n), p(n)] = p(n+1)$ 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 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 رابطه (۱) و در صورت دریافت پاسخ نامطلوب طبق رابطه (۲) بروز می‌کند.

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

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

در روابط (۱) و (۲)، a پارامتر پاداش و b پارامتر جرمیمه می‌باشد. اگر a و b با هم برابر باشند، الگوریتم L_{R-P} ^{۲۶} و اگر b از

پیش روی خود مستقل از بردار احتمال انتخاب اعمال خود را بروز می کند و سپس پیغام را به همسایگانش ارسال می نماید.

- عمل انتخاب شده توسط یک گره ممکن است در گره های 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 دو گره (از گره های مشترک)، یکی از گره ها عمل انتخابی قبلی را جریمه و دیگری همان عمل را تشویق نماید، بعنوان مثال در شکل (۳) چنانچه گره K پیغامی را به گره های F و J ارسال نماید، چون درجه همسایگان پیش روی گره F بیشتر از درجه همسایگان پیش روی گره K و درجه همسایگان پیش روی گره J کمتر از درجه همسایگان پیش روی گره K می باشد، عمل انتخابی توسط گره K توسط یکی از گره های F یا J جریمه و توسط گره دیگری پاداش داده شود. این بدان علت است که تراکم شبکه در ناحیه های مختلف، متفاوت می باشد. در واقع ناحیه ارسال به صورت کاملاً توزیع شده بزرگ و کوچک می شود، یعنی همانند آنچه در شکل (۳) دیده می شود، اگر در یک لحظه در پخشی از ناحیه ارسال تراکم شبکه بالا (تعداد گره ها زیاد باشد) و در بخشی دیگر تراکم پایین باشد (تعداد گره ها کم باشد)، اتماتای یادگیر تدریجاً ناحیه ارسال را برای ناحیه متراکم، کوچک و برای ناحیه کم تراکم، بزرگ می نماید

شکل (۴) پروتکل چند پخشی متحرک پیشنهادی را با جزئیات بیشتر نشان می دهد. این شبکه کد عملیاتی را که به محض دریافت پیغام چند پخشی متحرک \tilde{m} در هر گره، اگر $t < t_0 + T$ باشد انجام میگیرد را نشان می دهد.

- if** (\tilde{m}) is new and $t < t_0 + T$
- if** (I am in $F[t]$) **then**
- execute learning program;**
- broadcast \tilde{m} immediately;
- // Fast forward
- if** (I am in $Z[t]$) **then**
- deliver the message data D to the application layer;
- else**
- compute the earliest time t_{in} for me to enter the delivery zone;
- if** t_{in} exists and $t_{in} < t_0 + T$
- schedule delivery of data D to application layer at t_{in} ;
- end if**
- end if**
- else**

می نماید. سربند پیغام چند پخشی علاوه بر اطلاعات فوق شامل اندازه (شعاع) ناحیه تحويل، سرعت و جهت حرکت ناحیه تحويل، مکان فرستنده پیغام، زمان ارسال، اندازه (شعاع) ناحیه ارسال، عمل آتماتای انتخابی، تعداد همسایگان پیش روی و همچنین بردار احتمال اعمال می باشد. گره ای که پیغام را دریافت می کند، در صورتی که در ناحیه ارسال باشد، تعداد همسایگان پیش روی خود را با تعداد همسایگان پیش روی موجود در سربند مقایسه می نماید.

چنانچه تعداد همسایگان پیش روی گره، بیشتر از تعداد همسایگان پیش روی 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 ناحیه ارسال را انجام داده که در این صورت گره قبلی (فرستنده پیغام) عمل انتخابی عمل مناسب بوده و به آن جایزه داده می شود. یعنی احتمال آن عمل در بردار احتمالات افزایش یافته و احتمال سایر اعمال کاهش می یابد. اما اگر مقدار عمل انتخابی در سربند، عددی مثبت باشد، یعنی گره قبلی (فرستنده پیغام) عمل بزرگ کردن اندازه ناحیه 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 پیش روی گره، کمتر از تعداد همسایگان پیش روی 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 ناحیه 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 می یابد. اما اگر مقدار عمل انتخابی در سربند، عددی مثبت باشد، یعنی گره قبلی (فرستنده پیغام) عمل بزرگ کردن اندازه ناحیه 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 می شود یعنی احتمال آن عمل در بردار احتمالات افزایش یافته و احتمال سایر اعمال کاهش می یابد. پس از به روز شدن احتمال عمل ها، یکی از عمل ها بر طبق بردار احتمالات بروز شده، انتخاب و سپس پیغام جدیدی (مانند گره آغاز کننده چند پخشی) برای گره های بعدی فرستاده می شود. این فرآیند تا زمانیکه سیستم بکار مشغول است ادامه می یابد. چند نکته درباره پروتکل پیشنهادی حائز اهمیت است که در زیر به آن اشاره می شود.

- در روش پیشنهادی اتماتای یادگیر هر گره با استفاده از اطلاعات موجود در سربند پیغام دریافتی و اطلاعات همسایگان

۲۴. **end if**
 ۲۵. **end if**

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 آutomاتای 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 400×400 متر مربع، در نظر گرفته شده است. همچنین در تمامی آزمایشات، ۴۰ گره به صورت 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 جدول ۱ آمده است تاثیر مقادیر ضرایب a و b اtomاتای یادگیر $L_{RP}^{(3)}$ با مجموعه اعمال $(-5, -2, 0, 2, 5)$ 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 جدول ۲ روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها از عملکرد بالاتری برخوردار است. در آزمایش سوم تاثیر اندازه عمل‌های آtomاتای یادگیر بر عملکرد روش پیشنهادی بررسی می‌شود. در این آزمایش مجموعه اعمال اتوتای یادگیر $(-4, -2, 0, 2, 4)$ در نظر گرفته شده است. نتایج این آزمایش در جدول ۳ آمده است. در آزمایش چهارم، جهت بررسی تاثیر تعداد عمل‌های آtomاتای یادگیر، آزمایش را با مجموعه اعمال $(-3, -2, 0, 3)$ 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 آtomاتاهای 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.

۱۴. compute the earliest time t' for me to enter the forwarding zone;
 ۱۵. **if** t' exists
 ۱۶. **if** $t_0 \leq t' \leq t$
 ۱۷. **execute learning program;**
 ۱۸. broadcast \tilde{m} immediately; // catch-up
 ۱۹. **else if** $t < t' < t_0 + T$
 ۲۰. **execute learning program;**
 ۲۱. schedule a broadcast of \tilde{m} at t' ; //hold and forward
 ۲۲. **end if**
 ۲۳. **end if**
 ۲۴. **end if**
 ۲۵. **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
 give reward to the action;
4. **else**
5. **if** previous action is increasing or do not change the forwarding zone
 give penalty to the action;
6. **end if**
7. **end if**
8. **if** $NIN < NIM$ // less compact
9. **if** previous action is increasing the forwarding zone
 give reward to the action;
10. **else**
11. **if** previous action is diminishing or not change the forwarding zone
 give penalty to the action;
12. **end if**
13. **end if**
14. **if** $NIN = NIM$ // equal compact
15. **if** previous action do not change the forwarding zone
 give reward to the action;
16. **else**
17. **if** previous action is increasing or diminishing the forwarding zone
 give penalty to the action;
18. **end if**
19. **if** previous action do not change the forwarding zone
 give reward to the action;
20. **else**
21. **if** previous action is increasing or diminishing the forwarding zone
 give penalty to the action;
22. **end if**
23. **end if**

جدول(۴): نتایج پروتکل پیشنهادی با مجموعه اعمال

(۳، ۰، ۰، ۳) برای ضرایب جریمه و پاداش متفاوت

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

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک پروتکل توزیع شده مبتنی بر اتماتاهای یادگیر برای چندپخشی متحرک پیشنهاد گردید. نتایج شبیه سازی نشان داد که پروتکل ارائه شده ضمن تضمین دریافت پیغام، تعداد گرههای سنسوری درگیر، تعداد پیغام های ردوبل شده و میانگین زمان سکون را به میزان قابل توجهی نسبت به روش های گزارش شده کاهش می دهد.

مراجع

- [۱] I. F. Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A Survey on Sensor Network”, IEEE Communication Magazine, Vol. ۴۰, pp. ۱۰۲-۱۱۴, August ۲۰۰۲
- [۲] D. Estrin et al., “Embedded Everywhere: A Research Agenda for Network Systems of Embedded Computers”, National Academy Press, ۲۰۰۱, Computer Science and Telecommunication Board (CSTB) Report.
- [۳] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L.Girod, M. Hamilton, “Habit Monitoring: Application Driver for Wireless Communications Technology”, ACM SIGCOMM Workshop on Data communications in Latin America and the Caribbean, ۲۰۰۱.
- [۴] D. Li, K. Wong, Y. Hu, and A. Sayeed, “Detection, Classification and Tracking of Targets in Distributed Sensor Networks” IEEE Signal processing magazine, Vol. ۱۹, No. ۲, March ۲۰۰۲.
- [۵] 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 ۲۰۵-۲۱۷, November ۲۰۰۳.
- [۶] 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 ۲۶, No. ۲-۴, pp. ۱۲۹-۱۶۰, August ۲۰۰۴.

جدول(۱): نتایج پروتکل پیشنهادی با مجموعه اعمال

(۵، ۰، ۰، ۰، -۲) برای ضرایب جریمه و پاداش متفاوت

۰,۹۹	۰,۷	۰,۵	۰,۳	۰,۲	۰,۱	b و a ضرایب
مجموع زمان سکون	۵۷,۳۲	۱۳۶,۱۴۹	۱۷۰,۶۱۳	۱۳۰,۳۹۷	۱۴۴,۰۵۹	۱۵۸,۳۰
تعداد پیغام ردوبل شده	۳۵۷	۷۷۰	۹۳۴	۶۸۸	۸۴۹	۸۷۸
تعداد گرههای درگیر	۹۰	۹۰	۱۷۰	۱۹۵	۱۶۶	۱۸۸
میانگین زمان سکون	۱,۰۸	۱,۳۹	۱,۷۴	۱,۳۶	۱,۴۷	۱,۶۲
تعداد گرههای ناحیه تحويل	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

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

جدول(۳): نتایج پروتکل پیشنهادی با مجموعه اعمال

(۴، ۰، ۰، -۲، -۲) برای ضرایب جریمه و پاداش متفاوت

۰,۹۹	۰,۷	۰,۵	۰,۳	۰,۲	۰,۱	b و a ضرایب
مجموع زمان سکون	۵۷,۳۲	۱۴۶,۱۴۳	۱۴۶,۲۹۵	۱۸۸,۴۱۵	۱۳۸,۱۹۲	۱۵۱,۲۱۷
تعداد پیغام ردوبل شده	۳۵۷	۸۱۰	۹۸۱	۷۰۲	۸۷۶	۸۹۸
تعداد گرههای درگیر	۹۰	۱۸۸	۲۰۲	۱۶۶	۱۶۶	۱۹۵
میانگین زمان سکون	۱,۰۸	۱,۴۹	۱,۹۲	۱,۴۱	۱,۴۱	۱,۵۴
تعداد گرههای ناحیه تحويل	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
درصد تضمین	۵۴,۰۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مجموع اتصالات مستقیم	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷	۱۳۶۷

-
- ^ Linear Reward Inaction
 - ^ header
 - ^ Linear Reward Penalty (L_{RP}) Scheme

- [v] 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 ٢٠١٤.
- [٨] Mark de Berg, Marc van Kerveld, Mark Overmars, and Otfried Schwarzkopf", Computational Geometry ", Springer, ١٩٩٩.
- [٩] J. W. Jaromczyk and G. T. Toussaint, "Relative Neighborhood Graphs and Their Relatives", Proceedings of IEEE, Vol. ٨٠, No. ٦, pp. ١٥٠٢-١٥١٧ ١٩٩٨.
- [١٠] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Network", Proceeding of the ٩th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and networking" (mobicom٢٠٠٣), pp. ٢٤٣-٢٥٤, ٢٠٠٣.
- [١١] F. Kuhn, R.r Wattenhofer, Y. Zhang, and A. Zollinger, "Geometric Ad-Hoc Routing: Of Theory and Practice", Proceedings of ٢٧th ACM Int. Symposium on the Principles of Distributed computing (PODC), ٢٠٠٣.
- [١٢] Yuh-Shyan Chen and Shin-Yi Ann "VE-Mobicast: A Variant-Egg-Based Mobicast Routing Protocol for Sensorsnets ", ACM Wireless Networks (SCI), ٢٠٠٦.
- [١٣] "HVE-Mobicast: A Hierarchical-Variant-Egg-Based Mobicast Routing Protocol for Sensorsnets," in Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE WCNC ٢٠٠٦), Las Vegas, NV, USA, ٣-٦ April ٢٠٠٦.
- [١٤] K. S. Narendra and M. A. L. Thathachar, "Learning automata: An introduction", Prentice Hall, ١٩٨٩.

زیرنویس‌ها

-
- ' Habit Monitoring
 - ^ Intruder Tracking
 - ^ Data Aggregation
 - ^ Wake up
 - ^ Delivery Zone
 - ^ Spatial
 - ^ Temporal
 - ^ Spatiotemporal
 - ^ Spatiotemporal Multicast Protocol (mobicast)
 - ' Local Coordination
 - ^ Data Aggregation
 - ^ Broadcast
 - ^ Hole
 - ^ Forwarding Zone
 - ^ Hold and Forward
 - ^ Slack Time
 - ^ Huang
 - ^ Basic Mobicast
 - ^ Adaptive Protocol
 - ^ Face-aware Routing
 - ^ Shyan Chen
 - ^ Variant-egg-based mobicast
 - ^ Cluster Based Approach
 - ^ Slack Time
 - ^ Variable Structure
 - ^ Linear Reward-Penalty
 - ^ Linear Reward epsilon Penalty