

زمانبندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از بازی اقلیت و اتوماتای یادگیر سلولی

تورج محمدپور¹, محمدرضا میبدی²

¹دانشکده مهندسی برق، کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، mohammadpour.touraj@gmail.com

²دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده - شبکه حسگر بی‌سیم، نوع خاصی از شبکه‌های موردنی¹ است و شامل مجموعه‌ای از گره‌های کوچک می‌باشد که توانایی حس محیط اطراف با هدف معین، پردازش اطلاعات، ذخیره سازی و تبادل اطلاعات با سایر گره‌ها را دارد. از مهمترین چالشهای پیش روی WSN، محدود بودن سطح انرژی در شبکه است و ارائه روشی مناسب برای بهبود طول عمر شبکه بسیار حائز اهمیت است. یکی از این روش‌ها، استفاده از تکنیک زمانبندی² است. در این مقاله، پروتکلی بنام MCSP برای زمانبندی در WSN ارائه می‌شود. این پروتکل که مبتنی بر بازی اقلیت³ و اتوماتای یادگیر سلولی⁴ است، همواره نودهای حسگر را در هر دوره زمانی با الگوریتمی در دو حالت On و Standby قرار می‌دهد. هدف از ارائه این پروتکل، مدیریت مصرف انرژی در WSN به منظور افزایش طول عمر⁵ شبکه است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این روش نسبت به روش‌های مشابه، کارایی مناسبی را در مدیریت مصرف انرژی و افزایش طول عمر WSN دارد.

کلید واژه- اتوماتای یادگیر سلولی، بازی اقلیت، زمانبندی، شبکه حسگر بی‌سیم، طول عمر.

ارائه می‌شود. این پروتکل، مبتنی بر بازی اقلیت و اتوماتای یادگیر سلولی است.

Zhang و Challet MG توسط⁶ ای از مسئله El Farol Bar معروفی گردید^[10]. در سال ۱۹۹۴، مسئله El Farol Bar آرتو⁷ یکی از نمونه‌های مطالعاتی بسیار گسترده از سیستمهای تطبیقی پیچیده بوده است. مدل مذکور مشتمل از N فرد می‌باشد که می‌توانند بطور مستقل و با توجه به مسئله El Farol Bar در شهر Santa Fe در یک شب معین در مورد رفتن یا نرفتن به Bar تصمیم گیری نمایند. Bar ظرفیت محدودی دارد و مردم سعی می‌کنند، هنگامیکه در آن ازدحام بوجود آمده است، از رفتن به آن اجتناب کنند. بین افراد ارتباطات صریح و مشخصی وجود ندارد و تنها اطلاعات در دسترس برای آنها، سریهای زمانی از حضورشان در گذشته می‌باشد. یعنی هر عامل، یک مجموعه از استراتژیها⁸ را که مراجعه هفته آینده به Bar را از روی مراجعات گذشته پیش‌بینی می‌کند، می‌بایست داشته باشد. در MG تفاوت اصلی موجود اینست که بجای تاریخچه واقعی، عاملها فقط از طریق یک رشته باینری مشخص می‌کنند که آیا Bar دارای ازدحام می‌باشد یا خیر. در واقع، MG مدلی برای تخصیص منبع در یک سیستم چند عامله⁹ بزرگ و گسترده می‌باشد. در یک MG نتیجه بدست آمده برای هر عامل، به نتیجه عمل انتخاب شده توسط آن عامل بستگی خواهد داشت. این نتیجه نیز، وابسته به تعداد عاملهای دیگری که عمل مشابه با آن عامل را انتخاب می‌

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بعنوان یک تکنولوژی بسیار مهم در قرن حاضر شناخته شده‌اند. در سالهای اخیر، توجه بسیاری از محققان به گستره وسیعی از پتانسیلهای کاربردی شبکه‌های حسگر بی‌سیم جلب شده است. هنگام وقوع یک رویداد در SN، فرآیند گزارش دهی بوسیله یک یا چند حسگر¹⁰ که پیرامون محل وقوع رویداد هستند راه اندازی شده و گزارشی به مرکز نظارت فرستاده می‌شود. از WSN می‌توان برای نمایش و کنترل طیف وسیعی از حالات پیرامون ما از قبیل: درجه حرارت، رطوبت، حرکت وسائل نقلیه، سطوح نویز، وجود اشیاء خاص، ردیابی حیوانات کوچک، سرعت، جهت و اندازه یک شیء و ... استفاده نمود. با توجه به کاربردهای متنوع، WSN با محدودیت‌هایی مواجه می‌باشد که عبارتند از: توان محاسباتی کم، کمبود پهنای باند و منبع تغذیه مخصوص آن^[2,11].

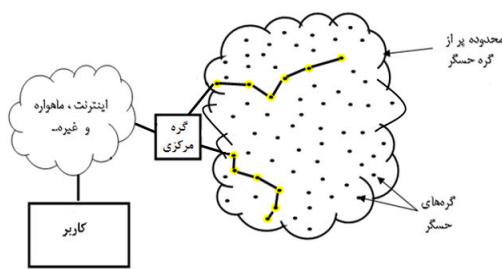
با توجه به عدم امکان شارژ مجدد منبع تغذیه حسگرها بدليل تعداد بسیار زیاد و گستردگی جغرافیایی آنها در اغلب موارد، محدود بودن سطح انرژی بعنوان یکی از مهمترین چالشهای پیش روی WSN مطرح بوده و تعیین روشی برای بهبود طول عمر شبکه بسیار حائز اهمیت است. از طرفی، مدل‌های استاندارد WSN، بر بهینگی استفاده از انرژی و تصمیم گیری توزیع شده توسط گره‌های حسگر در شبکه تأکید دارند. یکی از این روش‌ها، استفاده از تکنیک زمانبندی در WSN است^[7,6,5,4,3]. در این مقاله، پروتکلی بنام MCSP¹² برای زمانبندی در WSN

و کنترل شرایط و تغییرات جوی، فیزیکی و یا شیمیائی در محیطی با محدوده معین می باشد. پروتکلهای بسیاری در زمینه مسیریابی^{xii}، مدیریت انرژی و ارسال داده برای این شبکه ها طراحی شده است که نقطه تمرکز اکثر آنها بهینه سازی مصرف انرژی است. ارتباطات در این شبکه ها بصورت چندگامی^{xv} است، یعنی بین مبدأ و مقصد لازم نیست دید مستقیمی وجود داشته و در محدوده امواج یکدیگر باشند، بلکه با استفاده از تعدادی گره میانجی، ارتباط بین آن دو برقرار می شود.

یک گره حسگر، بعنوان کوچکترین عنصر خود مختار^{xv} یک SN شناخته می شود. گره حسگر با حس محیط اطراف خود، میزان تغییرات پارامتر خاصی از محدوده حسی خود در محیط را در قالب یک سیگنال الکترونیکی ارائه می دهد. لازم به ذکر است که اجزای تشکیل دهنده SN، تنها همان گره ها هستند و نیازی به تجهیزات از پیش تعیین شده ندارند.

2-1-معماری ارتباطات شبکه های حسگر بی سیم

WSN شامل صدها یا هزاران گره حسگر با امکانات مخابره، پردازش، حس کردن محیط و... بوده که در محیطی با چارچوب معین پراکنده شده اند. رویداد اتفاق افتاده و یا سوالات پرسیده شده از سوی گره مرکزی^{xvi} و مأموریت داده شده به هر گره موجب می شود که ارتباطاتی بین گره ها برقرار گردد. در اینجا اطلاعات رد و بدل شده می تواند گزارشی از وضعیت محدوده ای که زیر نظر گره های حسگر است به گره مرکزی باشد و یا درخواستی از سمت گره مرکزی به سمت گره های حسگر باشد. گره مرکزی که بعنوان درگاه ارتباطی شبکه حسگر با سایر سیستمهای و شبکه های مخابراتی است، گیرنده نهایی گزارش از گره های حسگر می باشد و بعد از انجام یکسری پردازشها، اطلاعات پردازش شده را به کاربر ارسال می کند (با استفاده از یک رسانه ارتباطاتی مانند اینترنت، ماهواره و ...). از سوی دیگر، درخواستهای کاربر نیز توسط این گره به شبکه انتقال می یابد. معماری ارتباطات WSN در شکل 1، نشان داده شده است.



شکل 1: معماری ارتباطات شبکه های حسگر بی سیم

کنند، دارد. MG یک نسخه از بازیهای تجمیعی می باشد]16,15,14,13,12,11,10[.

همچنین، هر کدام از حسگرهای موجود در شبکه مجهر به یک اتماتای یادگیر^{xii} می باشد. LA می تواند تعداد محدودی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محیطی احتمالی ارزیابی می گردد و پاسخی به LA داده می شود. از این پاسخ استفاده نموده و عمل بعدی را انتخاب می کند و در این میان یاد می گیرد که چگونه بهترین عمل را انتخاب نماید. در هر لحظه هر LA در CLA یک عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب می کند و به آن با توجه به اعمال انتخابی توسط سلوهای همسایه و قانون حاکم بر CLA پاداش داده شده و یا جریمه می شود. بر اساس آن، اتماتاً رفتار خود را تصحیح کرده و ساختار درونی خود را به هنگام می کند]20,19,18,17[.

بطور کلی الگوریتم زمانبندی پیشنهادی، همواره نودهای حسگر را در هر دوره زمانی با روشی مشخص در دو حالت On و Standby قرار می دهد، بطوريکه با تعداد سنسورهای در حالت On در نظر گرفته شده بتوان همچنان چارچوب^{xii} شبکه را حفظ و تمامی نواحی آنرا پوشش داد. حالت On حالتی است که در آن حسگر می تواند در طی دوره زمانی به مانیتور نمودن محیط پیرامونی تحت پوشش خود در شبکه بپردازد. حالت Standby حالتی است که در آن حسگر، در فعالیتهای شبکه در طی دوره زمانی شرکت نداده است و به ذخیره سازی انرژی خود می پردازد. هدف از ارائه این پروتکل، مدیریت مصرف انرژی در WSN به منظور افزایش طول عمر شبکه می باشد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که این روش، کارایی مناسبی را در مدیریت مصرف انرژی و افزایش طول عمر WSN دارا می باشد.

ساختمار ادامه مقاله بصورت زیر است: در بخش دوم WSN بیان می شود. در بخش سوم در مورد CLA توضیحاتی داده می شود. در بخش چهارم MG معرفی شده است. در بخش پنجم شرح جامعی از پروتکل زمانبندی پیشنهادی ارائه خواهد شد. سپس در بخش ششم نتایج حاصل از شبیه سازی پروتکل پیشنهادی ارائه می شود و در نهایت در بخش هفتم، نتیجه گیری بیان شده است.

2- شبکه های حسگر بی سیم

WSN، نوع خاصی از شبکه های موردنی بوده و شامل مجموعه ای از گره های کوچک است. هدف اصلی در آن، نظارت

می گیرد. هدف نهایی این است که اوتوماتا یاد بگیرد تا از بین اعمال خود، بهترین عمل را انتخاب کند. بهترین عمل، عملی است که احتمال دریافت پاداش از محیط را به حداقل برساند. کارکرد LA در تعامل با محیط، در شکل 2 مشاهده می شود.



شکل 2: ارتباط بین اوتوماتای یادگیر و محیط

محیط را می توان توسط سه تایی $E \equiv \{a, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $a \equiv \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$ مجموعه ورویدهای، $\beta \equiv \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ مجموعه احتمالهای جریمه می باشد. از LA می توان در c_r حل برخی از مسائل بهینه سازی مانند بهینه سازی کلونی مورچه^{xxi}، مسئله فروشنده دوره گرد^{xxii} و مسیریابی در شبکه استفاده نمود.^[22,19,18]

3-3- اوتوماتای یادگیر سلوالی

بسیاری از مسایل را نمی توان با استفاده از یک LA تکی حل کرد، بلکه قدرت اصلی LA زمانی آشکار می شود که آنها، بصورت دسته جمعی بکار گرفته شوند. بنابراین با ترکیب دو مدل LA و CA ، مدل جدیدی بنام CLA ایجاد می شود. در CLA می توان از ساختارهای مختلفی برای همسایگی استفاده در حالت کلی، هر مجموعه مرتب از سلولها را می توان به عنوان همسایه در نظر گرفت. اما معمولترین آنها، همسایگی نیومن، مور، اسمیت و کول می باشد که به نزدیکترین همسایگان مشهورند. در هر لحظه، هر LA در CLA یک عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب می کند. این عمل می تواند بر اساس مشاهدات قبلی و یا بصورت تصادفی انتخاب شود. عمل انتخاب شده با توجه به اعمال انتخاب شده توسط سلولهای همسایه و قانون حاکم بر CLA پاداش داده شده و یا جریمه می شود و با توجه به آن، اوتوماتا رفتار خود را تصحیح کرده و ساختار داخلی آن بهنگام می شود. معمولاً عمل بروزرسانی تمام اوتوماتاها بصورت CLA همزمان انجام می شود. بعد از بروزرسانی، هر اوتوماتا در دوباره یک عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب کرده و انجام می دهد. فرآیند انتخاب عمل و دادن پاداش و یا جریمه تا زمانی که سیستم به حالت پایدار برسد و یا یک معیار از قبل تعریف

بکارگیری حسگرهای یا می تواند بطور تصادفی^{xvii} (برای مثال، پاشیدن حسگرهای از یک هوایپیما برای ایجاد شبکه اطفاء حریق در سطح جنگل یا شبکه رهگیری هدف در مناطق جنگی) و یا بصورت کارگذاشتن دستی^{xviii} (برای مثال، حسگرهای هشدار آتش در یک ساختمان) باشد. به علت آنکه گره های حسگر می باشند برای مدت زمان زیادی با باتری های کوچک کار کنند و معمولاً در اغلب موارد امکان شارژ مجدد باتری آنها وجود ندارد، بنابراین تمام تکنیکهایی را که از انرژی بطور غیر مؤثر استفاده می کنند و باعث کم شدن طول عمر شبکه می شوند، باید کنار گذاشت.^[2,1]

3- اوتوماتای یادگیر سلوالی

اتوماتای یادگیر سلوالی از ترکیب اوتوماتای سلوالی^{xix} و اوتوماتای یادگیر حاصل می شود. در این بخش، این مدلها به عنوان مدلهایی برای یادگیری تقویتی^{xx} معرفی می شوند.

I-3- اوتوماتای سلوالی

CA ، یک مدل ریاضی برای سیستمهایی است که در آنها چندین مؤلفه ساده برای تولید الگوهای پیچیده تر با هم همکاری می کنند. CA در حقیقت سیستمهای دینامیکی گسسته ای هستند که رفتارشان کاملاً بر اساس ارتباط محلی استوار است. در یک مجموعه منظم از سلولها وجود دارد که هر کدام می توانند با چند مقدار مختلف که تعدادشان متناهی است، مقداردهی شوند. این سلولها به صورت همگام^{xxi} و در زمان های گسسته^{xxii} بر طبق یک قانون محلی بروز رسانی می شوند. محلی بودن به این معناست که در تعیین مقدار جدید هر سلول، سلولهایی که در همسایگی آن هستند تأثیرگذار می باشند و سلولهای دورتر تأثیری ندارند. CA در مواردی همچون شبیه سازی فرآیندهای فیزیکی مانند حرکت براونی، حل شدن، شبیه سازی فرآیندهای اجتماعی، شبیه سازی پدیده های شیمیایی مانند سرایت آتش و خوردگی فلزات، پردازش تصویر، تولید اعداد تصادفی و رمزگاری بکار گرفته شده است.^[21,18,7]

3-2- اوتوماتای یادگیر

LA ، ماشینی است که می تواند تعداد متناهی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط احتمالی ارزیابی می شود. نتیجه ارزیابی در قالب سیگنالی مثبت یا منفی به اوتوماتا داده می شود و اوتوماتا از این پاسخ در انتخاب عمل بعدی تأثیر

- اگر سطح ظرفیت منبع برابر $I < \eta < 0$ باشد که در این حالت MG از نوع تعمیم یافته خواهد بود.

^{xxi} هر دو گروه اشاره شده فوق، دارای محیطهای ایستا می باشند. اما *Aram Galstyan* و *Kristina Lerman* در سال 2002 مدلی از MG را در محیطهای غیر ایستا مطرح نمودند^[8]. این مدل MG در این نوع محیطها دارای ویژگیهای زیر است:

- MG با سطح ظرفیت منبع دلخواه در هر لحظه از زمان انتخابهای برنده با I نشان داده می شود، اگر چنانچه $\leq L A(t)$ باشد. یعنی مجموع حضور عوامل در سیستم بیشتر از ظرفیت کل منبع (L) موجود در آن نباشد. در واقع $A(t)$ تعداد عواملی است که در زمان t مقدار I را انتخاب نموده اند.

بطور کلی، مهمترین مزیت MG اینست که در آن می توان استراتژیها را به آسانی پارامتری نمود. یک استراتژی در واقع یک جدول جستجوی ساده می باشد که برای همه ورودی های ممکن، یک خروجی باینری را تعیین می کند. در اینجا ورودی، یک رشته باینری شامل m خروجی گذشته مدل می باشد. بنابراین برای هر مقداری از $m = 2^m$ ورودی (تاریخچه) ممکن بوجود خواهد آمد. در نتیجه می توان گفت که تعداد استراتژیهای بوجود آمده برابر $2^P = Q$ استراتژی خواهد شد^[16,15,14,13,12,11,10,9,8].

5 پروتکل $MCSP$

حال در این بخش، شرح کاملی از پروتکل $MCSP$ ارائه می شود. در این پروتکل، تعداد حسگرهای موجود در شبکه بسیار زیاد و برابر عددی فرد در نظر گرفته می شود. پس از مشخص نمودن محدوده فیزیکی شبکه، حسگرها بطور تصادفی در شبکه پخش می شوند. هر حسگر مجهز به یک LA است. کلیه حسگرهایی که در محدوده فیزیکی شبکه، حسگرها بطور تصادفی در شبکه پخش می شوند. هر حسگر مجهز به یک گره حسگر (شعاع S) است که در محدوده فیزیکی شبکه، حسگرها بطور مستقیم با آن تبادل اطلاعات نمایند. اما در پروتکل $MCSP$ تعداد همسایگان حسگر (K) برابر دو فرض می شود، یعنی هر حسگر تنها از دو همسایه خود ورودی دریافت می کند که این ورودیها حالات همسایگان را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهند. در این پروتکل، فرض بر این خواهد بود که حسگرهای موجود در شبکه قابلیت تحرک^{xxxv}

شده ای برقرار شود، ادامه می یابد. عمل بهنگام سازی ساختار اتوماتاهای موجود در CLA توسط الگوریتم یادگیری انجام می شود^[20,18,17].

4 بازی اقلیت

Zhang و *Challet* توسط MG بصورت نسخه ساده شده ای از مسئله *El Farol Bar* معرفی گردید. تفاوت اصلی موجود اینست که بجای تاریخچه واقعی، عاملها فقط از طریق یک رشته باینری مشخص می کنند که آیا *Bar* دارای ازدحام می باشد یا خیر. در این مدل N عامل را در نظر بگیرید که با هوشی محدود، مکررا بین دو حالت 0 و I ، عمل انتخاب را انجام می دهند (یعنی بطور مثال در خانه ماندن یا به *Bar* رفتن). اگر در یک زمان معین *Bar* دارای ازدحام نباشد (یا دارای ازدحام باشد)، در آن هنگام انتخاب عامل (همان سیگنال تولیدی توسط عامل I) است.

در مدل MG استاندارد^{xxv}، تعداد عوامل در سیستم (N) فرد^{xxvi} در نظر گرفته می شود و ظرفیت منبع نیز بطور ثابت، $2 / (N - I)$ می باشد. هر عامل در هر لحظه می تواند یکی از دو مقدار صفر یا یک را اتخاذ کند. عوامل در اینجا به دو گروه برنده و بازنده تقسیم می شوند. گروه برنده، آن دسته از عوامل دارای مقدار صفر یا یک بوده که تعداد آنها کمتر از $2 / (N - I)$ می باشد. به این گروه، گروه اقلیت^{xxvii} نیز گفته می شود، چرا که عوامل موجود در آن تصمیمی اقلیتی را اتخاذ نموده اند. در MG تعیین یافته^{xxviii} گروه برنده (بازنده) برابر $I(0)$ در نظر گرفته می شود، در صورتیکه آن گروه از عوامل کوچکتر (بزرگتر) از سطح ظرفیت منابع (η) باشند، $I > \eta > 0$. در این مدل هر عامل یک مجموعه از استراتژیها (S) را برای تصمیم گیری در مورد حرکت بعدیش بکار می گیرد. اگر چنانچه عامل با توجه به وضعیت خود، به گروه اقلیت تعلق داشته باشد، به عامل پاداش داده شده و در غیر اینصورت، جریمه خواهد شد. در این مدل سطح ظرفیت منابع موجود در یک سیستم را می توان در دو گروه زیر در نظر گرفت:

- اگر سطح ظرفیت منبع برابر $I/2 = \eta$ باشد که در این حالت MG شامل انواعی مانند: MG استاندارد، MG تکاملی^{xxix}، MG چند انتخابی^{xxx} و MG سلسله مرانبی^{xxxi} خواهد بود.

با توجه به اینکه در پروتکل *MCS*, حالت یک حسگر در هر دوره زمانی، وابسته به حالت حسگر و دو همسایه آن در طی دوره زمانی قبلی شبکه می باشد، لذا حسگر می بایست بر اساس یک رشته باینتری بطول سه برای تعیین حالت بعدی خود تصمیم گیری نماید. بر این اساس، هشت (2^3) ترکیب مختلف بوجود خواهد آمد. حال اگر با توجه به همه ترکیبها هشتگانه ممکن رشته باینتری، برای حالت بعدی حسگر تصمیم گیری شود، $256 = 2^8$ استراتژی بوجود خواهد آمد. اما نکته ای که می بایست در اینجا به آن توجه نمود، مسئله پوشش در *WSN* می باشد. در این پروتکل برای اینکه برقراری پوشش در تمامی نواحی شبکه تضمین گردد، با تعیین حالت بطور ثابت برای برخی از ترکیبها هشتگانه رشته باینتری، مسئله پوشش در شبکه تضمین خواهد شد. در اینجا اگر هر دو همسایه یک حسگر در طی دوره زمانی قبل برابر صفر (غیر فعال) باشند، حالت آن حسگر در دوره زمانی بعدی برابر یک (فعال) در نظر گرفته خواهد شد. همچنان اگر حسگر و یکی از همسایگانش در طی دوره زمانی قبل برابر صفر باشند، حالت آن حسگر در دوره زمانی بعدی برابر یک در نظر گرفته خواهد شد. از طرفی بمنظور کاهش انرژی مصرفی و افزایش طول عمر شبکه، با تعیین حالت بطور ثابت برای برخی دیگر از ترکیبها هشتگانه رشته باینتری، به این مسئله نیز پرداخته می شود. بطوريکه، اگر هر دو همسایه یک حسگر در طی دوره زمانی قبل برابر یک باشند، حالت آن حسگر در دوره زمانی بعدی برابر صفر در نظر گرفته خواهد شد. جدول ۱، تعیین حالت برای حسگر بر اساس وضعیت حسگر و همسایگانش، با در نظر گرفتن مسئله پوشش و کاهش مصرف انرژی در *WSN* را نشان می دهد.

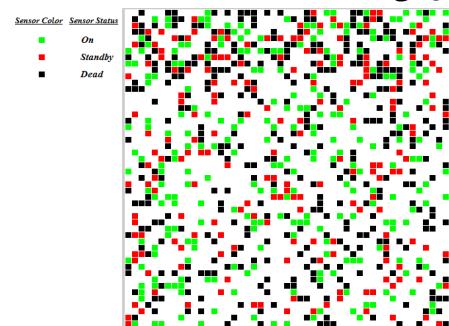
جدول ۱: تعیین حالت برای حسگر با در نظر گرفتن مسئله پوشش

و کاهش مصرف انرژی در شبکه حسگر بی سیم

حسگر	همایه ۱	همایه ۲	حالات
۰	۰	۰	۱
۰	۰	۱	۱
۰	۱	۰	۱
۰	۱	۱	✗
۱	۰	۰	۱
۱	۰	۱	۰
۱	۱	۰	✗
۱	۱	۱	۰

بر این اساس، با توجه به اینکه برای شش ترکیب رشته باینتری بطور ثابت تصمیم گیری می شود، از تعداد استراتژیها

ندارند. زمان فعالیت *WSN* نیز به بازه های زمانی یکسانی تقسیم شده و هر کدام از حسگرها در هر دوره زمانی می توانند در یکی از دو حالت (*On*) و (*Standby*) قرار گیرند. مقدار انرژی اولیه برای تمامی حسگرهای موجود در شبکه بطور یکسان تعريف می شود. در این پروتکل، هر کدام از حسگرها تا زمانیکه مقداری از نظری برای انجام فعالیتها خود در شبکه داشته باشند، در اصطلاح هنوز زنده^{xxxvi} بوده و در شبکه موجود^{xxxvii} خواهد بود. اما با پایان پذیرفتن انرژی، حسگر از بین رفته^{xxxviii} تلقی شده و از شبکه حذف خواهد شد. در اینجا می بایست به این نکته اشاره نمود که طول عمر شبکه به صورتهای مختلفی تعريف می شود. در برخی از تعريف، مدت زمانی که طول می کشد تا انرژی اولین گره تمام شود، برابر طول عمر شبکه در نظر گرفته می شود. اما ذکر این نکته حائز اهمیت است که در پروتکل پیشنهادی، تا زمانیکه از بین رفتن حسگرهای موجود منجر به از بین رفتن چارچوب شبکه نشود، اصطلاحا شبکه زنده بوده و همچنان می تواند به کار خود ادامه دهد. اما هنگامیکه بواسطه پایان پذیرفتن انرژی یک حسگر و از بین رفتن آن، منطقه ای از شبکه (که حسگر از بین رفته در آن منطقه وجود داشته است) دیگر تحت پوشش^{xxix} قرار نداشته باشد (یعنی نقطه کوری در شبکه ایجاد شود)، چارچوب شبکه از بین رفته تلقی شده و طول عمر شبکه تا آن لحظه از زمان محاسبه خواهد شد. شکل ۳ وضعیت شبکه و حسگرهای موجود در آن طی یک دوره زمانی خاص نشان می دهد.



شکل ۳، وضعیت شبکه و حسگرهای موجود در آن طی یک دوره زمانی

هر حسگر دارای چهار استراتژی است که با انتخاب یکی از آنها در هر دوره زمانی، برای حالت خود در طی آن دوره تصمیم گیری می کند. این استراتژیها برای همه حسگرهای موجود در شبکه بطور یکسان تعريف شده اند. علت و نحوه انتخاب این قوانین به شرح زیر است:

حسگر i ام را بر اساس استراتژی انتخابی اش (استراتژی π_i) در هر دوره زمانی ($t + I$) تعیین می‌کند.

هر حسگر همواره مقدار انرژی باقیمانده خود را برسی نموده و اگر سطح انرژی اش کمتر از حد آستانه انرژی (که در ابتدای رای همه حسگرها تعریف شده است) باشد، از بین خواهد رفت. اما پیش از آن، می‌بایست برای همه همسایگانش پیامی را ارسال نموده و آنها را از وضع خود آگاه سازد. هر یک از همسایگان نیز با دریافت پیامی مبنی بر مرگ یک حسگر، همسایگی خود را بروز رسانی می‌کند و مسئله پوشش را در منطقه ای از شبکه که حسگر مرده در آنجا قرار داشته است، برسی می‌نمایند.

در پروتکل $MCSP$ ، حسگرها بر اساس بازی اقلیت و حالت انتخابی خود در هر دوره، بطور کلی به دو گروه برنده و بازنده تقسیم می‌شوند. گروه برنده به آن گروه از حسگرها که تعدادشان در شبکه کمتر از سطح ظرفیت منابع (η) باشد گفته می‌شود و گروه بازنده به آن گروه از حسگرها که تعدادشان در شبکه بیشتر از سطح ظرفیت منابع باشند، گفته می‌شود. در اینجا $A(t)$ عنوان مجموع حضور حسگرها در شبکه (تعداد حسگرهایی که در وضعیت On قرار دارند) در زمان t در نظر گرفته می‌شود.

$$A(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t) \quad (2-5)$$

محیط شبکه حسگر در دو حالت $i = 1, 2$ و غیر ایستا مورد برسی قرار می‌گیرد. در محیط شبکه ایستا، سطح ظرفیت منابع (η) ثابت است.

$$L = (N-I)/2 \quad (3-5)$$

اما سطح ظرفیت منابع در محیط شبکه غیرایستا با گذشت زمان در حال تغییر بوده ($\eta(t)$) وتابع زمان می‌باشد که به این حالت از بازی اقلیت، بازی اقلیت با ظرفیت دلخواه η^{*} گفته می‌شود.

$$\eta(t) = \eta_0 + \eta_I(t) \quad (4-5)$$

بنابراین هر حسگر در هر دوره زمانی، می‌بایست با شناسایی نمودن گروه اقلیت، استراتژی مورد استفاده خود در آن دوره را پاداش داده با جریمه نماید. لذا حسگرها باید به گونه‌ای بتوانند گروه اقلیت را تشخیص دهند. در نتیجه در هر دوره زمانی پیش از آنکه حسگرهایی که وضعیت خود را در حالت $Standby$ در نظر گرفته اند از طریق خاموش نمودن رادیو خود به این حالت

ممکن کاسته شده و از آنجاییکه از بین ترکیب‌های هشتگانه رشته باینری برای دو ترکیب باقی مانده دیگر، تعیین حالت ثابتی صورت نمی‌پذیرد (که در جدول، حالت آنها با نماد \times نشان داده شده است)، بطور کلی چهار ($4^2 = 16$) استراتژی برای ترکیب‌های هشتگانه رشته باینری وجود خواهد آمد. جدول 2 نحوه انتخاب استراتژیهای چهارگانه حسگرها را نشان می‌دهد.

جدول 2: نحوه انتخاب استراتژیهای چهارگانه حسگرها

قانون	0	\times	0	1	\times	1	1	1
	0	0	0	1	0	1	1	1
	0	0	0	1	1	1	1	1
	0	1	0	1	0	1	1	1
	0	1	0	1	1	1	1	1
								23
								31
								87
								95

جدول 3: تعیین حالت بعدی برای هر حسگر بر اساس انتخاب قانون 95 و اعمال آن بر روی رشته باینری از حالت حسگر و همسایگانش در مرحله زمانی قبل را نشان می‌دهد.

جدول 3: تعیین حالت برای هر حسگر با اعمال قانون 95 بر روی رشته باینری

111	110	101	100	011	010	001	000
0	1	0	1	1	1	1	1

در ابتدای هر دوره زمانی هر حسگر موجود در WSN که هنوز زنده است (یعنی مقدار انرژی باقیمانده آن کمتر از حد آستانه η نباشد)، می‌بایست وضعیت خود را در طی آن دوره مشخص نماید، بطوریکه بر اساس حالت خود و همسایگانش در دوره زمانی قبل، در یکی از دو وضعیت On یا $Standby$ قرار می‌گیرد. البته در شروع بکار شبکه، با توجه به اینکه هنوز هیچکدام از حسگرها پیشینه ای از وضعیت خود و همسایگانش را ندارند، لذا پیش از آغاز کار شبکه وضعیت تمامی حسگرهای موجود بصورت تصادفی تعیین می‌گردد.

انتخاب استراتژی توسط هر حسگر در هر دوره زمانی بر اساس یکی از روش‌های چرخ رولت I ، رتبه بندی k و تورنمنت N از بین قوانین چهارگانه صورت خواهد پذیرفت. رابطه زیر، برای تعیین حالت بعدی هر حسگر بکار گرفته می‌شود:

$$S_i(t+I) = F_i^j(S_i(t), Sk_1(t), Sk_2(t)) \quad (I-5)$$

که در این رابطه، $(S_i(t), Sk_1(t), Sk_2(t))$ حالت حسگر i ام و همسایگان آن در طی دوره زمانی قبلی (لحظه t) می‌باشد و F_i^j تابعی منطقی است که حالت

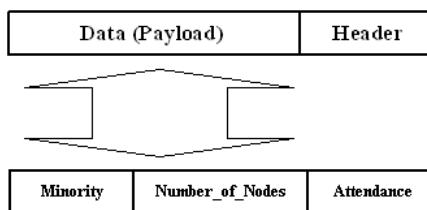
پس از شناسایی گروه اقلیت، این موضوع به همه حسگرهای زنده موجود در شبکه گزارش داده می شود. لذا در اینجا گره مرکزی، با همه پخشی^{xvi} نمودن پیام زیر، آن را به اطلاع تمامی گرهای موجود در شبکه می رساند. بطور کلی بخش داده در پیام مورد استفاده در این پروتکل برای اعلام گروه اقلیت از طرف گره مرکزی به تمامی حسگرهای زنده موجود در شبکه، دارای ساختار زیر می باشد:

- فیلدی بنام *minority* از نوع منطقی که گروه برنده را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد. اگر مقدار این فیلد برابر یک باشد، بمنزله این است که گروه حسگرهای *On* در طی آن دوره در اقلیت می باشند و اگر مقدار آن برابر صفر باشد، یعنی گروه حسگرهای *Standby* در طی آن دوره در اقلیت قرار دارد.

فیلدی بنام *Number_of_Nodes* از نوع صحیح که تعداد حسگرهای زنده موجود در شبکه حسگر بی سیم (*N*) را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد.

• فیلدی بنام *Atendance* از نوع صحیح که تعداد حسگرهای در حالت *On* شبکه $(A(t))$ را طبق رابطه (5-2)، در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد.

شکل 5. ساختار کلی پیام بکار گرفته شده در پروتکل *MGMP* برای اعلام گروه اقلیت از طرف گره مرکزی به تمامی حسگرهای زنده موجود در شبکه را نشان می دهد.



شکل 5: پیام بکار رفته در پروتکل *MGMP* برای اعلام گروه اقلیت از طرف *Sink* به تمامی حسگرهای زنده موجود در شبکه

حال هر یک از حسگرهای زنده شبکه با دریافت پیام فوق و با اجرای الگوریتم یادگیری تقویتی مورد استفاده در پروتکل *MCS* استراتژی خود را در طی آن دوره زمانی پاداش داده یا چریمه می کند.

5-2-الگوریتم یادگیری تقویتی

در پروتکل زمانبندی *MCS* هر یک از حسگرهای موجود در شبکه مجهز به یک اتوماتای یادگیر تصادفی¹ می باشند. در

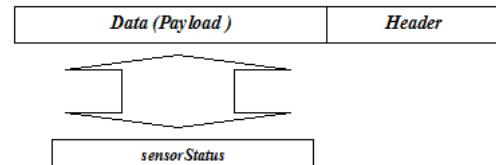
وارد شوند، تمامی حسگرهای موجود باید پروتکلی بنام *MGMP*^{xvii} را اجرا کنند.

1-5- پروتکل *MGMP*

در ابتدای هر دوره زمانی می بایست پیامی که ساختار آن در ادامه معروفی می گردد، توسط هر یک از حسگرهای زنده موجود در شبکه، بمنظور تعیین گروه اقلیت به گره مرکزی ارسال گردد. در اینجا به این نکته اشاره می شود که اولین گره شبکه را در شیوه سازی، گره مرکزی فرض می کنیم. بدین ترتیب، همه گره ها آدرس گره مرکزی را که برابر با صفر می باشد، می دانند. بطور کلی بخش داده^{xviii} در پیام مورد استفاده در پروتکل *MGMP* برای ارسال وضعیت حسگرها به گره مرکزی، دارای ساختار زیر می باشد:

- فیلدی بنام *sensorStatus* از نوع منطقی که وضعیت حسگر را در طی دوره زمانی جاری نشان می دهد. اگر مقدار این فیلد برابر یک باشد، بمنزله این است که حسگر ارسال کننده پیام می خواهد در طی آن دوره زمانی، در حالت فعال قرار گیرد و اگر مقدار آن برابر صفر باشد، یعنی حسگر ارسال کننده پیام می خواهد در طی آن دوره زمانی، در حالت غیر فعال قرار داشته باشد.

شکل 4، ساختار کلی پیام بکار گرفته شده در پروتکل *MGMP* برای ارسال وضعیت حسگرها به گره مرکزی را نشان می دهد.



شکل 4: پیام بکار رفته در پروتکل *MGMP* برای ارسال وضعیت حسگرها به گره مرکزی

حال هر حسگر می بایست وضعیت خود را بوسیله پیام فوق به گره مرکزی ارسال کند. گره مرکزی نیز با دریافت پیام از تمامی حسگرهای زنده در هر دوره زمانی، اقدام به تعیین گروه برنده می نماید. گروه برنده، یکی از دو گروه حسگرهای دارای مقدار صفر یا یک در فیلد *sensorStatus* می باشند که تعداد آنها کمتر از سطح ظرفیت منابع شبکه (*L*) است. تعداد حسگرهای زنده موجود در شبکه (*N*) در طی هر دوره از طریق تعداد پیام های دریافتی توسط گره مرکزی قبل محاسبه است.

الف- پاسخ مطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)p_j(n) \end{aligned} \quad \forall j, j \neq i \quad (6-5)$$

ب- پاسخ نامطلوب از محیط

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) \\ p_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \end{aligned} \quad \forall j, j \neq i \quad (7-5)$$

که در آن، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشند.

6- نتایج تجربی

در این بخش، نتایج بدست آمده از شبیه سازی پروتکل زمانبندی پیشنهادی در WSN ، ارائه می‌شود. نرم افزار مورد استفاده برای شبیه سازی نحوه عملکرد پروتکل $MCSP$. شبیه ساز $GloMoSim$ ^{۱۶} می‌باشد. در اینجا با انجام آزمایشاتی، انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه در پروتکل $MCSP$ ^{۱۷} به ازای تعداد همسایگان (سطح ارتباطی شبکه) مختلف مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج بدست آمده از MG مقایسه می‌شود. در تمام شبیه سازیهای صورت گرفته، تعداد حسگرهای موجود در شبکه حسگر (N) برابر ۱۲۱ می‌باشد. ابعاد شبکه نیز، ۷۵۰ متر در ۷۵۰ متر بوده و گره‌ها بصورت تصادفی در ناحیه مورد نظر پخش شده‌اند. شعاع حسی گره‌ها ۲۵۰ متر است. زمان کل شبیه سازی ۲۰ دقیقه بوده که این زمان به دوره‌های تناوب با طول $T = 1000000000$ نانو ثانیه تقسیم شده است. انرژی اولیه همه گره‌ها برابر ۵ ژول در نظر گرفته شده است. الگوریتم یادگیری تقویتی مورد استفاده حسگرها با روش L_{RP} بوده که در آن ضرایب a_{high} و a_{med} برابر ۰.۵ و a_{low} برابر ۰.۳ و b_{high} و b_{low} برابر ۰.۱ در نظر گرفته می‌شوند. همچنین تمامی حسگرها استراتژی خود در هر دوره زمانی را با روش چرخ رولت انتخاب می‌کنند. میزان انحراف معیار از بهره‌وری بهینه منابع ($\delta(t)$) برابر:

$$\delta(t) = A(t) - N\eta(t) \quad (1-6)$$

و اندازه کلی آن برای بهینگی (σ^2) برابر است با:

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=t_0}^{t_0+T} \delta(t)^2 \quad (2-6)$$

واقع اتوماتای هر حسگر بصورت یک *State-output Automata* در نظر گرفته می‌شود که خروجی آن معادل با وضعیت داخلی اش است. وضعیت داخلی اتوماتا (حسگر) در لحظه n ($\emptyset(n)$) با بردار احتمال اعمال اتوماتا $P(n)$ که در زیر آمده است نشان داده می‌شود،

$$P(n) \equiv \{p_1(n), p_2(n), \dots, p_r(n)\}$$

$$\sum_{i=1}^r p_i(n) = 1, \quad \forall n, \quad p_i(n) = \text{Prob}[\alpha(n) = \alpha_i] \quad (5-5)$$

لازم به ذکر است که در آغاز فعالیت شبکه حسگر بی‌سیم، احتمال اعمال اتوماتای هر کدام از حسگرها با هم برابر و مساوی $\frac{1}{r}$ می‌باشند (که r تعداد عملهای اتوماتا است). از آنجاییکه در پروتکل $MCSP$ پاسخ محیط شبکه به حسگرها یک پاسخ دودویی می‌باشد. لذا محیط شبکه حسگر را محیط مدل P ^{۱۸} در نظر می‌گیریم. بطوریکه $\beta_i(n)$ که پاسخ محیط به استراتژی α_i از حسگر و نشان‌دهنده گروه اقلیت در n مین تکرار شبکه می‌باشد، اگر چنانچه حسگر متعلق به گروه اقلیت باشد بعنوان پاسخ مطلوب^{۱۹} یا موفقیت و اگر حسگر متعلق به گروه اقلیت نباشد بعنوان پاسخ نامطلوب^{۲۰} یا شکست^{۲۱} در نظر گرفته می‌شود.

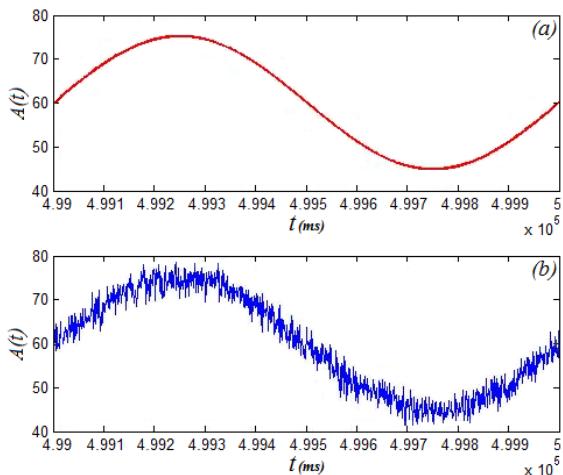
بطور کلی مکانیزم دادن پاداش و جریمه الگوریتم یادگیری تقویتی مورد استفاده در پروتکل زمانبندی $MCSP$ بصورت زیر است:

- اگر اتوماتای یادگیر تصادفی حسگر در تکرار n شبکه، یکی از اعمال خود مانند α_i را انتخاب کند و یک پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید ($Sensor_Status == Minority$)، احتمال عمل انتخاب شده خود ($P_i(n)$) را افزایش و احتمال سایر اعمالش را کاهش می‌دهد.

- اگر اتوماتای یادگیر تصادفی حسگر در تکرار n شبکه، یکی از اعمال خود مانند α_i را انتخاب کند و یک پاسخ $Sensor_Status \neq Minority$ نامطلوب از محیط دریافت نماید، احتمال عمل انتخاب شده خود ($P_i(n)$) را کاهش و احتمال سایر اعمالش را افزایش می‌دهد.

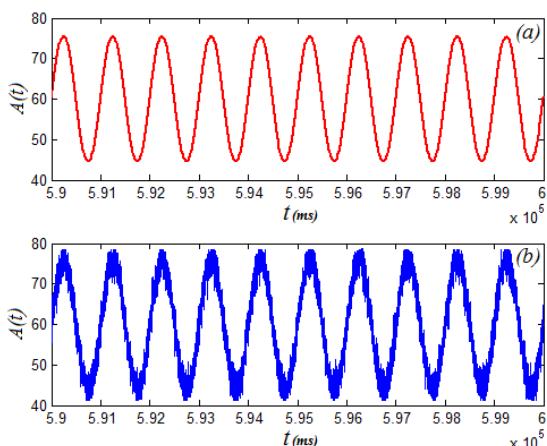
در هر حال، تغییرات به گونه‌ای صورت می‌گیرد که حاصل جمع ($P_i(n)$) همواره ثابت و مساوی یک باقی بماند. اگر در تکرار n شبکه عمل α_i توسط اتوماتای حسگر انتخاب شده باشد، سپس در تکرار $n+1$ شبکه خواهیم داشت:

1- آزمایش اول



نمودار 2: تغییرات در سطح ظرفیت منابع (a)، و انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه (b)، در یک قسمت از سریهای زمانی با $K = 2$ ، $\eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T)$ ، $T = 1000_{ms}$

نمودار 3 در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها را در شبکه ای با دو همسایه برای هر حسگر در طی چندین دوره تناوب متوالی نشان می دهد.

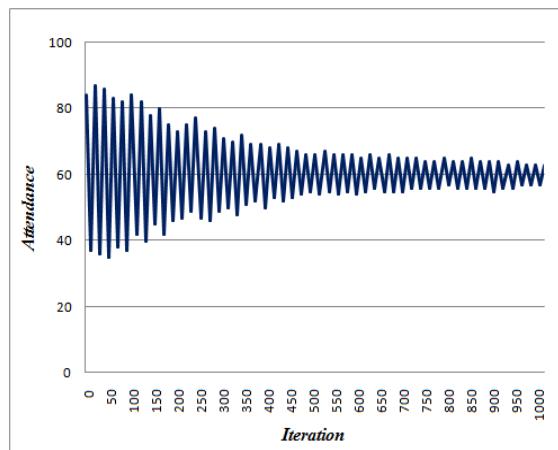


نمودار 3: تغییرات در سطح ظرفیت منابع (a)، و انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه (b)، در طی چندین سری زمانی متوالی با $K = 2$ ، $\eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T)$ ، $T = 1000_{ms}$

2- آزمایش دوم

در این مرحله، تعداد همسایگان هر حسگر برابر یک همسایه در نظر گرفته شده و سطح ظرفیت منابع موجود در ابتداء بطور ثابت، $2 / (N - I)$ می باشد. نمودار 4، میزان نوسانات ناشی از حضور حسگرها در شبکه را با داشتن یک همسایه در پروتکل MCSP نشان می دهد.

در این مرحله، تعداد همسایگان هر حسگر (K) برابر دو همسایه در نظر گرفته شده و سطح ظرفیت منابع موجود در ابتداء بطور ثابت، $2 / (N - I)$ می باشد. نمودار I ، میزان نوسانات ناشی از حضور حسگرها در شبکه را با داشتن دو همسایه در پروتکل MCSP نشان می دهد.



نمودار 1: میزان نوسانات حضور حسگرها در شبکه

با سطح ارتباطی $K = 2$ در پروتکل MCSP

حال در این مرحله از آزمایش، سطح ظرفیت منابع موجود در شبکه با گذشت زمان در حال تغییر در نظر گرفته می شود. در اینجا تغییرات در سطح ظرفیت منابع همراه با گذشت زمان، با معادله سینوسی زیر تعیین شده است که در آن $T = 1000_{ms}$ طول دوره تناوب (سری زمانی) می باشد.

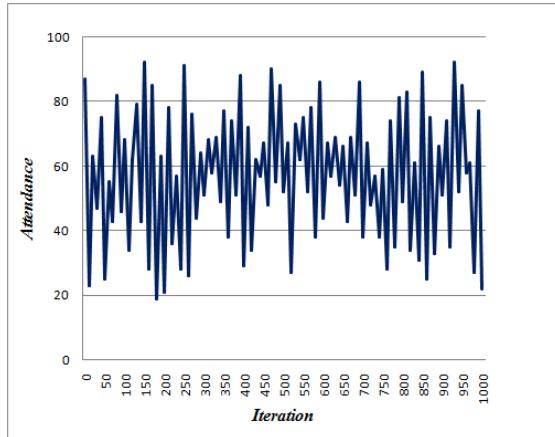
$$\eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T) \quad (3-6)$$

همچنین ظرفیت کل منابع موجود در شبکه در هر لحظه از زمان برابر است با:

$$L = N\eta(t) \quad (4-6)$$

نمودار 2، در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع بصورت سینوسی، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه، در طی یک دوره تناوب (499000_{ms} ، 500000_{ms}) با همسایه برای هر حسگر (سطح ارتباطی $K=2$) در پروتکل MCSP را نشان می دهد.

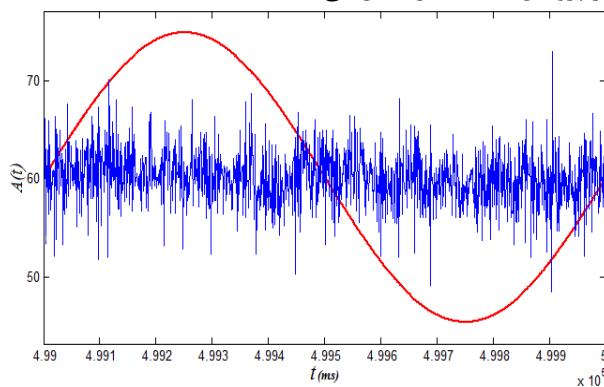
نashi از حضور حسگرها در شبکه را با داشتن چهار همسایه در پروتکل $MCSP$ نشان می‌دهد.



نمودار 6. میزان نوسانات حضور حسگرها در شبکه

با سطح ارتباطی $K = 4$ در پروتکل $MCSP$

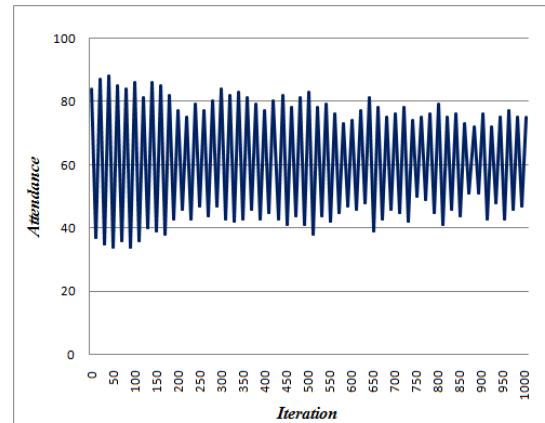
در این مرحله از آزمایش، سطح ظرفیت منابع موجود در شبکه با گذشت زمان در حال تغییر در نظر گرفته می‌شود. نمودار 7، در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع بصورت سینوسی، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه، در طی یک دوره تناوب (499000_{ms} , 500000_{ms}) با داشتن چهار همسایه برای هر حسگر (سطح ارتباطی $K = 4$) در پروتکل $MCSP$ را نشان می‌دهد.



نمودار 7: انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه در یک قسمت از سریهای زمانی با $K = 4$, $\eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T)$, $T = 1000_{ms}$

نتیجه گیری - 7

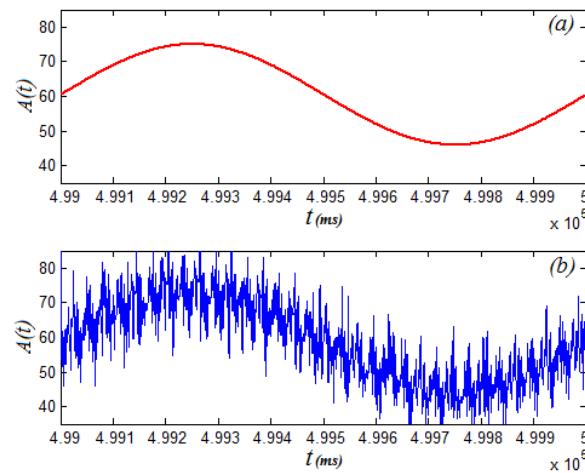
بطور کلی به ازاء تعداد همسایگان و سطح ارتباط شبکه ای متفاوت K بر طبق نمودارهای فوق، می‌توان نتایج زیر را بدست آورد.



نمودار 4. میزان نوسانات حضور حسگرها در شبکه

با سطح ارتباطی $K = 1$ در پروتکل $MCSP$

در این مرحله از آزمایش نیز، سطح ظرفیت منابع موجود در شبکه با گذشت زمان در حال تغییر در نظر گرفته می‌شود. نمودار 5 در قسمت (a) تغییرات در سطح ظرفیت منابع بصورت سینوسی، و در قسمت (b) انحراف معیار حضور حسگرها در شبکه، در طی یک دوره تناوب (499000_{ms} , 500000_{ms}) با داشتن یک همسایه برای هر حسگر (سطح ارتباطی $K = 1$) در پروتکل $MCSP$ را نشان می‌دهد.



نمودار 5: تغییرات در سطح ظرفیت منابع (a)، و انحراف معیار

حضور حسگرها در شبکه (b)، در یک قسمت از سریهای زمانی با

$K = 1$, $\eta(t) = 0.5 + 0.12 \sin(2\pi t / T)$, $T = 1000_{ms}$

- 3- آزمایش سوم

در این مرحله، تعداد همسایگان هر حسگر برابر چهار همسایه در نظر گرفته شده و سطح ظرفیت منابع موجود در ابتداء بطور ثابت، $2 / (N - 1)$ می‌باشد. نمودار 6، میزان نوسانات

در حقیقت می توان نتیجه گیری نمود که انحراف معیار نوسانات ناشی از حضور حسگرها در شبکه، در پروتکل *MCSNP* با سطح ارتباطی شبکه $K = 2$ مناسب بوده و منطبق بر نتایج بدست آمده از *MG* در سیستمهای چند عامله است.

مراجع

- [1] Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y. and Cayirci E., "A survey on sensor networks", in: *Proceedings of the IEEE Communication Magazine*, Vol. 40, pp. 102-114, August 2002.
- [2] Ilyas M., Mahgoub I., "Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems", in: *Proceedings of the CRC Press*, London, Washington, D.C., 2005.
- [3] Yao Y., Giannakis G. B., "Energy-Efficient Scheduling for Wireless Sensor Networks", *IEEE Transactions on Communications*, VOL. 53, NO. 8, August 2005.
- [4] Mills K. L., "A Brief Survey of Self-organization in Wireless Sensor Networks", *Wireless Communications and Mobile Computing*, Published online in Wiley InterScience, National Institute of Standards and Technology, www.interscience.wiley.com, DOI:10.1002/wcm.499, *Wirel. Commun. Mob. Comput*, vol 7, pp. 823-834, May 2007.
- [5] Ha R. W., Ho P. H., Shen X. S., Zhang J., "Sleep scheduling for wireless sensor networks via network flow model", Elsevier B.V., doi:10.1016/j.comcom.2006.02.009, 2006.
- [6] Schaeffer S. E., Clemens J.P., Hamilton P., "Decision Making in a Distributed Sensor Network", Helsinki University of Technology, P.O.Box 5400, FI-02015 HUT, Finland, August 6, 2004.
- [7] Banerjee I., Das S., Rahaman H., Sikdar B. K., "An Energy Efficient Monitoring of Ad-Hoc Sensor Network with Cellular Automata", *IEEE Conference on Systems- Man and Cybernetics*, Taipei, Taiwan, ISBN 1-4244-0100-3, October 8-11 2006.
- [8] Galstyan A., Kolar S., Lerman K., "Resource Allocation Games with Changing Resource Capacities", ACM, Supported by the Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) Under Contracts Number F30602-00-2-0573, 2002.
- [9] Savit R., Brueckner S. A., Parunak H. V. D., Sauter J., "Phase Structure of Resource Allocation Games", University of Michigan- Ann Arbor- MI- 48109, PACS nos. 89.75-k, 2001.
- [10] Challet D., Zhang Y. C., "On the Minority Game : Analytical and Numerical Studies", Institut de Physique Théorique- Université de Fribourg- 1700 Fribourg, arXiv:cond-mat/9805084 v2 8, May 1998.
- [11] Oliva E., Viroli M., Omicini A., "Simulation of Minority Game in TuCSoN", Alma Mater Studiorum- Università di Bologna via Venezia 52, 47023 Cesena, Italy, 2005.
- [12] Sisi-Aho M., Saramaki J., Kaski K., "Invisible Hand Effect in a Evolutionary Minority Game Model", Elsevier Science, Reprinted with Permission From *Physica A* 347 (2005) 639-652, 2005.
- [13] Sherrington D., Coolen A. C. C., Heimel J. A. F., "Stochastic Decision-making in the Minority Game", Elsevier Science B.V., 0378-4371/02/\$ - See Front Matter, PII: S0378-4371(02)01158-5, 2002.

- اگر $2 < K$ باشد، در این حالت شبکه به یک ساختار غیر قابل پیشرفت و ساکن می رسد و حسگرها نمی توانند با گذشت زمان خود را بخوبی با شرایط سیستم و تغییرات در سطوح ظرفیت منابع آن وفق دهند و انحراف معیار حضور آنها در شبکه زیاد خواهد بود. لذا حسگرها نمی توانند به بهره وری موثری از منابع دست یابند.

- اگر $2 = K$ باشد، شبکه در این حالت نشان می دهد که به یک حالت خود ساختار تمایل پیدا نموده است، بطوریکه حسگرها با گذشت زمان خود را بخوبی با شرایط سیستم و تغییرات در سطوح ظرفیت منابع آن وفق داده و رفته رفته با رسیدن به یک هماهنگی، انحراف معیار حضور آنها در شبکه کاهش می یابد. یعنی حسگرها از تغییرات در سطوح ظرفیت منابع بطور موثری پیروی می کنند. البته در آغاز کار شبکه، نوسانات شدیدی از حضور حسگرها دیده می شود و از اینرو بهره وری منابع پایین است. اما بعد از گذشت مدت زمان کوتاهی حسگرها خود را با شرایط تطبیق داده و شدت نوسانات کاهش می یابد. در نتیجه به بهره وری موثری از منابع دست می یابند. در این حالت حتی هنگامیکه در سطوح ظرفیت منابع شبکه تغییرات نسبتاً زیادی بوجود آید، همچنان حسگرها به بهره وری بسیار موثری از منابع دست خواهند یافت.

- اگر $2 > K$ باشد، در این حالت پویایی سیستم در رسیدن به هماهنگی بین حسگرها، بصورت کاملاً بی نظم و آشفته در خواهد آمد. یعنی با افزایش تعداد همسایگان هر حسگر، اثر محاوره ای ^{viii} بیشتری بین آنها در شبکه ایجاد می شود و رفتار کلی سیستم تائیر پذیری بیشتری از رفتارهای جزئی و محلی پیدا نموده، بطوریکه نه تنها حسگرها نمی توانند به یک مرحله ای از هماهنگی دست یابند، بلکه به دلیل دریافت ورودی از همسایگان متعدد برای هر حسگر، ارتباطات محلی آنها بر ارتباطات کلی شبکه غلبه نموده و تغییرات در سطوح ظرفیت منابع را احساس نمی کنند. در نتیجه حسگرها یک رفتار آشوبگون ^{ix} را از خود نشان داده و نمی توانند به بهره وری موثری از منابع دست یابند.

-
- ^{xviii} *Manual*
- ^{xix} *Cellular Automata*
- ^{xx} *Reinforcement Learning*
- ^{xxi} *Synchronous*
- ^{xxii} *Discrete*
- ^{xxiii} *Ant Colony Optimization*
- ^{xxiv} *Traveling Salesman Problem*
- ^{xxv} *Standard MG*
- ^{xxvi} *Odd*
- ^{xxvii} *Minority Group*
- ^{xxviii} *Generalized MG*
- ^{xxix} *Evolutionary MG*
- ^{xxx} *Multi-Choices MG*
- ^{xxxi} *Hierarchical MG*
- ^{xxxii} *Stationary Environment*
- ^{xxxiii} *Sensory Radius*
- ^{xxxiv} *Neighbour*
- ^{xxxv} *Mobility*
- ^{xxxvi} *Alive*
- ^{xxxvii} *Resident*
- ^{xxxviii} *Dead*
- ^{xxxix} *Coverage*
- ^{xl} *Threshold*
- ^{xli} *Roulette Wheel*
- ^{xlii} *Ranking*
- ^{xlii} *Tournament*
- ^{xliv} *Stationary Environment*
- ^{xlv} *non-Stationary Environment*
- ^{xlivi} *Arbitrary Capacity*
- ^{xlvii} *Minority Game Monitoring Protocol*
- ^{xlviii} *Payload*
- ^{xlix} *Broadcast*
- ^l *Stochastic Learning Automata*
- ^{li} *Actions Probability Vector*
- ^{lii} *P-model*
- ^{liii} *Favorable*
- ^{liv} *Unfavorable*
- ^{lv} *Failure*
- ^{lvii} *Global Mobile information system Simulator*
- ^{lviii} *Standard Deviation*
- ^{lviii} *Interactive*
- ^{lix} *Chaotic*
- [14] Wang T., Liu J., Jin X., "Minority Game Strategies for Dynamic Multi-Agent Role Assignment", Department of Computer Science Hong Kong Baptist University, 2003.
- [15] Izumi K., Yamashita T., Kurumatani K., "Reward Mechanism of Agent Types in Minority Games", <http://www.carc.aist.go.jp/~kiyoshi/index.html>, Japan, 2003.
- [16] Moro E., "The Minority Game: An Introductory Guide", Nova Science Publishers, Inc., To Appear in Advances in Condensed Matter and Statistical Physics, Edited by Elka Korutcheva and Rodolfo Cuerno, ISBN 1-59033-899-5, 2004.
- [17] Meybodi M. R., Beygi H., Taherkhani M., "Cellular Learning Automata", In Proceedings of 6th Annual International Computer Society of Iran Computer Conference CSICC2001, Isfahan, Iran, pp. 153-163, 2001.
- [18] Meybodi M. R., Beigy H., Taherkhani M., "Cellular Learning Automata and Its Applications", Journal of Science and Technology, University of Sharif, No. 25, pp.54-77, Autumn/Winter 2003-2004.
- [19] Thathachar M. A. L., "Varieties of Learning Automata: An Overview", IEEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics—PART B: Cybernetics, Vol. 32, NO. 6, December 2002.
- [20] Beigy H., Meybodi M. R., "A Mathematical Framework for Cellular Learning Automata", Advances on Complex Systems, Vol. 7, No. 3, pp. 1-25, 2004.
- [21] Meybodi M. R., Kharazmi M. R., "Cellular Learning Automata and Its Application to Image Processing", Journal of Amirkabir, Vol. 14, No. 56A, pp. 1101-1126, 2004.
- [22] Esnaashari M., Meybodi M. R., "Dynamic Point Coverage in Wireless Sensor Networks: A Learning Automata Approach", Springer Verlag, Proceedings of 13th International CSI Computer Conference of Iran, Kish Island, Iran, pp. 758-762, 2008.
-
- ⁱ *Ad Hoc Networks*
- ⁱⁱ *Scheduling*
- ⁱⁱⁱ *Minority Game*
- ^{iv} *Cellular Learning Automata*
- ^v *Lifetime*
- ^{vi} *Sensor*
- ^{vii} *Minority game and Cellular learning automata based Scheduling Protocol*
- ^{viii} *Arthur*
- ^{ix} *Strategy*
- ^x *Multi Agent System*
- ^{xi} *Learning Automata*
- ^{xii} *Backbone*
- ^{xiii} *Routing*
- ^{xiv} *Multi Hop*
- ^{xv} *Autonomous*
- ^{xvi} *Sink*
- ^{xvii} *Random*