



گروه مهندسی کامپیوتر

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد « MSC »

گرایش: نرم افزار

عنوان:

**روشی برای کنترل ازدحام در شبکه های حسگر بیسیم با استفاده از
آتاماتای یادگیر به منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره های میانی**

گروه مهندسی کامپیوتر

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد « MSC »

گرایش: نرم افزار

عنوان :

**روشی برای کنترل ازدحام در شبکه های حسگر بیسیم با استفاده از
آتاماتای یادگیر به منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره های میانی**

تائیدیه پایان نامه توسط هیأت محترم داوران (پس از تائید پایان نامه امضاء گردند)

امضا	تاریخ	نام و نام خانوادگی استاد راهنما: دکتر فراز فروتن
امضا	تاریخ	نام و نام خانوادگی استاد مشاور:
امضا	تاریخ	نام و نام خانوادگی استاد داور ۱:



تعهدنامه اصالت رساله دکتری یا پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی

اینجانب زهرا ظاهر دباغ دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مهندسی نرم افزار کامپیوتر که در تاریخ..... از پایان نامه / رساله خود تحت عنوان " روشی برای کنترل ازدحام در شبکه های حسگر بیسیم با استفاده از آتاماتای یادگیر به منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره های میانی " با کسب نمره..... و درجه..... دفاع نموده ام بدین وسیله متعهد می شوم:

۱ - این پایان نامه / رساله حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و....) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام.

۲ - این پایان نامه / رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پائین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و مؤسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳ چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم چاپ کتاب، ثبت اختراع، و.... از این پایان نامه را داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزه های مربوطه را اخذ نمایم.

۴ - چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می پذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچ گونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی

تاریخ و امضاء



معاونت پژوهش و فن آوری

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

بیایید از خداوند بجهان و اعتقاد به اینکه عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به منظور پاداش مقام بلند دانش و پژوهش و نظریه اهمیت جایگاه دانشگاه در اعتلای فرهنگ و تمدن بشری مادی و انشجویان و احصاء هینت علمی و احد های دانشگاه آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تخلفی نکنیم:

- ۱- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از حرکت پنهان سازی حقیقت
- ۲- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران و پژوهشگران (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق
- ۳- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه بهکاران پژوهش
- ۴- اصل منفع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن پیشبرد و توسعه کشور در کلیه مراحل پژوهش
- ۵- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از حرکت جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار
- ۶- اصل رازداری تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد سازمان ها و کشور و کلیه افراد و ستاد های مرتبط با تحقیق
- ۷- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ها و حرمت ها در انجام تحقیقات و رعایت جانب تقد و خودداری از حرکت حرمت شکنی
- ۸- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و اشاعه نتایج تحقیقات و انتقال آن به بهکاران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد
- ۹- اصل برات: التزام به برات جویی از حرکت رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به شبه های غیر علمی می آلائند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده.....	۱
فصل اول: کلیات تحقیق	
۱-۱- مقدمه.....	۳
۱-۲- بیان مسئله.....	۴
۳-۱- اهداف پژوهش.....	۶
۱-۴- جنبه‌های نوآوری تحقیق.....	۶
۱-۵- ساختار پایان‌نامه.....	۷
فصل دوم: مبانی تحقیق	
۲-۱- شبکه‌های حسگر بیسیم.....	۹
۲-۱-۱- واحد حسگر.....	۹
۲-۱-۲- واحد پردازش.....	۱۰
۲-۱-۳- واحد ارتباطات.....	۱۰
۲-۱-۴- واحد توان.....	۱۰
۲-۱-۵- کاربردهای شبکه.....	۱۰
۲-۲- تعریف ازدحام و دلایل به وجود آمدن آن.....	۱۱
۲-۲-۱- نرخ داده خیلی بالای این شبکه‌ها.....	۱۲
۲-۲-۲- تأثیر قابل توجه ازدحام در این شبکه‌ها.....	۱۲
۲-۳- پروتکل‌های لایه حمل برای شبکه‌های حسگر بیسیم.....	۱۴
۲-۳-۱- پروتکل‌های کنترل ازدحام.....	۱۴
۲-۴- چالش‌ها و فضای طراحی.....	۱۵

۱۵.....	۲-۴-۱- محدودیت منابع.....
۱۶.....	۲-۴-۲- الگوهای ترافیک.....
۱۶.....	۲-۴-۳- معماری شبکه.....
۱۷.....	۲-۴-۴- معیارهای عملکرد جایگزین.....
۱۷.....	۲-۴-۵- افزودنی داده.....
۱۸.....	۲-۵- مبانی در آتاماتای یادگیری.....

فصل سوم: پیشینه تحقیق

۲۱.....	۳-۱- کنترل ازدحام.....
۲۲.....	۳-۱-۱- فاز تشخیص ازدحام.....
۲۳.....	۳-۱-۲- فاز اعلان ازدحام.....
۲۴.....	۳-۱-۳- فاز تنظیم نرخ.....
۲۴.....	۳-۲- نیاز برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم.....
۲۶.....	۳-۳- روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم.....
۲۷.....	۳-۳-۱- روش شروع آهسته.....
۲۹.....	۳-۳-۲- پروتکل کنترل ازدحام منصفانه (CCF).....
۲۹.....	۳-۳-۳- پروتکل Sen TCP.....
۳۰.....	۳-۳-۴- پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر اولویت (PCCP).....
۳۰.....	۳-۳-۵- روش ارسال مطمئن با نرخ کنترل‌شده (RCRT).....
۳۱.....	۳-۳-۶- روش ارسال مطمئن نامتقارن (ART).....
۳۱.....	۳-۳-۷- کشف ازدحام و جلوگیری از آن (CODA).....
۳۲.....	۳-۳-۸- پروتکل کنترل ازدحام سنجش داده‌ها (DCCP).....
۳۳.....	۳-۳-۹- پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر صف حمایت اولیه (QCCP- PS).....
۳۵.....	۳-۳-۱۰- طرح کنترل ازدحام آگاه از تناسب در شبکه‌های حسگر بیسیم (FACC).....

۳-۴- پیشینه تحقیق.....	۳۶
۳-۵- راهکاری دیگر برای کنترل ازدحام.....	۴۰
۳-۵-۱- کشف ازدحام.....	۴۰
۳-۵-۲- اعلان ازدحام.....	۴۱
۳-۵-۳- ارزیابی این راهکار.....	۴۲

فصل چهارم: ارائه روش پیشنهادی

۴-۱- فلوچارت کلی.....	۴۶
۴-۲- بیان اهداف.....	۴۶
۴-۳- چالش.....	۴۷
۴-۴- روش پیشنهادی.....	۴۷
۴-۵- کلیات روش پیشنهادی.....	۴۸
۴-۶- پوشش جزئی.....	۴۸
۴-۷- اهداف و مزایای کار.....	۵۰
۴-۸- فاز آموزش.....	۵۲
۴-۸-۱- هدف اصلی فاز یادگیری.....	۵۳
۴-۹- فاز پوشش جزئی.....	۵۸

فصل پنجم: ارزیابی و مقایسه

۵-۱- پارامترهای شبیه سازی.....	۶۲
۵-۱-۱- صحت و پیچیدگی زمانی.....	۶۵
۵-۱-۲- صحت روش پیشنهادی.....	۶۵
۵-۱-۳- تجزیه و تحلیل پیچیدگی زمانی.....	۶۶
۵-۱-۴- اجرا با پارامترهای مختلف.....	۶۷
نتیجه گیری.....	۷۲

۷۲.....	کارهای آتی.....
۷۴.....	فهرست منابع.....
۷۷.....	چکیده لاتین.....

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۴۲	جدول (۳-۱): پارامترهای شبیه‌سازی
۵۰	جدول (۴-۱): نمادها و تعاریف.....
۶۳	جدول (۵-۱): پارامترهای شبیه‌سازی.....

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۲-۱): ارتباط بین آتاماتای یادگیری و محیط تصادفی. آتاماتای یادگیری برای انتخاب مطلوب اقدامات $\alpha(n)$ بر اساس سیگنال تقویت $\beta(n)$ ارائه شده توسط محیط است.	۱۸
شکل (۳-۱): توپولوژی مسیریابی مبتنی بر درخت.	۲۵
شکل (۳-۲): تأثیر قیف مانند ترافیک روی شبکه‌های حسگر بیسیم.	۲۶
شکل (۳-۳): عدم تناسب سرعت فرستنده و گیرنده.	۲۷
شکل (۳-۴): معماری DCCP.	۳۳
شکل (۳-۵): معماری QCCP-PS.	۳۴
شکل (۴-۱): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی.	۵۱
شکل (۴-۲): مثال نمونه‌ای از انتخاب گره‌ها در روش پیشنهادی. دو مرحله اصلی الگوریتم ما برجسته شده است. نقاطی که در فاز یادگیری انتخاب شده‌اند سبز رنگ هستند، درحالی‌که آن‌هایی که در مرحله پوشش جزئی قرار دارند، قرمز رنگ می‌باشند.	۵۶
شکل (۴-۳): فلوچارت فاز آموزش.	۵۶
شکل (۴-۴): فلوچارت فاز پوششی.	۵۷
شکل (۴-۵): فلوچارت فاز آموزش.	۵۸
شکل (۴-۶): شبه کد FormPartialCoverage.	۵۹
شکل (۴-۷): فلوچارت فاز پوششی.	۶۰
شکل (۵-۱): محیط شبیه‌سازی.	۶۳
شکل (۵-۲): میزان همپوشانی هر کدام از حسگرها.	۶۵
شکل (۵-۳): میزان همپوشانی با درصد های ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪.	۶۹

فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار (۳-۱): روند کنترل ازدحام با الگوریتم شروع آهسته (هول، ۲۰۰۴).....	۳۱
نمودار (۳-۲): مقایسه مصرف انرژی (تنن‌بام، ۱۳۸۶).....	۴۷
نمودار (۳-۳): میانگین تأخیر (تنن‌بام، ۱۳۸۶).....	۴۸
نمودار (۵-۱): نتیجه اجرای شبیه‌سازی با درصد همپوشانی ۴۰٪ و ۶۰٪ و ۸۰٪.....	۶۴
نمودار (۵-۲): زمان اجرای هر سه الگوریتم.....	۶۷
نمودار (۵-۳): میزان مصرف انرژی با درصد همپوشانی ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪.....	۶۸
نمودار (۵-۴): مصرف انرژی با تعداد تکرار ۳۰۰.....	۷۰

چکیده

شبکه‌های حسگر بیسیم جزء مهم‌ترین فن‌آوری‌های مورد استفاده در قرن حاضر هستند. یک شبکه حسگر، متشکل از تعداد زیادی گره‌های حسگر است که در یک محیط به‌طور گسترده پخش شده‌اند و لزوماً مکان قرار گرفتن گره‌های حسگری، از قبل تعیین شده و مشخص نیست. ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نه تنها باعث گم شدن بسته‌ها می‌شود، بلکه باعث هدر رفتن انرژی باتری نیز می‌گردد. در این پروژه روشی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از آتاماتای یادگیر به‌منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره‌های میانی ارائه شده است. روش پیشنهادی از الگوریتم‌های پیشرفته، بهینه‌تر عمل می‌نماید. درواقع، پیچیدگی زمانی (زمان اجرا) و طول عمر شبکه در تمام شرایطی که در نظر گرفته شده است، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی بهتر است. علاوه‌براین، هنگامی که محدودیت‌های پوشش را سخت‌تر می‌کنیم، عملکرد روش پیشنهادی نسبت به سایر راه‌حل‌های ارزیابی، نتایج بهتری دارد. بر این اساس، سود حاصل از استفاده از آتاماتای یادگیرنده به‌جای الگوریتم‌های دیگر، هنگام افزایش شعاع حس Rs بیشتر مشخص می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادگیرنده می‌توانند بیشتر در شبکه‌های حسگر مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: شبکه‌های حسگر بیسیم، الگوریتم‌های یادگیرنده، کنترل ازدحام

فصل اول:

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بیسیم^۱ در زمره‌ی مهم‌ترین فن‌آوری‌های قرن ۲۱ شناخته شده‌اند. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌های مدارهای با توان پایین، تکنولوژی‌های رادیویی و سیستم‌های الکترومکانیکی^۲، این شبکه‌ها براساس یکی از نمونه‌های جمع‌آوری اطلاعات که بر پایه استفاده از تعداد زیادی گره‌های^۳ حسگر است، مورد توجه قرار گرفت (امیری، ۱۳۹۵).

حسگرهای بیسیم نسبت به حسگرهای سیمی مرسوم از مزایای قابل توجهی برخوردارند. زیرا نه تنها موجب کاهش هزینه و تأخیر^۴ در چیدمان می‌شوند، بلکه برای هر محیطی خصوصاً محیط‌هایی که استفاده از شبکه‌های حسگر مرسوم در آن‌ها غیرممکن است؛ مانند زمین‌های غیرقابل سکونت، مناطق جنگلی، فضای خارج از جو زمین و یا اقیانوس‌های عمیق به کار می‌روند (تن‌بام، ۱۳۸۶).

از ویژگی‌های بارز آن اندازه کوچک، قیمت مناسب و کاربردهای متنوعی است که فراهم آورده است. طراحی چنین شبکه‌هایی، چالش‌ها و مشکلاتی نیز دارد که ازدحام^۵ در این‌گونه شبکه‌ها در زمره‌ی یکی از آن‌هاست. متناسب نبودن تعداد بسته‌های ارسالی و ظرفیت زیرشبکه‌ی دریافتی سبب ازدحام می‌شود که این امر، اتلاف بسته و عدم دسترسی به کانال را در پی خواهد داشت (رضایی، ۱۳۸۸).

این تکنولوژی مخابرات بی‌سیم به کمک حسگرهای کوچک، ارزان‌قیمت و هوشمند قادر هستند یک ناحیه فیزیکی و شبکه‌بندی شده با استفاده از لینک‌های بیسیم و اینترنت فراهم کنند. این حسگرهای کوچک که توانایی اعمالی چون دریافت اطلاعات مختلف محیطی بر اساس نوع حسگر، پردازش و ارسال آن

¹ Wireless Sensor Network

² Microelectromechanical Systems

³ Nodes

⁴ Reduce costs & delays

⁵ Congestion

اطلاعات را دارند، موجب پیدایش ایده‌ای برای ایجاد و گسترش شبکه‌های موسوم به شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده‌اند. یک شبکه حسگر، متشکل از تعداد زیادی گره‌های حسگر است که در یک محیط به‌طور گسترده پخش شده‌اند و لزوماً مکان قرار گرفتن گره‌های حسگری، از قبل تعیین شده و مشخص نیست. چنین خصوصیاتی، این امکان را فراهم می‌آورد که بتوانیم آن‌ها را در مکان‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس رها کنیم؛ از طرف دیگر این بدان معنی است که پروتکل‌ها و الگوریتم‌های شبکه‌های حسگرها، باید دارای توانایی‌های خودساماندهی باشند. ازدحام در این نوع شبکه‌ها نه تنها باعث گم شدن بسته‌ها می‌شود، بلکه باعث هدر رفتن انرژی باطری نیز می‌گردد. بنابراین با بالا بردن عمر گره‌های حسگر، باید ازدحام را کنترل نمود (رضایی، ۱۳۸۹).

در این پایان‌نامه روشی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از آتاماتای یادگیر به‌منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره‌های میانی ارائه شده است.

۲-۱- بیان مسئله

در یک شبکه حسگر بی‌سیم، ازدحام تأثیر مستقیمی روی بازده انرژی و کیفیت خدمات سرویس‌دهی دارد. برای مثال ازدحام می‌تواند منجر به سرریز شدن بافر^۱ شود که تأخیر انتشاری در صف را به دنبال داشته و موجب از دست دادن بسته‌های بیشتر می‌گردد. از دست دادن بسته‌ها نه تنها می‌تواند قابلیت اطمینان و کیفیت خدمات سرویس‌دهی را کم اعتبار کند، بلکه می‌تواند انرژی محدود شده یک گره را نیز هدر دهد. ازدحام همچنین می‌تواند به کارگیری لینک را کاهش دهد. بنابراین ازدحام باید به طرز چشمگیری کنترل شود (رضایی، ۱۳۸۹).

برای این موضوع سه مکانیسم تشخیص ازدحام، ابلاغ ازدحام، تخفیف و اجتناب از ازدحام مطرح می‌باشند (رضایی، ۱۳۸۹).

^۱ Buffer

تشخیص ازدحام^۱: در TCP^۲، ازدحام مشاهده می‌شود یا در گره‌ها براساس اتمام زمان پاسخ‌دهی یا ارسال پیام تصدیق اضافی فهمیده می‌شود. یک مکانیسم رایج استفاده از طول صف، زمان سرویس بسته یا نسبت زمان سرویس بسته به زمان ورودی بسته در گره‌های میانی است (رضایی، ۱۳۸۹).

ابلاغ ازدحام: بعد از تشخیص ازدحام، پروتکل لایه حمل، نیاز دارد تا اطلاعات ازدحام را از گره‌هایی که دچار ازدحام شده‌اند به گره‌های دیگر یا گره‌های منبعی که موجب ازدحام شده‌اند، انتشار دهد. روش‌های این اطلاع‌رسانی به دو نوع ابلاغ صریح و ابلاغ تلویحی تقسیم‌بندی می‌شوند. ابلاغ ازدحام صریح از پیام کنترلی خاص، جهت اطلاع دادن گره‌های حسگر درگیر اطلاعات ازدحام استفاده می‌کند. در مقابل ابلاغ ازدحام تلویحی به هیچ پیام کنترلی اضافی برای انتشار اطلاعات ازدحام نیاز ندارد، بنابراین بازده انرژی بهبودیافته است (رضایی، ۱۳۸۹).

تخفیف یا تقلیل از ازدحام و روش‌های اجتناب از آن: دو روش کلی برای کاهش و اجتناب از ازدحام وجود دارد: مدیریت منابع شبکه و کنترل ترافیک. مدیریت منابع شبکه سعی دارد که منابع شبکه را افزایش دهد تا بتواند از بروز ازدحام در زمان وقوع، تا حدود زیادی جلوگیری کند. برخلاف روش فوق، روش کنترل ترافیک از طریق تنظیم نرخ ترافیک در گره‌های منبع یا گره‌های میانی، بر کنترل ازدحام دلالت دارد. این روش برای منابع شبکه‌ای ذخیره‌شده مفید است و زمانی که تنظیم دقیق منابع شبکه دشوار باشد، عملی‌تر و کاراتر خواهد بود. اکثر پروتکل‌های کنترل ازدحام موجود به این نوع برمی‌گردند. مطابق با رفتار کنترلی دو روش عمومی برای کنترل ترافیک در شبکه‌های حسگر بیسیم وجود دارد: انتها به انتها و پرسش به پرسش. کنترل انتها به انتها می‌تواند تنظیم نرخ دقیق کنترل را در هر گره منبع انجام دهد و از این‌رو طراحی پروتکل در گره‌های میانی را آسان کند. در مقابل روش کنترل ازدحام پرسش به پرسش، پاسخ سریع‌تری دارد (رضایی، ۱۳۸۹).

مهم‌ترین تفاوت‌های شبکه‌های سنتی و شبکه‌های حسگر بیسیم را می‌توان در الگوی ترافیکی آن‌ها مشاهده نمود. در بیشتر شبکه‌های سنتی ارتباط نظیر به نظیر حکم‌فرما است. در صورتی که در شبکه‌های

^۱ Congestion detection

^۲ The Transmission Control Protocol

حسگر بی سیم‌ها، ارتباط چند به یک متداول است. این ارتباط به گونه‌ای است که داده، از چندین گره حسگر به یک ناظر به‌طور پیوسته یا در پاسخ به پرسش یا رخدادی ارسال می‌شود. اگر در یک گره میانی، نرخ که گره بسته‌ها را دریافت می‌کند با نرخ که آن بسته‌ها را انتقال می‌دهد برابر نباشد، مشکلات و دشواری‌های عملیاتی از قبیل تصادم، ازدحام، حذف بسته و تأخیر رخ می‌دهد. روش پیشنهادی تمرکز روی این الگوی ترافیکی نموده و سعی در کنترل ازدحام در گره‌های میانی، در مسیر چند به یک انتقال داده‌ها را دارد. حال با توجه به مشکل اساسی شبکه‌های حسگر بی‌سیم که وجود ازدحام به خاطر محدودیت انرژی می‌باشد و این امر نه تنها باعث گم شدن بسته‌ها می‌شود، بلکه موجب هدر رفتن انرژی نیز می‌گردد. لذا برای حل این مشکل، یک روش مبتنی بر آتاماتای یادگیر پیشنهاد خواهد شد که زمان سرویس‌دهی بسته را تا حدی کنترل می‌کند. در روش پیشنهادی، آتاماتا در گره‌های حسگر و گره‌های میانی مختلف قرار گرفته و با محیط خود تعامل می‌نماید، تا طبق یادگیری که از قبل داشته است بتواند یک جواب بهینه را در هر بازه زمانی به دست آورد و موجب کاهش نرخ بسته‌های گم شده در گره میانی و میزان انرژی مؤثر در شبکه حسگر شود.

۱-۳- اهداف پژوهش

- استفاده از سیستم آتاماتای یادگیری در جهت کاهش مصرف انرژی
- کمک به ارائه‌دهندگان سرویس شبکه بی سیم
- استفاده از سیستم آتاماتای یادگیری در جهت بهبود عملکرد و بهره‌وری شبکه‌های بی سیم

۴-۱- جنبه‌های نوآوری تحقیق

- ✓ استفاده از آتاماتای یادگیرنده.
- ✓ استفاده از تکنیک خواب و بیدار.
- ✓ استفاده از ضریب فاصله جهت بالا بردن سطح پوششی با تعداد حسگر کمتر.

۵-۱- ساختار پایان نامه

در فصل دوم به بررسی شبکه‌های حسگر بیسیم پرداخته شده است، فصل سوم به گردآوری اطلاعات در زمینه ارتباط سیستم آتاماتای یادگیر و کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم اختصاص دارد، در فصل چهارم به کار بردن شیوه مدنظر و در فصل پنجم انجام شبیه‌سازی، ارزیابی و مقایسه پایان‌نامه قرار داده شده است و نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی بیان می‌گردد.

فصل دوم:

مبانی تحقیق

زندگی، امروزه بدون ارتباطات بی سیم قابل تصور نیست. چرا که پیشرفت تکنولوژی CMOS و ایجاد مدارهای کوچک و کوچکتر باعث شده است تا استفاده از مدارهای بی سیم در اغلب وسایل الکترونیکی امروزه ممکن شود. در این فصل، مبانی نظری شبکه‌های حسگر بی سیم بیان می‌گردد.

۱-۲- شبکه‌های حسگر بی سیم

یک شبکه حسگر بی سیم در حالت کلی از یک یا چند ایستگاه اصلی و ده‌ها یا هزاران گره‌های حسگر پراکنده شده در فضای فیزیکی تشکیل شده است. این گره‌ها می‌توانند اطلاعات فیزیکی را حس کنند، اطلاعات حس شده را پردازش کنند و اطلاعات پردازش شده را به ایستگاه اصلی گزارش دهند. ایستگاه اصلی می‌تواند اطلاعات را استخراج کند و حتی رفتار گره‌های حسگر را کنترل کند. یک شبکه حسگر می‌تواند برای رخدادهای نمایش و جمع‌آوری داده‌ها در بعضی محیط‌های خاص که استفاده از دیگر شبکه‌ها دشوار یا هزینه‌بر است، مورد استفاده قرار گیرد. هر گره حسگر شامل یک میکروکنترلر کوچک منحصربه‌فرد است که با حسگرهای دیگر و اهداف شبکه متناسب هستند. این گره‌های حسگر ارزان قیمت، چندمنظوره با توان پایین، از نظر ابعاد کوچک و از قابلیت حسگری برخوردارند. اجزای اصلی این حسگرها شامل واحد حسگر، واحد پردازش، واحد ارتباطات و واحد توان می‌باشد (صحرانشین، ۱۳۹۵).

۱-۱-۲- واحد حسگر

این واحد از یک یا چند حسگر و مبدل آنالوگ به دیجیتال ساخته شده است. مهم‌ترین هدف این واحد، حس کردن یا اندازه‌گیری داده‌های فیزیکی از ناحیه هدف است (صحرانشین، ۱۳۹۵).

۲-۱-۲- واحد پردازش

این پردازشگر معمولاً از خانواده‌های میکروپروسسور، میکروکنترلر یا FPGA^۱ ها می‌باشند. همچنین این واحد به ذخیره‌سازی احتیاج دارد که معمولاً به‌طور گسترده از Flash memory به علت قیمت مناسب و ظرفیت ذخیره‌سازی استفاده می‌شود (صحرانشین، ۱۳۹۵).

۲-۱-۳- واحد ارتباطات

انواع مختلف شبکه حسگرها از سه نوع مخابرات نوری، مادون قرمز و فرکانس رادیویی تشکیل شده‌اند. معمولاً فرکانس رادیویی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیاز به یک آنتن دارد (صحرانشین، ۱۳۹۵).

۲-۱-۴- واحد توان

مصرف توان، یکی از ضعف‌های اصلی شبکه‌های حسگر می‌باشد؛ چرا که برای تأمین توان سیستم به‌منظور راه‌اندازی تمام اجزاء موجود سیستم، به باتری نیاز است (صحرانشین، ۱۳۹۵).

۲-۱-۵- کاربردهای شبکه

حسگرها می‌توانند برای آشکارسازی یا نمایش متنوع پارامترهای فیزیکی، با شرایط مختلف از جمله: نور یا صدا، رطوبت، فشار، دما، ترکیب خاک، کیفیت آب و هوا، مورد استفاده قرار بگیرند (تنن‌بام، ۱۳۸۶). حسگرهای بیسیم نسبت به حسگرهای سیمی مرسوم از مزایای قابل توجهی برخوردارند. حسگرهای بیسیم نه تنها موجب کاهش هزینه و تأخیر در چیدمان می‌شوند، بلکه برای هر محیطی خصوصاً محیط‌هایی که استفاده از شبکه‌های حسگر مرسوم در آن‌ها غیرممکن است؛ مانند زمین‌های غیرقابل سکونت، مناطق جنگلی، فضای خارج از جو زمین و یا اقیانوس‌های عمیق به کار می‌روند (تنن‌بام، ۱۳۸۶).

^۱ Field-Programmable Gate Array

۲-۲- تعریف ازدحام و دلایل به وجود آمدن آن

ازدحام یک مشکل کلاسیک در شبکه‌های سوئیچ بسته است، که در آنها منابع در مجموع بیش از ظرفیت شبکه در یک و یا چند گره میانی (مسیریاب‌ها) قرار دارند و باعث از دست دادن بسته‌ها می‌شود. اگر بار ارائه شده به یک شبکه کنترل شده نباشد، فروپاشی و ازدحام می‌تواند رخ دهد و از آنجا که ویژگی‌های شبکه‌های حسگر بیسیم تحت تأثیر ازدحام قرار می‌گیرند، بهتر است در شرایط خاص کاربردی، اندازه‌گیری شوند. به این ترتیب پروتکل‌های مدیریت ازدحام جدید، از ماهیت برنامه‌های کاربردی آگاه هستند و می‌توانند به راه‌حلی مؤثر از روش‌های کلاسیک منجر شوند (روش‌های کلاسیک به اقدامات شبکه تکیه دارند). کنترل ازدحام در تخصیص منابع یک امر ضروری است. یک کنترل ازدحام اساسی به صورت ساده تضمین می‌کند که نرخ منبع را تنظیم کند تا بتواند ازدحام را کاهش دهد و یا از آن جلوگیری کند. روش‌های بهتر نسبتاً تلاش می‌کنند تا اطمینان حاصل شود که گره‌های حسگر در رقابت با دیگر گره‌ها و هنگام ازدحام قادر به تخصیص منابع باشند، و بتوانند به پهنای باند اشتراکی به طور مساوی دست یابند. از اهداف مهم کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم، ارائه یک سطح مورد نظر از قابلیت اطمینان در گره مقصد است به شیوه‌ای که انرژی کارآمد و قابلیت اطمینان در آن باعث تضمین تحویل موفقیت‌آمیز داده‌ها از منبع به مخزن شوند. در بسیاری از الگوریتم‌های شبکه‌های حسگر بیسیم، تمرکز روی اجتناب یا کاهش ازدحام است و از آنجا که یک هدف مهم از ارائه کنترل ازدحام به حداقل رساندن مصرف انرژی در شبکه است، به همان اندازه هم مهم است که بر قابلیت اطمینان با انرژی کارآمد برای پروتکل‌های شبکه‌های حسگر بیسیم تمرکز شده و این امر نیز تضمین گردد (لیو^۱، ۲۰۱۴).

بسیاری از کاربردهای ذکر شده برای پیاده‌سازی، نیازمند شبکه‌های حسگر می‌باشند. واضح است که طراحی چنین شبکه‌هایی چالش‌ها و مشکلات خاصی را نیز دربردارند. محدودیت‌ها و مشکلاتی که باعث به وجود آمدن این امر می‌شود، اولاً در ذات شبکه‌های حسگر وجود دارد و ثانیاً انتقال اطلاعات چندرسانه‌ای و کاربردهایی که از این اطلاعات استفاده می‌کنند، موجب به وجود آمدن ازدحام می‌شود. به همین منظور لازم است که لایه‌های این شبکه به درستی تحلیل شوند و مکانیسم‌های مناسب برای انتقال

¹ liu

اطلاعات چندرسانه‌ای در شبکه حسگر، برای هر لایه معرفی شود. یکی از این لایه‌ها، لایه انتقال می‌باشد. این لایه به دلایل زیر یکی از مهم‌ترین لایه‌های شبکه حسگر می‌باشد: (رضایی، ۱۳۸۸).

۱-۲-۲- نرخ داده خیلی بالای این شبکه‌ها

نرخ انتقال در گره‌های حسگر حدود 40 Kbit/s می‌باشد، درحالی‌که ترافیک نرخ ارسال صوت ثابت و در حدود 64 Kbit/s می‌باشد، یا در حالت دیگر ترافیک در ویدیو معمولاً به صورت انفجاری و در حدود 500 Kbit/s است. توجه به این ارقام نشان می‌دهد که احتمال وقوع ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار بالاست (امیری، ۱۳۹۵).

۲-۲-۲- تأثیر قابل توجه ازدحام در این شبکه‌ها

گره‌های حسگر دارای انرژی محدود می‌باشند. بنابراین اگر در گره‌ای ازدحام به وجود آید، آن گره به علت فعالیت زیادی که دارد، سریعاً انرژی خود را از دست می‌دهد. این مشکل در کاربردهای غیر رسانه‌ای منجر به پایین آمدن کارایی می‌شود ولی در کاربردهای چندرسانه‌ای باعث بروز مشکلات بیشتر می‌گردد. بنابراین لازم است مکانیسم‌های کنترل ازدحام سریع و کارآمدی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به کار گرفته شود. با توجه به این گفته می‌توان نتیجه گرفت که کنترل ازدحام در این شبکه‌ها بسیار مهم می‌باشد. به دو دلیل عمده، ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم رخ می‌دهد: اولین دلیل آن افزایش نرخ بسته‌های ورودی نسبت به نرخ بسته‌های خروجی است. این موضوع بیشتر در گره‌های حسگر نزدیک‌تر به چاهک اتفاق می‌افتد، چون این گره‌ها معمولاً ترافیک بیتی جمع‌شونده بیشتری را حمل می‌کنند. دلیل دوم، تداخل و نرخ خطای بیت روی یک لینک است که می‌تواند منجر به ازدحام در لینک شود (افسرشاه^۱، ۲۰۱۷).

در یک شبکه حسگر بی‌سیم، ازدحام تأثیر مستقیمی روی بازده انرژی و کیفیت خدمات سرویس‌دهی دارد. برای مثال ازدحام می‌تواند منجر به سرریز شدن بافر شود که تأخیر انتشاری در صف را به دنبال داشته و موجب از دست دادن بسته‌های بیشتر می‌گردد. از دست دادن بسته‌ها نه تنها می‌تواند قابلیت اطمینان و

^۱ Afsar shah

کیفیت خدمات سرویس‌دهی را کم اعتبار کند، بلکه می‌تواند انرژی محدودشده یک گره را نیز هدر دهد. ازدحام همچنین می‌تواند به‌کارگیری لینک را کاهش دهد. بنابراین ازدحام باید به طرز چشمگیری کنترل شود (افسرشاه، ۲۰۱۷).

برای این موضوع سه مکانیسم تشخیص ازدحام، ابلاغ ازدحام، تخفیف و اجتناب از ازدحام مطرح می‌باشند (افسرشاه، ۲۰۱۷).

تشخیص ازدحام^۱: در TCP، ازدحام مشاهده می‌شود یا در گره‌ها براساس اتمام زمان پاسخ‌دهی یا ارسال پیام تصدیق اضافی فهمیده می‌شود. یک مکانیسم رایج استفاده از طول صف، زمان سرویس‌دهی بسته یا نسبت زمان سرویس‌دهی بسته به زمان ورودی بسته در گره‌های میانی است (افسرشاه، ۲۰۱۷).

ابلاغ ازدحام^۲: بعد از تشخیص ازدحام، پروتکل لایه حمل، نیاز دارد تا اطلاعات ازدحام را از گره‌هایی که دچار ازدحام شده‌اند، به گره‌های دیگر یا گره‌های منبعی که موجب ازدحام شده‌اند، انتشار دهد. روش‌های این اطلاع‌رسانی به دو نوع ابلاغ صریح و ابلاغ تلویحی تقسیم‌بندی می‌شوند. ابلاغ ازدحام صریح از پیام کنترلی خاص جهت اطلاع دادن گره‌های حسگر درگیر اطلاعات ازدحام استفاده می‌کند. در مقابل ابلاغ ازدحام تلویحی به هیچ پیام کنترلی اضافی برای انتشار اطلاعات ازدحام نیاز ندارد. در این روش معمولاً اطلاعات ازدحام روی بسته‌های داده‌های معمولی به روش حمل قاجاقی انتشار می‌یابد. ابلاغ ازدحام تلویحی به روش پرش به پرش انجام می‌گیرد... در ابلاغ ازدحام تلویحی از ارسال پیام کنترل اضافی اجتناب شده و بنابراین بازده انرژی بهبودیافته است (افسرشاه، ۲۰۱۷).

تخفیف و اجتناب از ازدحام: دو روش کلی برای کاهش و اجتناب از ازدحام وجود دارد: مدیریت منابع شبکه و کنترل ترافیک. مدیریت منابع شبکه سعی دارد که منابع شبکه را افزایش دهد تا بتواند از بروز ازدحام در زمان وقوع، تا حدود زیادی جلوگیری کند. برخلاف روش فوق، روش کنترل ترافیک از طریق تنظیم نرخ ترافیک در گره‌های منبع یا گره‌های میانی، بر کنترل ازدحام دلالت دارد. این روش برای منابع شبکه‌ای ذخیره شده مفید است و زمانی که تنظیم دقیق منابع شبکه دشوار باشد، عملی‌تر و کاراتر خواهد

¹ Congestion detection

² The Transmission Control Protocol

³ Congestion Notification

بود. اکثر پروتکل‌های کنترل ازدحام موجود، متعلق به این نوع هستند. مطابق با رفتار کنترلی دو روش عمومی برای کنترل ترافیک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم وجود دارد: انتها به انتها و پرش به پرش. کنترل انتها به انتها می‌تواند تنظیم نرخ دقیق را در هر گره منبع انجام دهد و از این‌رو طراحی پروتکل در گره‌های میانی را آسان کند. در مقابل روش کنترل ازدحام پرش به پرش، پاسخ سریع‌تری دارد (افسرشاه، ۲۰۱۷).

۲-۳- پروتکل‌های لایه حمل برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم

در حال حاضر چند نوع پروتکل لایه حمل وجود دارد. بعضی از آن‌ها ازدحام و بعضی قابلیت اطمینان را بهبود می‌بخشند. درحالی‌که برخی دیگر از این پروتکل‌ها هر دو جنبه‌ی ازدحام و قابلیت اطمینان را بهبود می‌بخشند. بر این اساس پروتکل‌های لایه حمل به سه دسته مهم تقسیم می‌شوند:

۱- پروتکل‌های کنترل ازدحام^۱.

۲- پروتکل‌های قابلیت اطمینان^۲.

۳- پروتکل‌های ازدحام و قابلیت اطمینان. که در این پژوهش پروتکل‌های کنترل ازدحام مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت (افسرشاه، ۲۰۱۷).

۱-۲-۳- پروتکل‌های کنترل ازدحام

معمولاً در این شبکه‌ها مانند شبکه‌های داده گرام سنتی، از پروتکل‌های TCP و UDP^۳ در لایه انتقال استفاده می‌شود، اما استفاده از این پروتکل‌ها برای انتقال در شبکه‌های حسگر موجب مشکلات متعددی می‌شود (کائو^۴، ۲۰۱۴).

مشکلاتی که UDP برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم به وجود می‌آورد، حذف کورکورانه بسته‌ها در هنگام ازدحام می‌باشد. این امر موجب می‌شود که کیفیت اطلاعات دریافت شده توسط کاربر نهایی به شدت پایین

^۱ Congestion control.

^۲ Reliability

^۳ User Datagram Protocol

^۴ Cao

بیايد. در اين پروتکل، دسته‌بندی برای حذف بسته‌ها صورت نگرفته است و در تصميم‌گيري برخلاف سياست‌های کنترل ازدحام، اين موضوعات مدنظر قرار نمی‌گيرد.

TCP نیز مشکلات خاص خود را دارد از جمله اين که نمونه‌ای از TCP قابليت اعتماد سطح بالایی را فراهم می‌کند که مورد نیاز اکثر کاربرها نیست. همچنين اين پروتکل به دليل تمرکز زيادی که بر روی مسئله قابليت اعتماد دارد، توجهی به تأخير و تغييرات آن ندارد. مشکل کلی روش‌های بر پایه TCP که در شبکه‌های بی‌سیم وجود دارد اين است که اين پروتکل‌ها نمی‌توانند شرايط نامناسب کانال يعنی وجود ازدحام در شبکه را از يکديگر تشخيص دهند.

چندین پروتکل کنترل ازدحام برای ترافیک همگرا در اين شبکه‌ها موجود می‌باشد که در ادامه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. اين پروتکل‌ها در تشخيص ازدحام، ابلاغ ازدحام یا مکانيسم‌های نرخ تنظيم با هم متفاوت هستند (کائو، ۲۰۱۴).

۴-۲- چالش‌ها و فضای طراحی

در اين بخش، به بررسی و مرور برخی از چالش‌های مرتبط با ايجاد ازدحام و پشتیانی کنترل جریان در شبکه‌های حسگر بیسیم می‌پردازيم.

۴-۲-۱- محدودیت منابع

یکی از چالش‌های مهم ايجاد شده در يک شبکه حسگر بیسیم، توان محدود باتری، توان پردازش، ظرفيت حافظه و ذخيره‌سازی گره‌های حسگر می‌باشد. ارتباطات رادیویی با توجه به مصرف انرژی، عملیات پرهزینه‌ای بوده که با تأکید بر پردازش درون شبکه، کاهش میزان داده ارتباطی صورت گرفته و نیز پروتکل‌های مؤثر شبکه‌سازی، کاهش اتلاف بسته غير ضروری را به‌دنبال دارند (کوين^۱، ۲۰۱۶).

^۱ Kevin

۲-۴-۲- الگوهای ترافیک

از دیگر تفاوت‌های میان شبکه‌های معمولی (سنتی) و شبکه‌های حسگر بیسیم، می‌توان به الگوهای منحصر به فرد ارتباطی ایجاد شده در شبکه‌های حسگر بیسیم اشاره کرد. در بیشتر شبکه‌های معمولی (سنتی)، ارتباطات نقطه به نقطه یا تک قالبی متداول است. با این حال در شبکه‌های حسگر بیسیم، ارتباطات چند به یک متداول بوده و داده‌ها از حسگرهای متعدد به یک ناظر به‌طور پیوسته فرستاده شده و یا در پاسخ به یک جستجو یا یک رویداد، این کار صورت می‌گیرد. علاوه بر این، بسیاری از ارتباطات چند به یک از طریق الگوریتم‌های همه‌پخش بهینه‌سازی شده ایجاد می‌شود، و به صورت یک جستجو در شبکه منتشر شده و یا اطلاعاتی درباره یک رویداد مهم به صورت پیش‌گستر در شبکه منتشر می‌گردد. دوره‌هایی از فعالیت‌ها، پشت سر هم به صورت یک رویداد مهم رخ داده و این در حالیست که در دیگر زمان‌ها، شبکه فعالیت کمتری را نشان می‌دهد. در برنامه‌های کاربردی با استفاده از الگوهای ذخیره سازی، دیگر الگوهای پیچیده ارتباطات نیز قابل مشاهده است. این الگوهای ترافیک، نقش مهمی در چگونگی آشکارسازی ازدحام و ارائه راه‌حل‌هایی برای کشف و کنترل آن، برعهده دارند (کون، ۲۰۱۶).

۲-۴-۳- معماری شبکه

طراحی و ساختار شبکه را می‌توان در حد گسترده‌ای به ساختار یکدست و چندردیفی، تقسیم‌بندی کرد. در یک ساختار یکدست و مسطح، همه گره‌های حسگر به طور کلی مشابه بوده و از مسئولیت‌های مشابهی برخوردارند. با این حال در چنین توپولوژی، مازاد ساختار توپولوژی وجود نداشته و با توجه به انتشار یک تغییر کوچک در کل شبکه، مقیاس‌پذیری یک مسئله مهم به شمار می‌رود. در مورد توپولوژی چندردیفی، گره‌های حسگر با منبع محدود در لایه‌های پایین‌تر وجود داشته، درحالی‌که گره‌های منبع نسبتاً غنی، در لایه‌های بالاتر وجود دارند. این ساختارهای مطرح شده، ظرفیت بیشتر شبکه را به خاطر توانایی بیشتر برای انجام پردازش محاسباتی گسترده در چارچوب خود شبکه، به‌وجود می‌آورند. علاوه بر این، قابلیت کنترل و مدیریت بیشتر و مقیاس‌پذیری بالاتر فراهم می‌گردد (پنگ^۱، ۲۰۱۵).

^۱ Peng

۲-۴-۴- معیارهای عملکرد جایگزین

از آنجا که شبکه‌های حسگر بیسیم، شبکه‌های مبتنی بر برنامه‌های کاربردی بوده و ارزش آنها با توجه به کیفیت ارسال به برنامه‌های کاربردی تعیین می‌شود، از این رو مکانیزم‌های کنترل ازدحام می‌بایست، مقیاس استاندارد سطح برنامه کاربردی با کیفیت داده مورد نظر را مورد هدف قرار دهند. در یک سناریوی کلی، منابع با محدود کردن نسبت تولید داده، زمان‌بندی بسته‌ها و یا کاهش بسته‌ها، نسبت به ازدحام در شبکه واکنشی نشان داده و در نتیجه کیفیت داده کمتری در مقصد، اندازه‌گیری می‌شود. مقیاس‌های استاندارد از قبیل پوشش، تازگی داده، درستی و پایایی، کشف رویداد جایگزین، دیگر مقیاس‌های استاندارد معمولی شبکه به لحاظ خروجی، تأخیر و سرریز داده، می‌باشند. رویدادهای مختلف کشف‌شده در یک شبکه حسگر از سطح اهمیت متفاوتی برخوردارند. از این رو احتمال ارائه مکانیزم‌هایی وجود داشته که با اهمیت بیشتر ضمن ایجاد ازدحام، اولویت‌بندی داده را موجب می‌گردند (سان^۱، ۲۰۱۵).

۲-۴-۵- افزونگی داده

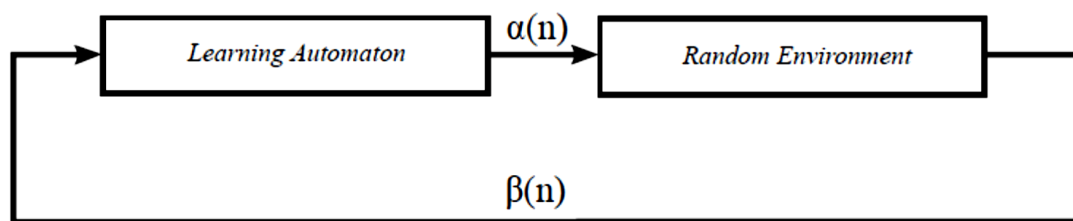
در توجه به مقیاس‌های استاندارد سطح برنامه کاربردی و نه‌البته قابلیت کاربرد گسترده‌تر، مشاهداتی وجود داشته که به‌طور کلی با گره‌های حسگر متعدد در دامنه ارسال آنها، این کار صورت می‌گیرد. تلاش برای کاهش این افزونگی از طریق ازدحام داده، یا کنترل نسبت منبع برای کاهش میزان ارتباطات در شبکه، از اهمیت بسیاری برخوردار است. با این حال، با باقی‌ماندن افزونگی، اتلاف اطلاعات در صورتی قابل پذیرش بوده، که شامل کیفیت داده نشود (تنن‌بام^۲، ۲۰۱۰).

¹ Sun

² Tanenbaum

۵-۲- مبانی در آتاماتای یادگیری

آتاماتا یک ماشین طراحی شده است که به طور خودکار یک توالی از پیش تعیین شده عملیات را دنبال می کند یا به دستورالعمل های کد شده پاسخ می دهد. آتاماتای یادگیر^۱ قوانینی از پیش تعیین شده را دنبال نمی کند، بلکه سازگار با تغییرات در محیط تصادفی است. این سازگاری نتیجه فرآیند یادگیری است. آتاماتای یادگیری برای انتخاب اقدامات بهینه در میان مجموعه اقدامات مجاز، طراحی شده است. درواقع، یک ماشین یادگیری دارای تعداد محدودی از اقدامات است که می تواند کار کند. احتمال آن به هر یک از آن ها مربوط است. هنگامی که اقدام به محیط اعمال می شود، دومی یک سیگنال تقویت می کند. پاسخ داده شده توسط محیط به صورت اتوماتیک برای به روزرسانی بردار احتمالی عمل آن استفاده می شود. با اجرای این روش، آتاماتا می آموزد که به طور مناسب اقدامات مطلوب را در میان مجموعه اقدامات خود انتخاب کند. تعامل بین یک ماشین یادگیری و محیط تصادفی در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱): ارتباط بین آتاماتای یادگیری و محیط تصادفی. آتاماتای یادگیری برای انتخاب اقدامات مطلوب $\alpha(n)$

بر اساس سیگنال تقویت $\beta(n)$ ارائه شده توسط محیط است.

محیط با سه پارامتر $\epsilon = \{\alpha, \beta, c\}$ توصیف می شود. بطوریکه $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\}$ نشان دهنده مجموعه ورودی (یعنی اعمال) $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N\}$ نشان دهنده مجموعه خروجی (یعنی سیگنال تقویت) و $c = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ مجموعه ای از انتخاب های مجاز را نشان می دهد، که هر عنصر c_i مربوط به یک عمل ورودی α_i است. احتمال عمل α_i ، $p_i(n)$ است و بردار مربوطه $p(n)$ ، بردار احتمالی عمل را تعریف می کند.

به منظور راه حل مسئله، بایستی از ماشین حساب متغیر ساختار [۲۸] استفاده کنیم و یک محیط P-model (به عنوان مثال فرض می کنیم که β_i می تواند ۱ یا ۰ باشد) را در نظر بگیریم.

^۱ Learning Automata

جایی که $p(n)$ و $p(n+1)$ بردارهای احتمالی عمل در n و $n+1$ هستند.

$$p(n+1)=T[p(n),\alpha(n),\beta(n)] \quad (1-2)$$

آتاماتا به شرح زیر عمل می‌کند. بر اساس بردار احتمالات عمل $p(n)$ ، آتاماتا به‌طور تصادفی یک عمل $\alpha_i(n)$ را انتخاب می‌کند و آن را بر روی محیط انجام می‌دهد. پس از دریافت سیگنال تقویت محیط، آتاماتا بردار احتمالی عمل خود را بر اساس معادله $2-2$ و $3-2$ به‌روز می‌کند:

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

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)p_i(n) & j=i \\ p_j(n+1) &= \frac{1}{r-1} + (1-b)p_j(n) & \forall j, j \neq i \end{aligned} \quad (3-2)$$

جایی که $p_i(n)$ و $p_j(n)$ عمل α_i و α_j هستند، و r تعداد اقدامات است. در این دو معادله، a و b پارامتر پاداش و مجازات هستند.

در فصل جاری، شبکه‌های حسگر بیسیم مورد بررسی قرار داده شد. در فصل بعدی، به گردآوری اطلاعات در زمینه ارتباط سیستم آتاماتای یادگیر و کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم پرداخته می‌شود.

فصل سوم:

پیشینه تحقیق

ازدحام، توسط منابع بیشتر از ظرفیت لینک یا بافر که در گره‌های میانی قرار گرفته‌اند، ایجاد می‌شود. در شبکه‌های سیمی، که در آن لینک‌های نقطه به نقطه به صورت ثابت هستند، ظرفیت آنها برای زمانی که بیش از حد باشد به یک لینک داده می‌شود. اما در شبکه‌های بی‌سیم، ظرفیت یک لینک توسط تعدادی از منابع فعال در محدوده تداخل با هم تعیین می‌شود. کنترل ازدحام توسط تشخیص نشانه‌های اولیه از ازدحام انجام می‌شود، دوره نقاهت قبل از شروع ازدحام، معروف به اجتناب از ازدحام یا تشخیص ازدحام، و سپس دوره نقاهت بعد از ازدحام معروف به کاهش ازدحام می‌باشد.

الگوریتم‌های مدیریت ازدحام از جنبه‌های تشخیص و کنترل، متفاوت‌اند. تشخیص، ممکن است در منابع و یا گره‌های میانی انجام شود و در هر صورت کنترل از طریق کاهش نرخ ارسال منابع انجام می‌شود. در ادامه این روش‌ها بیان می‌شوند.

۱-۳- کنترل ازدحام

به‌طور کلی دو دلیل اصلی برای ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم وجود دارد:

دلیل اول این است که نرخ ارسال بسته از نرخ سرویس^۱ بسته خیلی بیشتر است. این حالت بیشتر برای گره‌های نزدیک به گره چاهک اتفاق می‌افتد، چون آن‌ها معمولاً ترافیک روبه بالای ترکیبی بیشتری را حمل می‌کنند.

دلیل دوم به خاطر جنبه‌های کارایی در سطح لینک مانند رقابت، مداخله و نرخ خطای^۱ بیت می‌باشد. ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم تأثیر مستقیمی بر کارایی انرژی و کیفیت خدمات سرویس‌دهی دارد.

^۱ Service rate

به‌طور مثال؛ ازدحام می‌تواند منجر به سرریز شدن بافر شود که این امر در نهایت تأخیر انتشاری در صف و از دست رفتن بیشتر بسته‌ها را به دنبال دارد. از دست رفتن بسته‌ها، نه‌تنها منجر به کاهش قابلیت اطمینان و کیفیت خدمات سرویس‌دهی می‌شود، بلکه همچنین انرژی محدود شده گره‌ها را نیز هدر می‌دهد. برخورد در انتقال نیز باعث افزایش زمان سرویس‌دهی بسته شده و انرژی را هدر می‌دهد. بنابراین، ازدحام در شبکه‌های حسگر باید به‌صورت کارایی با اجتناب از رخ دادن ازدحام و یا کاهش ازدحام کنترل شود. تکنیک‌های کنترل ازدحام مختلفی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد شده است. همه مکانیزم‌های کنترل ازدحام هدف پایه مشابهی دارند: همه آن‌ها ابتدا برای تشخیص یا کشف ازدحام تلاش می‌کنند، پس از تشخیص ازدحام باید سایر گره‌ها را از وضعیت ازدحام آگاه نمایند.

به‌طور کلی، سه فاز برای کنترل ازدحام^۲ وجود دارد: فاز تشخیص ازدحام، فاز اعلان ازدحام و فاز تنظیم نرخ، که در ادامه هر یک از این فازها توصیف می‌شود (کهلر^۳، ۲۰۰۳).

۱-۳- فاز تشخیص ازدحام

معمولاً روش‌های مختلفی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر معرفی می‌شود. انتخاب این روش‌ها به عوامل زیادی بستگی دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از: ساختار شبکه، نرخ ارسال داده، الگوی ترافیکی، احتمال وقوع ازدحام، نوع کاربردهای موجود در شبکه، سطح کیفیت سرویس مورد نیاز کاربردها، تأثیر ازدحام بر روی کاربردها و منابع شبکه.

برخی از پارامترهای کشف ازدحام عبارت‌اند از: طول صف داخلی گره‌ها، بار موجود در کانال و زمان میان رسیدن بسته‌ها است. در هر پروتکل اینکه چه گره‌ای مسئول کشف ازدحام است، بستگی به پارامتر استفاده شده برای کشف ازدحام دارد. به‌طور مثال، استفاده از طول صف برای کشف ازدحام فقط می‌تواند

^۱ Competition, intervention & error rates

^۲ Congestion control

^۳ Kohler

در گره‌های میانی انجام گیرد و یا اگر در شبکه، ارسال مجدد به صورت انتها به انتها باشد، استفاده از زمان ارسال مجدد به عنوان پارامتر کشف ازدحام فقط می‌تواند در گره مقصد انجام شود (ای‌ای‌سی^۱، ۲۰۰۴).

۲-۱-۳- فاز اعلان ازدحام

در این مرحله احتمال وقوع ازدحام توسط گره کشف‌کننده، به گره‌های حسگر اعلام خواهد شد. نحوه انجام این کار بستگی به پارامتر انتخاب‌شده برای کشف ازدحام دارد. در صورتی که پارامتر کشف ازدحام به صورتی می‌باشد که فقط گره‌های میانی می‌توانند ازدحام را کشف کنند، گره میانی مسئول اعلان آن به گره مقصد یا منبع و یا سایر گره‌ها است و در صورتی که فقط گره مقصد می‌تواند ازدحام را کشف کند، خود این گره مسئول اعلان ازدحام است. در برخی روش‌ها، هم گره‌های میانی و هم گره مقصد می‌توانند ازدحام را کشف کنند، مشخص است که این روش‌ها انعطاف‌پذیری بیشتری دارند. زیرا با توجه به نیازمندی‌ها، کاربردها و محدودیت‌های شبکه می‌تواند در هر جایی مورد استفاده قرار گیرند. اگر تشخیص سریع ازدحام و کنترل آن بسیار مهم است، می‌توان از گره‌های میانی استفاده کرد و اگر کم‌کردن سربار در گره‌های میانی ارجحیت دارد و یا اینکه برای کنترل ازدحام به اطلاعات کلی‌تری از شبکه نیاز است، می‌توان از گره مقصد استفاده کرد. در شبکه‌های حسگر، اعلان ازدحام به دو صورت انجام می‌گیرد: (ای‌ای‌سی، ۲۰۰۴).

الف- اعلان ازدحام ضمنی^۲

معمولاً این روش زمانی استفاده می‌شود که گره کشف‌کننده ازدحام و گره کنترل‌کننده ازدحام، متفاوت باشند. در بیشتر حالات، زمانی که پارامتر کشف ازدحام به گونه‌ای است که تنها گره‌های میانی می‌توانند ازدحام را کشف کنند (مانند استفاده از طول صف) و از طرفی به دلیل کم‌کردن هزینه و سربار، گره مقصد مسئول کنترل ازدحام در شبکه است، از روش ضمنی برای آگاهی گره مقصد استفاده می‌شود. در این حالت گره کشف‌کننده ازدحام با تنظیم کردن یک بیت در سرآیند بسته‌هایی که به سمت مقصد می‌روند، وقوع ازدحام و یا اطلاعات دیگر، نظیر درجه ازدحام را به مقصد اعلام می‌کند (ای‌ای‌سی، ۲۰۰۴).

¹ Eec

² Implicit congestion notification

ب- اعلان ازدحام صریح^۱

در این حالت گره مقصد یا هر گره مسئول کنترل ازدحام، با توجه به روش استفاده شده برای کنترل ازدحام، اطلاعاتی را در ارتباط با نحوه تنظیم نرخ به گره‌های منبع و یا گره‌های میانی ارسال می‌کند (ای‌ای‌سی، ۲۰۰۴).

۳-۱-۳- فاز تنظیم نرخ

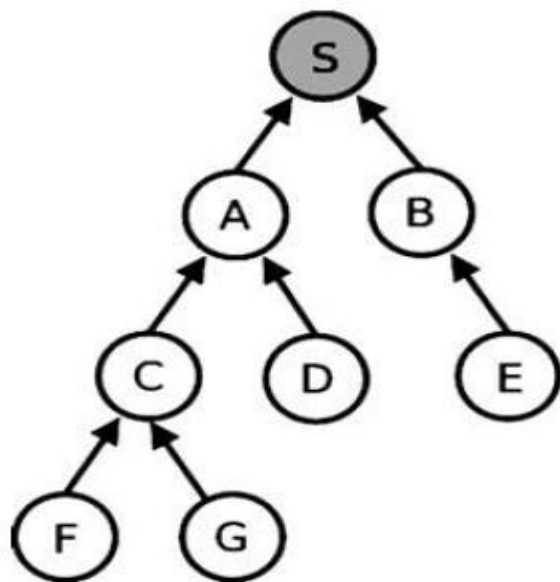
در این مرحله باید از طریق یک روش خاص، نرخ ارسال بسته‌ها تنظیم شود. در کارهای قبلی از روش‌های مختلفی برای این کار استفاده شده است. به عنوان مثال، یک روش تنظیم نرخ، نرخ گزارش‌گیری در شبکه یا کمتر شدن نرخ در یک مسیر خاص می‌باشد. برخی روش‌ها، از کم کردن نرخ ارسال داده‌ها برای کنترل ازدحام استفاده می‌کنند. کنترل نرخ با توجه به اولویت‌هایی صورت می‌گیرد که در هر گره استفاده می‌شود. این درحالیست که تعدادی از روش‌ها، از اولویت گره‌ها برای کنترل نرخ استفاده می‌کنند. و برخی روش‌های دیگر هیچ اولوفیتی ندارند و نرخ ارسال همه جریان‌ها را به یک صورت کاهش می‌دهند (ای‌ای‌سی، ۲۰۰۴).

۳-۲- نیاز برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم

پیش از تشریح مسئله کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم، ابتدا یکسری واژگان کلیدی مورد استفاده در این فصل را معرفی می‌کنیم. از آنجا که گره‌های حسگر متعدد، گزارش داده‌های خود را به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند و این یک سناریوی رایج مشاهده‌شده در شبکه‌های حسگر بیسیم می‌باشد، داده‌ها یک توپولوژی مسیریابی درختی با ایستگاه پایه (مقصد) به عنوان ریشه درخت مطابق شکل (۳-۱)، را دنبال می‌کنند. در این شکل گره S، مقصد را نشان داده، در حالی که دیگر گره‌ها، تولیدکنندگان داده و یا انتقال‌دهنده داده می‌باشند. در اینجا، ما گره‌هایی را مورد توجه قرار می‌دهیم که در نزدیکی منبع

^۱ Explicit congestion notification

بوده و گره‌های جریان بالا نیز گفته می‌شوند (گره‌های نزدیک به مقصد، گره‌های جریان پایین^۱ هستند) (آناند^۲، ۲۰۱۰).



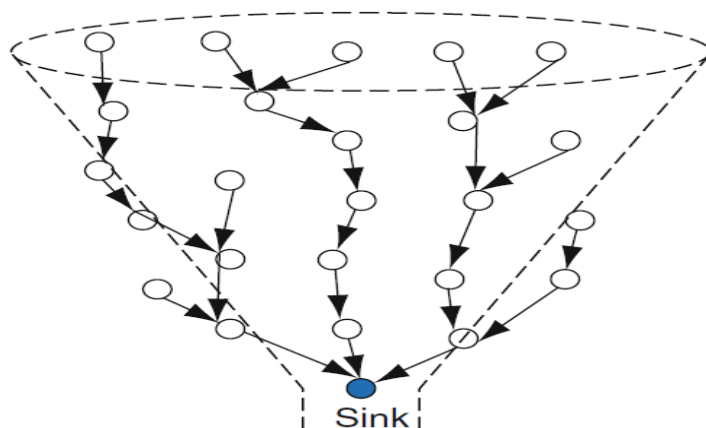
شکل (۳-۱): توپولوژی مسیریابی مبتنی بر درخت (آناند، ۲۰۱۰)

از این‌رو اگر گره‌های F, G، منبع باشند، در این صورت F, G مجموعه‌ای از گره‌های رو به بالا را برای گره C نشان داده، در حالی‌که گره A به عنوان یک گره پایین دست برای گره C عمل می‌کند. علاوه‌براین، گره مجاور تک گام را مورد توجه قرار می‌دهیم که داده‌ها را به طرف مقصد هدایت کرده و ما آن را گره والد می‌نامیم. از این‌رو برای این توپولوژی، گره A به عنوان یک والد برای گره‌های C و D عمل می‌کند. بدین‌ترتیب زیر درخت گره A را به عنوان درختی مورد توجه قرار می‌دهیم که با همه گره‌های رو به بالا (یعنی G, F, D, C) شکل گرفته و گره A به عنوان یک ریشه برای این درخت عمل خواهد کرد.

در برنامه کاربردی شبکه حسگر بیسیم قیف مانند، مطابق شکل (۳-۲)، تمایز میان ازدحام ایجاد شده در نزدیکی مقصد در مقایسه با ازدحام ایجاد شده در نزدیکی منبع، بسیار مهم به نظر می‌رسد.

¹ Down stream

² Anand



شکل (۲-۳): تأثیر کیف مانند ترافیک روی شبکه‌های حسگر بیسیم (کائو، ۲۰۱۴)

ازدحام در نزدیکی رویداد منابع: کشف یک رویداد، توالی ناگهانی ترافیک از گره‌های حسگر موجود در ناحیه رویداد را به دنبال داشته و موجب ایجاد تصادف و خسارت قابل توجه بسته در نزدیکی منابع می‌شود. این مسئله به‌طور خاص، زمانی بیشتر غالب بوده که شدت کشف ازدحام گره‌ها و نیز نسبت تولید داده بالاست و در این مورد احتمال داشتن فضاهای خالی ماندگار در نزدیکی منابع، در حد قابل توجهی افزایش می‌یابد. برای حل این مسئله، سیگنال‌دهی گام‌به‌گام ضرورت نیاز برای کاهش نسبت گزارش را نشان می‌دهد (کائو، ۲۰۱۴).

ازدحام در نزدیکی مقصد: ترافیک ایجادشده در گره‌های منبع متعدد در حالت چندمسیره به سمت مقصد هدایت می‌شود. به‌طور خاص، در مورد کشف یک رویداد در بیشتر موارد، داده‌ها در یک زمان در گره‌های منبع ایجاد می‌گردند. در چنین ترافیکی تنها راه، به سمت ایستگاه پایه بوده و افزایش بار ترافیک در ناحیه‌ای نزدیک به ایستگاه پایه را به خاطر الگوی ارتباطی کیفی شکل به دنبال دارد. این بار ترافیک سنگین در سطح گره و نیز سطح مقصد، ترافیک نزدیک گره مقصد را موجب می‌گردد. به‌طور خاص در شبکه‌های کم‌ازدحام، منابع داده‌ها را در نسبت بالاتری ایجاد کرده که می‌تواند در نزدیکی مقصد، فضاهای خاص انتقال گذرا را به‌وجود آورد (کائو، ۲۰۱۴).

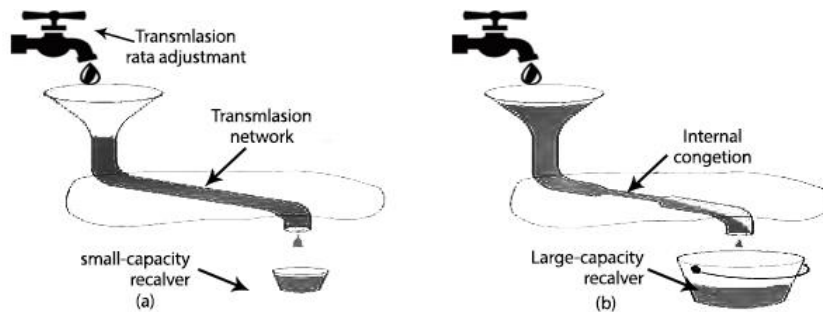
۳-۳- روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

در این بخش روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بررسی شده و مزایا و معایب آن‌ها ذکر می‌شود: (هول، ۲۰۰۴).

۱-۳-۳- روش شروع آهسته

پروتکل لایه‌ی انتقال، بر زمان‌های انقضای مهلت اعلام وصول هر بسته^۱ به‌دقت نظارت می‌کند. قبل از بررسی واکنش پروتکل لایه‌ی انتقال در برخورد با ازدحام، ابتدا باید بررسی نمود که این پروتکل، چه تلاشی در پیشگیری از بروز آن می‌کند. پس از برقراری یک اتصال، بایستی اندازه‌ی مناسبی برای پنجره انتخاب شود، گیرنده می‌تواند اندازه‌ی پنجره را برحسب بافر در اختیار خود، تعیین نماید. اگر، فرستنده به اندازه‌ی پنجره‌ی گیرنده پایبند باشد، مشکلی از بابت سرریز شدن بافر گیرنده پیش نخواهد آمد. بااین‌وجود هنوز هم احتمال بروز مشکلات ناشی از ازدحام، درون شبکه حسگر بیسیم وجود دارد (هول، ۲۰۰۴).

شکل (۳-۳) این مسئله را نشان می‌دهد. در قسمت a یک شبکه به‌طور سریع در حال پر کردن ظرفیت گیرنده است، درحالی‌که گیرنده ظرفیت کمی دارد. در شکل b برعکس حالت قبل نشان داده شده است. یعنی شبکه به‌طور آرام در حال سرویس‌دهی به گیرنده‌ای است که ظرفیت بالایی دارد و به‌کندی پر می‌شود (هول، ۲۰۰۴).



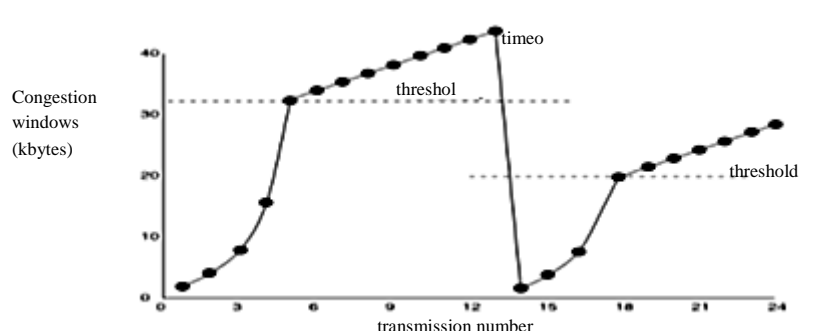
(a) یک شبکه سریع و گیرنده با ظرفیت کم (b) یک شبکه‌ی کند و گیرنده با ظرفیت بالا

شکل (۳-۳): عدم تناسب سرعت فرستنده و گیرنده (هول، ۲۰۰۴)

راه‌حل مناسب آن است که با هرکدام از این دو مشکل به‌طور مجزا برخورد شود. برای این کار فرستنده دو پنجره ایجاد می‌نماید. پنجره‌ی اول که براساس اعلام گیرنده‌ی طرف مقابل ایجاد می‌شود و پنجره‌ی دوم، پنجره‌ی ازدحام است. هر یک از این پنجره‌ها تعداد بایت‌هایی را مشخص می‌کنند که فرستنده می‌تواند

^۱ Time out

ارسال کند. تعداد بایت‌هایی که فرستنده مجاز به ارسال آن‌هاست، مینیمم اندازه‌ی این دو پنجره است. بنابراین اندازه‌ی مؤثر پنجره، مقدار مینیمم آن چیزی است که فرستنده فکر می‌کند صحیح است و آنچه که گیرنده فکر می‌کند آن باید باشد! مثلاً اگر گیرنده عنوان کند که هشت کیلوبایت بفرست ولی فرستنده بداند که ارسال بیش از چهار کیلوبایت شبکه را دچار انسداد می‌کند، چهار کیلوبایت ارسال خواهد کرد. برعکس، اگر گیرنده اعلام کند که هشت کیلوبایت بفرست و فرستنده نیز بداند که ارسال تا ۳۴ کیلوبایت بلامانع است، فقط هشت کیلوبایت درخواستی را ارسال خواهد کرد (هول^۱، ۲۰۰۴). شکل (۳-۴) نحوه عملکرد الگوریتم شروع آهسته را نشان می‌دهد.



نمودار (۳-۱): روند کنترل ازدحام با الگوریتم شروع آهسته (هول، ۲۰۰۴)

وقتی اتصال برقرار می‌شود فرستنده، اندازه پنجره‌ی ازدحام را با طول حداکثر هر قطعه که در حین اتصال توافق شده، مقداردهی اولیه می‌کند. سپس یک قطعه با طول حداکثر می‌فرستد. اگر اعلام وصول این قطعه قبل از انقضای مهلت مقرر دریافت شد، اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام را به اندازه‌ی طول حداکثر قطعه اضافه می‌کند و دفعه بعدی معادل دو قطعه را ارسال می‌نماید. مادامی که پس از ارسال هر قطعه، دریافت آن تصدیق می‌شود، به اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام معادل با طول حداکثر هر قطعه اضافه خواهد شد. وقتی اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام^۲ معادل با طول n قطعه باشد و تمام قطعات ارسالی سر موعد اعلام وصول شوند، به پنجره-ی ازدحام معادل با طول کل n قطعه (برحسب بایت) اضافه خواهد شد. اگر در هر بار ارسال (معادل n قطعه) تمام آن‌ها اعلام وصول شوند، طول پنجره‌ی ازدحام دو برابر می‌شود. اندازه‌ی پنجره‌ی ازدحام آن‌قدر

^۱ hull

^۲ Congestion window

به صورت نمایی رشد می کند تا آنکه پس از ارسال قطعات یا وصول آن ها تصدیق نشود و یا آنکه به اندازه ی پنجره ی گیرنده برسد. این الگوریتم اصطلاحاً شروع آهسته نام دارد و هرگز کند عمل نمی کند زیرا روند آن نمایی است. تمام پیاده سازی های لایه ی انتقال، ملزم به حمایت از این الگوریتم هستند (پک^۱، ۲۰۰۷).

۲-۳-۳- پروتکل کنترل ازدحام منصفانه

در (ای ای سی، ۲۰۰۴)، پروتکل CCF کنترل ازدحام بالادستی را با استفاده از الگوریتم مقیاس پذیر و توزیع شده ای که نه تنها ازدحام را حذف می کند، بلکه اطمینان می دهد که تحویل عادلانه بسته های داده با ایستگاه مرکزی اتفاق می افتد. در این روش تعداد بسته های داده، که از گره های حسگر با فاصله گام زیاد، اجازه ارسال داده می شوند نسبت به گره هایی که فاصله گام آن ها کم است، یکسان است. CCF^2 کنترل ازدحام را فرمول بندی می کند و در هر حسگر، تعداد گره های پایین دستی و متوسط نرخ ارسال بسته ها، نرخ تولید بسته برای هر گره به وسیله والدش و نیز نرخ ازدحام بالادستی، محاسبه می شود. به منظور فراهم کردن عدالت برای هر فرزند، CCF دو مفهوم را پیشنهاد می دهد. اولی صفوف مجزای بسته برای هر فرزند، یعنی در هر گره یک صف شاخص دار برای هریک از فرزندان، همگام و در راستای صف خود نگهداری می شود و دومی سائز زیر درخت برای هر فرزند است. CCF اطلاعات کنترلی را در بسته های داده شرکت می دهد. هنگامی که هر گره حسگر ازدحام را تجربه می کند، گره های پایین دستی را آگاهی می دهد تا نرخ ارسال داده را کم کند (ای ای سی، ۲۰۰۴).

۳-۳-۳- Sen TCP پروتکل

Sen TCP یک پروتکل کنترل ازدحام Open loop گام به گام است که به جریان ترافیکی بالادستی نظر دارد. Sen TCP درجه ازدحام را در هریک از حسگرهای میانی با مشاهده متوسط زمان سرویس دهی محلی بسته، زمان بین دو ارسال بسته محلی و حجم بافر، اندازه گیری می کند و در هنگام ازدحام Sen TCP هر گره

¹ Paek

² Congestion Control and Fairness (CCF)

حسگر میانی، سیگنال فیدبکی به همسایگان خود می‌دهد که درجه ازدحام محلی و نیز اشغال بافر را حمل می‌نماید. Sen TCP یک مکانیزم برای پردازش سیگنال فیدبک دریافتی به کار می‌گیرد تا نرخ ارسال داده محلی تنظیم گردد. استفاده از کنترل فیدبک گام‌به‌گام، نرخ را سریعاً تنظیم کرده و روند حذف بسته را کند می‌نماید که در نتیجه انرژی صرفه‌جویی شده و گذردهی بالا برده می‌شود. با این وجود Sen TCP فقط کنترل ازدحام را انجام می‌دهد و قابلیت اطمینان را تضمین نکرده و بازیابی داده‌های ازدست‌رفته را انجام نمی‌دهد (وانگ^۱، ۲۰۰۵).

۳-۳-۴ پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر اولویت

PCCP^۲ یک پروتکل کنترل ازدحام بالادستی مبتنی بر اولویت، برای شبکه حسگر بی‌سیم است که از عدالت انصاف وزندهی شده برای هریک از گره‌های حسگر پشتیبانی می‌نماید. PCCP یک درجه متفاوت از شاخص‌های اولویت را استفاده می‌کند، طوری که یک گره حسگر با یک شاخص اولویت بالاتر، از پهنای باند بیشتری سود برد و نیز گره‌های حسگری که ترافیک بیشتری تزریق می‌نمایند، پهنای باند بیشتری دریافت کنند. افزون بر آن PCCP یک اندیس اولویت برای ترافیک مبدأ و ترافیک‌گذار بر مبنای طول صف آن‌ها ایجاد می‌نماید و درجه ازدحام را بر مبنای زمان بین دو سرویس بسته پیشنهاد می‌کند و سپس کنترل ازدحام گام‌به‌گام بر مبنای اولویت اعمال می‌شود (وانگ، ۲۰۰۶).

۳-۳-۵ روش ارسال مطمئن با نرخ کنترل‌شده

در (پک، ۲۰۰۷)، روش RCRT^۳ ارائه شده است که از مکانیزم استاندارد برای تحویل انتها به انتها به ایستگاه مرکزی، کشف بسته‌های ازدست‌رفته و درخواست ارسال مجدد آن‌ها استفاده می‌کند؛ در این روش، چاهک در مورد کنترل ازدحام تصمیم می‌گیرد. علاوه بر این تطبیق و تخصیص نرخ، جداسازی شده است. چاهک در RCRT مشخص می‌سازد که در پاسخ به ازدحام یا عدم ازدحام، ترافیک کاسته یا افزوده گردد که

¹ Wang

² Priority-based Congestion Control Protocol

³ Rate-Controlled Reliable Transport

این جداسازی به مدیر شبکه اجازه انتساب سیاست‌های متفاوت تخصیص ظرفیت برای کاربردهای گوناگون را می‌دهد.

RCRT از یک طرح اتلاف بسته مبتنی بر NACK برای تضمین انتقال داده مطمئن استفاده می‌کند. چاهک اتلاف بسته را تشخیص داده و با درخواست ارسال مجدد انتها به انتها از گره‌های مبدأ، آن‌ها را بازیابی می‌نماید. این پروتکل، از زمان بازیابی تطبیق نرخ ارسال در پاسخ به ازدحام جمعی و کاهش ضربی استفاده می‌کند (پک، ۲۰۰۷).

۶-۳-۳- روش ارسال مطمئن نامتقارن

در (تزکان، ۲۰۰۵)، روش ART^۱ از قابلیت اطمینان انتها به انتها برای رویدادها در جهت بالادستی و برای پرس‌وجوها در سمت پایین‌دستی و کنترل ازدحام بالادستی حمایت می‌کند. مجموعه‌ای از گره‌ها که گره‌های اساسی خوانده می‌شوند، انتخاب می‌گردد. ART یک زیر شبکه از این گره‌ها تشکیل می‌دهد و فقط آن‌ها را در انتقال داده مطمئن و کنترل ازدحام مشارکت می‌دهد. در این پروتکل، گره‌های غیراساسی، با سربار انتقال داده انتها به انتها مواجه نمی‌شوند؛ مکانیزم کنترل ازدحام می‌تواند غیرمتمرکز شود تا جریان ترافیک را تنظیم نماید؛ تعداد گره‌های کمتری در بازیابی اتلاف مشارکت می‌کنند. در نهایت اینکه مکانیزم آگاه از انرژی توزیع شده، استفاده می‌شود. برای حمایت از قابلیت اطمینان در هر دو جهت، هم از ACK و هم از NACK استفاده می‌شود. برای انتشار پرس‌وجو به صورت مطمئن دو مکانیزم بدون اتصال و اتصال‌گرا استفاده می‌شود. کنترل ازدحام نیز در گره‌های پایه‌ای است و زمانی ازدحام تشخیص داده می‌شود که یک Time out بدون دریافت ACK از سمت ایستگاه مرکزی سپری شود (تزکان^۲، ۲۰۰۵).

۷-۳-۳- کشف ازدحام و جلوگیری از آن

این روش یک مکانیزم حلقه باز گام‌به‌گام و یک مکانیزم تنظیم منبع چندگانه با حلقه بسته را ارائه می‌دهد. CODA^۳ از ترکیب شرایط بارگذاری کانال کنونی و گذشته و اشغال بافر برای استنباط کشف واقعی

^۱ An Asymmetric and Reliable Transport Mechanism for Wireless Sensor Networks

^۲ Tezcan

^۳ Congestion Detection and Avoidance

ازدحام در هر دریافت کننده با هزینه پایین استفاده می کند. شبکه های حسگر باید از وضعیت کانال آگاه باشند، زیرا واسطه های انتقال، مشترک می باشد و ممکن است با ترافیک بین ابزارهای دیگر مجاور، موجب ازدحام شوند. گوش دادن تمام وقت به کانال، برای اندازه گیری بارگذاری محلی موجب هزینه های بالای انرژی خواهد شد. بنابراین CODA از طرح نمونه برداری استفاده می کند، که کنترل کانال موضوعی را در زمان مناسب فعال می سازد تا هزینه را ضمن شکل دادن برآورد واقعی به حداقل برساند. اولین بار که ازدحام کشف و شناسایی می شود، گره ها به مجاورهای بالای خود (به سمت منبع) از طریق مکانیزم فشار به سمت عقب، سیگنال می دهند. پیام به مجاورها فرستاده می شود تا میزان آن ها یا بسته های افت را کاهش دهند.

یک گره، پیام های فشار به عقب را تا زمانی منتشر می کند که ازدحام را کشف کند. گره هایی که پیام های فشار به عقب را دریافت می کنند، می توانند میزان بسته های ارسالی خود یا بسته های افت را براساس شیوه ازدحام موضوعی از جمله کاهش ضربی و افزایش جمعی، کنترل کنند. زمانی که یک گره بالارونده پیام فشار به عقب را دریافت می کند، تصمیم می گیرد که آیا این پیام را براساس شرایط شبکه موضوعی خود به سمت جلو منتشر کند یا نه. تنظیم حلقه بسته در زمان کوتاه تری عمل می کند و قادر به آزاد کردن کنترل ازدحام در منابع چندگانه چاهک واحد در رخداد ازدحام پایان می باشد. از معایب این روش می توان به احتمال ایجاد ازدحام، کاهش بازدهی و در نظر نگرفتن جریان های ترافیکی اشاره کرد (بیک، ۲۰۰۸).

۸-۳-۳- پروتکل کنترل ازدحام سنجش داده ها

در DCCP^۱ (کهلر، ۲۰۰۳) برای پرهیز از ازدحام، حسگرهای رو به بالا باید بسته ها را بار دیگر به مسیرهای دیگر هدایت کنند. هدف DCCP، تهیه روشی استاندارد، برای معرفی کنترل ازدحام و مذاکرات کنترل ازدحام در کاربردهای چندرسانه ای می باشد. این پروتکل جدید انتقالی برای گسترش به عنوان یک ویژگی استاندارد در میزبان های پایانی طراحی می شود (pc، کدهای VoIP و وسایل چندرسانه ای دیگر اینترنتی). DCCP پروتکل جدید طراحی شده برای کاربردهایی می باشد که به منابع مبتنی بر جریان TCP نیاز دارد، اما تحویل زمانی به تحویل دستوری را ترجیح می دهد یا یک مکانیزم کنترل ازدحام که متفاوت از آنچه TCP فراهم می کند، می باشد.

^۱ Datagram Congestion Control Protocol

DCCP دو وظیفه اصلی را ارائه می‌دهد: ایجاد، نگهداری و متلاشی کردن جریان بسته غیرقابل اعتماد و کنترل ازدحام آن جریان بسته. معماری DCCP در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.

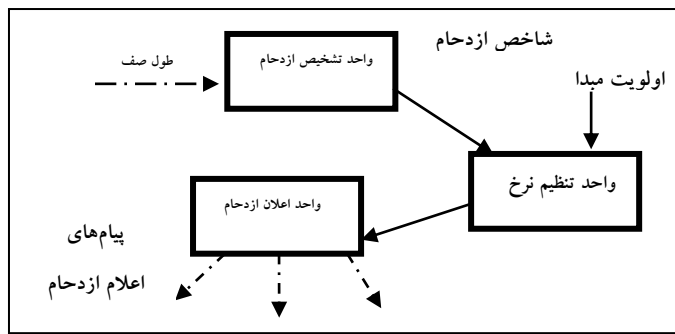
Media / Session Control			Media Codecs	
SIP	H.323	RTSP	RTP+RTCP	
Transport Layer Interface				
CCID2	CCID3	CCID4	
DCCP				
IPV4		IPV6		

شکل (۳-۴): معماری DCCP (کهلر، ۲۰۰۳)

۳-۳-۹- پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر صف حمایت اولیه

این پروتکل (کوین، ۲۰۱۶)، از طول صف به عنوان شاخص میزان ازدحام استفاده می‌کند. تعیین میزان برای هر منبع ترافیک، براساس شاخص اولویت آن و همچنین میزان ازدحام فعلی آن می‌باشد که این با محدودیت‌های ظاهری طرح‌های مشهور کنونی مانند PCCP برانگیخته می‌شود. شبیه‌سازی بیانگر این است که PCCP به صورت خیلی ضعیف در ارائه اولویت مربوط در مورد زمان تصادفی خدمات، عمل می‌کند. PCCP میزان جدول‌بندی و میزان منبع تمام منابع ترافیک را بدون توجه به شاخص اولویت آن‌ها افزایش می‌دهد. در مورد ازدحام بالا، PCCP میزان ارسال تمام منابع ترافیکی را براساس شاخص اولویت آن‌ها افزایش می‌دهد. پروتکل QCCP-PS^۱ این مشکل را با تنظیم مناسب میزان در هر گره، حل می‌کند. در QCCP-PS میزان ارسالی هر منبع ترافیکی هر بسته، با توجه به شرایط ازدحام و شاخص اولویت آن افزایش یا کاهش می‌یابد. شکل (۳-۵) معماری QCCP-PS را نشان می‌دهد (کوین، ۲۰۱۶).

^۱ Queue Based Congestion Control Protocol with Priority Support



شکل (۳-۵): معماری QCCP-PS (کون، ۲۰۱۶)

مشابه پروتکل‌های دیگر کنترل ازدحام، QCCP-PS از سه گام یعنی واحد کشف ازدحام (CDU)^۱، واحد ابلاغ ازدحام (CNU)^۲ و از طول صف به عنوان شاخص ازدحام استفاده می‌کند. بازده CDU شاخص ازدحام می‌باشد، که رقمی بین صفر و یک است.

دو آستانه ثابت متفاوت th_{min} و th_{max} تعریف می‌شوند. زمانی که طول صف (q) کمتر از th_{min} می‌باشد، شاخص ازدحام خیلی پایین است و گره منبع می‌تواند میزان خود را افزایش دهد. از طرف دیگر زمانی که طول صف بزرگ‌تر از th_{max} است، شاخص ازدحام بالا بوده و منبع ترافیک باید میزان خود را برای جلوگیری از اتلاف بسته کاهش دهد. در موردی که طول صف بین th_{min} و th_{max} قرار دارد، شاخص ازدحام به صورت خطی و به طول صف مربوط می‌شود. در هر فاصله زمانی از قبل تعریف شده T، هر گره والد، میزان ارسالی تمام منابع ترافیکی به وجود آورنده خود و همچنین منبع ترافیکی موضعی خود را محاسبه می‌کند. همان‌طور که در هر گره حسگر ممکن است اولویت‌های مختلفی از حسگرها در یک محیط نصب شوند، گره رو به بالا نیز اولویت هریک از گره‌های به وجود آمده در میزان محاسبه گره‌های به وجود آمده را در نظر می‌گیرد، براساس شاخص ازدحام فعلی و اولویت ترافیک منبع، میزان جدید ترافیک هر منبع به وجود آمده و همچنین منبع ترافیک موضعی خود را محاسبه می‌کند. میزان جدید به واحد CNU فرستاده می‌شود که مسئول ابلاغ به تمام گره‌های به وجود آمده با میزان جدید می‌باشد. برای کاهش دادن مصرف انرژی، CNU از ابلاغ ضمنی ازدحام با افزودن میزان جدید هر گره به وجود آمده به داده‌های

¹ Congestion Detection Unit

² Congestion Notification Unit

ارسالی هر گره حسگر استفاده می‌کند. زمانی که یک گره پیام ابللاغ ازدحام را از گره رو به بالای خود دریافت می‌کند، انتظار می‌رود که گره، میزان ترافیک خود را متعاقباً تنظیم کند.

QCCP-PS عملکرد بهتری نسبت به PCCP دارد، زیرا می‌تواند شاخص اولویت مناسب‌تری را در مقایسه با PCCP ارائه دهد. QCCP-PS میزان ترافیک هر گره را براساس میزان ازدحام خودتنظیم می‌کند و در نتیجه می‌تواند از اتلاف غیرضروری بسته جلوگیری کند؛ اما فقط یک‌بار مسیریابی می‌کند (کوبین، ۲۰۱۶).

۱۰-۳-۳- طرح کنترل ازدحام آگاه از تناسب در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

این طرح (یین، ۲۰۰۹)، یک پروتکل کنترل ازدحام آگاه از تناسب مبتنی بر میزان (FACC)^۱ می‌باشد که ازدحام را کنترل می‌کند و تقریباً تخصیص پهنای باند مناسبی را برای جریان‌های مختلف به دست می‌آورد. در FACC، گره‌های حسگر قرار گرفته در داخل گره‌های نزدیک به منبع و نزدیک به چاهک، طبقه‌بندی می‌شوند (یین^۲، ۲۰۰۹).

گره‌های نزدیک به چاهک معمولاً بار ترافیکی ثابتی داشته و تقریباً میزان متناسبی را به جریان عبور کننده، تخصیص می‌دهند. از طرف دیگر، گره‌های نزدیک چاهک نیازی به حفظ حالت هر جریان ندارند و از الگوریتم افت احتمالی سبک‌وزن براساس اشغال صف و فرکانس ضربه استفاده می‌کنند. این الگوریتم شامل مراحل زیر است: اول اینکه گره نزدیک چاهک، یک پیام اخطار را به گره‌های منبع در زمانی که اولین بار یک بسته در این گره می‌افتد؛ می‌فرستد. دوم اینکه گره‌های نزدیک منبع تقریباً سهم مناسب میزان ازدحام را برای هر جریان در حال عبور محاسبه و اختصاص می‌دهند. نهایتاً گره نزدیک منبع، پیام کنترل را برای ابللاغ گره منبع ازدحام از میزان ارسالی بروز شده، می‌فرستد. نتایج شبیه‌سازی بیانگر این است که طرح کنترل ازدحام پیشنهادشده قادر است به‌طور خودکار میزان بدون ازدحام بهتری نسبت به طرح‌های دیگر اتخاذ کند. میزان کلی منبع، به‌صورت تعداد کلی بسته‌های تولیدشده توسط تمام منابع داده‌ها در هر ثانیه تعریف می‌شود. در طول دوره کنترل ازدحام، میزان کلی منبع کاهش می‌یابد.

¹ Fairness-Aware Congestion Control

² Yin

و نیز نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این طرح کنترل ازدحام نسبت به الگوریتم‌های back pressure، بازده بالاتری به دست می‌آورد. دلیل این بازده بالا این است که back pressure برای گرفتن یک سطح مناسب مشکل می‌باشد و تمام جریان‌ها را نیز تعیین می‌کند. در نتیجه به‌طور کارآمد از پهنای باند قابل‌دسترسی استفاده می‌گردد. مصرف متوسط انرژی به‌صورت تعداد کلی انتقال‌های شبکه تقسیم‌شده توسط تعداد بسته‌هایی تعریف می‌شود که به‌صورت موفقیت‌آمیز به چاهک تحویل داده شده‌اند. این طرح نسبت به طرح back pressure به دلیل استفاده کارآمد از پهنای باند، کارایی انرژی بیشتری هم دارد (یین، ۲۰۰۹).

۴-۳- پیشنهاد تحقیق

امیری و همکاران (۱۳۹۵) یک مدل کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم ارائه کردند، که پارامترهایی مانند مصرف انرژی در شبکه، نرخ اتلاف بسته، میزان بسته‌های رسیده به مقصد و تعداد بسته‌های رسیده با اولویت بالا به مقصد را در نظر می‌گیرد. این روش از سه طرح جلوگیری از وقوع ازدحام، کنترل ازدحام و کنترل انرژی به همراه یک الگوریتم انتخاب کوتاه‌ترین مسیر تشکیل شده است. در طرح جلوگیری از وقوع ازدحام، با بررسی طول صف از وقوع ازدحام جلوگیری می‌شود. در طرح کنترل ازدحام، با کاهش نرخ ارسال، ازدحام کنترل می‌شود و در طرح کنترل انرژی سعی بر هم‌سطح بودن نسبی انرژی گره‌ها شده است تا از فروپاشی شبکه به دلیل اتمام انرژی چند گره خاص پیشگیری شود (امیری، ۱۳۹۵).

گل‌گیری و جاویدان (۱۳۹۵) یک پروتکل کنترل ازدحام جدید جهت افزایش طول عمر شبکه و بالابردن سطح اطمینان برای شبکه‌های حسگر بیسیم ارائه دادند. روش پیشنهادی TMCC^۱ با روش TADR^۲ که برای کاهش ترافیک در شبکه‌های حسگر بیسیم طراحی شده است، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی

^۱ Telemark Modeling and Control Centre

^۲ Technical Assistance and Dispute Resolution

نشان‌دهنده کارایی بهتر روش TMCC در معیارهای توان عملیاتی، انرژی مصرفی و طول عمر شبکه می‌باشد (گل‌گیری، ۱۳۹۵).

صحرانشین و صفایی (۱۳۹۵) یک الگوریتم مبتنی بر اولویت بسته‌ها برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم را معرفی نمودند. در الگوریتم پیشنهادی، بسته‌های وارد شده در بافر را با توجه به نوع داده ازجمله داده‌های معمولی یا پیام، برای ارسال روی کانال، اولویت‌دار در نظر گرفته، که این امر باعث شده تا بهره‌وری بالایی از نرخ تحویل بسته بعمل آید که در پس آن بیشترین استفاده از منابع را داشته است. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده کمتر از هاپ‌های کمتر باعث کاهش ضریب خطا خواهد شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی از لحاظ نسبت تحویل بسته نسبت به پروتکل‌های کنترل ازدحام موجود در شبکه‌های حسگر بیسیم، می‌تواند عملکرد بهتری را ارائه نماید (صحرانشین، ۱۳۹۵).

لیو^۱ (۲۰۱۴) در مقاله‌ای تحت عنوان الگوریتم مورچگان همراه با مکانیزم مهاجرت حریصانه برای مکان‌یابی گره‌ها در شبکه حسگر، مسئله پوشش شبکه را با حداقل هزینه و قابلیت اتصال مطمئن برای کنترل ازدحام مورد مطالعه قرارداد. روش پیشنهادی آن‌ها مطالعه الگوریتم مورچگان، مسئله پوشش شبکه و کاهش هزینه مکان‌یابی بوده است. روش کار در این الگوریتم تنظیم شعاع (برد) برقراری ارتباط بوده تا از این طریق مسئله بهینه‌سازی، انرژی و طول عمر شبکه بهبود یابد. شبیه‌سازی نشان داد روش پیشنهادی هزینه مکان‌یابی را کاهش و تعادل بین مصرف انرژی گره‌های میانی و افزایش طول عمر شبکه و کاهش ازدحام در شبکه حسگر برقرار می‌کند (لیو، ۲۰۱۴).

کائو و همکاران^۲ (۲۰۱۴) در مقاله‌ای تحت عنوان مقایسه انواع بهینه‌سازی ازدحام ذرات در مکان‌یابی گره‌های میانی شبکه حسگر، الگوریتم‌های مختلفی از بهینه‌سازی ازدحام ذرات با توپولوژی‌های جمعیتی مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها حاکی از این بود که درزمینه‌ی شبکه حسگر، توپولوژی حلقوی و مربعی دارای کارایی قابل قبولی در دقت موقعیت‌یابی کنترل ازدحام هستند و آن را بهبود می‌بخشند (کائو، ۲۰۱۴).

¹ Liu

² Cao

ژو^۱ (۲۰۱۵) مقاله‌ای تحت عنوان روشی برای مکان‌یابی براساس الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم کواسی نیوتن برای شبکه‌های حسگر ارائه داد. در این روش از الگوریتم PSO^۲ برای یافتن جواب‌ها و مقادیر بهینه استفاده شد، سپس از این مقادیر در مرحله تکرار به‌عنوان مقادیر ورودی برای الگوریتم کواسی نیوتن استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی این پژوهشگر بیانگر آن است که الگوریتم پیشنهادی در مکان‌یابی گره‌ها تا حدود قابل‌توجهی کارایی لازم را دارد (ژو، ۲۰۱۴).

بارولی و همکاران^۳ (۲۰۱۵) در مقاله‌ای تحت عنوان کنترل ازدحام در شبکه‌های توری بیسیم، تحلیل نتایج شبیه‌سازی سیستم GA-wmn^۴ برای پارامترها و توزیع‌های مختلف، به بررسی شبکه‌های توری بیسیم پرداختند. در این مقاله آن‌ها کارایی ۲ توزیع مختلف (نرمال، یکنواخت) برای مسیرهای توری را ارزیابی کردند که نسبت تحویل داده‌های اطلاعاتی و مقیاس‌های تأخیری را در نظر می‌گرفت. برای شبیه‌سازی از یک پروتکل HWMP^۵ استفاده کردند. شبیه‌سازی نشان داد که سیستم به‌کار رفته می‌تواند مکان‌یابی مسیرهای را به‌دقت انجام دهد (بارولی، ۲۰۱۵).

پنگ و همکاران^۶ (۲۰۱۵) در مقاله‌ای تحت عنوان الگوریتم مکان‌یابی بهینه براساس الگوریتم ژنتیک در شبکه حسگر و به‌منظور بهینه‌سازی نرخ ازدحام، شبکه‌های حسگر را مورد مطالعه قرار دادند. در این مقاله از الگوریتم مکان‌یابی بدون برد از نوع DV-Hub^۷ استفاده شد. این الگوریتم براساس الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی شده بود. نتایج شبیه‌سازی حاکی از این بود که روش پیشنهادی دقت مکان‌یابی را در مقایسه با الگوریتم‌های فرااکتشافی، افزایش می‌دهد (پنگ، ۲۰۱۵).

سان و همکاران^۸ (۲۰۱۵) در مقاله‌ای به نام مکان‌یابی بهینه در شبکه حسگر براساس الگوریتم ترکیبی فرهنگ مورچگان، مکانیزم تکاملی الگوریتم فرهنگ با الگوریتم مورچگان ترکیب‌شده در فضای جمعیت به‌عنوان یک استراتژی تکاملی واحد عمل می‌کند که پس از آن جستجوهای صورت گرفته در فضای جمعیت

¹ Zou

² Particle swarm optimization

³ Barolli

⁴ Genetic Algorithm Wireless Mesh Networks

⁵ Hybrid Wireless Mesh Protocol

⁶ Peng et al.

⁷ Distance vector-hop

⁸ Sun

را به وسیله مناسب ترین گزینه ها و پاسخ ها هدایت می کند. این امر باعث می شود که الگوریتم جستجوی فرهنگ، جواب بهینه را سریع تر و با پایداری بیشتر نسبت به سایر الگوریتم های مرسوم انجام دهد (سان، ۲۰۱۵).

کوین و همکاران^۱ (۲۰۱۶) در مقاله ای با هدف بررسی مکانیسم های موجود کنترل ازدحام TCP^۲ با استفاده از یک روش جامع و تجدیدپذیر طراحی شده، که نشان دهنده استفاده از شبکه های بیسیم در دنیای واقعی است، پرداختند. یافته های این مطالعه نشان دادند که توان YeAH^۳ از ۳٪-۵٪ نسبت به CUBIC^۴ افزایش یافته است، بدون اینکه جریمه ای برای تأخیر زمانی وجود داشته باشد (کوین، ۲۰۱۶).

رشمی^۵ و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی کنترل ترافیک در شبکه های حسگر بیسیم با استفاده از زنجیره مارکوف پرداختند. در این مقاله روشی جدید برای مسیریابی پویای مبتنی بر کنترل ترافیک ارائه شد. در کار پیشنهادی، هر زمان که مسیر عبور بسته تراکم را تجربه می کند، مسیر متناوب محاسبه می شود تا بسته های مسیر جدید را دوباره مرتب کند. کار پیشنهادی دارای سه مرحله است یعنی شناسایی احتمالی، محاسبه مسیر متناوب و مسیر بسته در مسیر جدید. جابجایی در مسیر می تواند بر اساس فضای آزاد موجود در بافر شناسایی شود. مسیر متناوب براساس پهنای باند موجود، فاصله گره ها و انرژی باقی مانده در مسیر، محاسبه شده است. برخی از پارامترهای بهبود یافته در این مقاله زمان کشف مسیر، نسبت تراکم و تأخیر می-باشند (رشمی، ۲۰۱۶).

افسر شاه و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی الگوریتم های کنترل ترافیک در شبکه های حسگر بیسیم پرداختند. روش های مختلفی در چند سال گذشته معرفی شده اند که شامل پروتکل های مسیریابی با کمک مکانیزم تشخیص و کنترل احتمالی و پروتکل های کنترل ازدحام اختصاص یافته است. در برنامه های قبلی، اجتناب احتمالی توسط گره چاهک انجام می شد که سبب بازنشانی توپولوژی و کاهش ترافیک می-شود. در این مقاله، مکانیزم هایی برای کنترل تراکم در شبکه های حسگر به همراه یک مطالعه تطبیقی ارائه

¹ Kevin

² The Transmission Control Protocol

³ Yet Another Highspeed

⁴ A congestion control protocol

⁵ Rashmi

شد. در شبکه‌های بیسیم، گم‌شدن بسته‌ها لزوماً به معنی وجود ازدحام نیست. با توجه به رقابت ایستگاه‌ها برای دسترسی به کانال مشترک بی‌سیم، امکان وقوع تصادم یا به عبارت دیگر ارسال هم‌زمان بسته‌ها از ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. علاوه بر این شرایط فیزیکی کانال نیز دلیل دیگری برای از بین بردن بسته و نرسیدن آن به مقصد است که تمامی این موارد بایستی در طراحی مکانیسم کنترل ازدحام برای شبکه‌های بیسیم در نظر گرفته شود (افسرشاه، ۲۰۱۷).

۵-۳- راهکاری دیگر برای کنترل ازدحام

در این بخش، روش به کار رفته برای کنترل ازدحام و فراهم کردن قابلیت اعتماد توصیف می‌شود. هر روشی که برای کنترل ازدحام ارائه می‌شود شامل سه مرحله است: (تنن‌بام، ۱۳۸۶)

۱. کشف ازدحام

۲. اعلان ازدحام

۳. تنظیم نرخ.

در ادامه هریک از این مراحل برای این راهکار توصیف می‌شود.

در این روش فرض می‌شود که تعدادی گره در یک محیط پراکنده شده‌اند و در این شبیه‌سازی فقط یک گره مقصد وجود دارد که همه‌ی گره‌ها، داده‌های خود را به این گره ارسال می‌کنند. هر گره در این شبکه دارای یک بافر می‌باشد. هرگاه گره‌ای بسته‌ها را از گره‌های دیگر دریافت نماید آن را در بافر خود نگه می‌دارد و زمانی که پیغام دریافت بسته را از گره مقصد دریافت کند، بسته را از بافر خود حذف می‌کند (تنن‌بام، ۱۳۸۶).

۱-۵-۳- کشف ازدحام

در مکانیسم‌های کنترل ازدحام معرفی شده برای شبکه‌های حسگر، از پارامترهای مختلفی برای کشف ازدحام استفاده شده است. در این روش گره‌های میانی مسئول کشف ازدحام هستند. این گره‌ها با استفاده از طول صف داخلی خود، ازدحام را کشف می‌کنند. اگر ازدحام بالا باشد نرخ رسیدن بسته‌ها به گره‌های

میانی، نسبت به نرخ سرویس‌دهی در گره‌ها بالا می‌رود و تعداد بسته‌های منتظر در صف برای گرفتن سرویس افزایش می‌یابد. هر صف دارای دو مقدار آستانه X_{low} و X_{high} می‌باشد. هنگامی که طول صف داخلی گره، از مقدار X_{low} کمتر باشد، ازدحام موجود در گره رفع شده است و در صورتی که طول صف داخلی گره، از X_{high} بالاتر رود، این گره ازدحام را کشف می‌کند. در این صورت گرهی که ازدحام را کشف می‌کند و در ادامه توضیح داده می‌شود، ازدحام را به سایر گره‌ها اعلان می‌کند. با استفاده از این روش، ازدحام به سرعت توسط گره‌های میانی کشف می‌شود (تنن‌بام، ۱۳۸۶).

If (queue length < X_{low}) no congestion
 If (queue length > X_{high}) congestuin is detected
 شکل (۶-۳): شبه‌کد کشف ازدحام

۲-۵-۳- اعلان ازدحام

در این روش از کنترل ازدحام ضمنی برای اعلان ازدحام استفاده می‌شود، زیرا در صورتی که از روش اعلان ازدحام صریح استفاده شود در هنگام وقوع ازدحام، ارسال بسته‌های اضافی برای اطلاع‌رسانی به سایر گره‌ها موجب افزایش ازدحام موجود در شبکه می‌شود، به همین دلیل در این روش از اعلان ازدحام ضمنی استفاده می‌شود. هر گره پس از اینکه وقوع ازدحام را کشف نمود، بیت CN در سر فایل^۱ بسته‌هایی که به سمت مقصد ارسال می‌کند، را فعال کرده و علاوه براین، بیت CN در بسته NACK که به سمت مبدأ ارسال می‌کند را نیز، تنظیم می‌نماید. استفاده از حالت اضافه شدن ازدحام و ضمنی به جای حالت صریح باعث جلوگیری از تلف شدن انرژی گره‌ها می‌شود (تنن‌بام، ۱۳۸۶).

تنظیم نرخ: در این راهکار برای تنظیم نرخ، از روشی مشابه با تنظیم نرخ گام‌به‌گام AIMD استفاده می‌شود (تنن‌بام، ۱۳۸۶).

فراهم کردن قابلیت اعتماد: در اکثر روش‌های معرفی شده برای لایه انتقال در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، قابلیت اعتماد به صورت انتها به انتها فراهم می‌شود یعنی رسیدن بسته‌ها توسط گره مبدأ یا مقصد، تضمین

^۱ Header

می‌شود. اما در روش گفته شده در این بخش، قابلیت اعتماد به صورت گام به گام تضمین می‌گردد. در این روش گره‌های میانی مسئول فراهم کردن قابلیت اعتماد می‌باشند و در صورت از دست رفتن بسته‌ها، گره‌های میانی، از دست رفتن را به گره‌های قبلی اطلاع می‌دهند. در صورتی که بسته‌ای از دست رفته در بافر گره قبلی وجود داشته باشد، گره قبلی بسته را بازیابی نموده و آن را به گره‌ای که بسته را از دست داده، ارسال می‌کند. به همین دلیل تأخیر در رسیدن بسته‌ها کاهش پیدا می‌کند. در روش انتها به انتها گره مقصد یا مبدأ، مسئول کنترل و بازیابی از دست رفتن بسته‌ها می‌باشند، به همین دلیل در بازیابی اطلاعات از دست رفته تأخیر وجود دارد و انرژی بیشتری هدر می‌رود. اما در این روش انرژی کمتری مصرف می‌شود (تنن‌بام، ۱۳۸۶).

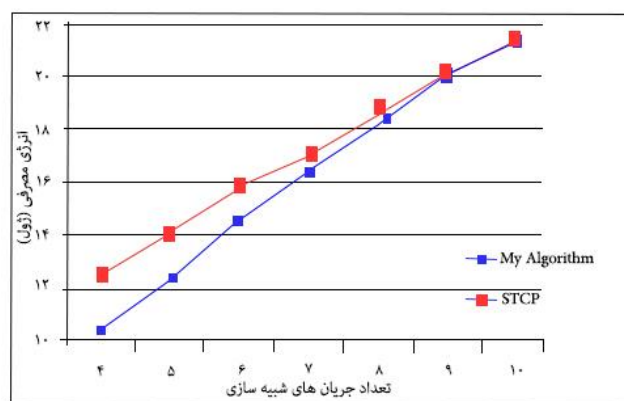
۳-۵-۳- ارزیابی این راهکار

این روش توسط ابزار ns۲ شبیه‌سازی شده است. اطلاعات مربوط به شبیه‌ساز در جدول زیر بیان شده است:

جدول (۳-۱): پارامترهای شبیه‌سازی (تنن‌بام، ۱۳۸۶)

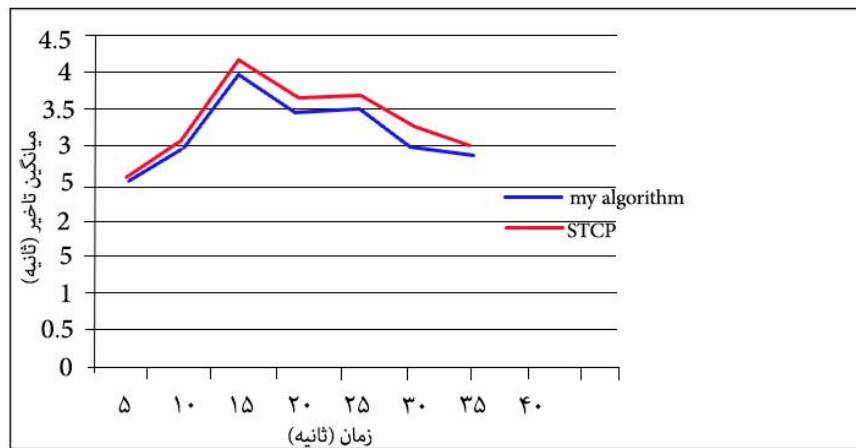
ناحیه شبیه‌سازی	۱۰۰*۱۰۰
طول صف داخلی گره‌ها	۵۰ بسته
پروتکل مسیریابی	AODV
انرژی اولیه گره‌ها	۱۰ j
تعداد گره‌ها	۵۰ گره
زمان شبیه‌سازی	۱۰۰۰ ثانیه

برای بررسی کارایی روش گفته شده در این بخش، این روش با یکی از پروتکل های معرفی شده به یک لایه انتقال شبکه های حسگر به نام STCP مقایسه شده است. در این پروتکل قابلیت اعتماد به صورت انتها به انتها فراهم می شود ولی در روش گفته شده در این بخش قابلیت اعتماد به صورت گام به گام انجام می شود و اعلان ازدحام در پروتکل STCP به صورت ACK-based می باشد، حال آنکه در روش گفته شده اعلان ازدحام به صورت NACK-based می باشد. نتایج شبیه سازی در نمودارهای (۳-۲) و (۳-۳) نشان داده شده است. در نمودار (۳-۲) روش گفته شده بر مبنای فاکتور مقدار انرژی مصرفی در گره ها با پروتکل STCP مقایسه شده است. نتیجه نشان می دهد که این روش، مصرف انرژی محدود موجود در گره ها را کاهش می دهد و طول عمر شبکه افزایش می یابد (تنن بام، ۱۳۸۶).



نمودار (۳-۲): مقایسه مصرف انرژی (تنن بام، ۱۳۸۶)

در نمودار (۳-۳) روش گفته شده توسط فاکتور میانگین تأخیر رسیدن بسته ها، با پروتکل STCP مقایسه شده است و مشاهده می شود که در این روش میانگین تأخیر رسیدن بسته ها کاهش پیدا کرده است (تنن بام، ۱۳۸۶).



نمودار (۳-۳): میانگین تأخیر (تنن بام، ۱۳۸۶)

در این پژوهش، سیستم پیشنهادی آتاماتای یادگیر مطرح شده است که موجب کنترل و بهبود سطح ازدحام می‌شود و در مقایسه با الگوریتم CODA که بدون آتاماتای یادگیری عمل می‌کند، بهتر است. استفاده از سیستم آتاماتای یادگیر به منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره‌های میانی، نوآوری تحقیق می‌باشد.

در این فصل روش‌های ارائه شده پیشین در زمینه کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم بیان شد. فصل چهارم، به بیان مراحل روش پیشنهادی اختصاص داده می‌شود.

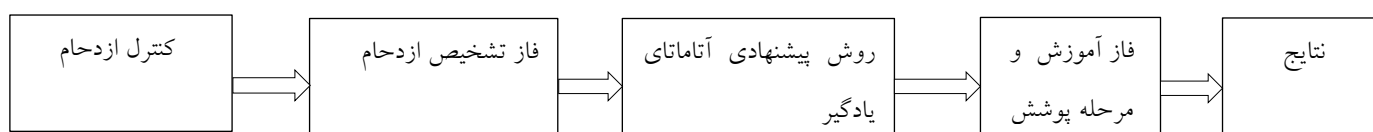
فصل چهارم:

ارائه روش پیشنهادی

در فصل جاری، روش پیشنهادی و مراحل انجام آن بیان می گردد.

۴-۱- شکل کلی

مراحل کلی در زمینه ارتباط سیستم آتاماتای یادگیر و کنترل ازدحام در شبکه های حسگر بیسیم، و به کار بردن شیوه پیشنهادی ارائه شده را در شکل (۴-۱) مشاهده می کنید.



شکل (۴-۱): مراحل کلی روش پیشنهادی

۴-۲- بیان اهداف

در این پروژه مسئله پوشش جزئی در شبکه های حسگر بیسیم^۱، مورد توجه قرار می گیرد و الگوریتمی جدید پیشنهاد می شود. راه حل پیشنهادی از آتاماتای یادگیرنده^۲ استفاده می کند تا حسگرها به حالت فعال یا خواب به درستی برنامه ریزی شوند و طول عمر شبکه افزایش یابد. هر گره یک رویه ای را اجرا می کند، ابتدا ایستگاه پایه^۳، با انتخاب تعدادی از گره ها و استفاده از نمودار پوشش شبکه ساخته می شود. سپس، این گره ها از همسایگان خود برای پوشش شبکه و الزامات اتصال استفاده می کنند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد

^۱ Wireless Sensor Network (WSN)

^۲ Learning Automata (LA)

^۳ BS

که چگونه الگوریتم پیشنهادی می‌تواند حسگرها را به‌طور مناسب برای ارزیابی مقادیر پوشش جزئی، انتخاب کند. بنابراین عملکرد بهتری را از لحاظ تعداد گره‌ها برای فعال شدن، با توجه به راه‌حل‌های پیشرفته‌تر تضمین می‌کند.

در ابتدا چارچوب نظری راه‌حل پیشنهادی دقیق نشان داده می‌شود، همچنین ارائه مدل‌های تحلیلی و پیچیدگی نظری الگوریتم پیشنهاد شده، مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد. نتایج اضافی مربوط به مقیاس‌پذیری راه‌حل‌ها و طول عمر شبکه در ارزیابی پیشنهاد شده، نشان داده خواهد شد.

۳-۴- چالش

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، جزء مهم‌ترین فن‌آوری‌های مورد استفاده در قرن حاضر هستند. یک شبکه حسگر، متشکل از تعداد زیادی گره‌های حسگر است که در یک محیط به‌طور گسترده پخش شده‌اند و لزوماً مکان قرار گرفتن گره‌های حسگری، از قبل تعیین شده و مشخص نیست. ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نه تنها باعث گم شدن بسته‌ها می‌شود، بلکه باعث هدر رفتن انرژی باطری نیز می‌گردد.

۴-۴- روش پیشنهادی

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی جهت حل مشکل پوشش جزئی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم^۱ را توصیف می‌کنیم. ایده اصلی این بخش، انتخاب مجموعه‌ای از گره‌ها به‌عنوان ایستگاه پایه^۲ است تا اتصال را در میان تمام گره‌ها تضمین کنند. سپس، اگر پوشش جزئی تضمین نشود، گره‌های اضافی فعال می‌شوند. در ادامه، ابتدا فازهایی را که الگوریتم از آن تشکیل شده است، توصیف می‌کنیم و سپس درباره صحت و پیچیدگی آن بحث خواهیم کرد.

^۱ Wireless Sensor Network

^۲ Base Station

۵-۴- کلیات روش پیشنهادی

روش پیشنهادی، تمرکز روی الگوی ترافیکی نموده و سعی در کنترل ازدحام در گره‌های میانی، در مسیر چند به یک انتقال داده‌ها را دارد. حال با توجه به مشکل اساسی شبکه‌های حسگر بیسیم که وجود ازدحام به خاطر محدودیت انرژی می‌باشد و این امر نه تنها باعث گم شدن بسته‌ها می‌شود، بلکه موجب هدر رفتن انرژی نیز می‌گردد. لذا برای حل این مشکل، یک روش مبتنی بر آتاماتای یادگیر پیشنهاد خواهد شد که زمان سرویس‌دهی بسته را تا حدی کنترل می‌کند. در روش پیشنهادی، آتاماتا در گره‌های حسگر و گره‌های میانی مختلف قرار گرفته و با محیط خود تعامل می‌نماید، تا طبق یادگیری که از قبل داشته است، بتواند یک جواب بهینه را در هر بازه زمانی به دست آورد و موجب کاهش نرخ بسته‌های گم شده در گره میانی و میزان انرژی مؤثر در شبکه حسگر شود.

۶-۴- پوشش جزئی

در این بخش، مسئله پوشش جزئی و مفاهیم مرتبط با آن بازگو می‌شود. یک شبکه حسگر بیسیم با یک گراف طراحی می‌شود. پوشش گراف $CG = (V, E)$ می‌باشد، جایی که $V = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_N\}$ شامل تمام گره‌های به‌طور تصادفی مستقر است. هر گره می‌تواند هر رویدادی را که در دامنه محدوده آن رخ می‌دهد، حس کند و نیز می‌تواند با گره‌های دیگر که در محدوده ارتباط آن است، ارتباط برقرار کند. محدوده‌های سنجش و ارتباط به ترتیب به‌صورت حلقه‌هایی با شعاع R_s و R_c هستند. E نشان‌دهنده مجموعه‌ای از ارتباطات ارتباطی بین گره‌ها است. برای هر جفت گره u و v ، لبه $(u, v) \in E$ است، اگر و فقط اگر u و v در محدوده ارتباط از یکدیگر باشند. به‌طور رسمی، ناحیه سنجش i از گره S_i به‌عنوان دایره‌ای با مرکز S_i و شعاع R_s تعریف می‌شود. در نتیجه، عملکرد پوشش $C_i(x, y)$ هر گره S_i می‌تواند به‌صورت زیر تعریف شود:

$$C_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x, y) \in \gamma_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1-4)$$

به عبارت دیگر، نقطه (x, y) توسط S_i پوشیده می‌شود، اگر در ناحیه حسگر گره قرار داشته باشد. با توجه به یک منطقه دوبعدی مورد نظر θ (که مساحت آن برابر با A_θ است) و یک شبکه حسگر بیسیم متشکل از

N حسگر (هر کدام قادر به پوشش یک منطقه از R^2) مشکل، پوشش جزئی در شبکه‌های حسگر بیسیم می باشد که می توان آن را به عنوان یک مجموعه متصل از گره، به صورت زیر بنویسیم:

هدف: کم کردن تعداد گره‌های موجود در ψ

قیود:

• اتصال گره‌های ψ

• تضمین پوشش ناحیه ψ به میزان لزوم $P_s A_\theta$

بعضی معیارهای مفید در این چارچوب عبارت‌اند از (i): درجه پوشش متوسط منطقه [۲۲]،

$$D_\theta = \frac{N\pi R_s^2}{A_\theta} \quad (۲-۴)$$

جایی که N، تعداد حسگرهای مستقر در منطقه θ است و هر کدام دارای یک محدوده سنجش R_s ؛ (ii) نسبت کار گره می باشد (رشمی، ۲۰۱۶)، به عنوان مثال کسر ψ Where $\frac{|\psi|}{N}$ ، جایی که ψ مجموعه‌ای از گره‌های فعال و قادر به پوشش کسر P_s از منطقه موردنظر θ است. سابق، یک شاخص از منابع (یعنی حسگر گره) پراکنده در منطقه موردنظر است و نیز قابلیت سنجش آن‌ها (به عنوان مثال محدوده حساسیت) را در نظر گرفته است. دومی، نشانگر اهمیت الگوریتم پوشش است.

یونیس و همکاران نیز در (تزکان، ۲۰۰۸)، بیان کردند که θ به سلول‌های کوچک مربع تقسیم می شود که $\frac{R_s}{\sqrt{5}}$ را در اطراف دارند. این اجازه می دهد تا هر گره به طور کامل سلول‌های همسایه در چهار جهت اصلی را پوشش دهد.

بنابراین ما می توانیم تعریف تابع عملکرد پوشش را برای گره i th به شرح زیر گسترش دهیم:

$$C_i(j) = \begin{cases} 1 & \text{if } j \in \gamma_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۳-۴)$$

که در آن j متعلق است به سلول یکی از سلول‌های منطقه، که تقسیم شده است. بر این اساس، محدودیت دوم می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\frac{|U_{ij} C_i(j)|}{|cells|} \geq P_s, \text{ where } i|S_i \in \psi, j \in cells \quad (۴-۴)$$

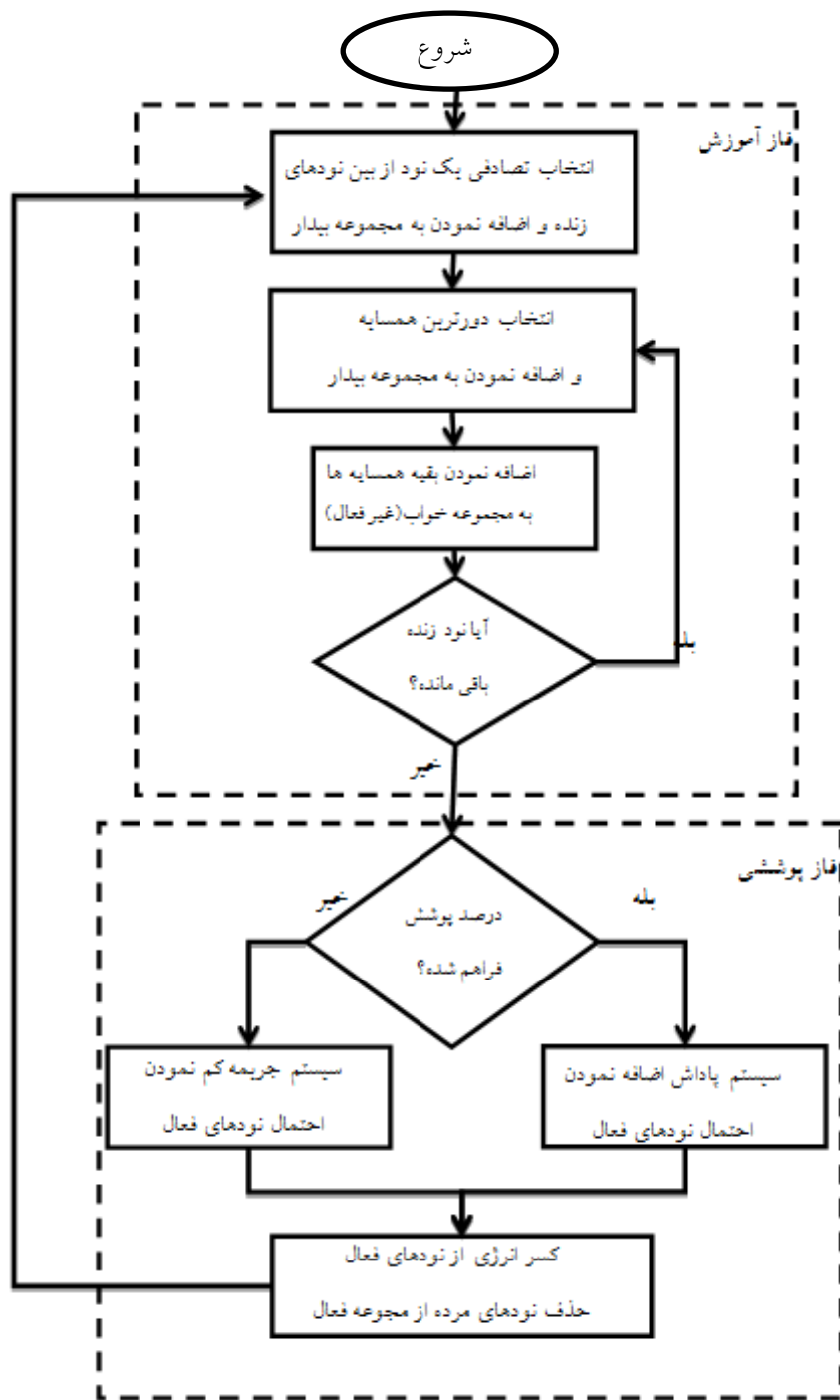
نمادها و تعاریف در جدول (۴-۱) خلاصه شده است.

جدول (۴-۱): نمادها و تعاریف

Θ	Region of interest
A_θ	Total area of the region of interest
P_s	Portion to cover of the region of interest
N	Number of sensing nodes
R_s	Nodes' sensing range
R_C	Nodes' communication range
γ_i	Sensing region of the node S_i
$G_i(j)$	Coverage function of the node S_i for the cell j
Ψ	Connected set of nodes that guarantees partial coverage

۷-۴- اهداف و مزایای کار

در سیستم پیشنهادی، آتاماتای یادگیر مطرح شده است که موجب کنترل و بهبود سطح ازدحام می شود و در مقایسه با سایر الگوریتم هایی که بدون آتاماتای یادگیری عمل می کنند، بهتر است. حال با توجه به مشکل اساسی شبکه های حسگر بیسیم که وجود ازدحام به خاطر محدودیت انرژی می باشد و این امر نه تنها باعث گم شدن بسته ها می شود، بلکه موجب هدر رفتن انرژی نیز می گردد. لذا برای حل این مشکل، یک روش مبتنی بر آتاماتای یادگیر پیشنهاد خواهد شد که زمان سرویس دهی بسته را تا حدی کنترل می کند. در روش پیشنهادی، آتاماتا در گره های حسگر و گره های میانی مختلف قرار گرفته و با محیط خود تعامل می نماید، تا طبق یادگیری که از قبل داشته است بتواند یک جواب بهینه را در هر بازه زمانی به دست آورد و موجب کاهش نرخ بسته های گم شده در گره میانی و میزان انرژی مؤثر در شبکه حسگر شود. روش پیشنهادی از الگوریتم های پیشرفته، بهینه تر عمل می نماید. درواقع، پیچیدگی زمانی (زمان اجرا) و طول عمر شبکه در تمام شرایطی که در نظر گرفته شده است، نشان می دهد که روش پیشنهادی بهتر است. علاوه بر این، هنگامی که محدودیت های پوشش را سخت تر می کنیم، عملکرد روش پیشنهادی نسبت به سایر راه حل های ارزیابی، نتایج بهتری دارد. بر این اساس، سود حاصل از استفاده از آتاماتای یادگیرنده به جای الگوریتم های دیگر، هنگام افزایش شعاع حس R_s بیشتر مشخص می گردد. این نتایج نشان می دهد که الگوریتم های یادگیرنده می توانند بیشتر در شبکه های حسگر مورد استفاده قرار گیرند.



شکل (۲-۴): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی شامل دو مرحله است: (i) فاز آموزش و (ii) مرحله پوشش جزئی.

۸-۴- فاز آموزش

هدف فاز یادگیری، انتخاب یک مجموعه مناسب (محدود در تعداد) گره به عنوان ایستگاه پایه^۱ است. این مرحله شامل یک روش تکراری است که هدف آن، یافتن یک مجموعه ایستگاه پایه متناسب با محدودیت‌های از پیش تعیین شده می‌باشد. مرحله یادگیری زمانی که ایستگاه‌های پایه انتخاب شده، محدودیت‌ها و شرایط توقف را تأمین کنند، پایان می‌پذیرد.

گام اول: برای انجام الگوریتم پیشنهادی، نیاز به ذخیره ساختار داده به شرح زیر می‌باشد:

P_s ، سطح مطلوب پوشش از لحاظ میزان پوشش‌دهی منطقه مورد نظر.

$P_{threshold}$ ، یک مقدار آستانه. تعریف حداکثر مقدار ممکن برای نتیجه احتمالات اقدامات انتخاب شده توسط آتاماتای یادگیر از هر گره در ψ ، که از آن برای اجرای اولین مرحله متوقف شدن مرحله یادگیری استفاده می‌شود.

T_k ، مقدار آستانه. تعریف حداکثر تعداد چرخه برای الگوریتم پیشنهادی؛ از آن برای تحمیل وضعیت توقف دوم مرحله یادگیری استفاده می‌شود.

ψ ، مجموعه‌ای از گره‌های فعال که توسط الگوریتم پیشنهادی در هر چرخه آتاماتای یادگیر، انتخاب و به‌روزرسانی می‌گردد.

Γ ، مجموعه‌ای از گره‌های غیرفعال می‌باشد. این گره‌ها همسایه‌های انتخاب نشده از گره‌های در ψ هستند.

E_{ψ} ، متوسط انرژی باقی مانده از گره‌های در ψ . این پارامتر برای انتخاب مجموعه‌ای از گره‌های ایستگاه پایه با انرژی باقی مانده بالا، برای اتصال به مدت زمان طولانی مفید است.

T_n ، یک آستانه پویای ذخیره‌سازی قدرتمند. مجموعه‌ای که در چرخه n th در مرحله یادگیری الگوریتم پیشنهادی انتخاب شده است؛ مقدار آن به $|V|$ مقداردهی می‌شود.

E_n ، یک آستانه پویای ذخیره انرژی. متوسط انرژی گره در مجموعه ψ که در چرخه n th در مرحله یادگیری الگوریتم پیشنهادی انتخاب شده است؛ مقدار آن \bullet مقداردهی اولیه شده است.

^۱ Base Station

n ، شمارنده‌ای که تعداد حلقه‌های الگوریتم پیشنهادی را نگه می‌دارد و برای بررسی وضعیت توقف، استفاده می‌شود.

گام دوم: در شروع مرحله ابتدایی، مجموعه متغیرهای عمومی ایجاد می‌شود.

گام سوم: پیام HELLO حاوی مقادیر P_s ، $P_{threshold}$ ، T_k در داخل شبکه پخش می‌شود.

گام چهارم: پس از دریافت این پیام، هر گره شروع به پردازش اولیه متغیرهای عمومی می‌کند و یک کپی

لحظه‌ای از CG می‌گیرد تا همسایگان گره را مطلع سازد. این مرحله یک گام کلیدی الگوریتم است زیرا از

CG، شبکه شروع می‌شود تا گره‌های مناسب را با هدف نهایی برای رفع نیاز پوشش نسبی پیدا کند.

برنامه این مراحل را تکرار می‌کند. برای هر گره، هر عمل α_i شامل اضافه کردن گره همسایه S_i به بردار

احتمالات عمل $p(n)$ می‌باشد و به صورت زیر تنظیم می‌شود:

ψ مجموعه‌ای را نشان می‌دهد که برنامه آن را با تکرار به روزرسانی می‌کند.

$$p_{i(n)} = \frac{1}{r} \quad \forall i \quad (5-4)$$

جایی که r ، نشانگر تعداد اعمال است و برابر با تعداد گره‌های همسایه در مرحله اولیه است. برای مثال،

اگر گره S_i دارای پنج گره همسایه باشد، بردار احتمالی انتخاب برای این گره در ابتدا $\{0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2\}$

$\{0.2, 0.2\}$ تنظیم شده است. این بدان معنی است که گره S_i دارای پنج انتخاب قابل مقایسه است.

۱-۸-۴- هدف اصلی فاز یادگیری

هدف اصلی فاز یادگیری این است که حسگرها را در منطقه A_9 خاموش نگه داریم. آتاماتای یادگیر

در حال اجرا در هر گره، کمک می‌کند تا شناسایی ایستگاه پایه مناسب باشد. در مرحله اولیه، یک گره

به صورت تصادفی انتخاب شده و به ψ اضافه می‌شود. هر حسگر (به عنوان مثال S_i) به منظور تشکیل مجموعه

کاندید خود، یک پیام DISCOVERY را به همسایگان خود (به گره‌های قرار داده شده در محدوده انتقال

خود) منتشر می‌کند. پس از دریافت پیام، هر گره به فرستنده S_i پاسخ می‌دهد و بنابراین S_i مجموعه عمل

خود را بر اساس پیام‌های دریافت شده از همسایگانش می‌سازد. به این ترتیب اندازه عملکرد هر آتاماتای

یادگیر بستگی به درجه گره‌های مربوطه و در نتیجه تراکم شبکه دارد. آتاماتای یادگیرنده یکی از همسایگان

را به ترتیب بردار احتمالی $p(n)$ انتخاب می‌کند و به ψ اضافه می‌کند و دیگر همسایگان انتخاب نشده به مجموعه Γ اضافه می‌شوند. سپس گره انتخابی، این روش را با انتخاب یکی از همسایگان خود که در Γ موجود نیست، تکرار می‌کند.

این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که $\psi \cup \Gamma = V$ ، توجه کنید که بعد از این مرحله هر گره در CG متعلق به ψ یا Γ می‌باشد. پس از انتخاب یک کاندید توسط آتاماتای یادگیرنده، هر گره ساختار داده‌های خود (به‌عنوان مثال مقادیر متغیرهای عمومی) را به‌روز می‌کند. در این مرحله، اگر هیچ عملی در دسترس نباشد (مثلاً اگر تمام همسایگان گره انتخاب شده در حال حاضر در ψ یا Γ قرار داشته باشند و $\psi \cup \Gamma \neq V$)، انتخاب از یک گره دیگر V شروع می‌شود تا در نهایت در انتخاب گره‌های ایستگاه پایه موفق شود. علاوه‌براین پس از انتخاب یک گره، آتاماتای یادگیرنده از هر گره اقدامات خود را با غیرفعال کردن عمل مربوط به گره انتخاب شده، تنظیم می‌کند. به این ترتیب، گره‌هایی که قبلاً انتخاب شده‌اند دیگر نمی‌توانند انتخاب شوند و از حلقه اجتناب می‌شود، همچنین سرعت هم‌گرائی الگوریتم افزایش می‌یابد.

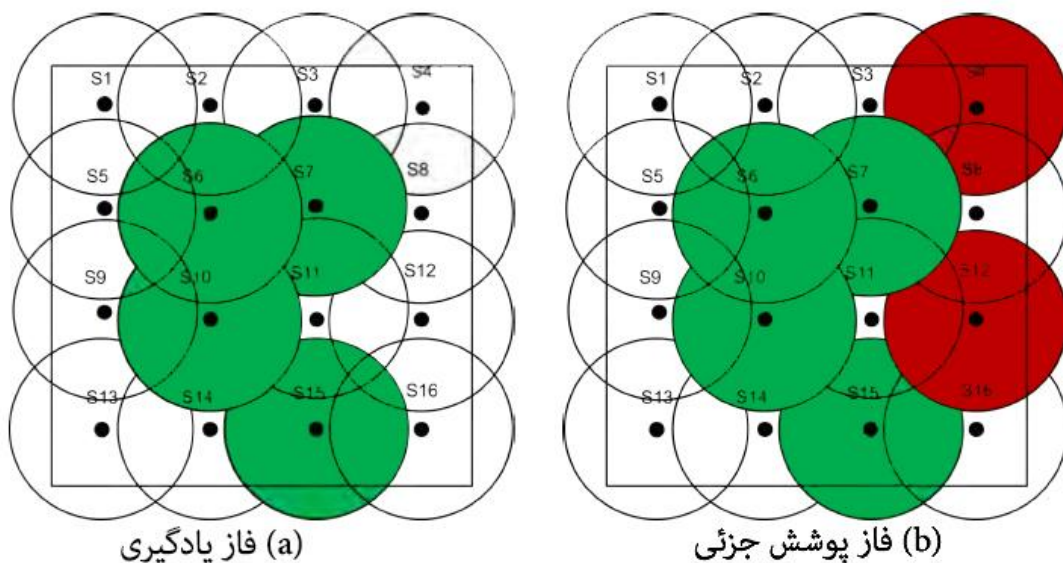
وقتی یک ایستگاه پایه به‌عنوان نامزد شناسایی می‌شود، مناسب بودن ψ ارزیابی می‌گردد. در هر چرخه n ، تعداد گره‌ها با مقدار آستانه Tn (که می‌تواند در ابتدا با $|V|$ تنظیم شود) مقایسه می‌شود. اگر $|\psi| < Tn$ و متوسط انرژی باقی مانده گره‌ها ($E\psi$) در ψ بزرگ‌تر از En باشد، تمام اقدامات انتخاب شده α_i از ψ محیط ($\beta_i(n) = 0$) پاداش می‌گیرند. در غیر این صورت، اقدامات α_i از ψ محیط ($\beta_i(n) = 1$) مجازات می‌شوند. در مورد اول، هر گره پیام REWARD را در میان همسایگان فعال خود پخش می‌کند و به‌موجب آن، بردار احتمالی عملش با استفاده از معادله (۲-۲) به‌روز می‌شود. همچنین مقادیر متغیرهای عمومی را به‌روز می‌کند. این روش به برنامه کمک می‌کند تا اتصال شبکه را برای مدت زمان طولانی حفظ کند. در مورد دوم، یک پیام PENALTY بین گره‌های فعال در داخل ψ پخش می‌شود. شایان‌ذکر است که الگوریتم پیشنهادی از الگوی تقویت LR-I در هر آتاماتای یادگیرنده برای به‌روزرسانی بردار احتمالی عملش استفاده می‌کند. بنابراین، پس از دریافت پیام PENALTY، احتمال اقدامات انتخاب شده ψ ثابت باقی می‌ماند و فعالیت‌های غیرفعال آتاماتای یادگیرنده دوباره فعال می‌شود. بروز کردن بردار احتمالی عمل در این مورد می‌تواند با تنظیم پارامتر b به صفر در معادله (۲-۳) انجام شود. با به‌روزرسانی این ارزش‌ها، روش یادگیری پیاده‌سازی شده است.

این فرآیند ادامه می‌یابد تا شرایط توقف کامل شود. در زیر، این شرایط توقف به‌طور کامل شرح داده شده است. اول، احتمال گره‌های انتخاب‌شده در طول آخرین حلقه محاسبه می‌شود. این مقدار احتمال را می‌توان به‌عنوان محصول احتمالات اقدامات انتخاب‌شده توسط آتاماتای یادگیرنده از هر گره در طی چرخه آخر تعریف کرد و به‌صورت زیر محاسبه نمود:

$$\prod_{i=1}^{|\Psi|} \alpha_{best}^i \quad (4-6)$$

جایی که $|\Psi|$ تعداد گره‌ها است و α_{best}^i بهترین عمل آتاماتای یادگیرنده از گره S_i می‌باشد. اگر مقدار احتمالی بیشتر از یک آستانه تعریف‌شده توسط $P_{threshold}$ باشد، شرایط توقف پذیرفته می‌شود. دوم، تعداد چرخه‌ها به حداکثر مقدار تعریف‌شده توسط Tk برسد. برنامه نیاز به تکرار برای همگام شدن با یک مجموعه پایدار دارد. بنابراین، این فرآیند ادامه می‌یابد تا گره‌های درون Ψ برای ده دوره متوالی تغییر نکنند. درواقع در این حالت، محصول احتمالات بهترین عمل آتاماتای یادگیرنده در هر گره به مقدار آستانه‌ای می‌رسد. در پایان این مرحله، گره‌های Ψ قادر به حفظ اتصال و شناسایی ایستگاه پایه موردنظر هستند. در جزئیات، یک پیام ACTIVATION بین تمام گره‌های Ψ (یعنی هر گره پیام را به همه همسایگانش در آن می‌فرستد) پخش می‌شود؛ بنابراین گره‌هایی که این پیام را دریافت می‌کنند، فعال خواهند بود. دیگر گره‌ها می‌توانند به حالت خاموش تبدیل شوند تا انرژی خود را ذخیره کنند.

شکل (3-4) یک مثال توصیفی از اصول عملی الگوریتم پیشنهادی را زمانی که ۱۶ گره به‌کار رفته است، نشان می‌دهد. در شکل (3-4) قسمت (a) عملیات انجام‌شده در فاز یادگیری نشان داده شده است. در ابتدا گره S_7 به‌طور تصادفی انتخاب شده است. سپس، S_7 یکی از اقدامات خود (یعنی یکی از همسایگان آن) را براساس بردار احتمالی خود انتخاب می‌کند، گره S_6 انتخاب شده است.



شکل (۳-۴): مثال نمونه‌ای از انتخاب گره‌ها در روش پیشنهادی. دو مرحله اصلی الگوریتم ما برجسته شده است. نقاطی که در فاز یادگیری انتخاب شده‌اند سبز رنگ هستند، درحالی‌که آن‌هایی که در مرحله پوشش جزئی قرار دارند، قرمز رنگ می‌باشند.

این فرآیند ادامه می‌یابد تا هر گره یا انتخاب شده (اضافه‌شده به Ψ) یا نه (اضافه شود به Γ). بنابراین، S10 و S15 به پایان رسید و مرحله اول، مرحله یادگیری را انتخاب می‌کنند. در این مرحله، $|\Psi|$ در این مثال برابر با ۴ و میانگین انرژی باقی‌مانده $E\Psi$ گره‌ها محاسبه می‌شود. از یک‌سو، اگر $|\Psi|$ کمتر از مقدار آستانه T_n و $E\Psi$ بزرگ‌تر از انرژی باقی‌مانده E_n باشد، یک پیام REWARD به گره‌ها در Ψ فرستاده می‌شود. از سوی دیگر، اگر شرط قبلی رضایت نداشته باشد PENALTY به‌جای آن ارسال می‌شود. پس از دریافت پیام REWARD یا PENALTY، هر گره، بردار احتمالی عمل خود را با توجه به معادله (۲-۲) یا معادله (۲-۳)، به‌روز می‌کند. علاوه‌براین، در هر دو مورد، همچنین ارزش متغیرهای عمومی ذخیره‌شده را بروزرسانی می‌کنند (در این مثال مقدار T_n به ۴ و E_n به $E\Psi$ تنظیم می‌شود). این فرآیند ادامه می‌یابد تا زمانی که شرایط توقف، حاصل شود. شبکه‌کد الگوریتم پیشنهادی در شکل (۴-۴) آورده شده است.

Input:

CG = (V; E)

► Snapshot of the network

Ps

► Desired partial coverage

a ► Reward parameter for the update of the action probability vector, where $0 < a < 1$

Tn

► Cardinality threshold value

En

► Energy threshold value

Output:

Ψ

► Selected nodes

Γ

► Unselected nodes

Initialization:

A HELLO message is broadcast within the network

for all nodes in V do

$\Psi = \emptyset$;

Initialize T_k and $P_{\text{threshold}}$

Send a DISCOVERY message

$pi(0) = \frac{1}{r} \quad \forall i$

► r is the number of neighbors

end for

repeat

Randomly select and activate a node S_i

repeat

while S_i has no possible actions do

Activated nodes are traced back to find an automaton with available actions

end while

$\Psi = \Psi \cup S_i$

S_i selects one of its neighbors S_j accordingly to its $p(n)$

Each automaton prunes its action-set to avoid the loop

S_i is activated

$\Gamma = \Gamma \cup \text{Unselected neighbors of } S_i$

$S_i = S_j$

until $|\Psi \cup \Gamma| < |V|$

E_Ψ is calculated

if $|\Psi| < T_n$ and $E_\Psi > E_n$ then

$T_n = |\Psi|$

$E_n = E_\Psi$

$\beta_i(n) = 0 \quad \forall i \mid S_i \in \Psi$

► Reward from the environment

Broadcast a REWARD message among all selected nodes in Ψ

Else

$\beta_i(n) = 1 \quad \forall i \mid S_i \in \Psi$

► Penalty from the environment

Broadcast a PENALTY message among all selected nodes in Ψ

end if

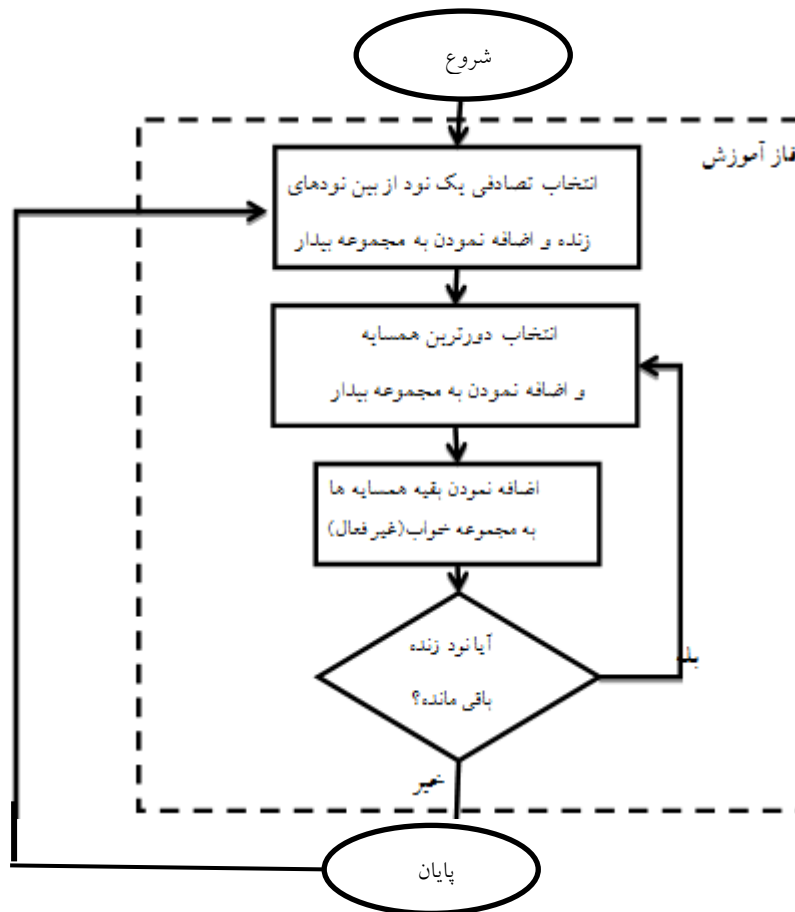
Enable all the disabled actions

until the stop condition is met.

An ACTIVATION message is broad cast among all the nodes in Ψ

FormPartialCoverage()

شکل (۴-۴): شبکه‌کد الگوریتم پیشنهادی



شکل (۴-۵): فلوچارت فاز آموزش

۹-۴- فاز پوشش جزئی

در پایان فاز یادگیری، الگوریتم بررسی می‌کند که آیا پوشش جزئی به دست آمده است یا خیر.

گام اول: اگر از پوشش جزئی رضایت نداشته باشد، روال `FormPartialCoverage()` را اجرا می‌کند. این تابع با استفاده از گره‌های در Γ برای رفع نیاز پوشش جزئی استفاده می‌کند. به‌طور ویژه، `FormPartialCoverage()` عملکرد تابع پوشش و تعداد سلول‌هایی را که با فعال کردن هر یک از گره‌ها در Γ پوشش داده می‌شوند، را ارزیابی می‌کند تا بتواند گره‌های مناسب را فعال کند.

گام دوم: گرهی فعال می‌شود که بتواند آن سلول‌هایی که توسط همسایگانش پوشش داده نمی‌شوند را پوشش دهد. در پایان این مرحله، گره‌های در حالت فعال برای نظارت بر شبکه باقی خواهند ماند، در حالی که گره‌های دیگر به‌منظور صرفه‌جویی در انرژی به حالت غیرفعال تبدیل می‌شوند. برای این منظور،

گره‌های در حال حاضر در Ψ ، پیام ACTIVATION را به گره‌های انتخاب‌شده در مرحله پوشش جزئی ارسال می‌کنند.

در شکل (۲-۴) قسمت (b) یک مثال برای مرحله پوشش جزئی الگوریتم پیشنهادی ارائه داده شده است. با فرض اینکه مجموعه‌ای از گره‌های انتخاب‌شده در مرحله یادگیری (نگاه کنید به شکل (۲-۴) قسمت a) سطح موردنظر پوشش را برآورده نمی‌کند، گره‌های اضافی می‌توانند فعال شوند و به این مجموعه اضافه شوند.

در این مثال S4 و S12 می‌توانند یک ناحیه را که همسایه‌هایشان هنوز تحت پوشش قرار نداده‌اند را پوشش دهند، آن‌ها از Γ انتخاب، فعال و به Ψ اضافه شده‌اند. به این ترتیب نیازمندی پوشش جزئی شبکه برآورده می‌شود.

شبه کد FormPartialCoverage() در شکل (۶-۴) نشان داده شده است.

Input:

CG = (V, E)

► Snapshot of the network

P_s

► Desired partial coverage

Input/Output:

Ψ

► Selected nodes

Γ

► Unselected nodes

for all S_j in Γ do

if Ψ does not satisfy P_s then

if Neighbors of S_j cannot cover S_j area then

$\Psi = \Psi \cup S_j$

Send an ACTIVATION message to S_j

else

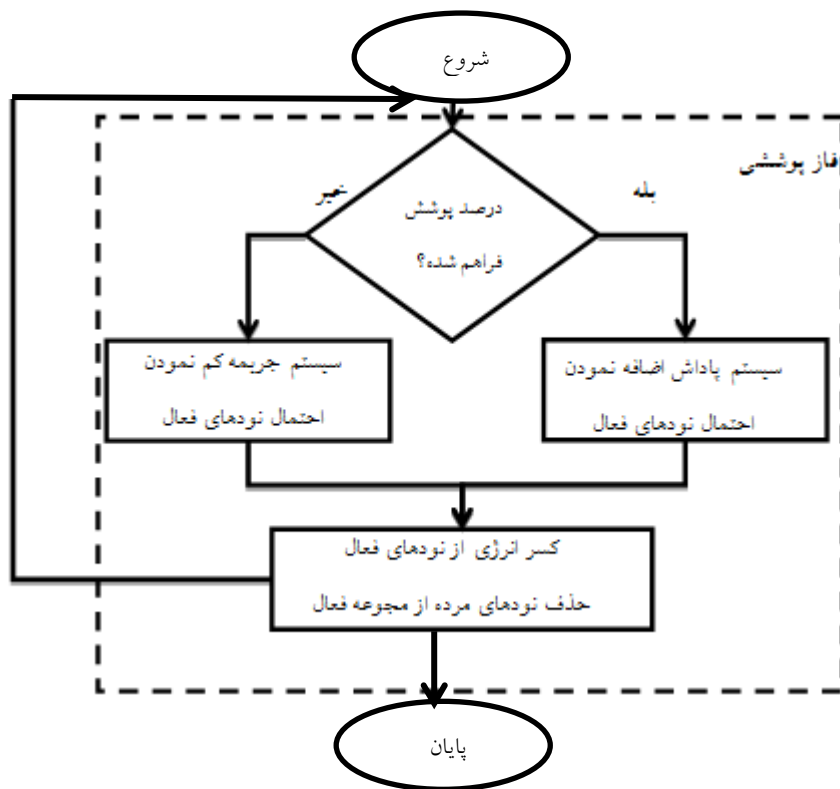
Deactivate S_j

end if

end if

end for

شکل (۶-۴): شبه کد FormPartialCoverage



شکل (۷-۴): فلوچارت فاز پوششی

در این فصل، مراحل روش پیشنهادی جهت یادگیری و انجام پوشش جزئی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم مطرح گردید. در فصل پنجم، شبیه‌سازی روش پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار متلب بیان می‌گردد.

فصل پنجم:

ارزیابی و مقایسه

در این فصل، یک الگوریتم جدید ارائه گردید که با استفاده از آتوماتای یادگیرنده، برای تکمیل رویکردهای برنامه‌ریزی خواب استفاده می‌شود.

هدف، به حداقل رساندن تعداد حسگرهای فعال، برای پوشش بخش منطقه موردنظر و حفظ ارتباط بین حسگرها می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که چگونه روش پیشنهادی می‌تواند حسگرها را به طریقی مناسب برای برآورده ساختن محدودیت‌های اعمال‌شده انتخاب نماید، به‌طوری‌که عملکرد خوب را از لحاظ پیچیدگی زمان، نسبت گره فعال، مقیاس‌پذیری و طول عمر شبکه حسگر بیسیم تضمین کند.

۱-۵- پارامترهای شبیه‌سازی

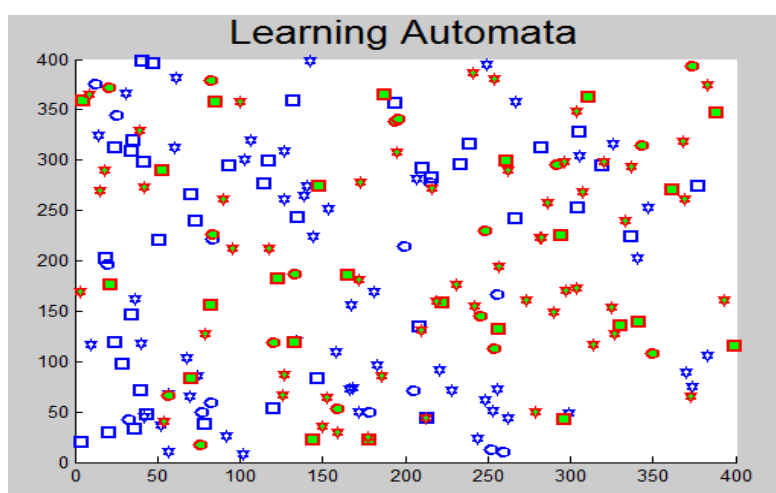
در این بخش از تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار متلب^۱ به ارزیابی عملکرد و کارایی روش پیشنهادی پرداخته می‌شود. برای تجزیه و تحلیل مناسب‌تر روش پیشنهادی، شبیه‌سازی در حالات گوناگون از نظر اندازه محیط، تعداد گره‌های حسگر و درصد همپوشانی‌های مختلف، مورد بررسی قرار داده می‌شود. در شبیه‌سازی پایه، ۲۰۰ گره حسگر را در زمین با ابعاد ۴۰۰ در ۴۰۰ مترمربع به صورت تصادفی پخش می‌کنیم. در این محیط سه نوع حسگر قرار دارد که تعداد هرکدام به ترتیب ۳۱ و ۶۴ و ۱۰۵ و درصد همپوشانی ۴۰٪ و ۶۰٪ و ۸۰٪ می‌باشد. روش پیشنهادی را با الگوریتم کنترل ازدحام CODA و همچنین بدون کنترل ازدحام، مقایسه می‌کنیم که یک حالت اولیه برای مقایسه‌ی بین روش‌ها است.

^۱ Matlab

جدول (۵-۱): پارامترهای شبیه‌سازی

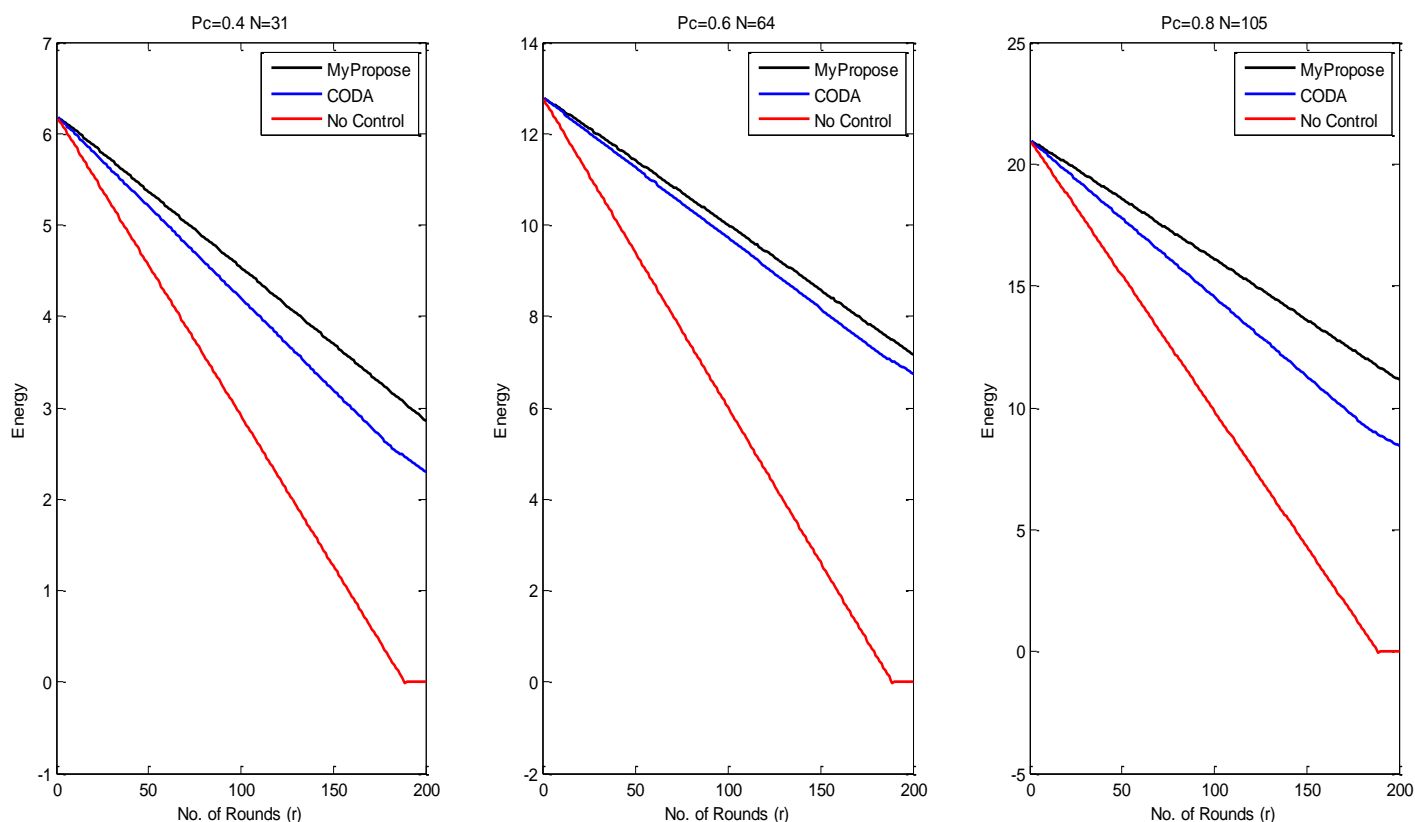
پارامتر	تشریح پارامتر	مقدار پارامتر
S	ابعاد زمین	400*400 m ²
E ₀	انرژی اولیه گره حسگر همگن	0.2 j
n	تعداد کل گره‌های پخش‌شده	200
N	تعداد حسگر از هر نوع	31,64,105
P _s	درصد همپوشانی از هر نوع	40٪/60٪/80٪
R _s	شعاع حس حسگر	50 m
R _c	شعاع ارتباطی بین حسگر	100 m

در جدول (۵-۱) خلاصه‌ای از پارامترهای بکار رفته در شبیه‌سازی لیست شده است. محیط شبیه‌سازی در شکل (۵-۱) نمایش داده شده است. سه نوع حسگر به صورت مربع، دایره و شش ضلعی نمایش داده می‌شود. در صورتی که حسگر فعال باشد، به صورت رنگی توپر و در صورت غیرفعال بودن به صورت توخالی نمایش داده می‌شود. محل قرار گرفتن حسگرها به صورت تصادفی می‌باشد.



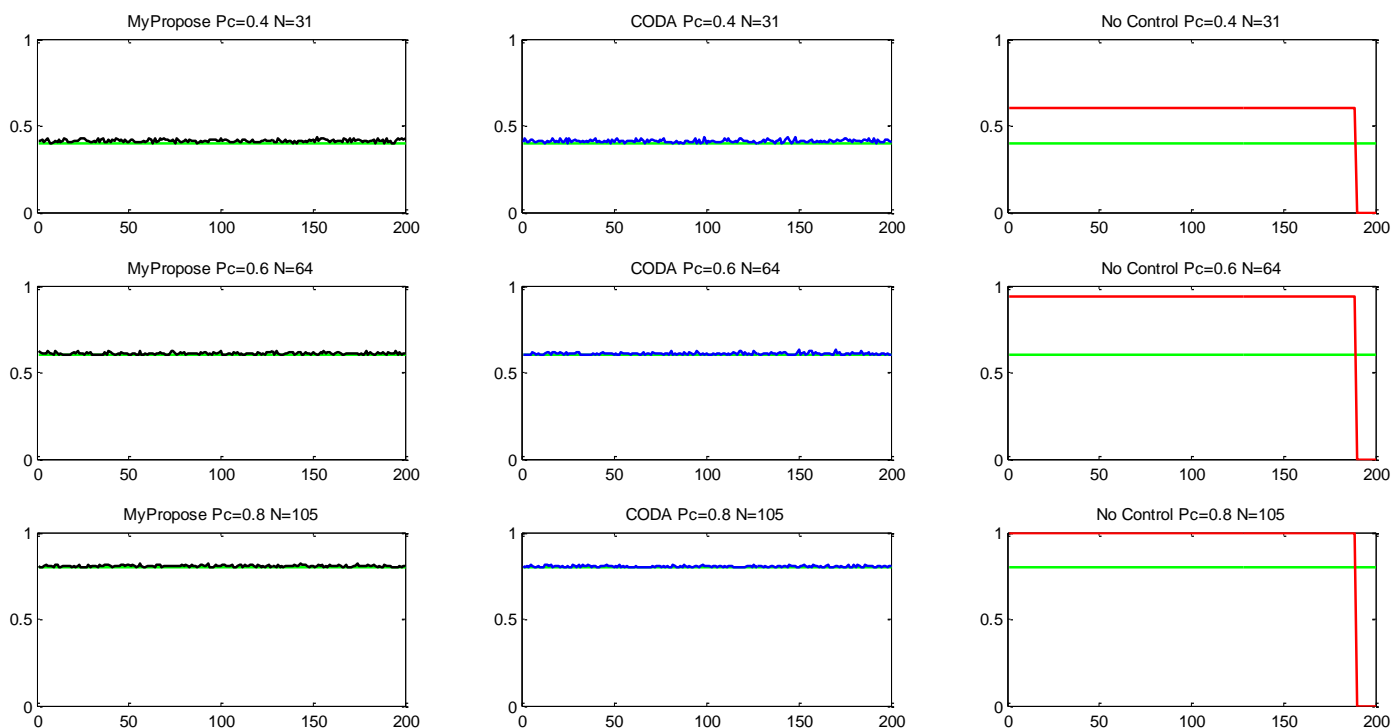
شکل (۵-۱): محیط شبیه‌سازی

نمودار (۵-۱) نمودار خروجی شبیه‌ساز می‌باشد که روش پیشنهادی را با سایر روش‌های گفته‌شده مقایسه کرده است. همان‌طوری که مشخص است آتاماتای یادگیرنده، در هر سه نوع حسگر با درصد همپوشانی ۴۰٪ و ۶۰٪ و ۸۰٪ بهتر عمل کرده است.



نمودار (۵-۱): نتیجه اجرای شبیه‌سازی با درصد همپوشانی ۴۰٪ و ۶۰٪ و ۸۰٪

میزان همپوشانی از هرکدام از حسگرها در شکل (۵-۲) نمایش داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌گردد، آتاماتا در هر سه حالت توانسته است میزان همپوشانی موردنظر را تأمین کند. البته الگوریتم CODA نیز همپوشانی را تأمین می‌کند چون به‌رحال الگوریتم کنترل ازدحام می‌باشد، ولی با توجه به طول عمر شبکه و میزان مصرف انرژی، مسلماً الگوریتم پیشنهادی بهتر عمل می‌نماید. در انتهای فصل، وقتی تعداد تکرار برنامه را بالا می‌بریم و یا تعداد و انرژی را تغییر می‌دهیم، الگوریتم CODA نیز نمی‌تواند انتظارات را برآورده سازد.



شکل (۲-۵): میزان همپوشانی هر کدام از حسگرها

۲-۱-۵- صحت و پیچیدگی زمانی

در اینجا نشان می‌دهیم که چگونه روش پیشنهادی هر دو الزام (اتصال و پوشش جزئی) را حفظ می‌کند. افزون‌براین، پیچیدگی الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفته و با راه‌حل‌های پیشرفته‌ای مقایسه می‌شود.

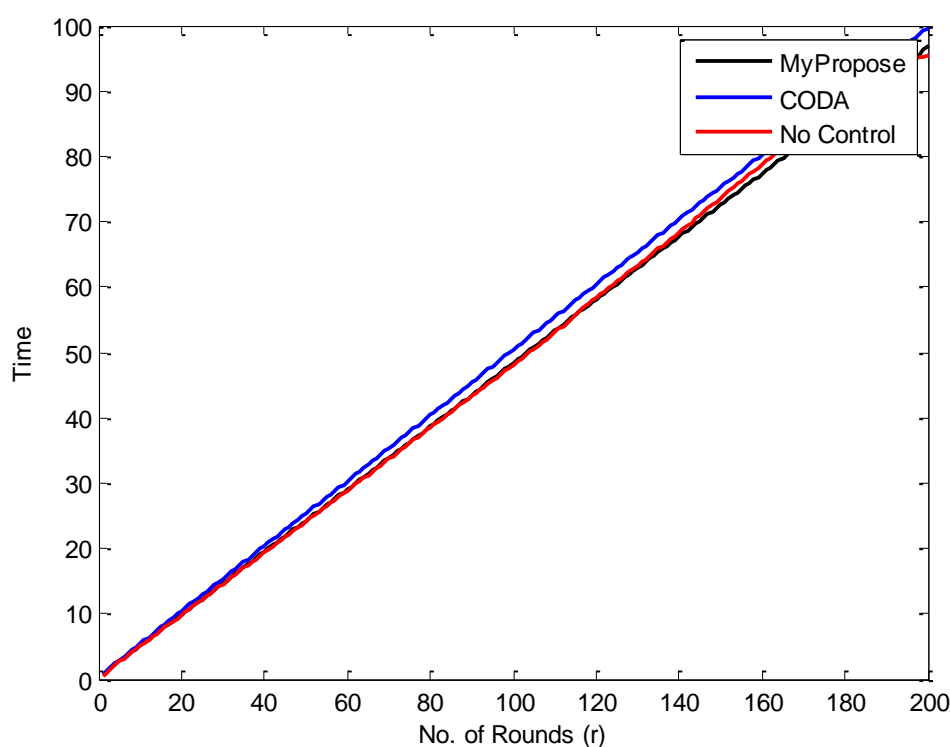
۳-۱-۵- صحت روش پیشنهادی

مجموعه‌ی Ψ از روش پیشنهادی، می‌تواند پوشش جزئی و اتصال را حفظ کند. اثبات اتصالات در میان تمام گره‌های فعال شبکه حسگر بیسیم توسط روش پیشنهادی تضمین شده است. درواقع، در انتهای الگوریتم $\Psi \cup \Gamma = V$ ، یعنی هر گره متعلق به V یا در Ψ و یا در Γ است. گره‌های Ψ به دلیل روش تکرارپذیری متصل شده‌اند: در هر تکرار i از مرحله یادگیری، S_i یک همسایه را در محدوده ارتباط R_c خود، انتخاب می‌کند و آن را به مجموعه BS اضافه می‌کند. بنابراین تمام گره‌های درون Ψ متصل هستند. اگر محدودیت‌های پوشش، نیاز به گره‌های بیشتری برای اضافه شدن داشته باشد، روال

FormPartialCoverage()، دیگر حسگرهای Γ را فعال می‌کند و آن‌ها را تا زمانی که درصد لازم پوشش جزئی به دست می‌آید، اضافه می‌کند. این گره‌های اضافی را از آن‌هایی که در Γ هستند، انتخاب می‌کند. با توجه به این که هر گره در Γ حداقل توسط یک همسایه اضافه شده در نتیجه، اتصال برقرار می‌شود.

۴-۱-۵- تجزیه و تحلیل پیچیدگی زمانی

الگوریتم پیشنهادی به وسیله دو حلقه تودرتو تشکیل شده است: (i) حلقه داخلی که زمان اجرا متناسب با تعداد گره‌ها (N) و (ii) حلقه بیرونی که زمان اجرا بستگی به تعداد حلقه‌ها (I) دارد. بنابراین پیچیدگی حلقه داخلی و خارجی برابر است با $O(N)$ و $O(I)$. در نهایت، زمان اجرای برنامه معمول FormPartialCoverage() نیز $O(N)$ است. با توجه به این مشارکت، پیچیدگی زمان پیشنهادی می‌تواند به صورت $O(N \times I) + O(N)$ بیان شود. بنابراین، پیچیدگی زمان کلی الگوریتم پیشنهادی $O(N \times I)$ است. نتیجه اجرای برنامه نیز نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها، زمان کمتری را صرف می‌نماید. نمودار (۲-۵) زمان اجرای هر سه الگوریتم را نشان می‌دهد.



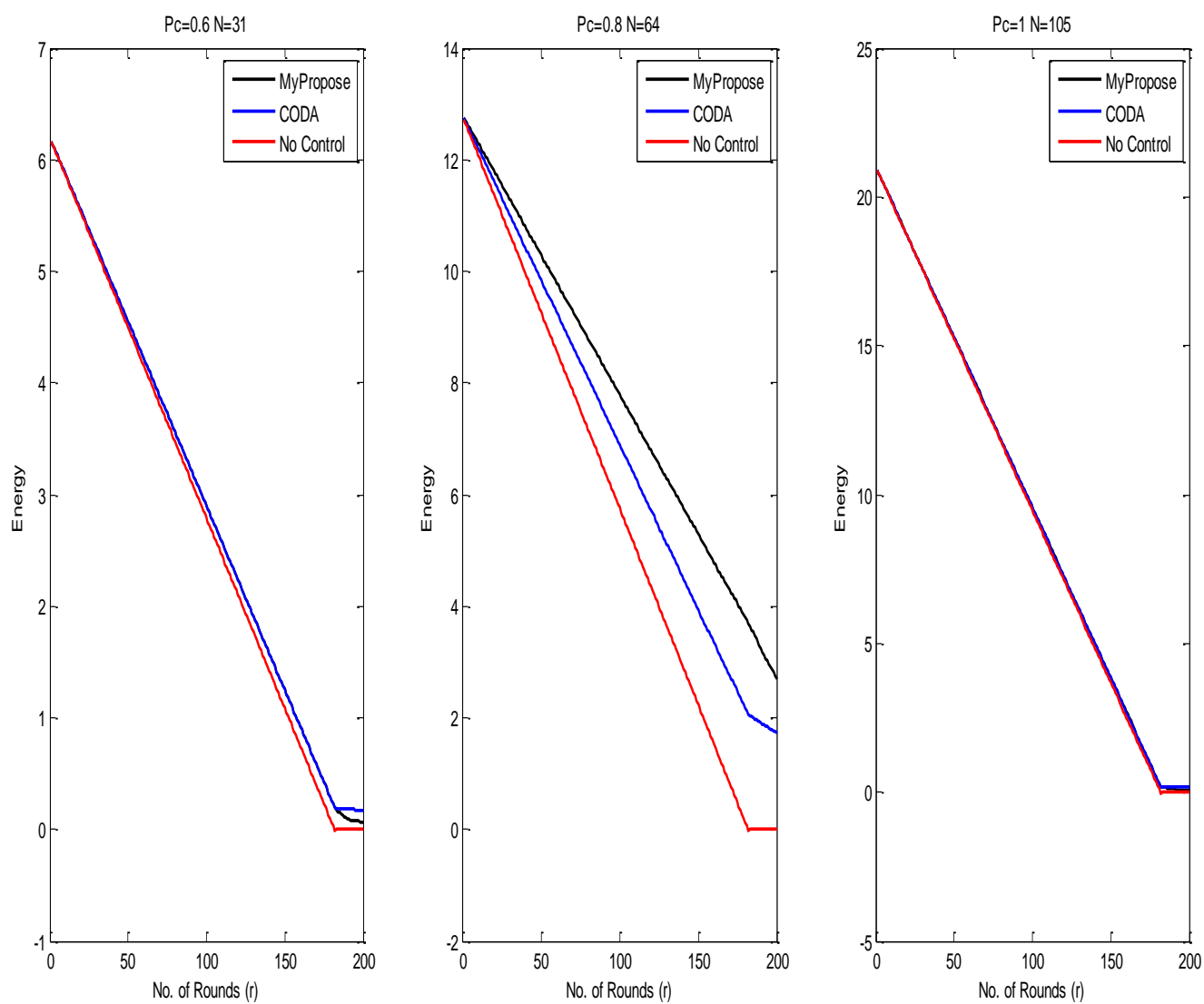
نمودار (۲-۵): زمان اجرای هر سه الگوریتم

همان‌طور که مشاهده می‌شود، زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی بهتر از بقیه الگوریتم‌های دیگر می‌باشد. دلیل این بهینگی یادگیری و استفاده از روش پاداش و مجازات می‌باشد و پس از یادگیری نیازی به محاسبات چندباره نیست.

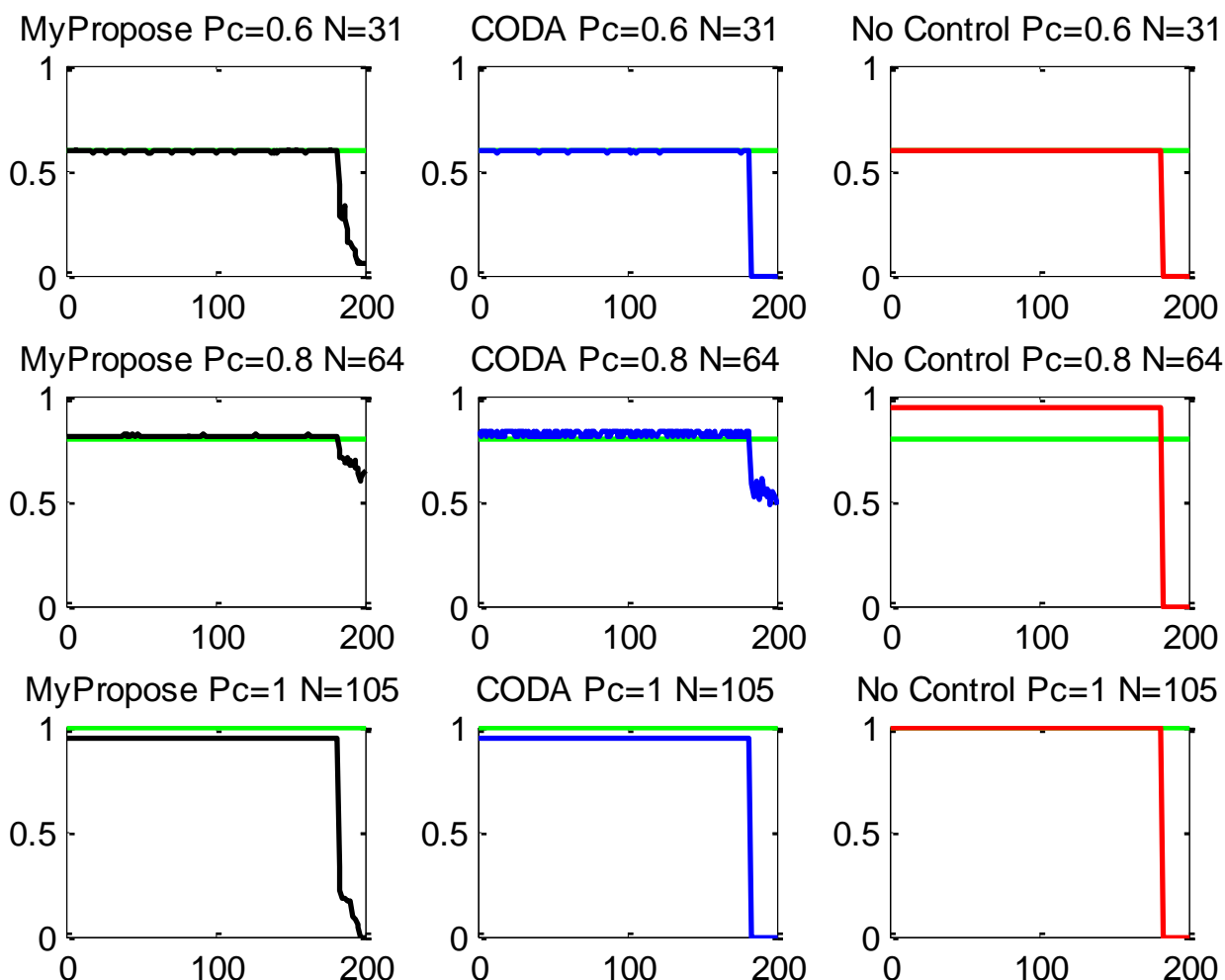
۵-۱-۵- اجرا با پارامترهای مختلف

جهت نشان دادن میزان تحمل، الگوریتم پیشنهادی در حالت‌های متفاوتی مورد آزمایش قرار می‌گیرد. در ابتدا درصد همپوشانی را بالابرده و به ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪ تغییر داده و برنامه را برای هر سه الگوریتم مجدداً اجرا می‌نماییم.

نمودار (۵-۳) و شکل (۵-۳) میزان مصرف انرژی و همچنین درصد همپوشانی را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار (۵-۳) میزان مصرف انرژی با درصد همپوشانی ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪ است. همچنین شکل (۵-۳) میزان همپوشانی با درصدهای ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪ می‌باشد که بیانگر میزان مصرف انرژی و میزان درصد همپوشانی در هر دو شکل است.

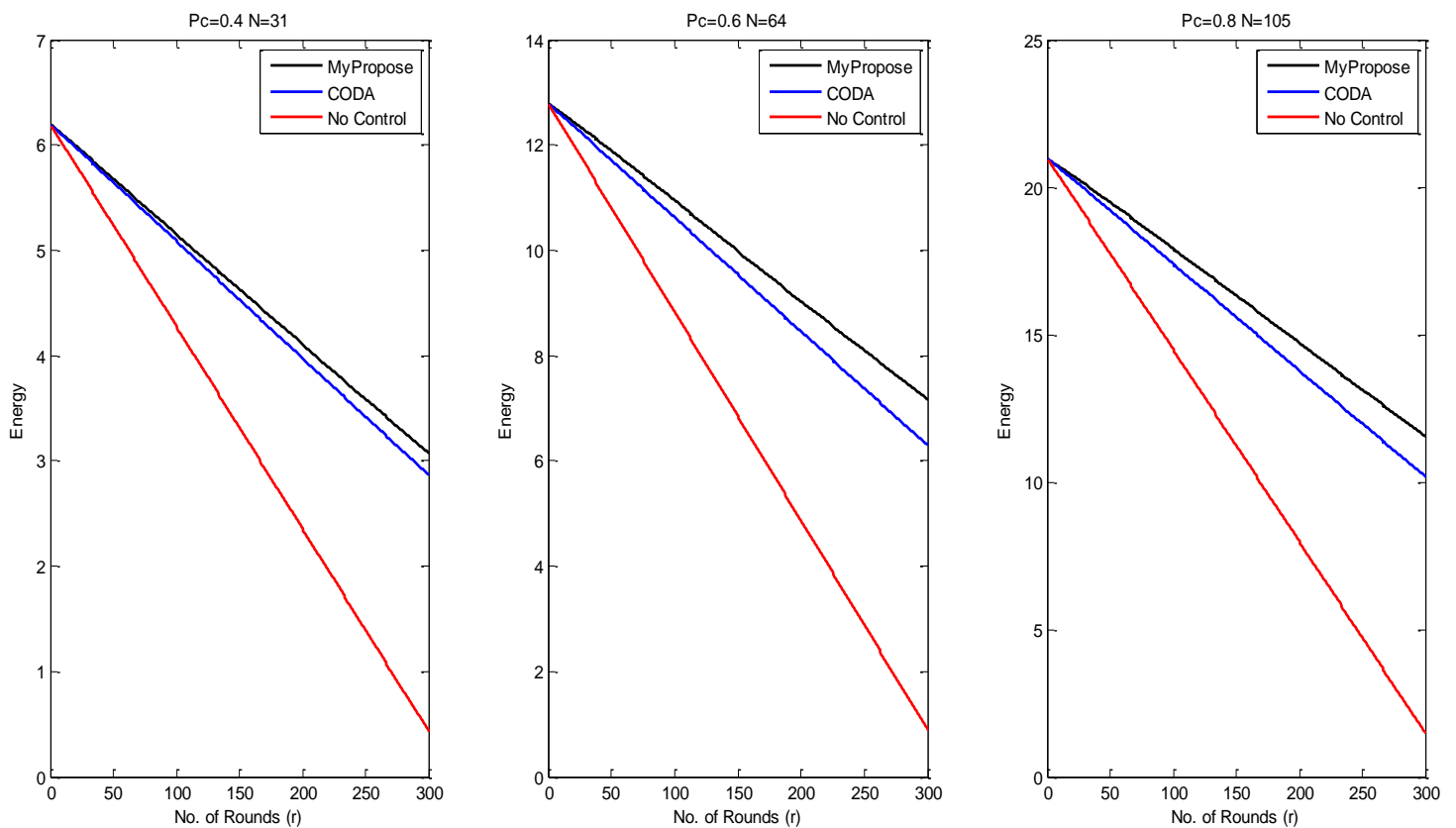


نمودار (۳-۵): میزان مصرف انرژی با درصد همپوشانی ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪



شکل (۳-۵): میزان همپوشانی با درصدهای ۶۰٪ و ۸۰٪ و ۱۰۰٪

همان‌طور که مشاهده می‌گردد همچنان آتاماتای یادگیر، بهتر عمل می‌نماید. سپس تعداد تکرار برنامه را بالا می‌بریم و از ۲۰۰ به ۳۰۰، افزایش می‌دهیم تا طول عمر شبکه را در هر سه الگوریتم بررسی نماییم. نمودار (۵-۴) میزان مصرف انرژی را با تعداد تکرار ۳۰۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نمودار (۵-۴) در هر سه حالت ۳۱، ۶۴ و ۱۰۵، نیز مصرف انرژی با تعداد تکرار ۳۰۰ در الگوریتم پیشنهادی، همچنان کمتر از مصرف انرژی در الگوریتم‌های دیگر است.



نمودار (۴-۵): مصرف انرژی با تعداد تکرار ۳۰۰

در فصل جاری، نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار متلب مطرح گردید و روش پیشنهادی با پژوهش پیشین CODA در زمینه کنترل ازدحام مقایسه شد. در ادامه، نتیجه‌گیری از این پژوهش در زمینه کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از آتاماتای یادگیر بیان می‌شود و سپس ایده‌هایی جهت ارائه روش‌های آتی در این زمینه مطرح می‌گردد.

نتیجه‌گیری و کارهای آتی

نتیجه گیری

در این کار، مسئله پوشش جزئی در شبکه‌های حسگر بیسیم مورد بررسی قرار گرفته است و یک الگوریتم پیشنهادی، یک راه حل مبتنی بر آتاماتای یادگیری پیشنهاد شده است. الگوریتم پیشنهادی یک مجموعه مناسب از حسگرها را فعال می‌کند که می‌تواند بخش مورد نظر محیط را پوشش دهد و ارتباط را در بین گره‌های فعال حفظ کند.

با توجه به نتایج، روش پیشنهادی از الگوریتم‌های پیشرفته، بهینه‌تر عمل می‌نماید. درواقع، پیچیدگی زمانی (زمان اجرا) و طول عمر شبکه در تمام شرایطی که در نظر گرفته شده است، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی بهتر است. علاوه بر این، هنگامی که محدودیت‌های پوشش را سخت‌تر می‌کنیم، عملکرد روش پیشنهادی نسبت به سایر راه‌حل‌ها، ارزیابی بهتری دارد. بر این اساس، سود حاصل از استفاده از آتاماتای یادگیرنده به جای الگوریتم‌های دیگر، هنگام افزایش شعاع حس R_s بیشتر مشخص می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد، الگوریتم‌های یادگیرنده می‌توانند بیشتر در شبکه‌های حسگر مورد استفاده قرار گیرند. از مهم‌ترین دست‌آوردهای تحقیق می‌توان به استفاده از آتاماتای یادگیرنده، استفاده از تکنیک خواب و بیدار، استفاده از ضریب فاصله جهت بالا بردن سطح پوششی با تعداد حسگر کمتر اشاره کرد.

دست‌آوردهای تحقیق که در این قسمت به صورت خلاصه بیان شده است، در فصل چهارم با عنوان روش پیشنهادی، به صورت کامل و همه‌جانبه تشریح شده است و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده خبر از موفقیت روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها را می‌دهد که نتایج در فصل پنجم به صورت مفصل بحث شده است.

کارهای آتی

در انتهای این تحقیق، پیشنهاداتی که برای کارهای آتی مطرح می‌شود به شرح زیر می‌باشد:

- ✓ فعالیت در زمینه افزایش مقیاس‌پذیری روش پیشنهادی.
- ✓ ترکیب الگوریتم پیشنهادی با پروتکل‌های مسیریابی دیگر.
- ✓ استفاده از مکانیزم لایه‌بندی هوشمند.
- ✓ بررسی در زمینه استراتژی‌های مختلف در مورد چگونگی حرکت چاهک سیار.

- ✓ بررسی برای یک معیار، جهت تعیین تعداد مناسب چاهک سیار.
- ✓ تحقیق در مورد سرعت حرکت چاهک و تأثیر آن بر روی عملکرد شبکه.

فهرست منابع

۱. امیری، میلاد، زهره‌وندی، عباداله، روستائی، رسول، ۱۳۹۵، ارائه یک راهکار جدید کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم، سومین همایش ملی مهندسی رایانه و مدیریت فناوری اطلاعات، تهران، شرکت علم و طلوع فرزین .
۲. تنن‌بام، ا. (۱۳۸۶)، شبکه‌های کامپیوتری (نسخه ۴). (ح.پدرام و ا. ملکیان، & ع. زارع‌پور، مترجم) نص.
۳. رضایی، ع. جلالیان، س. (۱۳۸۸)، مدل‌سازی و ارزیابی قراردادهای لایه انتقال در شبکه‌های حسگر بی سیم، اولین کنفرانس ملی مهندسی نرم‌افزار ایران.
۴. رضایی، ع.ز. (۱۳۸۹)، ارائه پروتکل انتقال برای کنترل ازدحام.
۵. شیخی، ه. بستم، م. دهقان، م. (۱۳۸۷)، کنترل ازدحام برای جریان‌های ویدیو در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، چهاردهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران.
۶. صحرانشین، ط. صفایی، م. (۱۳۹۵)، ارائه الگوریتم مبتنی بر اولویت بسته‌ها برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم، سومین کنفرانس سراسری نوآوری‌های اخیر در مهندسی برق و کامپیوتر، تهران، موسسه آموزش عالی نیکان.
۷. گل‌گیری، راضیه و رضا جاویدان، ۱۳۹۵، یک مکانیسم بهینه برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم مبتنی بر مدیریت ترافیک، دومین همایش ملی پژوهش‌های مهندسی رایانه، همدان، گروه پژوهشی اکباتان.
8. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer networks*, 38(4), 393-422.
9. AfsarShah, S., Nazir, B., & Khan, I. A. (2017). Congestion control algorithms in wireless sensor networks: Trends and opportunities. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 29(3), 236-245.
10. Anand Kulkarni. (2010). "Congestion Control In Wireless Sensor Network"; August 09, 2010.
11. Barolli, Admir, et al.(2015). "Node placement for wireless mesh networks: Analysis of WMN-GA system simulation results for different parameters and distributions." *Journal of Computer and System Sciences* .1507-1496.

12. Cao, Cen, Qingjian Ni, and Xushan Yin.(2014). "Comparison of Particle Swarm Optimization algorithms in Wireless Sensor Network node localization."Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2014 IEEE International Conference on. IEEE. 210-218.
13. Ee C , T., & Bajcsy, R. (2004). "*Congestion control and fairness for many-to-one routing in Sensor networks* ". ACM Sensys, 161-148.
14. Hull, B., jamieson, K., & Balakrishnan, H. (2004). "*Mitigation congestion in wireless sensor networks*". ACM sensys, 4.
15. I.F.AKyildiz, T.Melodia, K.Chowdhury. (2007), "*A surveyon wireless multimedia sensor networks*", computer Network 51.
16. J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, (2008), "Wireless sensor network survey," Computer Networks, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330.
17. Kevin O, David M, Tanya M. (2016). "*Large-Sample Comparison of TCP Congestion Control Mechanisms over Wireless Networks*", 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops.
18. Kohler, E., & Kohler, E. (2003). "*Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) Overview*". ICIR.
19. Liu, Xuxun, and Desi He.(2014). "Ant colony optimization with greedy migration mechanism for node deployment in wireless sensor networks." Journal of Network and Computer Applications 39 310-318.
20. Monowar, Muhammad Mostafa, Md. Rahman, Obaidur, Al-Sakib Khan Pathan, "*Congestion Control Protocol for Wireless Sensor Networks Handling Prioritized Heterogeneous Traffic*", and Choong Seon Hong .
21. Paek, J., & Govindan, R. (2007). "*Rcrt: Rate-controlled reliable transport for wireless sensor networks*". 5th international conference on Embedded networked sensor systems (pp.313-325). New York: ACM.
22. Peng, Bo, and Lei Li. (2015). "An improved localization algorithm based on genetic algorithm in wireless sensor networks." Cognitive neurodynamics 9.2, 249-256.
23. Rashmi M. et al. (2016). "Congestion controlled adaptive routing in wireless sensor network, Signal Processing, Communication", Power and Embedded System ,International Conference on SCOPES.
24. Sun, Xuemei, et al. (2015). "Optimization deployment of wireless sensor networks based on culture–ant colony algorithm." Applied Mathematics and Computation 250, 58-70.
- 25.S. Misra, I. Woungang, (2009) S.C. Misra, "Guide to Wireless Sensor Networks", Springer-Verlag London Limited, pp. 205-238.
26. Tanenbaum, A. S. (2010). "*Computer Networks*". 5th edition.
27. Tezcan, N., & Wang, W. (2005). "*ART: An Asymmetric and Reliable Transport Mechanism for Wireless Sensor Networks*". National Science Foundation under Grant.
28. Tezcan, N., & Wang, W. (2008). "*Self-orienting wireless multimedia sensor networks for occlusion-free viewpoints*". Computer Networks, 2567-2558.

29. Wang, C., Sohraby, K., & Li, B. (2005). "SenTCP: A hop-by-hop congestion control protocol for wireless sensor networks". IEEE INFOCOM.
30. Wang, C., & Sohrabi, K. (2006). "A Survey of Transport Protocols for Wireless Sensor Networks". *IEEE Network*, 22, 34-42.
31. Wang, C., Sohraby, K., Lawrence, V., Li, B., & Hu, Y. (2006). "Priority-based congestion control in wireless sensor networks". International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous and Trustworthy Computing (pp. 22-31). IEEE.
32. Yaghmaee, M., & Adjeroh, D. (2008). "A New Priority Based Congestion Control Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks".
33. Yin, X., Zhou, X., Huang, R., Fang, Y., & Li, S. (2009). "A Fairness-Aware Congestion Control Scheme in Wireless Sensor Networks". *VEHICULAR TECHNOLOGY*, 58.
34. Zou, Zhiqiang, et al. (2014). "Node Localization Based on Optimized Genetic Algorithm in Wireless Sensor Networks." *Advances in Wireless Sensor Networks*. Springer Berlin Heidelberg. 198-207.

Abstract

Wireless sensor networks are one of the most important technologies used in the current century. A sensor network consists of a large number of sensor nodes that are widely distributed in an environment, and it is not necessary to determine where the sensor nodes are located. Congestion in wireless sensor networks not only lowers packets but also wastes battery power. In this project, a method for controlling congestion in wireless sensor networks is presented using the learning automata to reduce energy consumption in the middle nodes. The results of this research show that learner algorithms can be used most in sensor networks. The proposed method of advanced algorithms is optimized. In fact, the complexity of the time (runtime) and the lifetime of the network in all conditions considered, suggests that the proposed method is better. In addition, when we restrict coverage, the performance of the proposed method is better than other evaluation solutions. Accordingly, the profit from the use of learning automata will be determined more than other algorithms when increasing the sensitivity of P_s . These results show that learner algorithms can be used more in sensor networks.

Keywords: wireless sensor networks, learner algorithms, congestion control.