## 

**گروه مهندسی کامپیوتر**

**پايان‌نامه جهت دريافت درجه كارشناسي ارشد** « MSC »

**گرايش: نرم‌افزار**

عنوان:

**روشی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از آتاماتای یادگیر به‌منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره‌های میانی**

**گروه مهندسی کامپیوتر**

**پايان‌نامه جهت دريافت درجه كارشناسي ارشد** « MSC »

**گرايش: نرم‌افزار**

**عنوان :**

**روشی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از آتاماتای یادگیر به‌منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره‌های میانی**

**تائیدیه پایان­نامه توسط هیأت محترم داوران (پس از تائید پایان­نامه امضاء گردند)**

نام و نام خانوادگی استاد راهنما: دکتر فراز فروتن تاریخ امضا

نام و نام خانوادگی استاد مشاور: تاریخ امضا

نام و نام خانوادگی استاد داور1: تاریخ امضا

****

**تعهدنامه اصالت رساله دكتري يا پایان‌نامه كارشناسي ارشد دانشگاه آزاد اسلامي**

اينجانب زهرا ظاهردباغ دانش‌آموخته مقطع كارشناسي ارشد ناپيوسته در رشته مهندسی نرم‌افزار کامپیوتر كه در تاريخ............... از پایان‌نامه / رساله خود تحت عنوان" **روشی برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم با استفاده از آتاماتای یادگیر به‌منظور کاهش میزان مصرف انرژی در گره‌های میانی** " با كسب نمره............ و درجه.................... دفاع نموده­ام بدین‌وسیله متعهد می‌شوم:

1 – اين پایان‌نامه / رساله حاصل تحقيق و پژوهش انجام‌شده توسط اينجانب بوده و در مواردي كه از دستاوردهاي علمي و پژوهشي ديگران ( اعم از پایان‌نامه، كتاب، مقاله و.....) استفاده نموده­ام، مطابق ضوابط و رويه موجود، نام منبع مورداستفاده و ساير مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذكر و درج كرده­ام.

2 – اين پایان‌نامه/ رساله قبلاً براي دريافت هيچ مدرك تحصيلي ( هم‌سطح، پائين تر يا بالاتر ) در ساير دانشگاه­ها و مؤسسات آموزش عالي ارائه نشده است.

3 چنانچه بعد از فراغت از تحصيل، قصد استفاده و هرگونه بهره‌برداری اعم چاپ كتاب، ثبت اختراع، و..... از اين پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشي واحد مجوزه­هاي مربوطه را اخذ نمايم.

4 – چنانچه در هر مقطع زماني خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشي از آن را می‌پذیرم و واحد دانشگاهي مجاز است با اينجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرك تحصيلي­ام هیچ‌گونه ادعايي نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی

تاريخ و امضاء

****

معاونت پژوهش و فن آوري

به نام خدا

منشور اخلاق پژوهش

**با ياري از خداوند سبحان و اعتقادبه اينكه عالم محضر خداست و همواره ناظر بر اعمال انسان و به‌منظور پاسداشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهميت جايگاه دانشگاه در اعتلاي فرهنگ و تمدن بشري ما دانشجويان و اعضاء هيئت علمي واحد هاي دانشگاه آزاد اسلامي متعهد مي گرديم اصول زير را در انجام فعاليت هاي پژوهشي مد نظر قرار داده و از آن تخطي نكنيم:**

**1-اصل حقيقت جويي: تلاش در راستاي پي جويي حقيقت و وفاداري به آن و دوري از هرگونه پنهان سازي حقيقت**

**2-اصل رعايت حقوق: التزام به رعايت كامل حقوق پژوهشگران و پژوهيدگان ( انسان، حيوان و نبات) و ساير صاحبان حق**

**3-اصل مالكيت مادي و معنوي: تعهد به رعايت كامل حقوق مادي و معنوي دانشگاه و كليه همكاران پژوهش**

**4-اصل منافع ملي: تعهد به رعايت مصالح ملي و در نظر داشتن پيشبرد و توسعه كشور در كليه مراحل پژوهش**

**5- اصل رعايت انصاف و امانت : تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داري غير علمي و حفاظت از اموال، تجهيزات و منابع دراختيار**

**6-اصل راز داري تعهد به صيانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان­ها و كشور و كليه افراد و ستادهاي مرتبط با تحقيق**

**7-اصل احترام: تعهد به رعايت حريم­ها و حرمت هادر انجام تحقيقات و رعايت جانب نقد و خودداري از هرگونه حرمت شكني**

**8-اصل ترويج : تعهد به رواج دانش و اشاعه نتايج تحقيقات و انتقال آن به همكاران علمي و دانشجويان به غير از مواردي كه منع قانوني دارد**

**9-اصل برائت : التزام به برائت جويي از هرگونه رفتار غير حرفه اي و اعلام موضع نسبت به كساني كه حوزه علم وپژوهش را به شائبه هاي غيرعلمي مي‌آلايند.**

**فهرست مطالب**

عنوان صفحه

[چکیده.. 1](#_Toc518066823)

[فصل](#_Toc518066824) اول: کلیات تحقیق

[1-1- مقدمه 3](#_Toc518066825)

[1-2- بیان مسئله 4](#_Toc518066826)

[1-3- اهداف پژوهش 6](#_Toc518066827)

[1-4- جنبه‌های نوآوری تحقیق 6](#_Toc518066828)

[1-5- ساختار پایان‌نامه 7](#_Toc518066829)

[فصل](#_Toc518066830) دوم: مبانی تحقیق

[2-1- شبکه‌های حسگر بیسیم 9](#_Toc518066831)

[2-1-1- واحد حسگر 9](#_Toc518066832)

[2-1-2- واحد پردازش 10](#_Toc518066833)

[2-1-3- واحد ارتباطات 10](#_Toc518066834)

[2-1-4- واحد توان 10](#_Toc518066835)

[2-1-5- کاربردهاي شبکه 10](#_Toc518066836)

[2-2- تعریف ازدحام و دلایل به وجود آمدن آن 11](#_Toc518066837)

[2-2-1- نرخ داده خیلی بالاي این شبکه‌ها 12](#_Toc518066838)

[2-2-2- تأثیر قابل‌توجه ازدحام در این شبکه‌ها 12](#_Toc518066839)

[2-3- پروتکل‌های لایه حمل براي شبکه‌های حسگر بیسیم 14](#_Toc518066840)

[2-3-1- پروتکل‌های کنترل ازدحام 14](#_Toc518066841)

[2-4- چالش‌ها و فضای طراحی 15](#_Toc518066842)

[2-4-1- محدودیت منابع 15](#_Toc518066843)

[2-4-2- الگوهای ترافیک 16](#_Toc518066844)

[2-4-3- معماری شبکه 16](#_Toc518066845)

[2-4-4- معیارهای عملکرد جایگزین 17](#_Toc518066846)

[2-4-5- افزونگی داده 17](#_Toc518066847)

[2-5- مبانی در آتاماتای یادگیری 18](#_Toc518066848)

[فصل](#_Toc518066849) سوم: پیشینه تحقیق

[3-1- کنترل ازدحام 21](#_Toc518066850)

[3-1-1- فاز تشخیص ازدحام 22](#_Toc518066851)

[3-1-2- فاز اعلان ازدحام 23](#_Toc518066852)

[3-1-3- فاز تنظيم نرخ 24](#_Toc518066853)

[3-2- نیاز برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم 24](#_Toc518066854)

[3-3- روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم 26](#_Toc518066855)

[3-3-1- روش شروع آهسته 27](#_Toc518066856)

[3-3-2- پروتکل کنترل ازدحام منصفانه (CCF) 29](#_Toc518066857)

[3-3-3- پروتکل Sen TCP 29](#_Toc518066858)

[3-3-4- پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر اولویت (PCCP) 30](#_Toc518066859)

[3-3-5- روش ارسال مطمئن با نرخ کنترل‌شده (RCRT) 30](#_Toc518066860)

[3-3-6- روش ارسال مطمئن نامتقارن (ART) 31](#_Toc518066861)

[3-3-7- کشف ازدحام و جلوگیری از آن (CODA) 31](#_Toc518066862)

[3-3-8- پروتکل کنترل ازدحام سنجش داده‌ها (DCCP) 32](#_Toc518066863)

[3-3-9- پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر صف حمایت اولیه (QCCP- PS) 33](#_Toc518066864)

[3-3-10- طرح کنترل ازدحام آگاه از تناسب در شبکه‌های حسگر بیسیم (FACC) 35](#_Toc518066865)

[3-4- پیشینه تحقیق 36](#_Toc518066866)

[3-5- راهکاری دیگر برای کنترل ازدحام 40](#_Toc518066867)

[3-5-1- کشف ازدحام 40](#_Toc518066868)

[3-5-2- اعلان ازدحام 41](#_Toc518066869)

[3-5-3- ارزيابي این راهکار 42](#_Toc518066870)

[فصل](#_Toc518066871) چهارم: ارائه روش پیشنهادی

[4-1- فلوچارت کلی 46](#_Toc518066872)

[4-2- بیان اهداف 46](#_Toc518066873)

[4-3- چالش 47](#_Toc518066874)

[4-4- روش پیشنهادی 47](#_Toc518066875)

[4-5- کلیات روش پیشنهادی 48](#_Toc518066876)

[4-6- پوشش جزئی 48](#_Toc518066877)

[4-7- اهداف و مزایای کار 50](#_Toc518066878)

[4-8- فاز آموزش 52](#_Toc518066879)

[4-8-1- هدف اصلی فاز یادگیری 53](#_Toc518066880)

[4-9- فاز پوشش جزئی 58](#_Toc518066881)

[فصل](#_Toc518066882) پنجم: ارزیابی و مقایسه

[5-1- پارامترهای شبیه‌سازی](#_Toc518066883) 62

[5-1-1- صحت و پیچیدگی زمانی](#_Toc518066884) 65

[5-1-2- صحت روش پیشنهادی](#_Toc518066885) 65

[5-1-3- تجزیه‌وتحلیل پیچیدگی زمانی](#_Toc518066886) 66

[5-1-4- اجرا با پارامترهای مختلف](#_Toc518066887) 67

[نتیجه‌گیری 72](#_Toc518066888)

[کارهای آتی 72](#_Toc518066889)

[فهرست منابع](#_Toc518066890) 74

چکیده لاتین ........................................................................................................................................77

**فهرست جداول**

عنوان صفحه

[جدول (3-1): پارامترهای شبیه‌سازی 42](#_Toc516743479)

[جدول (4-1): نمادها و تعاریف 50](#_Toc516743480)

[جدول (5-1): پارامترهای شبیه‌سازی](#_Toc516743481) 63

**فهرست شکل‌ها**

عنوان صفحه

[شکل(2-1): ارتباط بین آتاماتای یادگیری و محیط تصادفی. آتاماتای یادگیری برای انتخاب مطلوب اقدامات (n)α بر اساس سیگنال تقویت (n)β ارائه‌شده توسط محیط است.](#_Toc516743448) 18

[شکل(3-1): توپولوژی مسیریابی مبتنی بر درخت 25](#_Toc516743449)

[شکل(3-2): تأثیر قیف مانند ترافیک روی شبکه‌های حسگر بیسیم](#_Toc516743450) 26

[شکل(3-3): عدم تناسب سرعت فرستنده و گیرنده](#_Toc516743451) 27

[شکل(3-4): معماری DCCP](#_Toc516743453) 33

[شکل(3-5): معماری QCCP-PS](#_Toc516743454) 34

[شکل(4-1): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی 51](#_Toc516743457)

[شکل(4-2): مثال نمونه‌ای از انتخاب گره‌ها در روش پیشنهادی. دو مرحله اصلی الگوریتم ما برجسته شده است. نقاطی که در فاز یادگیری انتخاب‌شده‌اند سبزرنگ هستند، درحالی‌که آن‌هایی که در مرحله پوشش جزئی قرار دارند، قرمز رنگ می‌باشند. 56](#_Toc516743458)

[شکل(4-3): فلوچارت فاز آموزش](#_Toc516743459) 56

[شکل(4-4): فلوچارت فاز پوششی](#_Toc516743460) 57

شکل(4-5): فلوچارت فاز آموزش....................................................................................................58

شکل (4-6): شبه کد FormPartialCoverage.............................................................................59

شکل (4-7): فلوچارت فاز پوششی.....................................................................................................60

[شکل(5-1): محیط شبیه‌سازی](#_Toc516743461) 63

[شکل(5-2): میزان همپوشانی هر کدام از حسگرها](#_Toc516743463) 65

[شکل(5-3): میزان همپوشانی با درصدهای 60% و 80% و 100%](#_Toc516743466) 69

**فهرست نمودارها**

عنوان صفحه

نمودار (3-1): روند کنترل ازدحام با الگوریتم شروع آهسته (هول، 2004).........................................31

نمودار (3-2): مقایسه مصرف انرژي (تنن‌بام، 1386).........................................................................47

نمودار (3-3): میانگین تأخیر (تنن‌بام، 1386)......................................................................................48

نمودار (5-1): نتیجه اجرای شبیه‌سازی با درصد همپوشانی 40% و 60% و 80%................................64

نمودار (5-2): زمان اجرای هر سه الگوریتم.........................................................................................67

نمودار (5-3): میزان مصرف انرژی با درصد همپوشانی 60% و 80% و 100% ...................................68

نمودار (5-4): مصرف انرژی با تعداد تکرار 300.................................................................................70

چکیده

شبکه‌هاي حسگر بیسیم جزء مهم‌ترین فن‌آوری‌‌های مورد استفاده در قرن حاضر هستند. یک شبکه حسگر، متشکل از تعداد زیادي گره‌های حسگر است که در یک محیط به‌طور گسترده پخش‌ شده‌اند و لزوماً مکان قرار گرفتن گره‌های حسگري، از قبل تعیین‌ شده و مشخص نیست. ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نه‌تنها باعث گم شدن بسته‌ها می‌شود، بلکه باعث هدر رفتن انرژي باطري 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، هنگامی‌که 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**: شبکه‌هاي حسگر بیسیم‌، الگوریتم‌های یادگیرنده، کنترل ازدحام

**فصل اول:**

**کلیات تحقیق**

* 1. مقدمه

شبکه‌هاي حسگر بیسیم[[1]](#footnote-1) در زمره‌ی مهم‌ترین فن‌آوری‌‌های قرن 21 شناخته ‌شده‌اند. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌هاي مدارهاي با توان پایین، تکنولوژي‌هاي رادیویی و سیستم‌های الکترومکانیکی[[2]](#footnote-2)، این شبکه­ها بر‌اساس یکی از نمونه‌های جمع‌آوري اطلاعات که بر پایه استفاده از تعداد زیادي گره­هاي[[3]](#footnote-3) حسگر است، مورد توجه قرار گرفت (امیری،1395).

حسگر‌های بیسیم نسبت به حسگرهاي سیمی مرسوم از مزایاي قابل‌ توجهی برخوردارند. زیرا نه‌تنها موجب کاهش هزینه و تأخیر[[4]](#footnote-4) در چیدمان می‌شوند، بلکه براي هر محیطی خصوصاً محیط‌هایی که استفاده از شبکه‌هاي حسگر مرسوم در آن‌ها غیرممکن است؛ مانند زمین‌هاي غیرقابل‌ سکونت، مناطق جنگلی، فضاي خارج از جو زمین و یا اقیانوس‌هاي عمیق به کار می‌روند (تنن‌بام، 1386).

از ویژگی‌های بارز آن اندازه کوچک‌، قیمت مناسب و کاربردهای متنوعی‌ست که فراهم آورده است. طراحی چنین شبکه‌هایی‌، چالش‌ها و مشکلاتی نیز دارد که ازدحام[[5]](#footnote-5)  ‌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 درپی خواهد داشت (رضایی، 1388).

این تکنولوژي مخابرات بی‌سیم به کمک حسگرهای کوچک، ارزان‌قیمت و هوشمند قادر هستند یک ناحیه فیزیکی و شبکه‌بندي شده با استفاده از لینک‌هاي بیسیم و اینترنت فراهم کنند. این حسگرهای کوچک که توانایی اعمالی چون دریافت اطلاعات مختلف محیطی بر اساس نوع حسگر، پردازش و ارسال آن اطلاعات را دارند، موجب پیدایش ایده‌اي براي ایجاد و گسترش شبکه‌های موسوم به شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده‌اند. یک شبکه حسگر، متشکل از تعداد زیادي گره‌های حسگر است که در یک محیط به‌طور گسترده پخش‌ شده‌اند و لزوماً مکان قرار گرفتن گره‌های حسگري، از قبل تعیین‌شده و مشخص نیست. چنین خصوصیتی، این امکان را فراهم می‌آورد که بتوانیم آن‌ها را در مکان‌های خطرناك و یا غیرقابل‌دسترس رها کنیم؛ از طرف دیگر این بدان معنی است که پروتکل‌ها و الگوریتم‌هاي شبکه‌هاي حسگرها، باید داراي توانایی‌های خود‌ساماندهی باشند. ازدحام در این نوع شبکه­ها نه‌تنها باعث گم شدن بسته‌ها می‌شود، بلکه باعث هدر رفتن انرژي باطري نیز می‌گردد. بنابراین با بالا بردن عمر گره‌های حسگر، باید ازدحام را کنترل نمود (رضایی، 1389).

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

* 1. بیان مسئله

در یک شبکه حسگر بیسیم، ازدحام تأثیر مستقیمی روي بازده انرژي و کیفیت خدمات سرویس‌دهی دارد. براي مثال ازدحام می‌تواند منجر به سرریز شدن بافر[[6]](#footnote-6) شود که تأخیر انتشاري در صف را به دنبال داشته و موجب از دست دادن بسته‌های بیشتر می‌گردد. از دست دادن بسته‌ها نه‌تنها می‌تواند قابلیت اطمینان و کیفیت خدمات سرویس‌دهی را کم اعتبار کند، بلکه می‌تواند انرژي محدود شده یک گره را نیز هدر دهد. ازدحام همچنین می‌تواند به‌کارگیری لینک را کاهش دهد. بنابراین ازدحام باید به طرز چشمگیري کنترل شود (رضایی، 1389).

براي این موضوع سه مکانیسم تشخیص ازدحام، ابلاغ ازدحام، تخفیف و اجتناب از ازدحام مطرح می‌باشند (رضایی، 1389).

**تشخیص ازدحام:[[7]](#footnote-7)** در [[8]](#footnote-8)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 سرویس بسته یا نسبت زمان سرویس بسته به زمان ورودي بسته در گره‌های میانی است (رضایی، 1389).

**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 تقسیم‌بندي 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 براي انتشار اطلاعات ازدحام نیاز ندارد، بنابراین بازده انرژي بهبودیافته است (رضایی، 1389).

**تخفیف یا تقلیل از ازدحام و روش‌های اجتناب از آن**: دو روش کلی براي 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 براي 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 براي کنترل ترافیک در شبکه‌های حسگر بیسیم وجود دارد: انتها به انتها و پرش به پرش. کنترل انتها به انتها می‌تواند تنظیم نرخ دقیق کنترل را در هر گره منبع انجام دهد و ازاین‌رو طراحی پروتکل در گره‌های میانی را آسان کند. در مقابل روش کنترل ازدحام پرش به پرش، پاسخ سریع‌تری دارد (رضایی، 1389).

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. درصورتی‌که در شبکه‌های حسگر بی‌سیم‌ها، ارتباط چند به یک متداول است. این ارتباط‌ به‌گونه‌ای 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، نرخی که گره‌ بسته‌ها را دریافت می‌کند با نرخی 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 نه‌تنها باعث گم‌شدن 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 گم‌شده در گره میانی و میزان انرژی مؤثر در شبکه ‌حسگر شود.

* 1. اهداف پژوهش

- استفاده از‌ سیستم آتاماتای یادگیری‌ در جهت کاهش مصرف انرژی

- کمک به ارائه‌دهندگان سرویس شبکه بی­سیم

- استفاده از سیستم آتاماتای یادگیری‌ در جهت بهبود عملکرد و بهره‌وری شبکه‌های بی­سیم

* 1. 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.
  1. ساختار پایان‌نامه

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

* 1. شبکه‌های حسگر بیسیم

یک شبکه حسگر بیسیم در حالت کلی از یک یا چند ایستگاه اصلی و ده‌ها یا هزاران گره­های حسگر پراکنده ‌شده در فضاي 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 براي رخدادهای نمایش و جمع‌آوري 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 حسگرهاي دیگر و اهداف شبکه متناسب هستند. این گره‌های حسگر ارزان‌قیمت، چندمنظوره با توان پایین، ازنظر ابعاد کوچک و از قابلیت حسگري برخوردارند. اجزاي اصلی این حسگرها شامل واحد حسگر، واحد پردازش، واحد ارتباطات و واحد توان می‌باشد (صحرا‌نشین، 1395).

* + 1. 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، 1395).

* + 1. واحد پردازش

این پردازشگر معمولاً از خانواده‌های میکروپروسسور، میکروکنترلر یا FPGA[[9]](#footnote-9) ها می‌باشند. همچنین این واحد به ذخیره‌سازی احتیاج دارد که معمولاً به‌طور گسترده از‌ Flash memory به علت قیمت مناسب و ظرفیت ذخیره‌سازي استفاده می‌شود (صحرا‌نشین، 1395).

* + 1. واحد ارتباطات

انواع مختلف شبکه حسگرها از سه نوع مخابرات نوري، مادون‌قرمز و فرکانس رادیویی تشکیل‌ شده‌اند. معمولاً فرکانس رادیویی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیاز به یک آنتن دارد (صحرا‌نشین، 1395).

* + 1. واحد توان

مصرف توان، یکی از ضعف‌های اصلی شبکه‌های حسگر می‌باشد؛ چرا که براي تأمین توان سیستم به‌منظور راه‌اندازي تمام اجزاء موجود سیستم، به باتري نیاز است (صحرانشین، 1395).

* + 1. کاربردهاي شبکه

حسگرها می‌توانند براي آشکارسازي یا نمایش متنوع پارامترهاي فیزیکی، با شرایط مختلف ازجمله: نور یا صدا، رطوبت، فشار، دما، ترکیب خاك، کیفیت آب‌وهوا، مورد استفاده قرار بگیرند (تنن‌بام، 1386).

حسگرهاي بیسیم نسبت به حسگرهاي سیمی مرسوم از مزایاي قابل‌توجهی برخوردارند. حسگرهاي بیسیم نه‌تنها موجب کاهش هزینه و تأخیر در چیدمان می‌شوند، بلکه براي هر محیطی خصوصاً محیط‌هایی که استفاده از شبکه‌های حسگر مرسوم در آن‌ها غیرممکن است؛ مانند زمین‌های غیرقابل‌سکونت، مناطق جنگلی، فضاي خارج از جو زمین و یا اقیانوس‌های عمیق به کار می‌روند (تنن‌بام، 1386).

* 1. 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 کنترل‌شده 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. به‌این‌ترتیب پروتکل‌های مدیریت ازدحام جدید، از ماهیت برنامه‌های کاربردی آگاه هستند و می‌توانند به راه‌حل‌هایی 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[[10]](#footnote-10)، 2014).

بسیاري از کاربردهاي ذکرشده براي پیاده‌سازي، 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 به‌وجود‌آمدن ازدحام می‌شود. به همین منظور لازم است که لایه‌های این شبکه به‌درستی تحلیل شوند و مکانیسم‌هاي مناسب براي انتقال اطلاعات چندرسانه‌ای در شبکه حسگر، براي هر لایه معرفی شود. یکی از این لایه‌ها، لایه انتقال می‌باشد. این لایه به دلایل زیر یکی از مهم‌ترین لایه‌های شبکه حسگر می‌باشد: (رضایی، 1388).

* + 1. نرخ داده خیلی بالاي این شبکه‌ها

نرخ انتقال در گره‌های حسگر حدود Kbit/s 40 می‌باشد، درحالی‌که ترافیک نرخ ارسال صوت ثابت و در حدود Kbit/s 64 می‌باشد، یا در حالت دیگر ترافیک در ویدیو معمولاً به‌صورت انفجاري و در حدود Kbit/s 500 است. توجه به این ارقام نشان می‌دهد که احتمال وقوع ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار بالاست (امیری، 1395).

* + 1. تأثیر قابل‌توجه ازدحام در این شبکه‌ها

گره‌های حسگر داراي انرژي محدود می‌باشند. بنابراین اگر در گره‌اي ازدحام به وجود آید، آن گره به علت فعالیت زیادي که دارد، سریعاً انرژي خود را از دست می‌دهد. این مشکل در کاربردهای غیر رسانه‌اي منجر به پایین آمدن کارایی می‌شود ولی در کاربردهاي چندرسانه‌ای باعث بروز مشکلات بیشتر می‌گردد. بنابراین لازم است مکانیسم‌هاي کنترل ازدحام سریع و کارآمدي 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 ورودي نسبت به نرخ بسته‌های خروجی است. این موضوع بیشتر در گره‌های حسگر نزدیک‌تر به چاهک اتفاق می‌افتد، چون این گره‌ها معمولاً ترافیک بیتی جمع‌شونده بیشتري را حمل می‌کنند. دلیل دوم، تداخل و نرخ خطاي بیت روي یک لینک است که می‌تواند منجر به ازدحام در لینک شود (افسرشاه[[11]](#footnote-11)، 2017).

در یک شبکه حسگر بی‌سیم، ازدحام تأثیر مستقیمی روي بازده انرژي و کیفیت خدمات سرویس‌دهی دارد. براي مثال ازدحام می‌تواند منجر به سرریز شدن بافر شود که تأخیر انتشاري در صف را به دنبال داشته و موجب از دست دادن بسته‌های بیشتر می‌گردد. از دست دادن بسته‌ها نه‌تنها می‌تواند قابلیت اطمینان و کیفیت خدمات سرویس‌دهی را کم اعتبار کند، بلکه می‌تواند انرژي محدودشده یک گره را نیز هدر دهد. ازدحام همچنین می‌تواند به‌کارگیری لینک را کاهش دهد. بنابراین ازدحام باید به طرز چشمگیري کنترل شود (افسرشاه، 2017).

براي این موضوع سه مکانیسم تشخیص ازدحام، ابلاغ ازدحام، تخفیف و اجتناب از ازدحام مطرح می‌باشند (افسرشاه، 2017).

**تشخیص ازدحام:[[12]](#footnote-12)** در [[13]](#footnote-13)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 ورودي بسته در گره‌های میانی است (افسرشاه، 2017).

**ابلاغ ازدحام[[14]](#footnote-14)**: 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 براي انتشار اطلاعات ازدحام نیاز ندارد. در این روش معمولاً اطلاعات ازدحام روي بسته‌های داده‌های معمولی به روش حمل قاچاقی 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 انرژي بهبودیافته است (افسرشاه، 2017).

**تخفیف و اجتناب از ازدحام:** دو روش کلی براي 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 براي منابع شبکه‌اي ذخیره ‌شده مفید است و زمانی که تنظیم دقیق منابع شبکه دشوار باشد، عملی‌تر و کاراتر خواهد بود. اکثر پروتکل‌های کنترل ازدحام موجود، متعلق به این نوع هستند. مطابق با رفتار کنترلی دو روش عمومی براي 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 سریع‌تري دارد (افسرشاه، 2017).

* 1. پروتکل‌های لایه حمل براي 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:

1- پروتکل‌های کنترل ازدحام[[15]](#footnote-15).

2- پروتکل‌های قابلیت اطمینان[[16]](#footnote-16).

3- پروتکل‌های ازدحام و قابلیت اطمینان. که در این پژوهش پروتکل‌های کنترل ازدحام مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت (افسرشاه، 2017).

* + 1. پروتکل‌های کنترل ازدحام

معمولاً در این شبکه‌ها مانند شبکه‌های داده گرام سنتی، از پروتکل‌های TCP و [[17]](#footnote-17)UDP در لایه انتقال استفاده می‌شد، اما استفاده از این پروتکل‌ها براي انتقال در شبکه‌های حسگر موجب مشکلات متعددي می‌شود (کائو[[18]](#footnote-18)، 2014).

مشکلاتی که UDP براي 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 به‌شدت پایین بیاید. در این پروتکل، دسته‌بندي براي حذف بسته‌ها صورت نگرفته است و در تصمیم‌گیري برخلاف سیاست‌های کنترل ازدحام، این موضوعات مدنظر قرار نمی‌گیرد.

TCP نیز مشکلات خاص خود را دارد ازجمله این‌که نمونه‌ای از TCP قابلیت اعتماد سطح بالایی را فراهم می‌کند که موردنیاز اکثر کاربرها نیست. همچنین این پروتکل به دلیل تمرکز زیادي که بر روي مسئله قابلیت اعتماد دارد، توجهی به تأخیر و تغییرات آن ندارد. مشکل کلی روش‌های بر پایه TCP که در شبکه‌های بی‌سیم وجود دارد این است که این پروتکل‌ها نمی‌توانند شرایط نامناسب کانال یعنی و‌جود ازدحام در شبکه را از یکدیگر تشخیص دهند.

چندین پروتکل کنترل ازدحام براي ترافیک همگرا در این شبکه‌ها موجود می‌باشد که در ادامه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. این پروتکل‌ها در تشخیص ازدحام، ابلاغ ازدحام یا مکانیسم‌هاي نرخ تنظیم با هم متفاوت هستند (کائو،2014).

* 1. چالشها و فضای طراحی

در این بخش، به بررسی و مرور برخی از چالش‌های مرتبط با ایجاد ازدحام و پشتیبانی کنترل جریان در شبکه‌های حسگر بیسیم می‌پردازیم.

* + 1. محدودیت منابع

یکی از چالش‌های مهم ایجاد شده در یک شبکه حسگر بیسیم، توان محدود باتری، توان پردازش، ظرفیت حافظه و ذخیره‌سازی 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 غیر ضروری را به‌دنبال دارند (کوین[[19]](#footnote-19)، 2016).

* + 1. 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. با‌این‌حال 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. علاوه‌بر‌این، بسیاری از ارتباطات چند به یک از طریق الگوریتم‌های همه‌پخشی 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 (کوین، 2016).

* + 1. 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. با‌این‌حال 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. علاوه‌بر‌این، قابلیت کنترل و مدیریت بیشتر و مقیاس‌پذیری بالاتر فراهم می‌گردد (پنگ[[20]](#footnote-20)، 2015).

* + 1. 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 این‌رو 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 استانداردی 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 این‌رو احتمال ارائه مکانیزم‌هایی وجود داشته که‌ با اهمیت بیشتر ضمن ایجاد ازدحام، اولویت‌بندی داده را موجب می‌گردند (سان[[21]](#footnote-21)، 2015).

* + 1. 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. با‌این‌حال، با باقی‌ماندن افزونگی، اتلاف اطلاعات در صورتی قابل پذیرش بوده، که شامل کیفیت داده نشود (تنن‌بام[[22]](#footnote-22)، 2010).

* 1. مبانی در آتاماتای یادگیری

آتاماتا یک ماشین طراحی‌شده است که به‌طور خودکار یک توالی از پیش تعیین‌شده عملیات را دنبال می‌کند یا به دستورالعمل‌های کد شده پاسخ می‌دهد. آتاماتای یادگیر[[23]](#footnote-23) قوانینی از پیش تعیین‌شده را دنبال نمی‌کند، 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، طراحی‌شده است. درواقع، یک ماشین یادگیری دارای تعداد محدودی از اقدامات است که می‌تواند کار کند. احتمال آن به هر یک از آن‌ها مربوط است. هنگامی‌که اقدام به محیط اعمال می‌شود، دومی یک سیگنال تقویت می‌کند. پاسخ داده‌شده توسط محیط به صورت اتوماتیک برای به‌روزرسانی بردار احتمالی عمل آن استفاده می‌شود. با اجرای این روش، آتاماتا می‌آموزد که به‌طور مناسب اقدامات مطلوب را در میان مجموعه اقدامات خود انتخاب کند. تعامل بین یک ماشین یادگیری و محیط تصادفی در شکل (2-1) نشان داده شده است.



**شکل (2-1): ارتباط بین آتاماتای یادگیری و محیط تصادفی. آتاماتای یادگیری برای انتخاب اقدامات مطلوب (n)α بر اساس سیگنال تقویت (n)β ارائه‌شده توسط محیط است.**

محيط با سه پارامتر €={α,β,c} توصيف می‌شود. بطوریکه α={α1,α2….αN} نشان‌دهنده مجموعه ورودی(یعنی اعمال) β={β1,β2….βN} نشان‌دهنده مجموعه خروجی (یعنی سیگنال تقویت) و c={c1,c2….cN} مجموعه‌ای از انتخاب‌های مجاز را نشان می‌دهد، که هر عنصر ci مربوط به یک عمل ورودی iα است. احتمال عمل αi، pi (n) است و بردار مربوطه p (n)، بردار احتمالی عمل را تعریف می‌کند.

به منظور راه حل مسئله، بایستی از ماشین‌حساب متغیر ساختار [28] استفاده کنیم و یک محیط P-model (به‌عنوان ‌مثال فرض می‌کنیم که βiمی‌تواند 1 یا 0 باشد) را در نظر بگیریم.

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

p(n+1)=T[p(n),α(n),β(n)]

آتاماتا به شرح زیر عمل می‌کند. بر اساس بردار احتمالات عمل p (n)، آتاماتا به‌طور تصادفی یک عمل αi(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 2-3 به‌روز می‌کند:

pi(n+1)= pi(n) + a (1-pi(n)) j=i

pj(n+1)= (1-a) pj(n) j , j≠i

pi(n+1)= (1-b) pi(n) j=i

جایی که pi (n) و pj (n) عمل αi و αjهستند، 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.

* 1. کنترل ازدحام

به‌طورکلی دو دليل اصلي برای ازدحام در شبکه‌های حسگر بيسيم وجود دارد:

دليل اول اين است که نرخ ارسال بسته از نرخ سرويس[[24]](#footnote-24) بسته خيلي بيشتر است. اين حالت بيشتر برای گره‌های نزديک به گره چاهک اتفاق مي‌افتد، چون آن‌ها معمولاً ترافيک رو‌به بالای ترکيبي بيشتری را حمل می‌کنند.

دليل دوم به خاطر جنبه‌های کارايي در سطح لينک مانند رقابت، مداخله و نرخ خطای[[25]](#footnote-25) بيت می‌باشد. ازدحام در شبکه‌های حسگر بيسيم تأثیر مستقيمي بر کارايي انرژی و کيفيت خدمات سرويس‌دهی دارد. به‌طور مثال؛ ازدحام می‌تواند منجر به سر‌ريز شدن بافر شود که اين امر درنهایت تأخير انتشاری در صف و از دست رفتن بيشتر بسته‌ها را به دنبال دارد. از دست رفتن بسته‌ها، نه‌تنها منجر به کاهش قابليت اطمینان و کيفيت خدمات سرويس‌دهی مي‌شود، بلکه همچنين انرژ‌ی محدود‌‌شده گره‌ها را نيز هدر مي‌دهد. برخورد در انتقال نیز باعث افزايش زمان سرويس‌دهی بسته شده و انرژی ‌را هدر مي‌دهد. بنابراين، ازدحام در شبکه‌های حسگر بايد به‌صورت کارايي با اجتناب از رخ دادن ازدحام و یا کاهش ازدحام کنترل شود. تکنيک‌های کنترل ازدحام مختلفي برا‌ی شبکه‌های حسگر بي‌سيم پیشنهاد شده است. همه مکانیزم‌های کنترل ازدحام هدف پايۀ مشابهی دارند: همۀ آن‌ها ابتدا برای تشخيص يا کشف ازدحام تلاش مي‌کنند، پس از تشخيص ازدحام بايد ساير گره‌ها را از وضعيت ازدحام آگاه نمايند.

به‌طورکلی، سه فاز برای کنترل ازدحام[[26]](#footnote-26) وجود دارد: فاز تشخيص ازدحام، فاز اعلان ازدحام و فاز تنظيم نرخ، که در ادامه هر يک از اين فازها توصيف مي‌شود (کهلر[[27]](#footnote-27)، 2003).

* + 1. فاز تشخیص ازدحام

معمولاً روش‌های‌ مختلفي برای کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر معرفي می­شود. انتخاب اين روش‌‌ها به عوامل زيادی بستگي دارد که برخي از آن‌ها عبارت‌اند از: ساختار شبکه، نرخ ارسال داده، الگوی ترافيکي، احتمال وقوع ازدحام، نوع کاربردهای موجود در شبکه، سطح کيفيت سرويس مورد‌نیاز کاربردها، تأثير ازدحام بر روی کاربردها و منابع شبکه.

برخي از پارامترهای کشف ازدحام عبارت‌اند از: طول صف داخلي گره‌ها، بار موجود در کانال و زمان ميان رسيدن بسته‌ها است. در هر پروتکل اينکه چه گره‌ای مسئول کشف ازدحام است، بستگي به پارامتر استفاده ‌شده برای کشف ازدحام دارد. به‌طور مثال، استفاده از طول صف برای کشف ازدحام فقط می‌تواند در گره‌های مياني انجام گيرد و يا اگر در شبکه، ارسال مجدد به‌صورت انتها به انتها باشد، استفاده از زمان ارسال مجدد به‌عنوان پارامتر کشف ازدحام فقط می‌تواند در گره مقصد انجام شود (ای‌ای‌سی[[28]](#footnote-28)، 2004).

* + 1. فاز اعلان ازدحام

در اين مرحله احتمال وقوع ازدحام توسط گره کشف‌کننده، به گره‌های حسگر اعلام خواهد شد. نحوه انجام اين کار بستگي به پارامتر انتخاب‌شده برای کشف ازدحام دارد. درصورتی‌که پارامتر کشف ازدحام به‌صورتي می‌باشد که فقط گره‌های مياني می‌توانند ازدحام را کشف کنند، گره مياني مسئول اعلان آن به گره مقصد يا منبع و يا ساير گره‌ها است و درصورتی‌که فقط گره مقصد می‌تواند ازدحام را کشف کند‌، خود اين گره مسئول اعلان ازدحام است. در برخي روش‌ها، هم گره‌های مياني و هم گره مقصد می‌توانند ازدحام را کشف کنند، مشخص است که اين روش‌ها انعطاف‌پذیری بيشتری دارند. زيرا با توجه به نیازمندی‌ها، کاربردها و محدودیت‌های شبکه می‌توانند در هر جایی مورد استفاده قرار گيرند. اگر تشخيص سريع ازدحام و کنترل آن بسيار مهم است، می‌توان از گره‌های مياني استفاده کرد و اگر کم‌کردن سربار در گره‌های مياني ارجحيت دارد و يا اينکه برای کنترل ازدحام به اطلاعات کلي‌تری از شبکه نياز است، می‌توان از گره مقصد استفاده کرد‌. در شبکه‌های حسگر، اعلان ازدحام به دو صورت انجام می‌گیرد: (ای‌ای‌سی، 2004).

الف- اعلان ازدحام ضمني[[29]](#footnote-29)

معمولاً اين روش زماني استفاده می‌شود که گره کشف‌کننده ازدحام و گره کنترل‌کننده ازدحام، متفاوت باشند. در بيشتر حالات، زماني‌که پارامتر کشف ازدحام به‌گونه‌ای است که تنها گره‌های مياني می‌توانند ازدحام را کشف کنند (مانند استفاده از طول صف ) و از طرفي به دليل کم‌کردن هزينه و سربار، گره مقصد مسئول کنترل ازدحام در شبکه است، از روش ضمني برای آگاهي گره مقصد استفاده می‌شود. در اين حالت گره کشف‌کننده ازدحام با تنظيم کردن يک بيت در سرآيند بسته‌هایی که به سمت مقصد می‌روند، وقوع ازدحام و يا اطلاعات دیگر، نظير درجه ازدحام را به مقصد اعلام می‌کند (ای‌ای‌سی، 2004).

ب- اعلان ازدحام صريح[[30]](#footnote-30)

در اين حالت گره مقصد يا هر گره مسئول کنترل ازدحام، با توجه به روش استفاده شده برای کنترل ازدحام، اطلاعاتي را در ارتباط با نحوه تنظيم نرخ به گره‌های منبع و يا گره‌های مياني ارسال می‌کند (ای‌ای‌سی، 2004).

* + 1. فاز تنظيم نرخ

در اين مرحله بايد از طريق يک روش خاص، نرخ ارسال بسته‌ها تنظيم شود. در کارهای قبلي از روش‌های مختلفي برای اين کار استفاده ‌شده است. به عنوان مثال، يک روش تنظيم نرخ، نرخ گزارش‌گیری در شبکه يا کمتر شدن نرخ در يک مسير خاص می­باشد. برخي 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 اولويت گره‌ها برای کنترل نرخ استفاده می‌کنند. و برخي روش‌های ديگر هيچ اولويتي ندارند و نرخ ارسال همه جریان‌ها را به يک صورت کاهش می‌دهند (ای‌ای‌سی، 2004).

* 1. 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 (3-1)، را دنبال می‌کنند. در این شکل گره S، مقصد را نشان داده، در حالی‌که دیگر گره‌ها، تولیدکنندگان داده و یا انتقال‌دهنده داده می‌باشند. در اینجا، ما گره‌هایی را مورد توجه قرار می‌دهیم که در نزدیکی منبع بوده و گره‌های جریان بالا نیز گفته می‌شوند (گره‌های نزدیک به مقصد، گره‌های جریان پایین[[31]](#footnote-31) هستند) (آناند[[32]](#footnote-32)، 2010).



**شکل (3-1): توپولوژی مسیریابی مبتنی بر درخت (آناند، 2010)**

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 (3 -2)، تمایز میان ازدحام ایجاد شده در نزدیکی مقصد در مقایسه با ازدحام ایجاد شده در نزدیکی منبع، بسیار مهم به نظر می‌رسد.



**شکل(3-2): تأثیر قیف مانند ترافیک روی شبکه‌های حسگر بیسیم (کائو، 2014)**

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 قابل‌توجه 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 قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. برای حل این مسئله، سیگنال‌دهی گام‌به‌گام ضرورت نیاز برای کاهش نسبت گزارش را نشان می‌دهد (کائو، 2014).

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 قیفی شکل به‌دنبال دارد. این‌بار 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، 2014).

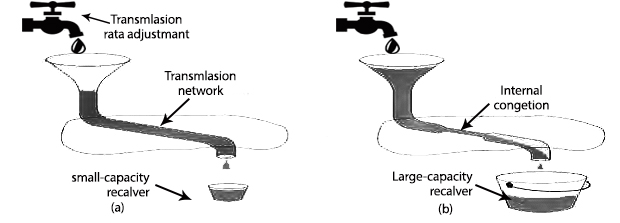
* 1. روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

در این بخش روش‌های کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بی‌سیم بررسی شده و مزایا و معایب آن‌ها ذکر می‌شود: (هول، 2004).

* + 1. روش شروع آهسته

پروتکل لایه‌ی انتقال، بر زمان‌های انقضای مهلت اعلام وصول هر بسته[[33]](#footnote-33) ‌‌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، 2004).

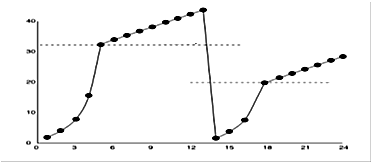
شکل(3-3) این مسئله را نشان می‌دهد. در قسمت a یک شبکه به‌طور سریع در حال پر کردن ظرفیت گیرنده است، درحالی‌که گیرنده ظرفیت کمی دارد. در شکل b برعکس حالت قبل نشان داده شده است. یعنی شبکه به‌طور آرام در حال سرویس‌دهی به گیرنده‌ای است که ظرفیت بالایی دارد و به‌کندی پر می‌شود (هول، 2004).



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

شکل (3-3): عدم تناسب سرعت فرستنده و گیرنده (هول، 2004)

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 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 34 کیلو‌بایت بلامانع است، فقط هشت کیلو‌بایت درخواستی را ارسال خواهد کرد (هول[[34]](#footnote-34)، 2004). شکل (3-4) نحوه عملکرد الگوریتم شروع آهسته را نشان می­دهد.



timeout

threshold

threshold

transmission number

Congestion windows

(kbytes)

**نمودار (3-1): روند کنترل ازدحام با الگوریتم شروع آهسته (هول، 2004)**

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. مادامی‌که 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[[35]](#footnote-35) معادل با طول n قطعه باشد و تمام قطعات ارسالی سر موعد اعلام وصول شوند، به پنجره­ی 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 به‌صورت نمایی رشد می­کند تا آنکه پس از ارسال قطعات یا وصول آن‌ها تصدیق نشود و یا آنکه به ‌اندازه‌ی پنجره­ی گیرنده برسد. این الگوریتم اصطلاحاً شروع آهسته نام دارد و هرگز کند عمل نمی­کند زیرا روند آن نمایی است. تمام پیاده­سازی­های لایه­ی انتقال، ملزم به حمایت از این الگوریتم هستند (پک[[36]](#footnote-36)، 2007).

* + 1. پروتکل کنترل ازدحام منصفانه

در (ای‌ای‌سی، 2004)، پروتکل CCF کنترل ازدحام بالادستی را با استفاده از الگوریتم مقیاس­پذیر و توزیع‌شده‌ای که نه‌تنها ازدحام را حذف می­کند، بلکه اطمینان می­دهد که تحویل عادلانه بسته­های داده با ایستگاه مرکزی اتفاق می­افتد. در این روش تعداد بسته­های داده، که از گره­های حسگر با فاصله گام زیاد، اجازه ارسال داده می­شوند نسبت به گره­هایی که فاصله گام آن‌ها کم است، یکسان است. [[37]](#footnote-37)CCF کنترل ازدحام را فرمول­بندی می­کند و در هر حسگر، تعداد گره­های پایین‌دستی و متوسط نرخ ارسال بسته­ها، نرخ تولید بسته برای هر گره به‌وسیله والدش و نیز نرخ ازدحام بالادستی، محاسبه می­شود. به‌منظور فراهم کردن عدالت برای هر فرزند، CCF دو مفهوم را پیشنهاد می­دهد. اولی صفوف مجزای بسته برای هر فرزند، یعنی در هر گره یک صف شاخص­دار برای هریک از فرزندان، همگام و در راستای صف خود نگهداری می­شود و دومی سایز زیر درخت برای هر فرزند است. CCF اطلاعات کنترلی را در بسته‌های داده شرکت می­دهد. هنگامی‌که هر گره حسگر ازدحام را تجربه می­کند، گره­های پایین‌دستی را آگاهی می­دهد تا نرخ ارسال داده را کم کند (ای‌ای‌سی، 2004).

* + 1. پروتکل Sen TCP

Sen TCP یک پروتکل کنترل ازدحام Open loop گام‌به‌گام است که به جریان ترافیکی بالادستی نظر دارد. Sen TCP درجه ازدحام را در هریک از حسگرهای میانی با مشاهده متوسط زمان سرویس­دهی محلی بسته، زمان بین دو ارسال بسته محلی و حجم بافر، اندازه­گیری می­کند و در هنگام ازدحام Sen TCP هر گره 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 درنتیجه انرژی صرفه­جویی شده و گذردهی بالا برده می­شود. با ‌این‌وجود Sen TCP فقط کنترل ازدحام را انجام می­دهد و قابلیت اطمینان را تضمین نکرده و بازیابی داده­های ازدست‌رفته را انجام نمی­دهد (وانگ[[38]](#footnote-38)، 2005).

* + 1. پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر اولویت

PCCP[[39]](#footnote-39) 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، 2006).

* + 1. روش ارسال مطمئن با نرخ کنترل‌شده

در (پک، 2007)، روش RCRT[[40]](#footnote-40) ارائه‌شده است که از مکانیزم استانداردی 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 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، 2007).

* + 1. روش ارسال مطمئن نامتقارن

در (تزکان، 2005)، روش ART[[41]](#footnote-41) 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. درنهایت اینکه مکانیزم آگاه از انرژی توزیع‌شده، استفاده می­شود. برای حمایت از قابلیت­ ‌اطمینان در هر دو جهت، هم از ACK وهم از NACK استفاده می‌شود. برای انتشار پرس­وجو به‌صورت 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[[42]](#footnote-42)، 2005).

* + 1. 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[[43]](#footnote-43) از ترکیب شرایط بارگذاری کانال کنونی و گذشته و اشغال بافر برای استنباط کشف واقعی ازدحام در هر دریافت­کننده با هزینه پایین استفاده می­کند. شبکه­های حسگر باید از وضعیت کانال آگاه باشند، زیرا واسطه‌ی انتقال، مشترک می­باشد و ممکن است با ترافیک بین ابزارهای دیگر مجاور، موجب ازدحام شوند. گوش دادن تمام‌وقت به کانال، برای اندازه­گیری بارگذاری محلی موجب هزینه­های بالای انرژی خواهد شد. بنابراین CODA از طرح نمونه­برداری استفاده می­کند، که کنترل کانال موضوعی را در زمان مناسب فعال می­سازد تا هزینه­ را ضمن شکل دادن برآورد واقعی به حداقل برساند. اولین بار که ازدحام کشف و شناسایی می­شود، گره­ها به مجاورهای بالای خود (به سمت منبع) از طریق مکانیزم فشار به سمت عقب، سیگنال می­دهند. پیام به مجاورها فرستاده می­شود تا میزان آن‌ها یا بسته­های افت را کاهش دهند.

یک گره، پیام­های فشار به عقب را تا زمانی منتشر می­کند که ازدحام را کشف کند. گره­هایی که پیام­های فشار به عقب را دریافت می­کنند، می­توانند میزان بسته­های ارسالی خود یا بسته­های افت را براساس شیوه ازدحام موضوعی ازجمله کاهش ضربی و افزایش جمعی، کنترل کنند. زمانی که یک گره بالارونده پیام فشار به عقب را دریافت می­کند، تصمیم می­گیرد که آیا این پیام را براساس شرایط شبکه موضوعی خود به سمت جلو منتشر کند یا نه. تنظیم حلقه بسته در زمان کوتاه‌تری عمل می­کند و قادر به آزاد کردن کنترل ازدحام در منابع چندگانه چاهک واحد در رخداد ازدحام پایان می­باشد. از معایب این روش می­توان به ‌احتمال ایجاد ازدحام، کاهش بازدهی و در نظر نگرفتن جریان­های ترافیکی اشاره کرد (ییک، 2008).

* + 1. پروتکل کنترل ازدحام سنجش داده­ها

در [[44]](#footnote-44)DCCP (کهلر، 2003) برای پرهیز از ازدحام، حسگرهای رو به بالا باید بسته­ها را بار دیگر به مسیرهای دیگر هدایت کنند. هدف DCCP، تهیه روشی استاندارد، برای معرفی کنترل ازدحام و مذاکرات کنترل ازدحام در کاربردهای چندرسانه­ای می­باشد. این پروتکل جدید انتقالی برای گسترش به‌عنوان یک ویژگی استاندارد در میزبان­های پایانی طراحی می­شود (pc، کدهای VoIP و وسایل چندرسانه‌ای دیگر اینترنتی). DCCP پروتکل جدید طراحی‌شده برای کاربردهایی می­باشد که به منابع مبتنی بر جریان TCP نیاز دارد، اما تحویل زمانی به تحویل دستوری را ترجیح می­دهد یا یک مکانیزم کنترل ازدحام که متفاوت ازآنچه TCP فراهم می­کند، می­باشد.

DCCP دو وظیفه اصلی را ارائه می­دهد: ایجاد، نگهداری و متلاشی کردن جریان بسته غیرقابل‌اعتماد و کنترل ازدحام آن جریان بسته. معماری DCCP در شکل (3-4) نشان داده‌شده است.

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

شکل (3-4): معماری DCCP (کهلر، 2003)

* + 1. پروتکل کنترل ازدحام مبتنی بر صف حمایت اولیه

این پروتکل (کوین، 2016)، از طول صف به‌عنوان 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 به‌صورت 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 [[45]](#footnote-45)QCCP-PS 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 (3-5) معماری QCCP-PS را نشان می­دهد (کوین، 2016).

**اولویت مبدا**

**شاخص ازدحام**

**واحد تنظیم نرخ**

**طول صف**

**پیام­های**

**اعلام ازدحام**

**واحد تشخیص ازدحام**

**واحد اعلان ازدحام**

**شکل (3-5): معماری QCCP-PS (کوین، 2016)**

مشابه پروتکل­های دیگر کنترل ازدحام، QCCP-PS از سه‌گام یعنی واحد کشف ازدحام (CDU)[[46]](#footnote-46)، واحد ابلاغ ازدحام (CNU)[[47]](#footnote-47) و از طول صف به‌عنوان شاخص ازدحام استفاده می­کند. بازده CDU شاخص ازدحام می­باشد، که رقمی بین صفر و یک است.

دو آستانه ثابت متفاوت و تعریف می­شوند. زمانی که طول صف (q) کمتر از th مینیمم می­باشد، شاخص ازدحام خیلی پایین است و گره منبع می‌تواند میزان خود را افزایش دهد. از طرف دیگر زمانی که طول صف بزرگ‌تر از 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 و قرار دارد، شاخص ازدحام به‌صورت خطی و به طول صف مربوط می­شود. در هر فاصله زمانی از قبل تعریف‌شده T، هر گره والد، میزان ارسالی تمام منابع ترافیکی به‌وجود آوردنده 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 به‌وجود 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 ارسالی هر گره حسگر استفاده می­کند. زمانی که یک گره پیام ابلاغ 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 درنتیجه می‌تواند از اتلاف غیرضروری بسته جلوگیری کند؛ اما فقط یک‌بار مسیریابی می­کند (کوین، 2016).

* + 1. طرح کنترل ازدحام آگاه از تناسب در شبکه­های حسگر بی­سیم

این طرح (یین، 2009)، یک پروتکل کنترل ازدحام آگاه از تناسب مبتنی بر میزان (FACC)[[48]](#footnote-48) می­باشد که ازدحام را کنترل می­کند و تقریباً تخصیص پهنای باند مناسبی را برای جریان­های مختلف به دست می­آورد. در FACC، گره‌های حسگر قرارگرفته در داخل گره­های نزدیک به منبع و نزدیک به چاهک، طبقه­بندی می­شوند (یین[[49]](#footnote-49)، 2009).

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 زمانی‌که اولین‌بار 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 ابلاغ 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.

و نیز نتایج شبیه­سازی نشان می­دهد که این طرح کنترل ازدحام نسبت به الگوریتم­هایback 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، 2009).

* 1. پیشینه تحقیق

امیری و همکاران (1395) 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، 1395).

گل‌گیری و جاویدان (1395) یک پروتکل کنترل ازدحام جدید جهت افزایش طول عمر شبکه و بالابردن سطح اطمینان برای شبکه‌های حسگر بیسیم ارائه دادند. روش پیشنهادی TMCC[[50]](#footnote-50) با روش [[51]](#footnote-51)TADR که برای کاهش ترافیک در شبکه‌های حسگر بیسیم طراحی‌شده است، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان‌دهنده کارایی بهتر روش TMCC در معیارهای توان عملیاتی، انرژی مصرفی و طول عمر شبکه می‌باشد (گل‌گیری، 1395).

صحرانشین و صفایی (1395) 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 ازلحاظ نسبت تحویل بسته نسبت به پروتکل‌های کنترل ازدحام موجود در شبکه‌های حسگر بیسیم، می‌تواند عملکرد بهتری را ارائه نماید (صحرانشین، 1395).

لیو[[52]](#footnote-52) (2014) در مقاله‌ای تحت عنوان الگوریتم مورچگان همراه با مكانیزم مهاجرت حریصانه برای مکان‌یابی گره‌ها در شبكه حسگر، مسئله پوشش شبكه را با حداقل هزینه و قابلیت اتصال مطمئن برای کنترل ازدحام موردمطالعه قرارداد. روش پیشنهادی آن‌ها مطالعه الگوریتم مورچگان، مسئله پوشش شبكه و کاهش هزینه مكان‌یابی بوده است. روش کار در این الگوریتم تنظیم شعاع(برد) برقراری ارتباط بوده تا از این طریق مسئله بهینه‌سازی، انرژی و طول عمر شبكه بهبود یابد. شبیه‌سازی نشان داد روش پیشنهادی هزینه مكان‌یابی را کاهش و تعادل بین مصرف انرژی گره‌های میانی و افزایش طول عمر شبكه و کاهش ازدحام در شبكه حسگر برقرار می‌کند (لیو، 2014).

کائو و همكاران[[53]](#footnote-53) (2014) در مقاله‌‌ای تحت عنوان مقایسه انواع بهینه‌سازی ازدحام ذرات در مكان‌یابی گره‌های میانی شبكه حسگر، الگوریتم‌های مختلفی از بهینه‌سازی ازدحام ذرات با توپولوژی‌های جمعیتی مختلف را موردمطالعه قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها حاکی از این بود که درزمینه­ی شبكه حسگر، توپولوژی حلقوی و مربعی دارای کارایی قابل قبولی در دقت موقعیت‌یابی کنترل ازدحام هستند و آن را بهبود می‌بخشند (کائو،2014 ).

ژو[[54]](#footnote-54) (2015) مقاله‌ای تحت عنوان روشی برای مكان‌یابی براساس الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم کواسی نیوتن برای شبكه‌های حسگر ارائه داد. در این روش از الگوریتم [[55]](#footnote-55)PSO برای یافتن جواب‌ها و مقادیر بهینه استفاده شد، سپس از این مقادیر در مرحله تكرار 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، 2014).

بارولی و همكاران[[56]](#footnote-56) (2015) در مقاله‌ای تحت عنوان کنترل ازدحام در شبكه‌های توری بیسیم، تحلیل نتایج شبیه‌سازی سیستم GA-wmn[[57]](#footnote-57) برای پارامترها و توزیع‌های مختلف، به بررسی شبكه‌های توری بیسیم پرداختند. در این مقاله آن‌ها کارایی 2 توزیع مختلف(نرمال، یكنواخت) برای مسیریاب‌های توری را ارزیابی کردند که نسبت تحویل داده‌های اطلاعاتی و مقیاس‌های تأخیری را در نظر می‌گرفت. برای شبیه‌سازی از یك پروتكل HWMP‌[[58]](#footnote-58) استفاده کردند. شبیه‌سازی نشان داد که سیستم به‌کار رفته می‌تواند مكان‌یابی مسیریاب‌ها را به‌دقت انجام دهد (بارولی، 2015).

پنگ و همكاران) [[59]](#footnote-59)2015( در مقاله‌ای تحت عنوان الگوریتم مكان‌یابی بهینه براساس الگوریتم ژنتیك در شبكه حسگر و به‌منظور بهینه‌سازی نرخ ازدحام، شبکه‌های حسگر را مورد مطالعه قراردادند. در این مقاله از الگوریتم مكان‌یابی بدون برد از نوع DV-Hub[[60]](#footnote-60) استفاده شد. این الگوریتم براساس الگوریتم ژنتیك، بهینه‌سازی شده بود. نتایج شبیه‌سازی حاکی از این بود که روش پیشنهادی دقت مكان‌‌یابی را در مقایسه با الگوریتم‌های فرا‌اکتشافی، افزایش می‌دهد (پنگ، 2015).

سان و همكاران [[61]](#footnote-61))2015 (در مقاله‌ا‌ی به نام مكان‌یابی بهینه در شبكه حسگر براساس الگوریتم ترکیبی فرهنگ مورچگان، مكانیزم تكاملی الگوریتم فرهنگ با الگوریتم مورچگان ترکیب‌شده در فضای جمعیت به‌عنوان یك استراتژی تكاملی واحد عمل می‌کند که پس‌از آن جستجوهای صورت گرفته در فضای جمعیت را به‌وسیله مناسب‌ترین گزینه‌ها و پاسخ‌ها هدایت می‌کند. این امر باعث می‌شود که الگوریتم جستجوی فرهنگ، جواب بهینه را سریع‌تر و با پایداری بیشتر نسبت به سایر الگوریتم‌های مرسوم انجام دهد (سان، 2015).

کوین و همکاران[[62]](#footnote-62) )2016( در مقاله‌ای با هدف بررسی مکانیسم‌های موجود کنترل ازدحام TCP­[[63]](#footnote-63) با استفاده از یک روش جامع و تجدید‌پذیر طراحی‌شده، که نشان‌دهنده استفاده از شبکه‌های بیسیم در دنیای واقعی است، پرداختند. یافته‌های این مطالعه نشان دادند که توان YeAH [[64]](#footnote-64) از 3٪-5٪ نسبت به [[65]](#footnote-65)CUBIC افزایش‌یافته است، بدون اینکه جریمه‌ای برای تأخیر زمانی وجود داشته باشد (کوین، 2016).

رشمی[[66]](#footnote-66) و همکاران (2016) در پژوهشی به بررسی کنترل ترافیک در شبکه­های 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 می­کند، مسیر متناوب محاسبه می­شود تا بسته­های 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 می‌تواند بر اساس فضای آزاد موجود در بافر شناسایی شود. مسیر متناوب براساس پهنای باند موجود، فاصله گره­ها و انرژی باقی‌مانده در مسیر، محاسبه ‌شده است.­ برخی از پارامترهای بهبود‌یافته در این مقاله زمان کشف مسیر، نسبت تراکم و تأخیر می­باشند­ (رشمی، 2016).

افسر‌شاه و همکاران (2017) در پژوهشی به بررسی الگوریتم­های ­کنترل ترافیک در شبکه‌های حسگر بیسیم پرداختند. روش­های مختلفی در چند سال گذشته معرفی شده‌اند که شامل پروتکل­های مسیریابی با کمک مکانیزم تشخیص و کنترل احتمالی و پروتکل­های کنترل ازدحام اختصاص‌یافته است. در برنامه‌های قبلی، اجتناب احتمالی توسط گره چاهک انجام می­شد که سبب بازنشانی توپولوژی و کاهش ترافیک می­شود. در این مقاله، مکانیزم­هایی برای کنترل تراکم در شبکه‌های حسگر به همراه یک مطالعه تطبیقی ارائه 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 به‌عبارت‌دیگر ارسال هم‌زمان بسته­ها از ایستگاه­های مختلف وجود دارد. علاوه‌بر‌این 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، 2017).

* 1. راهکاری دیگر برای کنترل ازدحام

در اين بخش، روش به‌کار رفته برای کنترل ازدحام و فراهم کردن قابليت اعتماد توصيف  
 می‌شود. هر روشي که برای کنترل ازدحام ارائه می‌شود شامل سه مرحله است: (تنن‌بام، 1386)

١. کشف ازدحام

٢. اعلان ازدحام

٣.تنظيم نرخ.

در ادامه هريک از اين مراحل برای این راهکار توصيف می‌شود.

در این روش فرض می‌شود که تعدادی گره در يک محيط پراکنده ‌شده‌اند و در این شبيه‌سازی فقط يک گره مقصد وجود دارد که همه‌ی گره‌ها، داده‌های خود را به اين گره ارسال می‌کنند. هر گره در اين شبکه دارای يک بافر می‌باشد. هرگاه گره‌ای بسته‌ها را از گره‌های ديگر دريافت نمايد آن را در بافر خود نگه می‌دارد و زمانی که پيغام دريافت بسته را از گره مقصد در‌يافت کند، بسته را از بافر خود حذف می‌کند(تنن‌بام، 1386).

* + 1. کشف ازدحام

در مکانيسم‌های کنترل ازدحام معرفی‌شده برای شبکه‌های حسگر، از پارامترهای مختلفي برای کشف ازدحام استفاده‌ شده است‌. در این روش گره‌های مياني مسئول کشف ازدحام هستند. اين گره‌ها با استفاده از طول صف داخلي خود، ازدحام را کشف می‌کنند. اگر ازدحام بالا باشد نرخ رسيدن بسته‌ها به گره‌های مياني، نسبت به نرخ سرويس‌دهي در گره‌ها بالا می‌رود و تعداد بسته‌های منتظر در صف برای گرفتن سرويس افزايش می‌یابد. هر صف دارای دو مقدار آستانه Xlow و Xhigh می‌باشد. هنگامی‌که طول صف داخلي گره، از مقدار Xlow کمتر باشد، ازدحام موجود در گره رفع شده است و در صورتی‌که طول صف داخلي گره، از Xhigh بالاتر رود، اين گره ازدحام را کشف می‌کند. در اين صورت گرهي که ازدحام را کشف می‌کند و در ادامه توضيح داده می‌شود، ازدحام را به ساير گره‌ها اعلان می‌کند. با استفاده از اين روش، ازدحام به‌سرعت توسط گره‌های مياني کشف می‌شود (تنن‌بام، 1386).

If (queue length < *Xlow* ) no congestion

If (queue length > *Xhigh* ) congestuin is detected

**شکل (3-6): شبه‌کد کشف ازدحام**

* + 1. اعلان ازدحام

در این روش از کنترل ازدحام ضمني برای اعلان ازدحام استفاده می‌شود، زيرا در صورتی‌که از روش اعلان ازدحام صريح استفاده شود در هنگام وقوع ازدحام، ارسال بسته‌های اضافي برای اطلاع‌رساني به ساير گره‌ها موجب افزايش ازدحام موجود در شبکه می‌شود، به همين دليل در اين روش از اعلان ازدحام ضمني استفاده می‌شود. هر گره پس‌از اینکه وقوع ازدحام را کشف نمود، بيت CN در سر فایل[[67]](#footnote-67) بسته‌هایی که به سمت مقصد ارسال می‌کند، را فعال کرده و علاوه‌ بر‌اين، بيت CN در بسته NACK که به سمت مبدأ ارسال می‌کند را نيز، تنظيم می‌نماید. استفاده از حالت اضافه شدن ازدحام و ضمني به‌جای حالت صريح باعث جلوگيری از تلف شدن انرژی گره‌ها می‌شود (تنن‌بام، 1386).

**تنظيم نرخ**: در این راهکار برای تنظيم نرخ، از روشي مشابه با تنظيم نرخ گام‌به‌گام AIMD استفاده می‌شود (تنن‌بام، 1386).

**فراهم کردن قابليت اعتماد**: در اکثر روش‌های معرفی شده برای لايه انتقال در شبکه‌های حسگر بی‌سيم، قابليت اعتماد به‌صورت انتها به انتها فراهم می‌شود يعني رسيدن بسته‌ها توسط گره مبدأ يا مقصد، تضمين می‌شود. اما در روش گفته شده در اين بخش، قابليت اعتماد به‌صورت گام‌به‌گام تضمين می‌گردد. در اين روش گره‌های مياني مسئول فراهم کردن قابليت اعتماد می‌باشند و در صورت از دست‌رفتن بسته‌ها، گره‌های مياني، از دست‌رفتن را به گره‌های قبلي اطلاع می‌دهند. در صورتی‌که بسته‌ی ازدست‌رفته در بافر گره قبلي وجود داشته باشد، گره قبلي بسته را بازيابي نموده و آن را به گره‌ای که بسته را ازدست‌داده، ارسال می‌کند. به همين دليل تأخير در رسیدن بسته‌ها کاهش پيدا می‌کند. در روش انتها به انتها گره مقصد يا مبدأ، مسئول کنترل و بازيابي از‌دست‌رفتن بسته‌ها می‌باشند، به همين دليل در بازيابي اطلاعات ازدست‌رفته تأخير وجود دارد و انرژی بيشتری هدر می‌رود. اما در این روش انرژی کمتری مصرف می‌شود (تنن‌بام، 1386).

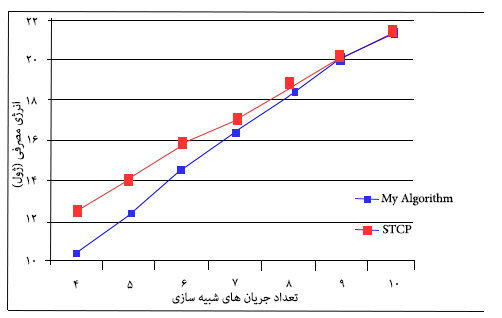
* + 1. ارزيابي این راهکار

این روش توسط ابزار 2ns شبیه‌سازی ‌شده است. اطلاعات مربوط به شبيه‌ساز در جدول زير بیان‌ شده است:

پارامترهای شبیه‌سازی (تنن‌بام، 1386)

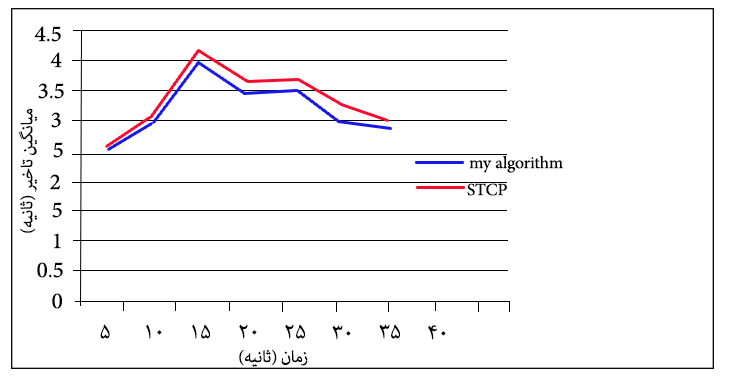
|  |  |
| --- | --- |
| ناحيه شبیه‌سازی | ۱۰۰\* ۱۰۰ |
| طول صف داخلي گره‌ها | 50 بسته |
| پروتکل مسيريابي | AODV |
| انرژی اوليه گره‌ها | j 01 |
| تعداد گره‌ها | 50 گره |
| زمان شبيه‌سازی | 10۰۰ ثانيه |

برای بررسي کارايي روش گفته‌شده در این بخش، اين روش با يکي از پروتکل‌های معرفی‌شده به یک لایه انتقال شبکه‌های حسگر به نام STCP مقايسه شده است. در اين پروتکل قابليت اعتماد به‌صورت انتها به انتها فراهم می‌شود ولي در روش گفته‌شده در این بخش قابليت اعتماد به‌صورت گام‌به‌گام انجام می‌شود و اعلان ازدحام در پروتکل STCP به‌صورت ACK-based می‌باشد، حال‌آنکه در روش گفته‌شده اعلان ازدحام به‌صورت NACK-based می‌باشد. نتايج شبيه‌سازی در نمودار‌های (3-2) و (3-3) نشان داده ‌شده است. در نمودار (3-2) روش گفته شده بر مبنای فاکتور مقدار انرژی مصرفي در گره‌ها با پروتکلSTCP مقايسه شده است. نتيجه نشان می‌دهد که این روش، مصرف انرژی محدود موجود در گره‌ها را کاهش می‌دهد و طول عمر شبکه افزايش می‌یابد (تنن‌بام، 1386).



نمودار (3-2): مقایسه مصرف انرژي (تنن‌بام، 1386)

در نمودار (3-3) روش گفته‌شده توسط فاکتور ميانگين تأخير رسيدن بسته‌ها، با پروتکل STCP مقايسه شده است و مشاهده می‌شود که در اين روش ميانگين تأخير رسيدن بسته‌ها کاهش پیدا کرده است (تنن‌بام، 1386).



**نمودار(3-3):** **میانگین تأخیر (تنن‌بام، 1386)**

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 می‌گردد.

* 1. شکل کلی

مراحل کلی در زمینه ارتباط سیستم آتاماتای یادگیر و کنترل ازدحام در شبکه‌های حسگر بیسیم، و به کار بردن شیوه پیشنهادی ارائه شده را در شکل(4-1) مشاهده می‌کنید.

کنترل ازدحام

فاز تشخیص ازدحام

روش پیشنهادی آتاماتای یادگیر

نتایج

فاز آموزش و مرحله پوشش جزئی

**شکل (4-1): مراحل کلی روش ‌پیشنهادی**

* 1. بیان اهداف

در این پروژه مسئله پوشش جزئی در شبکه‌های حسگر بیسیم [[68]](#footnote-68)، مورد توجه قرار می‌گیرد و الگوریتمی جدید پیشنهاد می‌شود. راه‌حل پیشنهادی از آتاماتای یادگیرنده[[69]](#footnote-69) استفاده می‌کند تا حسگرها به حالت فعال یا خواب به‌درستی برنامه‌ریزی شوند و طول عمر شبکه افزایش یابد. هر گره یک رویه‌ای را اجرا می‌کند، ابتدا ایستگاه پایه[[70]](#footnote-70)، با انتخاب تعدادی از گره‌ها و استفاده از نمودار پوشش شبکه ساخته می‌شود. سپس، این گره‌ها از همسایگان خود برای پوشش شبکه و الزامات اتصال استفاده می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد 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.

* 1. چالش

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

* 1. روش پیشنهادی

در این بخش، الگوریتم پیشنهادی جهت حل مشکل پوشش جزئی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم[[71]](#footnote-71) را توصیف می‌کنیم. ایده اصلی این بخش، انتخاب مجموعه‌ای از گره‌ها به‌عنوان ایستگاه پایه[[72]](#footnote-72) 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.

* 1. 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 نه‌تنها باعث گم‌شدن 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 گم‌شده در گره میانی و میزان انرژی مؤثر در شبکه ‌حسگر شود.

* 1. 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 کهV={S0,S1,S2…..SN} 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 Rs و Rc هستند. E نشان‌دهنده مجموعه‌ای از ارتباطات ارتباطی بین گره‌ها است. برای هر جفت گره u و v، لبه (u,v) € E است، اگر و فقط اگر u و v در محدوده ارتباط از یکدیگر باشند. به‌طور رسمی، ناحیه سنجش i از گره Si به‌عنوان دایره‌ای با مرکز Si و شعاع Rs تعریف می‌شود. درنتیجه، عملکرد پوشش Ci (x,y) هر گرهSi می‌تواند به‌صورت زیر تعریف شود:

به‌عبارت‌دیگر، نقطه (x,y) توسط Si پوشیده می‌شود، اگر در ناحیه حسگر گره قرار داشته باشد. با توجه به یک منطقه دو‌بعدی موردنظر (که مساحت آن برابر با است) و یک شبکه‌ حسگر بیسیم متشکل از N حسگر ( هرکدام قادر به پوشش یک منطقه از R2s ) مشکل، پوشش جزئی در شبکه‌های حسگر بیسیم می باشد­ که می‌توان آن‌را به‌عنوان یک مجموعه متصل از گره، به‌صورت زیر بنویسیم:

هدف: کم کردن تعداد گره‌های موجود در ψ

قیود:

* اتصال گره‌های ψ
* تضمین پوشش ناحیه ψ به میزان لزوم

بعضی معیارهای مفید در این چارچوب عبارت‌اند از: (i) درجه پوشش متوسط منطقه [22[،

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

جایی کهN ، تعداد حسگرهای مستقر در منطقه است و هرکدام دارای یک محدوده سنجش Rs؛ (ii) نسبت کار گره می­باشد (رشمی، 2016)، به‌عنوان ‌مثال کسر جایی که ψ مجموعه‌ای از گره‌های فعال و قادر به پوشش کسر Ps از منطقه موردنظر ϑ است. سابق، یک شاخص از منابع (یعنی حسگر گره) پراکنده در منطقه موردنظر است و نیز قابلیت سنجش آن‌ها (به‌عنوان مثال محدوده حساسیت) را در نظر گرفته است. دومی، نشانگر اهمیت الگوریتم پوشش است.

یونیس و همکاران نیز در (تزکان، 2008)، بیان کردند که ϑ به سلول‌های کوچک مربع تقسیم می‌شود که را در اطراف دارند. این اجازه می‌دهد تا هر گره به‌طور کامل سلول‌های همسایه در چهار جهت اصلی را پوشش دهد.

بنابراین ما می‌توانیم تعریف تابع عملکرد پوشش را برای گره iith به شرح زیر گسترش دهیم:

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

نمادها و تعاریف در جدول (4-1) خلاصه‌شده است.

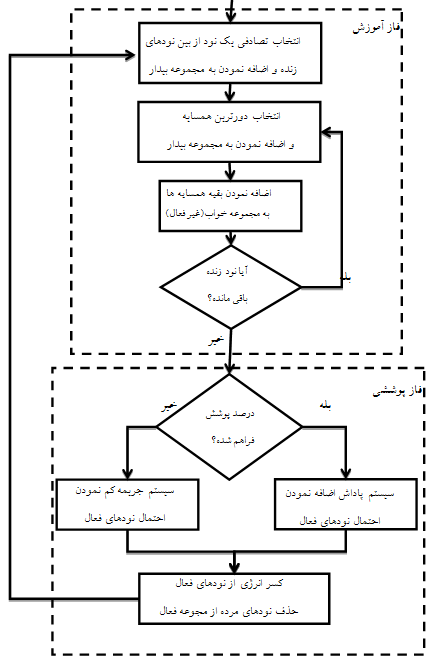
نمادها و تعاریف

|  |  |
| --- | --- |
| Region of interest |  |
| Total area of the region of interest |  |
| Portion to cover of the region of interest |  |
| Number of sensing nodes | N |
| Nodes' sensing range |  |
| Nodes' communication range |  |
| Sensing region of the node Si |  |
| Coverage function of the node S, for the cell j |  |
| Connected set of nodes that guarantees partial coverage | ψ |

* 1. اهداف و مزایای کار

در سیستم پیشنهادی، آتاماتای یادگیر مطرح شده است که موجب کنترل و بهبود‌ سطح ازدحام می­شود و در مقایسه با سایر الگوریتم‌هایی که بدون آتاماتای یادگیری عمل می‌کنند، بهتر است. حال با توجه به مشکل اساسی شبکه‌های حسگر بیسیم که وجود ازدحام به خاطر محدودیت انرژی می‌باشد و این امر نه‌تنها باعث گم‌شدن 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 گم‌شده در گره میانی و میزان انرژی مؤثر در شبکه ‌حسگر شود. 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، هنگامی‌که 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.

شروع



شکل (4-2): فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

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

* 1. فاز آموزش

هدف فاز یادگیری، انتخاب یک مجموعه مناسب (محدود در تعداد) گره به‌عنوان ایستگاه پایه[[73]](#footnote-73) است. این مرحله شامل یک روش تکراری است که هدف آن، یافتن یک مجموعه ایستگاه پایه‌ متناسب با محدودیت‌های از پیش تعیین‌شده می‌باشد. مرحله یادگیری زمانی که ایستگاه­های پایه­ انتخاب‌شده، محدودیت‌ها و شرایط توقف را تأمین کنند، پایان می‌پذیرد .

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

Ps، سطح مطلوب پوشش از لحاظ میزان پوشش‌دهی منطقه موردنظر.

Pthreshold، یک مقدار آستانه. تعریف حداکثر مقدار ممکن برای نتیجه احتمالات اقدامات انتخاب‌شده توسط آتاماتای یادگیر از هر گره در ψ، که از آن برای اجرای اولین مرحله متوقف شدن مرحله یادگیری استفاده می‌شود.

Tk، 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 انتخاب‌نشده از گره‌های در ψ هستند.

Eψ، متوسط ​​انرژی باقی‌مانده از گره‌های در ψ. این پارامتر برای انتخاب مجموعه‌ای از گره‌های ایستگاه پایه با انرژی باقی‌مانده بالا، برای اتصال به مدت‌زمان طولانی مفید است.

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

En، یک آستانه پویای ذخیره انرژی. متوسط ​​انرژی گره در مجموعه ψ که در چرخه nth در مرحله یادگیری الگوریتم پیشنهادی انتخاب ‌شده است؛ مقدار آن 0 مقداردهی اولیه شده است.

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 Ps، Pthreshold،Tk 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 αi شامل اضافه کردن گره همسایه Si به بردار احتمالات عمل p (n) می‌باشد و به‌صورت زیر تنظیم می‌شود:

**ψ مجموعه‌ای را نشان می‌دهد که برنامه آن‌را با تکرار به‌روزرسانی می‌کند.**

جایی که r ، نشانگر تعداد اعمال است و برابر با تعداد گره‌های همسایه در مرحله اولیه است. برای مثال، اگر گره Si دارای پنج گره همسایه باشد، بردار احتمالی انتخاب برای این گره در ابتدا {0.2 , 0.2 , 0.2 , 0.2 , 0.2} تنظیم‌شده است. این بدان معنی است که گره Si دارای پنج انتخاب قابل مقایسه است.

* + 1. هدف اصلی فاز یادگیری

هدف اصلی فاز یادگیری این است که حسگرها را در منطقه Aϑ خاموش نگه داریم. آتاماتای یادگیر در حال اجرا در هر گره، کمک می‌کند تا شناسایی ایستگاه پایه مناسب باشد. در مرحله اولیه، یک گره به‌صورت تصادفی انتخاب‌ شده و به ψ اضافه می‌شود. هر حسگر (به‌عنوان‌مثال (Si به‌منظور 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 Si پاسخ می‌دهد و بنابراین Si مجموعه عمل خود را بر اساس پیام‌های دریافت شده از همسایگانش می‌سازد. به‌این‌ترتیب اندازه عملكرد هر آتاماتای یادگیر بستگی به درجه گره‌های مربوطه و درنتیجه تراكم شبكه دارد. آتاماتای یادگیرنده یکی از همسایگان را به ترتیب بردار احتمالی p (n) انتخاب می‌کند و به ψ اضافه می‌کند و دیگر همسایگان انتخاب‌نشده به مجموعه Γ اضافه می‌شوند. سپس گره انتخابی، این روش را با انتخاب یکی از همسایگان خود که در Γ موجود نیست، تکرار می‌کند.

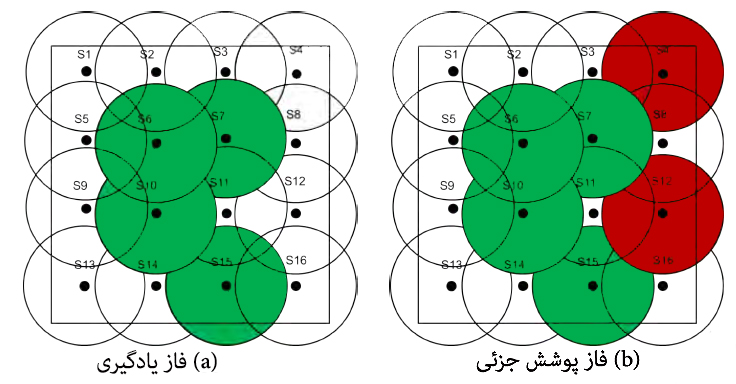
این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد کهψ Γ=V ، توجه کنید که بعد از این مرحله هر گره در CG متعلق به ψ یا Γ می‌باشد. پس از انتخاب یک کاندید توسط آتاماتای یادگیرنده، هر گره ساختار داده‌های خود (به‌عنوان مثال مقادیر متغیرهای عمومی) را به‌روز می‌کند. در این مرحله، اگر هیچ عملی در دسترس نباشد (مثلاً اگر تمام همسایگان گره انتخاب‌شده در حال حاضر درψ یا Γ قرار داشته باشند و ψ Γ≠V)، انتخاب از یک گره دیگر V شروع می‌شود تا در‌نهایت 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 انتخاب‌شده، تنظیم می‌کند. به‌این‌ترتیب، 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 آستانهTn (که می‌تواند در ابتدا با |V| تنظیم شود) مقایسه می‌شود. اگر |ψ| < Tn و متوسط ​​انرژی باقی‌مانده گره‌ها ( Eψ )در ψ بزرگ‌تر از En باشد، تمام اقدامات انتخاب‌شده αi از ψ محیط (βi (n) = 0) پاداش می‌گیرند. در غیر این صورت، اقدامات αi از ψ محیط (βi (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 (2-2) به‌روز می‌شود. همچنین مقادیر متغیرهای عمومی را به‌روز می‌کند. این روش به برنامه کمک می‌کند تا اتصال شبکه را برای مدت‌زمان 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-l در هر آتاماتای یادگیرنده برای به‌روزرسانی بردار احتمالی عملش استفاده می‌کند. بنابراین، پس از دریافت پیام PENALTY، احتمال اقدامات انتخاب‌شده 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 (2-3) 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:

جایی که |ψ| تعداد گره‌ها است و بهترین عمل آتاماتای یادگیرنده از گره Si می‌باشد. اگر مقدار احتمالی بیشتر از یک آستانه تعریف‌شده توسط Pthreshold 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 نکند. 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 (4-3) یک مثال توصیفی از اصول عملی الگوریتم پیشنهادی را زمانی که 16 گره به‌کار رفته است، نشان می‌دهد. در شکل (4-3) قسمت (a) عملیات انجام‌شده در فاز یادگیری نشان داده‌ شده است. در ابتدا گره S7 به‌طور تصادفی انتخاب ‌شده است. سپس،S7 یکی از اقدامات خود (یعنی یکی از همسایگان آن) را براساس بردار احتمالی خود انتخاب می‌کند، گره S6 انتخاب‌شده است.



شکل (4-3): مثال نمونه‌ای از انتخاب گره‌ها در روش پیشنهادی. دو مرحله اصلی الگوریتم ما برجسته شده است. نقاطی که در فاز یادگیری انتخاب ‌شده‌اند سبزرنگ 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، |ψ| در این مثال برابر با 4 و میانگین انرژی باقی‌مانده Eψ گره‌ها محاسبه می‌شود. از یک‌سو، اگر |ψ| کمتر از مقدار آستانه Tn و Eψ بزرگ‌تر از انرژی باقی‌مانده En باشد، یک پیام REWARD به گره‌ها درѰ 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 (2-2) یا معادله (2-3)، به‌روز می‌کند. علاوه‌بر‌این، در هر دو مورد، همچنین ارزش متغیرهای عمومی ذخیره‌شده را بروز‌رسانی می‌کنند (در این مثال مقدار Tn به 4 و En به ψE تنظیم می‌شود). این فرآیند ادامه می‌یابد تا زمانی که شرایط توقف، حاصل شود. شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی در شکل (4-4) 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:

Ѱ ► Selected nodes

Γ ► Unselected nodes

Initialization:

A HELLO message is broadcast within the network

for all nodes in V do

Ѱ = ᴓ ;

Initialize Tk and Pthreshold

Send a DISCOVERY message

pi(0) = ► r is the number of neighbors

end for

repeat

Randomly select and activate a node Si

repeat

while Si has no possible actions do

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

end while

Ѱ = Ѱ Si

Si selects one of its neighbors S j accordingly to its p(n)

Each automaton prunes its action-set to avoid the loop

Sj is activated

Γ = Γ Unselected neighbors of Si

Si = Sj

until |Ѱ Γ| < |V|

EѰ is calculated

if |Ѱ| < Tn and EѰ > En then

Tn = |Ѱ|

En = EѰ

βi (n) = 0 Ѱ ► Reward from the environment

Broadcast a REWARD message among all selected nodes in Ѱ

Else

βi(n) = 1 ǀ Si Ѱ ► Penalty from the environment

Broadcast a PENALTY message among all selected nodes in Ѱ

end if

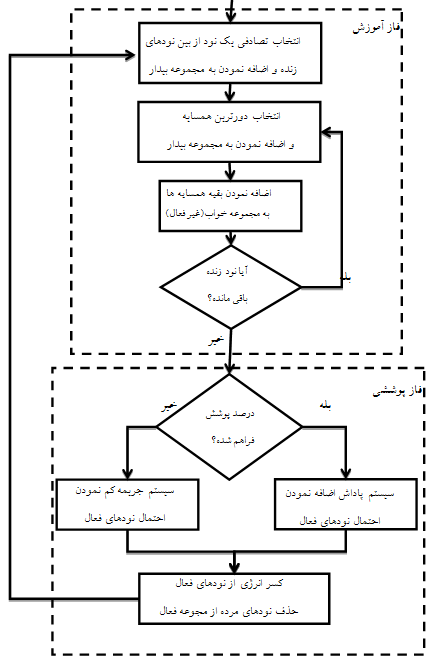
Enable all the disabled actions

until the stop condition is met.

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

FormPartialCoverage()

شکل(4-4): شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی



**شکل(4-5):** **فلوچارت فاز آموزش**

* 1. فاز پوشش جزئی

در پایان فاز یادگیری، الگوریتم بررسی می‌کند که آیا پوشش جزئی به‌دست‌ 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 حالی‌که گره‌های دیگر به‌منظور صرفه‌جویی در انرژی به حالت غیرفعال تبدیل می‌شوند. برای این منظور، گره‌های در حال حاضر در Ѱ، پیام ACTIVATION را به گره‌های انتخاب‌شده در مرحله پوشش جزئی ارسال می‌کنند.

در شکل(4-2) 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(4-2) قسمتa) 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 Ѱ اضافه شده‌اند. به‌این‌ترتیب نیازمندی پوشش‌جزئی شبکه برآورده می‌شود.

شبه کد ()FormPartialCoverage در شکل(4-6) نشان داده‌شده است.

Input:

CG = (V, E)                              ► Snapshot of the network

Ps                                              ► Desired partial coverage

Input/Output:

 Ψ ►Selected nodes

Γ ►Unselected nodes

for all Sj in Γ do

if Ψ does not satisfy Ps then

if Neighbors of Sj cannot cover Sj area then

Ψ= Ψ Sj

Send an ACTIVATION message to Sj

else

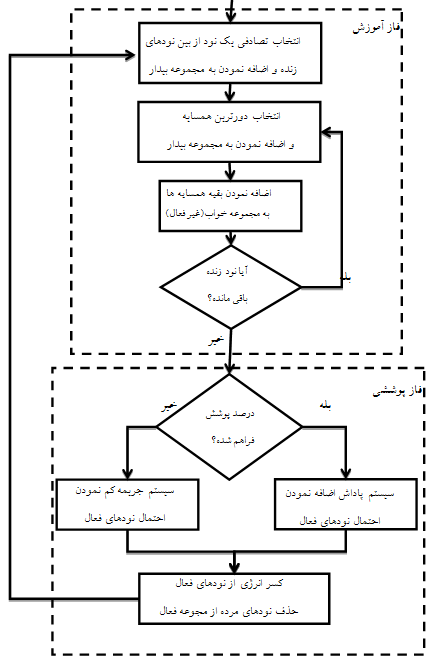
Deactivate Sj

end if

end if

end for

**FormPartialCoverage** شکل (4-6): شبه کد



**شکل (4-7): 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 آتاماتای 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 ازلحاظ پیچیدگی زمان، نسبت گره فعال، مقیاس‌پذیری و طول عمر شبکه حسگر بیسیم تضمین کند.

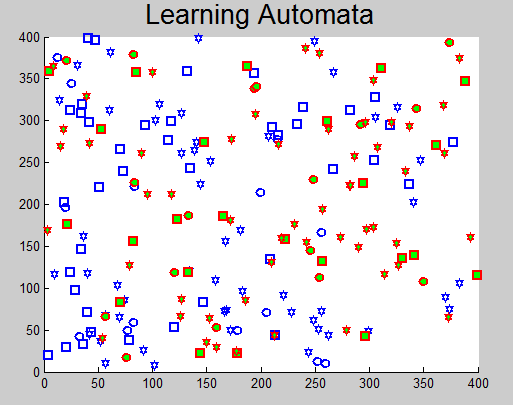
* 1. پارامترهای شبیه‌سازی

در این بخش از تحقیق، با استفاده از نرم‌افزار متلب[[74]](#footnote-74) به ارزیابی عملکرد و کارایی روش پیشنهادی پرداخته می‌شود. برای تجزیه‌وتحلیل 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، 200 گره حسگر را در زمین با ابعاد 400 در 400 مترمربع به‌صورت تصادفی پخش می‌کنیم. در این محیط سه نوع حسگر قرار دارد که تعداد هرکدام به ترتیب 31 و 64 و 105 و درصد همپوشانی 40% و 60% و 80% 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.

پارامترهای شبیه‌سازی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| پارامتر | تشریح پارامتر | مقدار پارامتر | |
| S | ابعاد زمین | 400\*400 m2 | |
| E0 | انرژی اولیه گره حسگر همگن | 0.2 j | |
| n | تعداد کل گره‌های ‌پخش‌شده  پخش شده پخش حسگر | 200 | |
| *N* | تعداد حسگر از هر نوع | 105،64،31 | |
| *Ps* | درصدهمپوشانی از هر نوع | 80%،60%،40% | |
| Rs | شعاع حس حسگر | 50 m | |
| *Rc* | شعاع ارتباطی بین حسگر | 100 m | |
|  | | |

در جدول (5-1) خلاصه‌ای از پارامتر‌های بکار رفته در شبیه‌سازی لیست شده است. محیط شبیه‌سازی در شکل(5-1) نمایش داده‌ شده است. سه نوع حسگر به‌صورت مربع، دایره و شش ضلعی نمایش داده می‌شود. درصورتی‌که حسگر فعال باشد، به‌صورت رنگی توپر و در صورت غیرفعال بودن به‌صورت توخالی نمایش داده می‌شود. محل قرار گرفتن حسگرها به‌صورت تصادفی می‌باشد.



**شکل (5-1):** **محیط شبیه‌سازی**

نمودار (5-1) 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 40% و 60% و 80% بهتر عمل کرده است.

 **نمودار (5-1): نتیجه اجرای شبیه‌سازی با درصد همپوشانی 40% و 60% و 80%**

میزان همپوشانی از هرکدام از حسگرها در شکل (5-2) 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 (5-2): میزان همپوشانی هر کدام از حسگرها**

* + 1. 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 قرارگرفته و با راه‌حل‌های پیشرفته‌ای مقایسه می‌شود.

* + 1. صحت روش پیشنهادی

مجموعه‌ی Ѱ 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 Ѱ Γ = V ، یعنی هر گره متعلق به V یا در Ѱ و یا در Γ است. گره‌های Ѱ به دلیل روش تکرارپذیری متصل شده‌اند: در هر تکرار i از مرحله یادگیری، Si یک همسایه را در محدوده ارتباط Rc خود، انتخاب می‌کند و آن را به مجموعه BS اضافه می‌کند. بنابراین تمام گره‌های درون Ѱ 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 می‌کنند . با توجه به این‌که هر گره در Γ حداقل توسط یک همسایه اضافه ‌شده درنتیجه، اتصال برقرار می‌شود.

* + 1. تجزیه‌وتحلیل پیچیدگی زمانی

الگوریتم پیشنهادی به‌وسیله 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). درنهایت، زمان اجرای برنامه معمول FormPartialCoverage() نیز O(N)است. با توجه به این مشارکت، پیچیدگی زمان پیشنهادی می‌تواند به‌صورت O(N×I)+O(N) بیان شود. بنابراین، پیچیدگی زمان کلی الگوریتم پیشنهادی O(N×I) است.

نتیجه اجرای برنامه نیز نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها، زمان کمتری را صرف می‌نماید. نمودار (5-2) زمان اجرای هر سه الگوریتم را نشان می‌دهد.



**نمودار (5-2): 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.

* + 1. 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 60% و 80% و 100% تغییر داده و برنامه را برای هر سه الگوریتم مجدداً اجرا می‌نماییم.

نمودار (5-3) و شکل (5-3) میزان مصرف انرژی و همچنین درصد همپوشانی را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می­شود، نمودار (5-3) میزان مصرف انرژی با درصد همپوشانی 60% و 80% و 100% است. همچنین شکل (5-3) میزان همپوشانی با درصدهای 60% و 80% و 100% می‌باشد که بیانگر میزان مصرف انرژی و میزان درصد همپوشانی در هر دو شکل است.



**نمودار (5-3): میزان مصرف انرژی با درصد همپوشانی 60% و 80% و 100%**



**شکل (5-3): میزان همپوشانی با درصدهای 60% و 80% و 100%**

همان‌طور که مشاهده می‌گردد همچنان آتاماتای یادگیر، بهتر عمل می‌نماید. سپس تعداد تکرار برنامه را بالا می‌بریم و از 200 به 300، افزایش می‌دهیم تا طول عمر شبکه را در هر سه الگوریتم بررسی نماییم. نمودار (5-4) میزان مصرف انرژی را با تعداد تکرار 300 نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می­شود در نمودار (5-4) در هر سه حالت 31، 64 و 105، نیز مصرف انرژی با تعداد تکرار 300 در الگوریتم پیشنهادی، همچنان کمتر از مصرف انرژی در الگوریتم‌های دیگر است.



**نمودار (5-4): مصرف انرژی با تعداد تکرار 300**

در فصل جاری، نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار متلب مطرح گردید و روش پیشنهادی با پژوهش پیشین CODAدر 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**

نتیجه‌گیری

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 در‌نظر گرفته ‌شده است، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی بهتر است. علاوه‌بر‌این، هنگامی‌که 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 به‌جای الگوریتم‌های دیگر، هنگام افزایش شعاع حس Rs بیشتر مشخص می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد، الگوریتم‌های یادگیرنده می‌توانند بیشتر در شبکه‌های حسگر مورد استفاده قرار گیرند. از مهم‌ترین دست آوردهای تحقیق می توان 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 به‌صورت خلاصه بیان‌ شده است، در فصل چهارم با عنوان روش پیشنهادی، به‌صورت 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 به‌صورت 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.
* تركيب الگوريتم پيشنهادي با پروتكل‌هاي مسيريابي ديگر.
* 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

1. 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 .
2. تنن‌بام، ا. (1386)، شبکه­های کامپیوتری (نسخه 4). (ح.پدرام و ا. ملکیان، & ع. زارع­پور، مترجم) نص.
3. رضایی، ع. جلالیان، س. (1388)، مدل‌سازي وارزیابی قراردادهاي لایه انتقال در شبکه‌های حسگر بی سیم، اولین کنفرانس ملی مهندسی نرم‌افزار ایران.
4. رضایی، ع.ز. (1389)،ارائه پروتکل انتقال برای کنترل ازدحام.
5. شیخی، ه. بستام، م. دهقان، م. (1387)، کنترل ازدحام براي جریان‌هاي ویدیو در شبکه‌هاي حسگر بی‌سیم، چهاردهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران.
6. صحرانشین، ط. صفایی، م. (1395)، 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.
7. 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 MultimediaSensor 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 Ps. These results show that learner algorithms can be used more in sensor networks.

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

1. Wireless Sensor Network [↑](#footnote-ref-1)
2. Microelectromechanical Systems [↑](#footnote-ref-2)
3. 3 Nodes [↑](#footnote-ref-3)
4. Reduce costs & delays [↑](#footnote-ref-4)
5. Congestion [↑](#footnote-ref-5)
6. Buffer [↑](#footnote-ref-6)
7. Congestion detection [↑](#footnote-ref-7)
8. The Transmission Control Protocol [↑](#footnote-ref-8)
9. Field-Programmable Gate Array [↑](#footnote-ref-9)
10. l liu [↑](#footnote-ref-10)
11. Afsar shah [↑](#footnote-ref-11)
12. Congestion detection [↑](#footnote-ref-12)
13. The Transmission Control Protocol [↑](#footnote-ref-13)
14. Congestion Notification [↑](#footnote-ref-14)
15. Congestion control. [↑](#footnote-ref-15)
16. Reliability [↑](#footnote-ref-16)
17. User Datagram Protocol [↑](#footnote-ref-17)
18. Cao [↑](#footnote-ref-18)
19. Kevin [↑](#footnote-ref-19)
20. 1 Peng [↑](#footnote-ref-20)
21. 1 Sun [↑](#footnote-ref-21)
22. 2 Tanenbaum [↑](#footnote-ref-22)
23. Learning Automata [↑](#footnote-ref-23)
24. Service rate [↑](#footnote-ref-24)
25. Competition, intervention & error rates [↑](#footnote-ref-25)
26. Congestion control [↑](#footnote-ref-26)
27. 3 Kohler [↑](#footnote-ref-27)
28. 1 Eec [↑](#footnote-ref-28)
29. Implicit congestion notification [↑](#footnote-ref-29)
30. Explicit congestion notification [↑](#footnote-ref-30)
31. Down stream [↑](#footnote-ref-31)
32. 2 Anand [↑](#footnote-ref-32)
33. Time out [↑](#footnote-ref-33)
34. 1 hull [↑](#footnote-ref-34)
35. Congestion window [↑](#footnote-ref-35)
36. 1 Paek [↑](#footnote-ref-36)
37. Congestion Control and Fairness (CCF) [↑](#footnote-ref-37)
38. 1 Wang [↑](#footnote-ref-38)
39. Priority-based Congestion Control Protocol [↑](#footnote-ref-39)
40. Rate-Controlled Reliable Transport [↑](#footnote-ref-40)
41. An Asymmetric and Reliable Transport Mechanism for Wireless Sensor Networks [↑](#footnote-ref-41)
42. 2 Tezcan [↑](#footnote-ref-42)
43. Congestion Detection and Avoidance [↑](#footnote-ref-43)
44. Datagram Congestion Control Protocol [↑](#footnote-ref-44)
45. Queue Based Congestion Control Protocol withPriority Support [↑](#footnote-ref-45)
46. Congestion Detection Unit [↑](#footnote-ref-46)
47. Congestion Notification Unit [↑](#footnote-ref-47)
48. Fairness-Aware Congestion Control [↑](#footnote-ref-48)
49. 2 Yin [↑](#footnote-ref-49)
50. Telemark Modeling and Control Centre [↑](#footnote-ref-50)
51. Technical Assistance and Dispute Resolution [↑](#footnote-ref-51)
52. Liu [↑](#footnote-ref-52)
53. Cao [↑](#footnote-ref-53)
54. Zou [↑](#footnote-ref-54)
55. Particle swarm optimization [↑](#footnote-ref-55)
56. Barolli [↑](#footnote-ref-56)
57. Genetic Algorithm Wireless Mesh Networks [↑](#footnote-ref-57)
58. Hybrid Wireless Mesh Protocol [↑](#footnote-ref-58)
59. Peng et al. [↑](#footnote-ref-59)
60. Distance vector-hop [↑](#footnote-ref-60)
61. Sun [↑](#footnote-ref-61)
62. Kevin [↑](#footnote-ref-62)
63. The Transmission Control Protocol [↑](#footnote-ref-63)
64. Yet Another Highspeed [↑](#footnote-ref-64)
65. A congestion control protocol [↑](#footnote-ref-65)
66. 5 Rashmi [↑](#footnote-ref-66)
67. Header [↑](#footnote-ref-67)
68. Wireless Sensor Network (WSN) [↑](#footnote-ref-68)
69. Learning Automata (LA) [↑](#footnote-ref-69)
70. BS [↑](#footnote-ref-70)
71. Wireless Sensor Network [↑](#footnote-ref-71)
72. Base Station [↑](#footnote-ref-72)
73. Base Station [↑](#footnote-ref-73)
74. Matlab [↑](#footnote-ref-74)