سامانه‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)

Spring 2024, 5 (1), 27-36
DOR:

Received: 26 Dec 2024
Accepted: 4 Feb 2024

مقاله پژوهشی

A New Method to Improve Energy Consumption in Wireless Camera Sensor Networks

Javad Bayat[1], Shiva Karimi[۲*]

1. MSc Student, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran.
2. Assistant Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran. **Corresponding Author* shkarimi2013@yahoo.com

.

Abstract

Introduction: In the development of wireless camera sensor networks, there are unique challenges such as the need for high bandwidth, low latency for processing, high energy consumption, and real-time control. Each wireless camera sensor node is able to process image data locally and extract suitable data and cooperate with other cameras based on the desired application. In these networks, high bandwidth is demanded to transmit visual data, and high volume calculations in these networks must be possible with low power. In this article, a new model based on Harris's Hawk optimization algorithm is proposed to improve energy consumption in wireless camera sensor networks. The optimization algorithm of Harris's Hawk is one of the meta-heuristic algorithms that was invented in 2019.

Method: Harris's Hawk optimization algorithm was used to form optimal clustering. Each vector generated in Harris's Hawk optimization algorithm is calculated based on the fitness function and the most optimal vectors are selected for clustering. In the proposed model, factors such as intra-cluster distance and extra-cluster distance, and energy consumption have been considered.

Results: Evaluations in the environment of 150×150 m^2 and 300×300 m^2 with a different number of nodes show that the proposed model has better efficiency compared to PADT and genetic algorithm (GA).

Discussion: In wireless camera sensor networks, the imbalance of energy consumption among nodes is an effective factor in the network lifetime. In order to balance the energy consumption among nodes, clustering algorithms have been proposed for uniform energy distribution. In this paper, we proposed a new model for clustering camera sensor nodes based on Harris's Hawk optimization algorithm. In the proposed model, we paid attention to parameters such as intra-cluster distance, extra-cluster distance, and residual energy of sensor nodes. The cluster quality criterion is based on the intra-cluster distance, which depends on the position of the cluster head in the clusters. In the proposed model, because the distance criterion is taken into account and the distance of non-cluster nodes with the cluster head node is evaluated and the closest nodes to the cluster head are selected.

Keywords: Wireless Camera Sensor Networks, Clustering, Harris Hawk Optimization Algorithm, Energy Consumption, Genetic Algorithm **.**

سامانه‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)
انجمن علمی تجارت الکترونیکی ایران

ارائه روشی جدید برای بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم

تاریخ دریافت:۰۵/ ۱۰/ ۱۴۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۵/ ۱۱/ ۱۴۰۲

دورهٔ پنجم، بهار ۱۴۰۳
شمارهٔ اول، صص: ۲۷-۳۶

جواد بیات[1]، شیوا کریمی [2*]

۱. دانشجو کارشناسی ارشد، گروه برق، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران.
۲. استادیار، گروه برق، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران. (نویسندهٔ مسئول) shkarimi2013@yahoo.com

چکیده: در چند سال اخیر، شبکه‌های حسگر بی سیم از زمینه‌های تحقیقاتی بسیار فعال بوده‌اند. با این حال، بیشتر حسگرهای مورد ا ستفاده در تو سعه این شبکه‌ها، ح سگرهای معمولی و غیرت صویربرداری مانند صوتی، لرزه‌ای، دما، رطوبت و غیره بوده‌اند. در تو سعه شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم چالش‌های منحصر به‌فردی همانند نیاز به پهنای باند بالا، نیاز به تأخیر اندک برای پردازش، انرژی مصرفی بالا و کنترل در زمان واقعی وجود دارد. در این مقاله یک مدل پیشنهادی جدید برمبنای الگوریتم بهینه سازی شاهین هریس به منظور بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم پیشنهادشده‌است. الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری ا ست که در سال ۲۰۱۹ ابداع شده ا ست. از الگوریتم بهینه سازی شاهین هریس برای تشکیل خو شه‌بندی بهینه ا ستفاده می شود. هر بردار تولید شده در الگوریتم بهینه سازی شاهین هریس برمبنای تابع برازندگی محا سبه‌می شود و بهینه‌ترین بردارها جهت خوشه‌بندی انتخاب‌می‌شوند. در مدل پیشنهادی به فاکتورهایی همانند فاصله درون‌خوشه‌ای و فاصله برون‌خوشه‌ای و انرژی مصرفی توجه‌شده‌است. ارزیابی‌ها در محیط ۱۵۰×۱۵۰ و ۳۰۰×۳۰۰ با تعداد گره‌های مختلف نشان‌می‌دهد که مدل پیشنهادی در مقایسه با PADT و الگوریتم ژنتیک(GA) دارای کارایی بهتری بوده‌است.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم، خوشه‌بندی، الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس، انرژی مصرفی، الگوریتم ژنتیک.

۱- مقدمه

گسترش شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم در نتیجه پیشرفت در تکنولوژی میکرو-الکترومکانیکی بوده که باعث توسعه ماژول دوربین در مقیاس کوچک و یکپارچه شدن آن با گره‌های حسگر شده‌است [۱]. شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر می‌باشند که به‌منظور رصد و بررسی محیط‌های مختلف برای یک دوره طولانی با یکدیگر همکاری‌می‌کنند. این شبکه‌ها شامل گره‌های حسگر دوربین بی‌سیم برای جمع‌آوری تصاویر، پردازشگر برای پردازش اطلاعات و دستگاه فرستنده و گیرنده بی‌سیم می‌باشند [۲]. منابع شبکه حسگر دوربین بی‌سیم شامل محدودیت‌هایی از قبیل انرژی، محدوده ارتباطی کوتاه، پهنای باند کم، پردازش محدودشده و میزان حافظه هر گره می‌باشند. یکی از تفاوت‌های مهم شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم با دیگر شبکه‌های حسگر بی‌سیم، چگونگی دریافت اطلاعات از محیط است. اکثر گره‌های حسگرها سیگنال‌های داده یک‌بعدی فراهم‌می‌کنند، در صورتی‌که حسگرهای دوربین یک مجموعه داده دوبعدی به نام تصویر را پردازش‌می‌کنند. این ابعاد اضافی از مجموعه داده‌ها باعث پیچیده‌تر شدن پردازش و آنالیز داده‌ها می‌شود [۳].

هر گره حسگر دوربین بی‌سیم، قادر به پردازش داده‌های تصویر، به صورت محلی و استخراج داده‌های مناسب و همکاری با دوربین‌های دیگر برمبنای کاربرد مورد نظر می‌باشد. در این شبکه‌ها برای انتقال داده‌های بصری به پهنای باند بالایی نیاز است و همچنین محاسبات با حجم بالا باید در این شبکه‌ها با توان پایین قابل‌انجام باشد [۴]. بررسی‌ها نشان‌داده‌است که مشکلات پروتکل‌های ارائه‌شده در این شبکه‌ها عبارتند از عدم توجه به انرژی مصرفی گره‌ها و استفاده از الگوریتم‌های حریصانه و تبادل پیام‌های کنترلی جهت ساخت جداول مسیریابی که در مواردی موجب افزایش انرژی و کاهش عمر شبکه می شود. مصرف انرژی در این شبکه‌ها به‌دلیل حجم اطلاعات تولیدی توسط گره‌های دوربین‌دار نسبت به شبکه‌های حسگر معمولی بیشتر است [۵].

اطلاعات جمع‌آوری شده به‌وسیله گره‌های حسگر باید به چاهک یا همان ایستگاه اصلی ارسال‌شوند [۶]. در ارسال مستقیم، هر گره حسگر مستقیماً اطلاعات را به چاهک ارسال‌می‌کند که به‌دلیل فاصله زیاد گره‌های حسگر از مرکز، انرژی زیادی مصرف‌می‌کنند. در مقابل، مدل‌هایی که فواصل ارتباطی بین گره‌های حسگر را کوتاه‌تر می‌کنند، می‌توانند طول عمر شبکه را طولانی‌تر کنند و لذا ارتباط‌های چندگامی در این‌گونه شبکه‌ها مناسب‌تر و مقرون به صرفه‌تر از ارتباط‌های تک‌گامی هستند [۷, ۸]. ولی در ارتباط‌های چندگامی نیز بیشتر انرژی گره‌ها صرف ایجاد ارتباط با حسگرهای دیگر می‌شود، که منجر به مصرف زیاد انرژی در گره‌های حسگر می‌گردد. یکی از روش‌های حل این مشکل، خوشه‌بندی گره‌های حسگر است.

در روش خوشه‌بندی، شبکه به تعدادی خوشه مستقل تقسیم‌بندی‌می‌شود که هر کدام یک سرخوشه دارند و همه اطلاعات از گره‌های داخل خوشه توسط سرخوشه‌ها جمع‌آوری‌می‌شود [۹]. سپس این سرخوشه‌ها اطلاعات را مستقیماً یا به‌صورت گام‌به‌گام با تعداد گام‌های کمتر و صرفاً با استفاده از گره‌های سرخوشه به مرکز اصلی ارسال‌می‌کنند. خوشه‌بندی می‌تواند هزینه‌های ارتباطی اکثر گره‌ها را به میزان زیادی کاهش‌دهد. در مقاله حاضر، گره‌ها با توجه به انرژی و فاصله توسط الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس [۱۰, ۱۱]، خوشه‌بندی می‌شوند. با استفاده از این ساختار، انتقالات اضافی در شبکه را تا حد زیادی کاهش خواهیم‌داد و درنهایت طول عمر شبکه را افزایش می‌دهیم.

۲- پیشینه پژوهش

در این بخش به مطالعات پیشین در مورد شبکه‌های حسگر بی‌سیم دوربین خواهیم‌پرداخت.

در [۱۲] یک مدل به منظور تشخیص چهره با حداقل انرژی برای شبکه‌های حسگر بی سیم دوربین پیشنهاد شده‌است. طرح تشخیص و شناسایی چهره با حداقل انرژی می‌تواند در بسیاری از حوزه‌ها مانند امنیت و نظارت در شبکه‌های چندرسانه‌ای و حسگر بصری مفید باشد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم دوربین برای پردازش و انتقال تصاویر، مصرف انرژی بالایی را به شبکه تحمیل‌می‌کنند. حسگر دوربین گره‌ای است که با باتری کارمی‌کند و طول عمر آن محدود است. این وضعیت منجر به مصالحه بین دقت تشخیص و مصرف انرژی می‌شود. مرحله تشخیص در گره حسگر و مرحله شناسایی در ایستگاه پایه (چاهک) انجام‌می‌شود. عملکرد طرح از نظر نرخ مصرف انرژی و دقت تشخیص ارزیابی‌شده‌است. نتایج نشان‌داده‌است که این مدل توانسته‌است در مقایسه با مدل‌های دیگر کارایی بهتری داشته‌باشد.

در [۱۳] مسئله پوشش در شبکه‌های حسگر بی سیم به‌عنوان یک مسئله چندهدفه بررسی‌شده‌است. از الگوریتم ژنتیک چندهدفه به منظور طراحی شبکه و لحاظ‌کردن فاکتورهای موقعیت و مصرف انرژی استفاده‌شده‌است. در پوشش ناحیه‌ای هر نقطه در محیط تحت پوشش، باید حداقل توسط یک حسگر پوشش داده شود. نتایج عددی مزایای استفاده از الگوریتم‌های تکاملی برای تنظیم جهت‌گیری حسگرها را نشان‌داده‌است. بالقوه با استقرار و مدیریت شبکه‌های حسگر بی سیم دوربین می‌توان شبکه را در حالت پایدار قرارداد. الگوریتم‌های تکاملی در بسیاری از سناریوها با اجرای چندین مورد استفاده و ارزیابی شدند و نتایج نشان‌داد که الگوریتم‌های تکاملی در بهینه سازی مصرف انرژی در مقایسه با الگوریتم‌های حریصانه دارای عملکرد بهتری بودند.

با توجه به محدودیت توان حسگرها، ضروری است که با استفاده بهینه از انرژی ذخیره شده، ضمن حفظ پوشش همه اهداف مستقر در محیط، طول عمر شبکه افزایش یابد. مسئله بیشینه سازی طول عمر شبکه مبتنی بر زمان‌بندی تعریف‌می‌شود که با تقسیم حسگرها به مجموعه‌های پوششی و سپس نوبت‌بندی خواب و بیدار آن‌ها، همزمان

با حفظ پوشش انجام‌می‌شود و باعث افزایش مدت زمان عملیات شبکه می‌گردد.

یک الگوریتم جدید مبتنی بر تبرید شبیه‌سازی شده با هدف یافتن تعداد گره‌های پوششی بیشتر از حسگرهای دارای ذخیره انرژی بالاتر، پیشنهادشده‌است [۱۴]. توسط یک تابع انرژی و تولید همسایگی جدید، ضمن پرهیز از تله نقطه بهینه محلی، توزیع متوازن انرژی حسگرها در سراسر شبکه تأمین‌می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان‌داده‌است که کارایی مدل نسبت به روش‌های دیگر از جمله روش‌های حریصانه، بهتر است.

در بسیاری از پروتکل‌ها، ذخیره اطلاعات همسایه‌ها از طریق ارسال پیام‌های کنترلی، باعث افزایش انرژی مصرفی در گره‌ها می‌شود. پروتکل ارسال داده انرژی-کارا (EEF) برای شبکه‌های حسگر بصری ارائه‌شده‌است [۱۵]. این پروتکل که مبتنی بر موقعیت گره‌های دوربین‌دار است، از روش انتخاب ارسال‌کننده حریصانه برای ارسال اطلاعات بدون نیاز به تبادل پیام کنترلی و با تکیه بر مکانیسم زمان انتظار استفاده‌می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌داده‌است که پروتکل EEF تعداد داده‌های تزریقی افزونه به شبکه را به حداقل رسانده و باعث ایجاد تعادل در مصرف انرژی گره‌ها در مقایسه با جدیدترین پروتکل‌ها در این زمینه شده‌است.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی و به حداکثر رساندن طول عمر شبکه در طراحی و اجرای شبکه‌های حسگر معمولاً یک چالش اساسی محسوب‌می‌شود. در این شبکه‌ها، گره‌ها به‌دلیل همپوشانی بودن میدان دید، ناحیه را با درجه بالایی از همبستگی حس‌می‌کنند و باعث اتلاف انرژی شبکه می شوند. روش خوشه‌بندی تشخیص منطقه همپوشانی به‌عنوان یک روش خوشه‌بندی جدید برای کاهش جریان‌ها و غلبه بر اتلاف انرژی ارائه‌شده‌است [۱۶]. نتایج شبیه‌سازی نشان‌داده‌است که با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی و فعالسازی دوربین در گره‌ها، بار ارتباطات شبکه و مصرف انرژی به‌ترتیب در حدود ۷۵ و ۶۶,۶ درصد در مقایسه با طرح مبتنی بر همبستگی کاهش‌یافته‌است.

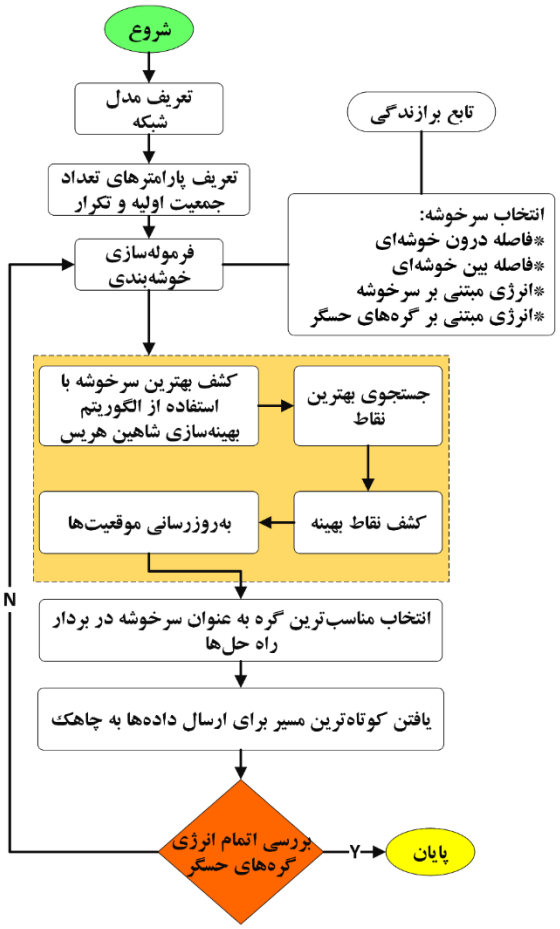
در [۱۷] یک معماری مبتنی بر خوشه‌بندی برای داده های شبکه‌های حسگر بی سیم دوربین پیشنهاد شده‌است. این معماری دو مرحله اصلی دارد: انتخاب سرخوشه و انتخاب اعضای خوشه. در مرحله انتخاب سرخوشه، سرخوشه قبلی پس از تخمین محل جدید هدف با درنظرگرفتن اندازه‌گیری اعضای خوشه و استفاده از قوانین خاص، یک سرخوشه جدید از اعضای همسایه خود انتخاب‌می‌کند. در مرحله انتخاب اعضای خوشه، سرخوشه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی برخی از همسایگان خود را به‌عنوان اعضای خوشه انتخاب‌می‌کند. هدف از الگوریتم بهینه سازی انتخاب مجموعه‌ای از گره‌های همسایه مناسب است که تابع هزینه، مربوط به انرژی‌های باقیمانده گره‌های دوربین را به حداقل برساند. مصرف انرژی بهینه در گره‌های حسگر دوربین منجر به مسئله بهینه‌سازی انرژی در ارتباطات چندگامی در هنگام اشتراک و پردازش اطلاعات می‌گردد [۱۸]. نتایج تجربی نشان‌داد که روش‌های محاسبات سلسله‌مراتبی و روش بهینه‌سازی تصادفی پویا قادر به بهبود بهره‌وری انرژی شبکه حسگر دوربین بی سیم و انتخاب گره سرخوشه بهینه بوده‌اند.

برای جلوگیری از مشکل حفره انرژی، یک طرح انتقال تصویر خوشه‌ای دوگامی در [۱۹] ارائه شده‌است. برای فشرده سازی و انتقال تصاویر به‌منظور کاهش مصرف انرژی گره مجهز به دوربین از طرح فشرده سازی در سرخوشه استفاده‌می شود. با تنظیم تطبیقی شعاع انتقال در گره سرخوشه دوربین و تخصیص وظایف براساس انرژی باقیمانده حسگرها، مصرف انرژی گره‌های شبکه متعادل می‌شود. نتایج تجربی نشان‌داد که این مدل توانسته طول شبکه را به‌طور چشمگیری در مورد گره‌های حسگر مستقرشده، افزایش‌دهد. در [۲۰] از ترکیب RSSI و روش فعال سازی/غیرفعال سازی برای افزایش کارایی گره‌های حسگر دوربین استفاده‌شده‌است. نشانگر قدرت سیگنال دریافت شده(RSSI) یک روش برای بررسی وضعیت قدرت سیگنال گره حسگر است. اگر سیگنال گره‌ها زیاد باشد آنگاه دارای قدرت بیشتری در ارسال و دریافت خواهندبود. روش فعالسازی / غیرفعالسازی حسگر که در مورد فعالسازی جداگانه سنسورها تصمیم‌گیری‌می‌کند، منجر به مصرف انرژی متعادل در بین گره‌ها می‌شود. نتایج نشان‌داد که این مدل، مصرف انرژی را تا حدود ۴۰ درصد کاهش‌داده‌است.

۳- مدل پیشنهادی

در چند دهه اخیر، الگوریتم های فراابتکاری برای حل مشکلات بهینه سازی پیچیده پیشرفت چشمگیری داشته‌اند [۲۱]. الگوریتم‌های فراابتکاری با استفاده از مفاهیمی مانند ایجاد جمعیت اولیه، کاوش و استخراج می‌توانند مسائل بهینه سازی را بهبوددهند. این الگوریتم‌ها در مقایسه با روش‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، به یک فرم ریاضی خاص از مسائل بهینه‌سازی وابسته نیستند [۲۲]. در این مقاله از الگوریتم بهینه سازی شاهین هریس که یکی از الگوریتم‌های فراابتکاری است، برای حل مسئله خوشه‌بندی گره‌های حسگر استفاده‌می‌شود.

در شکل(۱) فلوچارت مدل پیشنهادی آمده‌است. در ابتدا تعریف مدل شبکه (تعداد گره‌ها، انرژی اولیه و تعداد دور) و تعریف پارامترهای اولیه برای الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس انجام‌می‌شود. سپس بردارهای اولیه برمبنای گره‌های حسگر تشکیل‌می‌شوند و انتخاب بهترین گره به‌عنوان سرخوشه برمبنای تابع برازندگی انجام‌می‌شود. توسط الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس عملیات مربوط به جستجوی محیط و به‌روز سانی موقعیت انجام‌می شود. گره‌ای به‌عنوان سرخوشه انتخاب‌می‌شود که بتواند نیاز تابع برازندگی را برآورده‌کند و بهترین گره در بردار راه‌حل‌ها باشد. سپس عملیات ارسال داده از سرخوشه به چاهک برمبنای یافتن کوتاه‌ترین مسیر که انرژی کمتری به‌هدر می‌رود انجام‌می‌شود.



شکل۱: فلوچارت مدل پیشنهادی

۱،۳. کدگذاری مسئله

توسط هر بردار راه‌حل، عمل انتخاب گره از میان گره‌های حسگر دوربین بی‌سیم به‌عنوان سرخوشه انجام‌می‌شود. بر این اساس، گره با حداقل فاصله و حداکثر انرژی به‌عنوان سرخوشه انتخاب‌می‌شود که گره‌های سرخوشه می‌توانند روند مسیریابی را به روشی بهینه انجام‌دهند. الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس از تعدادی عامل (شاهین) تشکیل‌شده‌است. هر عامل یک راه‌حل کامل برای مسئله خوشه‌بندی گره‌های حسگر است. یک عامل در جمعیت اولیه شامل d بعد است. نمایش یک عامل در فضای مسئله طبق معادله (۱) تعریف‌می‌شود. هر عامل توسط یک تابع برازندگی ارزیابی‌می‌شود تا کیفیت راه‌حل‌های مسئله کشف و نمایان شوند.

$$H_i = [X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}, \dots, X_{i,D}] \quad (۱)$$

الگوریتم بهینه‌سازی شاهین یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است. در معادله(۲) h تعداد عامل‌ها و d تعداد ابعاد است، راه‌حل‌های مسئله را می‌توان توسط موقعیت عامل‌ها به‌دست‌آورد.

$$S = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1d} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2d} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{h1} & h_{h2} & \cdots & h_{hd} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

۲،۳. جستجوی فضای مسئله

در الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس، عامل‌ها راه‌حل‌های کاندید هستند و بهینه‌ترین راه‌حل کاندید در هر مرحله به‌عنوان بهترین عامل از نظر موقعیت بهینه انتخاب‌می‌شود. عامل‌ها در الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس، به‌صورت تصادفی در فضای محیط پخش‌می‌شوند و سپس راه‌حل‌های بهینه برمبنای دو حالت ارزیابی‌می‌شوند. اگر برای هر حالت یافتن راه‌حل یک شانس معادل با q درنظرگرفته‌شود، می‌توان بیان‌کرد که عامل‌ها از موقعیت سایر اعضا (هنگام کشف راه‌حل به اندازه کافی به همدیگر نزدیک باشند) و راه‌حل‌های یافته، تبعیت‌می‌کنند، که در این حالت $q < 0.5$ است؛ یا اینکه عامل‌ها به‌صورت تصادفی عمل‌می‌کنند و در نزدیکی اعضای گروهند، که آنگاه $q \geq 0.5$ است. موقعیت عامل‌ها طبق معادله(۳) تعریف‌می‌شود.

$$X(t+1) = \begin{cases} X_{rand}(t) - r_1 |X_{rand}(t) - 2r_2 X(t)| & q \geq 0.5 \\ (X_{rabbit}(t) - X_m(t)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)) & q < 0.5 \end{cases} \quad (۳)$$

در معادله(۳) $X(t+1)$ بردار موقعیت عامل‌ها در تکرار بعدی t است. پارامتر $X_{rabbit}(t)$ موقعیت طعمه (راه‌حل بهینه) است. بردار موقعیت فعلی عامل‌ها برابر با $X(t)$ است. پارامترهای r_1، r_2، r_3 و r_4 و q اعداد تصادفی در محدوده (0,1) هستند که در هر تکرار به‌روز و تغییرداده‌می‌شوند. توسط پارامترهای LB و UB حدهای بالا و پایین تعریف‌می‌شوند. $X_{rand}(t)$ یک عامل است که به‌طور تصادفی از جمعیت فعلی انتخاب‌شده‌است و میانگین موقعیت از جمعیت فعلی عامل‌ها برابر با X_m است. میانگین موقعیت عامل‌ها با استفاده از معادله(۴) محاسبه‌می‌شود.

$$X_m(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} X_i(t) \quad (۴)$$

به‌طوری‌که $X_i(t)$ موقعیت هر شاهین در تکرار t و N تعداد کل شاهین‌ها را نشان‌می‌دهد.

۳،۳. تابع برازندگی

در مدل پیشنهادی از فاکتورهایی همانند فاصله بین خوشه‌ای، فاصله درون‌خوشه‌ای، سطح انرژی گره‌ها، و سطح انرژی سرخوشه برای تابع برازندگی استفاده‌می‌کنیم. وظایفی همانند جمع‌آوری، تجمیع و انتقال داده‌ها، منجر به مصرف انرژی در گره‌های سرخوشه می‌شود. بنابراین، چرخش دوره‌ای براساس انرژی باقیمانده ضروری است. انرژی باقیمانده یک گره، مهمترین فاکتور در تنظیم تابع برازندگی است.

از تابع برازندگی به‌منظور انتخاب بهترین سرخوشه استفاده‌می‌شود. پس از انتخاب سرخوشه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس، از تابع برازندگی برای ارزیابی انتخاب سرخوشه استفاده‌می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس هر یک از راه‌حل‌ها در یک بردار هستند و هر بردار برمبنای تابع برازندگی ارزیابی‌می‌شود. عملکرد فرموله‌سازی تابع برازندگی برمبنای چهار پارامتر مختلف مانند فاصله

درون‌خوشه‌ای، فاصله بین‌خوشه‌ای، انرژی مبتنی بر سرخوشه و انرژی مبتنی بر گره‌های حسگر انجام‌شده‌است. تعریف تابع برازندگی براساس معادله(۵) انجام‌می‌شود.

$$F1 = \alpha S_i^{intra} + \beta S_i^{inter} + \delta S_i^{HC} + \gamma S_i^{SN}$$
$$F2 = \alpha + \beta + \delta + \gamma$$
$$Fitness = \frac{F1}{F2}$$

(۵)

به‌طوری‌که S_i^{intra} و S_i^{inter} به‌ترتیب فاصله درون‌خوشه‌ای و فاصله بین خوشه‌ای را نشان‌می‌دهند. محاسبه انرژی سرخوشه‌ها و گره‌های حسگر برمبنای S_i^{HC} و S_i^{SN} تعریف‌می‌شوند. پارامترهای α، β، δ، و γ به‌منظور متعادل‌سازی تابع برازندگی استفاده‌می‌شوند و در بازه 0 و 1 تعریف هستند. به‌عبارتی، هدف این پارامترها این است که مقدار تابع برازندگی برابر با صفر نباشد.

فاصله درون‌خوشه‌ای: فاصله درون‌خوشه‌ای براساس معادله (۶) تعریف‌می‌شود. در معادله (۶)، SN_i تعداد گره‌های موجود در شبکه حسگر، BS نشان‌دهنده گره چاهک، D_q فاصله بین هر گره‌های حسگر با سرخوشه و C_j^H تعداد سرخوشه‌های انتخاب‌شده در شبکه را نشان‌می‌دهد.

$$S_i^{intra} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=i,j\in i}^{s}\|NS_i - C_j^H\| + \|C_j^H - BS\|}{\sum_{i=1}^{N}\sum_{q=1}^{Q}\|SN_i - D_q\|}$$

(۶)

از صورت معادله (۶) برای محاسبه مسافت طی‌شده بسته‌ها از سرخوشه تا اعضای خوشه و سرخوشه تا چاهک استفاده‌می‌شود و از مخرج معادله (۶) برای یافتن مسافت طی‌شده بسته‌ها از سرخوشه تا چاهک استفاده‌می‌شود. بنابراین، فاصله درون‌خوشه‌ای در محدوده صفر تا یک محاسبه‌می‌شود. اگر فاصله گره‌های حسگر تا سرخوشه بسیار زیاد باشد آنگاه مقدار فاصله درون خوشه‌ای زیاد خواهدبود.

فاصله بین‌خوشه‌ای: فاصله بین‌خوشه‌ای فاصله بین خوشه‌های انتخاب‌شده، است و طبق معادله(۷) تعریف‌می‌شود. اگر فاصله بین سرخوشه‌ها در حالت بهینه باشد، یعنی سرخوشه‌ها زیاد از هم دور نباشند آنگاه انرژی کمتری هدرمی‌رود و سرخوشه طول عمر بیشتری خواهدداشت و نقاط مختلف شبکه بدون مشکل کارمی‌کنند.

$$S_i^{inter} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{s}\sum_{p=j+1}^{s}\|C_j^H - C_p^H\|}{\sum_{i=1}^{N}\sum_{q=1}^{Q}\|SN_i - D_q\|}$$

(۷)

در معادله (۷) عدد به‌دست‌آمده، فاصله بین هر سرخوشه را نشان‌می‌دهد. سپس، فاصله بین هر گره حسگر و سرخوشه‌های انتخاب‌شده در مخرج محاسبه‌می‌شود. اساساً، مقدار S_i^{inter} باید زیاد باشد زیرا فاصله بین سرخوشه‌ها برای انتخاب بهتر خوشه‌بندی باید حداکثر باشد.

انرژی سرخوشه: اصولاً گره سرخوشه براساس حداکثر انرژی ذخیره شده، انتخاب‌می‌شود. در میان گره‌های حسگر، گره‌ای انتخاب‌می‌شود که دارای انرژی بیشتری است. اگر گره دارای انرژی بالا نباشد بعد از چند دور، پوشش شبکه از بین خواهدرفت و نقاط مختلف شبکه با مشکل ارسال و دریافت داده مواجه‌می‌شوند. بر این اساس، انرژی سرخوشه طبق معادله (۸) تعریف‌می‌شود.

$$S_i^{HC} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{s}\left(1 - E\left(C_j^H\right)\right)}{s}$$

(۸)

در معادله (۸) s به‌عنوان تعداد کل سرخوشه‌های انتخاب‌شده و $E\left(C_j^H\right)$ به‌عنوان انرژی سرخوشه j بیان‌می‌شود.

انرژی گره‌های حسگر: اصولاً انرژی گره‌های حسگر باید از انرژی سرخوشه کمتر باشد. انرژی گره‌های حسگر طبق معادله (۹) تعریف‌می‌شود.

$$S_i^{SN} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(1 - E(SN_i)\right)}{N}$$

(۹)

در معادله (۹) N به‌عنوان تعداد کل گره‌های موجود در شبکه و $E(SN_i)$ به‌عنوان انرژی گره‌های حسگر تعریف‌می‌شود.

۴،۳. مدل مصرف انرژی

یکی از مهمترین و حیاتی‌ترین مباحث در شبکه‌های حسگر بی‌سیم دوربین بحث مصرف انرژی است. گره‌های حسگر به‌منظور فعال بودن و حس‌کردن داده‌ها، انرژی مصرف‌می‌کنند. جهت محاسبهٔ میزان مصرف انرژی در انتقال داده توسط حسگرها یک مدل نسبت مرتبه اول به‌کار گرفته‌می‌شود. بخش رادیویی گره‌های حسگر بی‌سیم دوربین دارای قابلیت کنترل توان مصرفی می‌باشد و می‌تواند حداقل انرژی لازم را برای ارسال پیام به یک گیرندهٔ مشخص صرف‌کند.

گره‌های آرایش‌یافته در ناحیه نظارتی پس از دریافت داده از محیط و تبدیل آن به سیگنال الکتریکی باید اطلاعات جمع‌آوری‌شده را به چاهک منتقل‌کنند. مقداری انرژی، برای ارسال و دریافت بسته‌های داده، از منبع انرژی حسگر کم‌می‌شود. هرچه فاصله گره‌ها از چاهک طولانی‌تر باشد، میزان انرژی مصرف‌شده نیز بیشتر خواهدبود. انرژی اختصاص‌یافته برای ارسال پیام با طول L-bit در مسافت d طبق معادله (۱۰) تعریف‌شده‌است.

$$E_{TX}(L,D) = \begin{cases} L.E_{elec} + L.E_{fs} \times d^2 & (d < d_0) \\ L.E_{elec} + L.E_{mp} \times d^2 & (d \geq d_0) \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$E_{RX}(l) = l \times E_{elec} \quad (۱۱)$$

$$d_0 = \sqrt{E_{fs} / E_{mp}} \quad (۱۲)$$

انرژی مصرفی به‌ازای هر بیت در مدار فرستنده یا گیرنده توسط پارامتر E_{elec} تعریف‌می‌شود. پارامترهای E_{mp} و E_{fs} وابسته به مدل تقویت‌کننده مدار ارسال‌کننده هستند و d فاصله بین فرستنده و گیرنده است که $E_{TX}(L,d)$ و $E_{RX}(l)$ به‌ترتیب بیانگر انرژی مصرفی برای ارسال و دریافت، یک بسته داده l بیتی بر روی مسیری به فاصله d می‌باشند. پارامتر d فاصله بین فرستنده و گیرنده و d_0 نیز مقدار فاصله آستانه

است. مقداری است که تعیین‌شده‌است و باید فاصله برمبنای آن باشد. پارامتر E_{fs}، انرژی مصرفی (مورد نیاز) تقویت‌کننده انتقال برای مسیریابی آزاد و همکاری بین گره‌ها را بیان‌می‌کنند. این مقادیر به‌صورت ثابت تعیین‌می‌شوند. پارامتر E_{mp} انرژی مصرفی (مورد نیاز) تقویت-کننده انتقال برای مسیریابی چندمسیره را بیان‌می‌کنند. هدف انرژی مصرفی (مورد نیاز) تقویت‌کننده انتقال است. این مقادیر ثابت تعیین-می‌شوند. هنگامی که یک گره حسگر دوربین یک بسته l بیتی را دریافت‌می‌کند، انرژی مصرفی آن طبق معادله (۱۱) محاسبه‌می‌شود.

۴. ارزیابی و نتایج

انتخاب سرخوشه در مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس انجام‌می‌شود. مدل پیشنهادی با استفاده از برنامه‌نویسی پایتون در محیط آناکوندا و سیستم‌عامل ۶۴ بیتی شبیه‌سازی‌شده است. در این طرح، اندازه شبکه به‌صورت مربعی با ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گره حسگر تست‌شده‌است. انرژی اولیه هر گره برابر با ۰٫۵ ژول است و ایستگاه پایه یا چاهک در مرکز محیط قراردارد. تعداد خوشه‌ها به‌صورت تصادفی در بازه ۱۰ تا ۲۰ خوشه درنظرگرفته‌می‌شود.

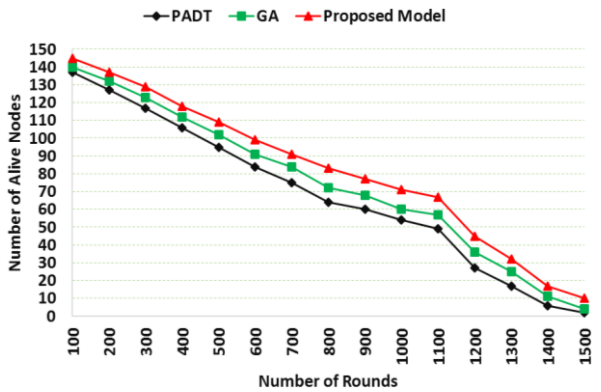
پارامترهای استفاده‌شده در شبیه‌سازی همراه مقادیر مرتبط با آن‌ها در جدول (۱) آمده‌است. شبکه شامل ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گره حسگر است که به‌صورت تصادفی در محیطی با اندازهٔ مربعی توزیع‌شده‌اند. هنگامی که یک گره پیغامی را ارسال‌می‌کند، این پیغام تنها توسط گره‌هایی کـه در دامنه ارتباطی فرستنده و همسایه‌های آن هستند، دریافت‌می‌شود. برای نشان‌دادن کارایی مدل پیشنهادی از الگوریتم‌های PADT [۲۳] و الگوریتم ژنتیک(GA) به‌عنوان الگوریتم‌های مقایسه، استفاده‌می‌شود. انرژی مصرفی در الگوریتم PADT* با استفاده از روش همه‌پخشی هدرمی‌رود. در این الگوریتم، گره ارسال‌کننده داده‌هایش را به گره‌های همسایه همه‌پخشی می‌کند. گره‌ای که در مقایسه با سایر گره‌ها فاصله‌اش از چاهک کمتر باشد و دارای انرژی بیشتری باشد، به‌عنوان گره ارسال‌کننده بعدی انتخاب‌می‌شود. الگوریتم خوشه‌بندی ژنتیک دارای کاربرد گسترده و عملکرد قوی در زمینه‌های مختلف بوده-است.

جدول ۱: پارامترهای استفاده‌شده در شبیه‌سازی

پارامترها	مقادیر
اندازه محیط شبکه	۱۵۰×۱۵۰
	۳۰۰×۳۰۰
تعداد گره‌های حسگر دوربین	۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰
تعداد چاهک	۱
موقعیت چاهک	(۵۰،۵۰)
اندازه بسته‌ها	۳۲-۱۰۲۴ بایت
انرژی اولیه گره‌ها	۰٫۵ ژول
انرژی ارسال و دریافت	۵۰ (nj/bit)
برد رادیویی	۸ متر
تعداد جمعیت اولیه	۵۰
تعداد تکرار الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس	۲۰۰
تعداد دور	۱۵۰۰

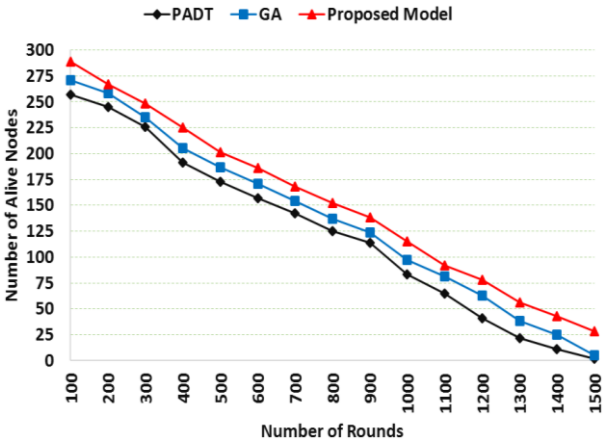
۱،۴. تعداد گره‌های زنده

در شکل(۲) نمودار مقایسه تعداد گره‌های زنده برای مدل پیشنهادی و پروتکل‌های PADT[۱] و الگوریتم ژنتیک(GA) برمبنای ۱۵۰ گره حسگر در محیط ۱۵۰×۱۵۰ ترسیم‌شده‌است. تعداد گره‌های زنده در شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم بسیار حیاتی است. تعداد گره‌های زنده به‌وضوح طول عمر شبکه را نشان‌می‌دهند. هرچه تعداد گره‌های زنده بیشتر باشد، طول عمر شبکه بیشتر می‌شود. همان‌طور که در شکل (۲) دیده‌می‌شود، تعداد گره‌های مرده در مدل پیشنهادی در مقایسه با PADT و GA کمترند لذا طول عمر شبکه افزایش‌می‌یابد. این امر به‌علت تشکیل خوشه‌های مناسب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس با درنظرگرفتن معیار انرژی برای توزیع مناسب انرژی گره‌های سرخوشه‌ها است. همچنین در مدل پیشنهادی به فاصله درون-خوشه‌ای و فاصله بین‌خوشه‌ای توجه‌شده‌است. در PADT گره‌ها براساس همسایگی به‌عنوان سرخوشه انتخاب‌می‌شوند. لحاظ‌نکردن پارامتر انرژی در تشکیل خوشه‌ها باعث کوتاه‌تر شدن عمر گره‌های حسگر می‌شود، در نتیجه طول عمر شبکه کاهش‌می‌یابد.



شکل ۲: نمودار مقایسه تعداد گره‌های زنده برای ۱۵۰ گره حسگر در محیط ۱۵۰×۱۵۰

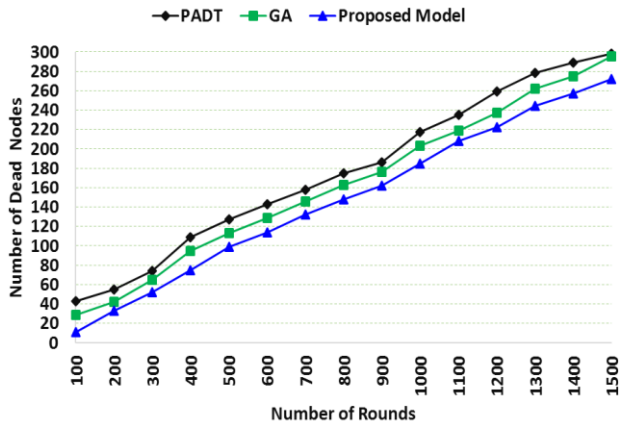
در شکل(۳) نمودار مقایسه تعداد گره‌های زنده برای مدل پیشنهادی و پروتکل PADT و GA برمبنای ۳۰۰ گره حسگر در محیط ۳۰۰×۳۰۰ نشان‌داده‌شده‌است. طبق شکل(۳) مشخص است که اگر تعداد دور برابر با ۳۰۰ باشد آنگاه تعداد گره‌های زنده در مدل پیشنهادی و PADT به‌ترتیب برابر با ۲۴۸ و ۲۲۶ می‌باشند. اگر تعداد دور برابر با ۷۰۰ باشد آنگاه تعداد گره‌های زنده در مدل پیشنهادی و PADT بترتیب برابر با ۱۶۸ و ۱۴۲ می‌باشند. اگر تعداد دور برابر با ۱۰۰۰ باشد آنگاه تعداد گره‌های زنده در مدل پیشنهادی و PADT به‌ترتیب برابر با ۱۱۵ و ۸۳ می‌باشند. طبق مقایسه‌ها می‌توان نتیجه‌گرفت که مدل پیشنهادی دارای کارایی بهتری بوده‌است. اگر تعداد دور برابر با ۱۳۰۰ باشد آنگاه تعداد گره‌های زنده در مدل پیشنهادی و GA به‌ترتیب برابر با ۵۶ و ۳۸ می‌باشند. طبق مقایسه‌ها می‌توان‌نتیجه‌گرفت که مدل پیشنهادی در مقایسه با PADT و GA دارای عملکرد بهتری است.



شکل ۳: نمودار مقایسه تعداد گره‌های زنده برای ۳۰۰ گره حسگر در محیط ۳۰۰×۳۰۰

۲,۴. تعداد گره‌های مرده

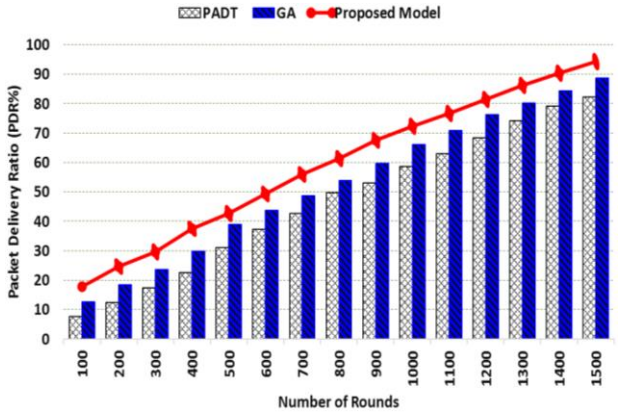
در شکل(۴) نمودار مقایسه تعداد گره‌های مرده برمبنای ۳۰۰ گره حسگر در اندازه ۳۰۰×۳۰۰ آمده‌است. اگر تعداد تکرار برابر با ۵۰۰ باشد، آنگاه تعداد گره‌های مرده برای مدل پیشنهادی و PADT به‌ترتیب برابر با ۹۹ و ۱۲۷ است. اگر تعداد تکرار برابر با ۱۰۰۰ باشد، آنگاه تعداد گره‌های مرده برای مدل پیشنهادی و PADT به‌ترتیب برابر با ۱۸۵ و ۲۱۷ و اگر تعداد تکرار برابر با ۱۴۰۰ باشد، آنگاه تعداد گره‌های مرده برای مدل پیشنهادی و PADT به‌ترتیب برابر با ۲۵۷ و ۲۸۹ است.



شکل ۴: نمودار مقایسه تعداد گره‌های مرده برمبنای ۳۰۰ گره

۳,۴. نرخ بسته‌های تحویل داده شده

در شکل(۵) نمودار مقایسه نرخ بسته‌های تحویل‌داده‌شده برمبنای ۳۰۰ گره حسگر در اندازه ۳۰۰×۳۰۰ آمده‌است. اگر تعداد دور برابر با ۷۰۰ باشد، آنگاه نرخ بسته‌های تحویلی در مدل پیشنهادی، GA و PADT به‌ترتیب برابر با ۵۵,۹۴ درصد، ۴۸,۶۴ درصد و ۴۲,۷۸ درصد می‌باشد. اگر تعداد دور برابر با ۱۰۰۰ باشد آنگاه نرخ بسته‌های تحویل‌داده‌شده در مدل پیشنهادی، GA و PADT به‌ترتیب برابر با ۷۲,۳۵ درصد، ۶۶,۱۸ درصد و ۵۸,۶۷ درصد می‌باشد. اگر تعداد دور برابر با ۱۵۰۰ باشد آنگاه نرخ بسته‌های تحویل‌داده‌شده در مدل پیشنهادی، GA و PADT به‌ترتیب برابر با ۹۴,۳۵ درصد، ۸۸,۶۷ درصد و ۸۲,۳۶ درصد می‌باشد.

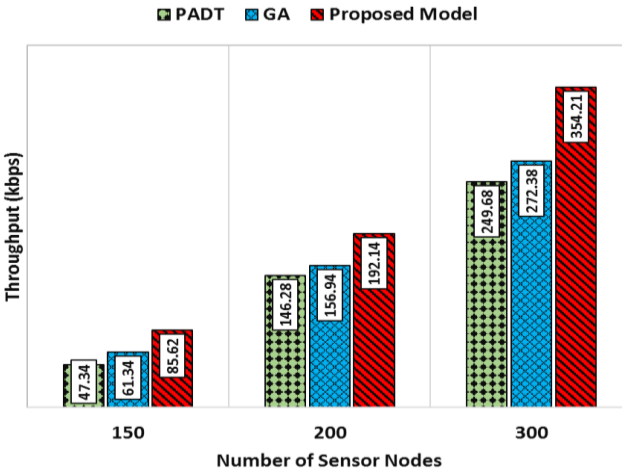


شکل ۵: نمودار مقایسه نرخ بسته‌های تحویلی برای ۳۰۰ گره حسگر در اندازه ۳۰۰×۳۰۰

۴,۴. توان عملیاتی

اگر نرخ توان عملیاتی بالاتر باشد نشانگر راندمان بهتر شبکه است. به بیانی دیگر، جریان داده بیشتر در واحد زمان فعال است. در شکل(۶) نمودار مقایسه توان عملیاتی برمبنای تعداد گره‌های مختلف در اندازه ۳۰۰×۳۰۰ آمده‌است. طبق شکل(۶) واضح است اگر تعداد گره‌ها برابر با ۱۵۰ باشد، آنگاه توان عملیاتی در مدل پیشنهادی، GA و PADT به‌ترتیب برابر با ۸۵,۶۲، ۶۱,۳۴ و ۴۷,۳۵ است. اگر تعداد گره‌ها برابر با ۲۰۰ باشد، آنگاه توان عملیاتی در مدل پیشنهادی، GA و PADT به‌ترتیب برابر با ۱۹۲,۱۴، ۱۵۶,۹۴ و ۱۴۶,۲۸ و اگر تعداد گره‌ها برابر با

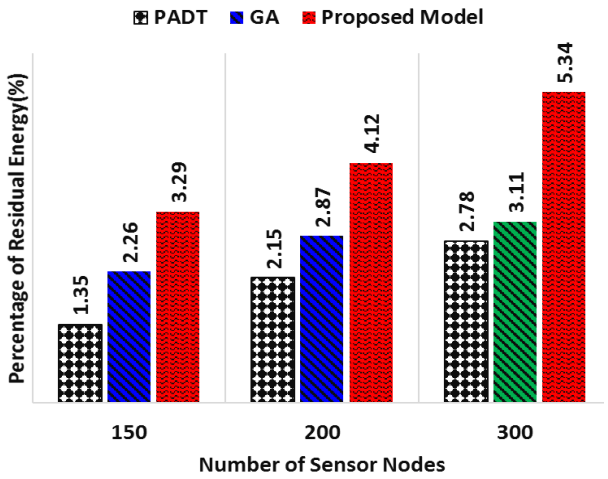
۳۰۰ باشد، آنگاه توان عملیاتی در مدل پیشنهادی، GA و PADT به‌ترتیب برابر با ۳۵۴,۲۱، ۲۷۲,۳۸ و ۲۴۹,۶۸ است.



شکل ۶: نمودار مقایسه توان عملیاتی برمبنای تعداد گره‌های مختلف

۵،۴. انرژی باقیمانده

در شکل(۷) نمودار مقایسه درصد انرژی باقیمانده برمبنای ۱۵۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ گره حسگر در اندازه ۳۰۰×۳۰۰ آمده‌است. طبق شکل(۷) مشخص است که اگر تعداد گره‌ها برابر با ۱۵۰ باشد، آنگاه درصد انرژی باقیمانده برای مدل پیشنهادی و پروتکل PADT به‌ترتیب برابر با ۳,۲۹ درصد و ۱,۳۵ درصد است. اگر تعداد گره‌ها برابر با ۲۰۰ باشد، آنگاه درصد انرژی باقیمانده برای مدل پیشنهادی و پروتکل PADT به‌ترتیب برابر با ۴,۱۲ درصد و ۲,۱۵ درصد می‌باشد. اگر تعداد گره‌ها برابر با ۳۰۰ باشد، آنگاه درصد انرژی باقیمانده برای مدل پیشنهادی و پروتکل PADT به‌ترتیب برابر با ۵,۳۴ درصد و ۲,۷۸ درصد و اگر تعداد گره‌ها برابر با ۳۰۰ باشد، آنگاه درصد انرژی باقیمانده برای مدل پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک به‌ترتیب برابر با ۵,۳۴ درصد و ۳,۱۱ درصد می‌باشد.



شکل ۷: نمودار مقایسه درصد انرژی باقیمانده برمبنای تعداد گره‌های مختلف در اندازه ۳۰۰×۳۰۰

مصرف انرژی تأثیر مستقیمی در تعداد گره‌های زنده دارد. به بیان دیگر، اگر مصرف انرژی افزایش‌یابد، تعداد گره‌های زنده نیز کاهش‌می‌یابد. طبق شکل(۷) مشخص است که اگر تعداد گره‌ها برابر با ۱۵۰ باشد در این حالت به‌دلیل فاصله زیاد گره‌ها و خوشه‌ها امکان هدررفت انرژی بیشتر است، لذا انرژی گره‌ها زودتر مصرف‌می‌شود و طول عمر شبکه کاهش‌می‌یابد. درمقابل، اگر تعداد گره‌ها برابر با ۳۰۰ باشد، در این حالت به‌دلیل کاهش فاصله گره‌ها و خوشه‌ها امکان هدررفت انرژی کمتر است، انرژی گره‌ها زودتر مصرف‌نمی‌شود و طول عمر شبکه افزایش‌می‌یابد.

۶. نتیجه‌گیری و کارهای آینده

در شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم، عدم تعادل مصرف انرژی در میان گره‌ها عامل موثر بر طول عمر شبکه است. به منظور متعادلسازی مصرف انرژی در بین گره‌ها، الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای توزیع یکنواخت انرژی پیشنهاد شده‌اند. در این مقاله یک مدل جدید به‌منظور خوشه‌بندی گره‌های حسگر دوربین برمبنای الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس پیشنهاددادیم. در مدل پیشنهادی به مواردی مانند فاصله درون‌خوشه‌ای، فاصله برون‌خوشه‌ای و انرژی باقیمانده گره‌های حسگر توجه‌کردیم. معیار کیفیت خوشه‌ها برمبنای فاصله درون‌خوشه‌ای است که به موقعیت سرخوشه در خوشه‌ها بستگی‌دارد. در مدل پیشنهادی به‌دلیل اینکه به معیار فاصله توجه‌شده‌است و فاصله گره‌های غیرسرخوشه با گره سرخوشه ارزیابی‌می‌شود، نزدیکترین گره‌ها به سرخوشه انتخاب‌می‌شوند. آزمایش‌های مدل پیشنهادی در محیط‌های ۱۵۰×۱۵۰۰ و ۳۰۰×۳۰۰ انجام‌شد. نتایج نشان‌داد که مدل پیشنهادی در مقایسه با PADT و GA دارای کارایی بهتر و توان عملیاتی بالاتری است. مدل پیشنهادی حتی در دورهای آخر هم دارای تعداد گره‌های زنده بیشتری در مقایسه با PADT و GA بود. برای تحقیقات آینده در جهت افزایش کارایی شبکه‌های حسگر بی‌سیم دوربین، مسیریابی بهینه و چندگامی در شبکه‌های حسگر دوربین بی‌سیم را پیشنهادمی‌کنیم.

مراجع

[1] X. Liu, “A Survey on Wireless Camera Sensor Networks,” in Frontier and Future Development of Information Technology in Medicine and Education, Dordrecht: Springer Netherlands, 2014.

[2] M. Rouan Serik and M. Kaddour, “Optimizing Deployment Cost in Camera-Based Wireless Sensor Networks,” in Computer Science and Its Applications, Cham: Springer International Publishing, 2015.

[3] A. Mosaif and S. Rakrak, “A Survey of Cross-Layer Design for Wireless Visual Sensor Networks,” in Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications, Cham: Springer International Publishing, 2018.

[4] W. Li and W. Zhang, “Multiple target localization in wireless visual sensor networks,” Frontiers of Computer Science, Vol. 7, No. 4, pp. 496-504, 2013.

[5] R. Priyadarshi, B. Gupta, and A. Anurag, “Deployment techniques in wireless sensor networks: a survey, classification, challenges, and future research issues,” The Journal of Supercomputing, Vol. 76, No. 9, pp. 7333-7373, 2020.

[6] D.G. Costa and L.A. Guedes, “Exploiting the sensing relevancies of source nodes for optimizations in visual sensor networks,” Multimedia Tools and Applications, Vol. 64, No. 3, pp. 549-579, 2013.
[7] A. Zam, M.R. Khayyambashi, and A. Bohlooli, “Energy-aware strategy for collaborative target-detection in wireless multimedia sensor network,” Multimedia Tools and Applications, Vol. 78, No. 13, pp. 18921-18941, 2019.
[8] A. Tavli, K. Bicakci, R. Zilan, and J.M. Barcelo-Ordinas, “A survey of visual sensor network platforms,” Multimedia Tools and Applications, Vol. 60, No. 3, pp. 689-726, 2012.
[9] H. Medeiros, J. Park, and A. Kak, “A Light-Weight Event-Driven Protocol for Sensor Clustering in Wireless Camera Networks,” in 2007 First ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, 2007.
[10] A.A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja, and H. Chen, “Harris hawks optimization: Algorithm and applications,” Future Generation Computer Systems, Vol. 97, No., pp. 849-872, 2019.
[11] F.S. Gharehchopogh and B. Abdollahzadeh, “An efficient harris hawk optimization algorithm for solving the travelling salesman problem,” Cluster Computing, Vol. No., pp. 2021.
[12] A. Zam, M.R. Khayyambashi, and A. Bohlooli, “Energy-efficient face detection and recognition scheme for wireless visual sensor networks,” Applied Soft Computing, Vol. 89, No., pp. 106014, 2020.
[13] E.O. Rangel, D.G. Costa, and A. Loula, “On redundant coverage maximization in wireless visual sensor networks: Evolutionary algorithms for multi-objective optimization,” Applied Soft Computing, Vol. 82, No., pp. 105578, 2019.
[14] Behrooz Shahrokhzadeh, Mehdi Dehghan, and M.R. Shahrokhzadeh, “Improving Target Coverage in Visual Sensor Networks by Adjusting the Cameras’ Field-of-View and Scheduling the Cover sets Using Simulated Annealing,” NASHRIYYAH-I MUHANDESI-I BARQ VA MUHANDESI-I KAMPYUTAR-I IRAN (PERSIAN), Vol. 14, No. 4, pp. 271-285, 2016.
[15] M. Parandeh and S.H. Aghdasi, “Position-based Energy-Efficient Data Forwarding Protocol for Visual Sensor Networks,” TABRIZ JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, Vol. 47, No. 1, pp. 29-38, 2017.
[16] M.M. Kheirkhah and M. Khansari, “Clustering wireless camera sensor networks based on overlapped region detection,” in 7'th International Symposium on Telecommunications (IST'2014), 2014.
[17] L. Liu, M. Anlong, H. Ma, and X. Zhang, “A binary-classification-tree based framework for distributed target classification in multimedia sensor networks,” in 2012 Proceedings IEEE INFOCOM, Orlando, FL, USA, 2012.
[18] R.P. Meenaakshi Sundhari and K. Jaikumar, “IoT assisted Hierarchical Computation Strategic Making (HCSM) and Dynamic Stochastic Optimization Technique (DSOT) for energy optimization in wireless sensor networks for smart city monitoring,” Computer Communications, Vol. 150, No., pp. 226-234, 2020.
[19] [19] Z. Zuo, Q. Lu, and W. Luo, “A two-hop clustered image transmission scheme for maximizing network lifetime in wireless multimedia sensor networks,” Computer Communications, Vol. 35, No. 1, pp. 100-108, 2012.
[20] A. De San Bernabe, J.R. Martinez-de Dios, and A. Ollero, “Efficient integration of RSSI for tracking using Wireless Camera Networks,” Information Fusion, Vol. 36, No., pp. 296-312, 2017.
[21] F.S. Gharehchopogh and H. Gholizadeh, “A comprehensive survey: Whale Optimization Algorithm and its applications,” Swarm and Evolutionary Computation, Vol. 48, No., pp. 1-24, 2019.
[22] M. Ehsan, N. Amir, and A. Mojtaba, “An Enhanced Dynamic Source Routing Algorithm for the Mobile Ad-Hoc Network using Reinforcement learning under the COVID-19 Conditions,” Journal of Computer Science, Vol. 16, No. 10, pp. 2020.
[23] S. Rhee, H.-Y. Choi, H.-J. Lee, and M.-S. Park, “Power-Aware Data Transmission for Real-Time Communication in Multimedia Sensor Networks,” International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 10, No. 6, pp. 405171, 2014.

پی‌نوشت

1. Power- Aware Data Transmission