Arch

JCWR2020

کنفرانس بین المللی وب پژوهی
ایران، تهران، ۲۸ خرداد ۱۳۹۹

An Energy-Efficient Protocol for IoT in smart homes

Fazeleh Tavasolian [1], Amin Nazari [1], Reza Mohammadi [3]

[1] Master of Artificial Intelligence, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
fa.tavassolian@gmail.com

[2] Master of Software Engineering, Arak University, Arak, Iran
aminnazari91@gmail.com

[3] PhD of Computer Networks, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
R.mohammadi@basu.ac.ir

Abstract

Internet of things and its applications have been growing rapidly in recent years. IoT is included in various communication networks and technologies that part of those are sensor networks. Due to battery limitations, these networks must be designed to reduce power consumption and extend network life. Clustering-based methods save energy by balancing the energy consumption of the nodes. Cluster size has a huge impact on saving energy and increasing network lifetime. This paper presents a new virtual network-based clustering method using multi-phase intelligent algorithms with respect to the energy of the nodes. The proposed method can increase the lifetime of the network and decrease the energy consumption of the nodes by accurately identifying the number of suitable clusters, distributing the cluster-head in the environment, increasing time of the phase of steady, and greedy routing. The proposed method has been evaluated after simulation in Matlab software and its results have been compared with other algorithms. The results of the evaluation show that the proposed method improves the energy consumption and network lifetime.

Keywords: Internet Of Thing, Clustering, Virtual Network, Evolutionary Algorithm, Multi-Objective Optimization Algorithm, Greedy Routing.

www.SID.ir

Arch

JCWR2020
کنفرانس بین المللی وب پژوهی
ایران، تبریز، ۲۲ خرداد ۱۳۹۹

یک پروتکل انرژی‌کارا در اینترنت اشیا برای خانه‌های هوشمند

فاضله توسلیان[۱]، امین نظری[۲]، رضا محمدی[۳]

[۱] کارشناسی ارشد هوش مصنوعی، گروه کامپیوتر، دانشگاه بوعلی سینا همدان
fa.tavassolian@gmail.com

[۲] کارشناسی ارشد نرم افزار، گروه کامپیوتر، دانشگاه اراک
aminnazari91@gmail.com

[۳] استادیار گروه کامپیوتر، دانشگاه بوعلی سینا همدان
R.mohammadi@basu.ac.ir

چکیده

اینترنت اشیا و کاربردهای آن در سالهای اخیر به سرعت درحال افزایش است. اینترنت اشیا شامل شبکه‌ها و تکنولوژی‌های ارتباطی مختلفی است که بخشی از آن شبکه‌های حسگر است. در این شبکه‌ها به دلیل محدودیت باتری، پروتکلهای شبکه باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که مصرف انرژی را کاهش و طول عمر شبکه را افزایش دهند. روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی با ایجاد تعادل در مصرف انرژی در گره‌ها، باعث ذخیره انرژی می‌شوند. اندازه خوشه تأثیر زیادی در صرفه جویی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه دارد. در این مقاله یک روش جدید خوشه‌بندی مبتنی بر شبکه مجازی با بکارگیری الگوریتم‌های هوشمند در چند فاز، با توجه به انرژی گره‌ها ارائه شده است. روش پیشنهادی دارای حفظ حداکثر پوشش شبکه‌ای است و می‌تواند با شناسایی دقیق تعداد خوشه‌های مناسب، توزیع سرخوشه‌ها در محیط با استفاده از الگوریتم‌تکاملی و شبکه مجازی، افزایش طول فاز پایداری و مسیریابی حریصانه مبتنی بر انرژی، باعث افزایش طول عمر شبکه و توزیع انرژی مصرفی گره‌ها شود. روش پیشنهادی پس از شبیه سازی در نرم افزار متلب مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آن با الگوریتم‌های دیگر مقایسه شده‌است. نتایج بدست آمده حاصل از ارزیابی نشان می‌دهد روش پیشنهادی از لحاظ میزان مصرف انرژی و طول عمر شبکه بهبود داشته است.

کلمات کلیدی

اینترنت اشیا، خوشه‌بندی، شبکه مجازی، الگوریتم تکاملی، الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه، مسیریابی حریصانه.

۱- مقدمه

در سالهای اخیر اینترنت اشیا[۱] در حوزه های مختلف مانند شهرهای هوشمند، خانه‌های هوشمند، کشاورزی و دامداری هوشمند، نظارت بر سلامت ... به صورت فزاینده ای در حال توسعه است. اینترنت اشیا به وسیله تعداد زیادی از گره‌های حسگر کوچک و کم‌هزینه ایجاد می‌شود که به صورت خود سازمان‌یافته سازماندهی می‌شوند. حسگرهای پس از جمع‌آوری اطلاعات از محیط، داده‌ها را از طریق ارتباط بی‌سیم به سمت سینک ارسال می‌کنند. وظیفه اصلی اینترنت اشیا نظارت بر موضوعات مرتبط در حوزه پوشش شبکه و انتقال نتایج مانیتورینگ از سینک به ناظر است. بنابراین پس از تجمیع اطلاعات در سینک، نتایج از طریق یک خط اینترنت پرسرعت به مرکز مانیتورینگ ارسال می‌شود[۱-۲]. در مرکز مانیتورینگ می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و داده‌کاوی، اطلاعات مفید از داده‌های جمع‌اوری شده را استخراج کرده و از طریق برنامه‌های موبایلی در اختیار ناظران و مدیران قرار داد. در بسیاری از کاربردهای اینترنت اشیا، از شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده می‌شود. بنابراین در این پژوهش به شبکه‌های حسگر بی‌سیم به عنوان زیرساخت اصلی اینترنت اشیا در خانه‌های هوشمند پرداخته

www.SID.ir

Arch

می‌شود. شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل تعداد زیادی گره حسگر است که بطور تصادفی در یک محیط مستقر می‌شوند. انرژی هر گره حسگر توسط یک باتری تأمین می‌شود. گره‌های حسگر می‌توانند داده‌هایی را از محیط اطراف خود جمع آوری کرده و آنها را به یک نقطه جمع آوری داده منتقل کنند که به آن گره سینک یا ایستگاه پایه گفته می‌شود[۳].

شبکه‌های حسگر بی‌سیم دارای کاربردهای بسیاری هستند و در دو دهه گذشته، در بسیاری از زمینه‌ها مانند نظارت بر زیستگاه‌ها[۴]، ردیابی هدف در میادین نبرد[۳]، نظارت بر سلامتی[۵] و نظارت بر تاسیسات گازی[۶] استفاده شده‌اند.

یکی از مهمترین عوامل محدودکننده برای شبکه‌حسگربی‌سیم، قدرت باتری محدود گره‌های حسگر است. از آنجا که این حسگرها معمولا در محیط‌هایی کار می‌کنند که دسترسی به شبکه امکان پذیر نیست و باتری‌های گره سنسور قابل شارژ یا تعویض نیستند[۷]. بنابراین یکی از عمدترین چالش‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محدودیت مصرف انرژی است که مستقیما طول عمر شبکه حسگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تاکنون روش‌های زیادی برای حل این مشکل پیشنهاد شده که خوشه‌بندی یک رویکرد اصلی و متداول برای تداوم طول عمر شبکه و مدیریت موثر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است.

خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر دارای مزیت‌های زیادی است، از جمله: ارتباط‌های درون خوشه‌ای را با محدود کردن ارسال بسته-های اضافی کاهش می‌دهد. استفاده از سرخوشه‌ها، باعث توازن بار ترافیکی در سراسر شبکه می‌شود و همچنین باعث افزایش مقیاس‌پذیری می‌گردد[۸]. در مسیریابی مبتنی‌بر خوشه‌بندی، یک شبکه به تعدادی خوشه تقسیم می‌شود و در داخل هر خوشه، یک سرخوشه بر اساس پارامترهای از پیش تعیین شده انتخاب می‌گردد. سرخوشه همه اطلاعات را از گره‌های داخل خوشه خود جمع‌آوری می‌کند، سپس اطلاعات را مستقیما یا به صورت گام به گام به ایستگاه پایه ارسال می‌کند.

۱-۱- کارهای مربوطه

در سالهای اخیر مقالات زیادی در خصوص خوشه‌بندی شبکه‌های حسگر ارائه شده است. بطور کلی الگوریتم‌های خوشه‌بندی را می‌توان به دسته‌های زیر تقسیم کرد:

- الگوریتم‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی
- الگوریتم‌های خوشه‌بندی مبتنی بر شبکه مجازی
- الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر منطق فازی
- الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری

که در ادامه جدیدترین مقالات در هر دسته بررسی می‌شوند.

در [۹] نویسندگان الگوریتمی تحت عنوان NR- LEACH ارائه کرده‌اند که براساس توزیع بار انرژی بین گره‌های حسگر هنگام انتخاب سرخوشه عمل می‌کند. در این روش به هر گره رتبه و درجه‌ای براساس هزینه مسیر بین گره‌ها و تعداد پیوندها بین گره‌ها اختصاص می‌یابد. هر گره که وزن بیشتری داشته باشد به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. این روش دارای سربار محاسباتی زیادی است.

در[۱۰] روش جدیدی با توجه به چگالی گرهها برای یافتن سرخوشه‌های مناسب، به منظور غلبه بر اثر سایه‌ای معرفی شده‌است. این روش شامل دو مرحله ساخت خوشه و فاز پایداری است. در فاز ساخت خوشه ابتدا سینک، دستور انتخاب سرخوشه را در شبکه همه‌پخش می‌کند. سپس سرخوشه‌ها به صورت تصادفی و با در نظرگرفته فاصله گره تا محل انسداد انتخاب می‌شوند. بعد از انتخاب سرخوشه ها، گره ها به نزدیکترین سرخوشه می پیوندند. در صورتی که گره‌ای پیامی را از سرخوشه دریافت نکرده باشد، با استفاده از فرمولی مشابه روش LEACH امکان سرخوشه شدن را می‌یابد. در فاز ارتباط با داده پایدار سرخوشهها داده ها را از اعضای خوشه جمع کرده و داده‌های دریافت شده را تجمیع کرده و آنها را به سینک منتقل می‌کنند. این روش نیز دارای حجم محاسباتی بالایی است.

در[۱۱] یک پروتکل خوشه‌بندی مبتنی بر شبکه مجازی با انرژی کارآمد و متعادل BEEG معرفی شده است. تمرکز اصلی این روش بر اندازه خوشه است، تا با استفاده از اندازه بهینه و متوازن خوشه‌ها، کمترین هزینه انتقال و کاهش مصرف انرژی را در شبکه داشته باشد. در این روش با استفاده از تجزیه و تحلیل ریاضی و استخراج چندین معادله، رابطه‌ای بین انتقال مستقیم و انتقال چندگامه بدست آمده است که اندازه حداقل خوشه بهینه را تعیین می‌کند. در این روش به منظور صرف حداقل میزان انرژی برای انتقال داده، تعدادی از گره‌ها به حالت خواب می‌روند.

در [۱۲] خوشه‌بندی شبکه حسگر بی‌سیم را با روشی مبتنی بر فازی به‌منظور کاهش مصرف باتری برای مدیریت شبکه حسگر بی‌سیم برای خانه‌های هوشمند ارائه داده‌اند. در این روش زمان خواب گره‌های شبکه بصورت پویا توسط یک کنترل کننده منطق فازی تنظیم می شود. تا مدت زمان باتری دستگاه‌های حسگر را افزایش دهد. ساختار فازی ارائه شده در این روش پیچیدگی محاسباتی را کاهش داده و بر روی دستگاه‌هایی کم هزینه با سخت افزار ساده قابل اجرا است.

همچنین در [13] یک الگوریتم تطبیق پذیر چند هسته‌ای مبتنی بر منطق فازی بهینه سازی شده با نام Adaptive MCFL را برای کاهش مصرف انرژی در گره‌های شبکه حسگر بی‌سیم ارائه کرده‌اند. در این الگوریتم، خوشه‌بندی در دورهای مختلف در سه مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول خوشه‌بندی فازی براساس

www.SID.ir

Arch

پارامترهایی مانند انرژی باقیمانده و تعداد همسایگان هر گره صورت می‌گیرد. در مرحله بعد اگر انرژی سرخوشه از حد آستانه کمتر باشد، سرخوشه جدید براساس یک سیستم فازی مبتنی‌بر انرژی باقی‌مانده و فاصله تا سینک انتخاب می‌شود. بنابراین، تعداد پیام‌های منتقل شده از هر گره به گره‌های دیگر و به ایستگاه پایه کاهش می‌یابد.

در [۱۴] به ارائه یک روش خوشه بندی بهینه بر اساس الگوریتم کلونی مورچه پرداخته‌اند. در این روش به منظور بالا بردن طول عمر شبکه حسگر بی‌سیم مورد استفاده در اینترنت اشیا از الگوریتم مسیریابی خوشه‌ای طی چند مرحله استفاده شده‌است. هنگامی که رویدادی رخ می‌دهد و یا به پایان می‌رسد، با توجه به اطلاعات رویداد به‌دست‌آمده، سینک مکان شبه بهینه را محاسبه می‌کند. در این روش داده‌های درون خوشه در امتداد درخت تصمیم به سمت سرخوشه ارسال می‌شوند. تمام گره‌های غیر برگ می‌توانند تجمع داده‌ها را انجام دهند اما سرخوشه بر روی داده‌ها در داخل خوشه کار می‌کند که این امر تا حد زیادی داده‌های اضافی در شبکه و فاصله انتقال داده را به‌طور موثر کاهش می‌دهد و بار شبکه متعادل می‌شود. به منظور دستیابی به موقعیت جدید در زمان و کاهش محاسبات مکانی غیر ضروری، الگوریتم پیشنهادی ازحد آستانه ای برای تعیین اطلاعات عملکرد مرتبط گره‌ها در زنجیره ساختار خوشه‌بندی استفاده می‌کند.

در[۱۵] برای تعادل سطح انرژی شبکه، الگوریتم گرده افشانی گل FPA پیشنهاد شده‌است. در این روش انتخاب سرخوشه شامل چند مرحله است. ابتدا شبکه به k خوشه تصادفی تقسیم می‌شود و بر اساس فاصله اقلیدسی سایر گره‌ها به هر شبکه اختصاص می‌یابد. سپس طبق الگوریتم LEACH مجدد خوشه‌بندی صورت می‌گیرد. در مرحله سوم سرخوشه بر اساس حداقل فاصله اقلیدسی انتخاب می‌شود.

در[۱۶] نویسندگان یک الگوریتم خوشه‌بندی پویا مبتنی بر بهینه‌سازی اجتماع ذرات PSO را ارائه داده‌اند. در این روش هنگام مرگ برخی گره‌ها، توزیع خوشه‌ها بطور دینامیکی تغییر خواهد کرد. الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات برای تعیین محلی که گره‌های سرخوشه در آن قرار دارند، استفاده می‌شود. روش خوشه‌بندی تطبیقی مبتنی بر توزیع گره، توزیع خوشه را معقول‌تر می‌کند، که مصرف انرژی شبکه را به طور موثر تعادل می‌بخشد.

در این مقاله یک روش جدید خوشه‌بندی مبتنی‌بر شبکه مجازی با بکارگیری الگوریتم‌های هوشمند در چهار فاز ارائه شده است. در فاز برپاسازی ابتدا تعداد مناسب خوشه‌ها محاسبه شده و با استفاده از شبکه مجازی خوشه‌های اولیه به‌صورت کاملا توزیع شده تشکیل می‌شود، همین امر توزیع شدگی خوشه‌ها را تضمین می‌کند. از آنجایی که گره‌ها به‌صورت تصادفی در محیط پراکنده می‌شوند برای ایجاد توازن و تعادل بین خوشه‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. تابع هدف به‌گونه‌ای تعریف شده است که توازن خوشه‌ها و مرکزیت سرخوشه درنظر گرفته شود. در فاز پایداری داده‌ها جمع‌آوری شده و به سینک ارسال می‌شوند، طول این فاز به منظور کاهش ترافیک ناشی از خوشه‌بندی مجدد براساس انرژی همه اعضای خوشه تعیین می‌شود. در فاز مسیریابی، از مسیریابی چندگامه استفاده شده است که در انتخاب مسیر به انرژی گام میانی و فاصله توجه شده است. در فاز راه‌اندازی مجدد، انتخاب سرخوشه بعدی به‌صورت کاملا توزیع شده و محلی و توسط سرخوشه دور جاری انجام می‌شود. بنابراین نیاز به ارسال اطلاعات به سینک نبوده و بدین صورت از سربار اضافی جلوگیری خواهد شد.

ادامه ساختار مقاله به شرح زیر است: در بخش ۲ مدل سیستم شرح داده شده است. بخش ۳ به توضیح روش پیشنهادی می‌پردازد. ارزیابی الگوریتم پیشنهادی و مقایسه آن با سایر رویکردها در چندین سناریو در بخش ۴ ارائه شده است و در آخر ، بخش ۵ نتیجه گیری و کارهای آینده است.

۲- مدل سیستم

قبل از پرداختن به جزئیات روش پیشنهادی، بررسی فرضیات مدل سیستم بسیار مهم است. این فرضیات به شرح زیر است:

۱. همه گره‌ها یکدست هستند و با انرژی اولیه برابر شروع می‌شوند.
۲. گره‌ها بطور تصادفی و یکنواخت توزیع می‌شوند.
۳. پس از توزیع همه گره‌ها و ایستگاه پایه بدون حرکت باقی می‌مانند.
۴. گره‌ها از موقعیت خود و موقعیت سایر گره‌ها و ایستگاه پایه آگاه هستند.
۵. تمامی‌گرههای حسگر توانایی ارسال و دریافت پیام به ایستگاه پایه را دارند

انرژی مصرفی به منظور ارسال l بیت داده از فرستنده به گیرنده در فاصله d با استفاده از فرمول (۱) محاسبه می‌شود:

$$E_{T_x}(l,d)=\begin{cases} l*E_{elec}+l*\varepsilon_{fs}*d^2, & if\ d\le d_0 \\ l*E_{elec}+l*\varepsilon_{mp}*d^4, & if\ d>d_0 \end{cases} \quad (۱)$$

که در آن d_0 در فرمول (۲) قابل مشاهده است:

$$d_0=\sqrt{\frac{\varepsilon_{fs}}{\varepsilon_{mp}}} \quad (۲)$$

و در آن E_{Tx} بیانگر از بین رفتن انرژی فرستنده و گیرنده است، ε_{ms} انرژی تقویت کننده در فضا، ε_{mp} انرژی مصرف شده توسط انتشار چند مسیر است.

www.SID.ir

Arch

E_{Rx} انرژی کافی برای دریافت پیام‌ها است، که در فرمول (۳) قابل مشاهده است:

$$E_{Rx}(l) = L * E_{DA} \quad (۳)$$

E_{DA} انرژی جمع آوری داده‌ها است. لذا کل هزینه انتقال و دریافت در فرمول (۴) قابل مشاهده است:

$$E = E_{Tx} + E_{Rx} \quad (۴)$$

۳- روش پیشنهادی

پروتکل پیشنهادی شامل چهار فاز برپاسازی، فاز پایداری، فاز مسیریابی و فاز برپاسازی مجدد است. هر یک از فازها به زیر بخشهای تقسیم می‌شوند که در ادامه به شرح آنها خواهیم پرداخت. هدف اصلی پروتکل پیشنهادی توزیع یکنواخت و متوازن خوشه‌ها و افزایش مدت زمان فاز پایداری است، تا بدین وسیله بتوان همه‌پخشی بسته‌ها توسط سینک را کاهش دهد. علاوه براین پروتکل پیشنهادی با استفاده از مسیریابی چندگامه حریصانه می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی شود. ساختار کلی الگوریتم پیشنهادی در شکل (۱) آورده شده است که در آن ابتدا خوشه‌های اولیه تشکیل و اطلاعات آنها به سینک ارسال می‌شود. سپس تعداد خوشه‌های بهینه تنظیم و خوشه‌بندی سنسورها صورت می‌گیرد. در فاز پایداری داده‌ها جمع آوری شده و با استفاده از مسیریابی چند گامه اطلاعات به سینک فرستاده می‌شود. در نهایت با در نظر گرفتن شرایط، خوشه‌بندی مجدد صورت می‌گیرد. در ادامه جزییات هر مرحله آورده شده است.

۳-۱- فاز برپاسازی

در ابتدا پس از آنکه تمام گره‌ها به صورت تصادفی در محیط پراکنده شدند، اطلاعات خود، نظیر موقعیت مکانی و سطح انرژی خود را، با استفاده از همه پخشی به سینک ارسال می‌کنند و شبکه وارد فاز اول می‌شود. در مرحله اول از فاز راه‌اندازی سینک پس از جمع آوری اطلاعات حسگرها، تعداد خوشه‌ها تعیین می‌شود. با توجه به اینکه تعیین تعداد بهینه خوشه ها در به حداقل رساندن مصرف انرژی حائز اهمیت است، برای تعیین تعداد بهینه خوشه ها از معیار فاصله اقلیدسی براساس فرمول (۵) استفاده شده است که با مشتق گرفتن از فرمول (۴) محاسبه شده است[۱۷]:

$$K_{opt} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \frac{M}{d_{toBS}^2} \quad (۵)$$

که در آن K_{opt} تعداد خوشه‌های بهینه، n تعداد گره‌های توزیع شده در محیط، M مساحت ناحیه حسگری و d_{toBS} فاصله متوسط بین

```
%% Initialization
Distributed sensor nodes randomly in sense area
Sink, sends a Hello packet to all sensors to start.
All sensors send yourself information to Sink
%% Setup phase
Sink determine optimal number of clusters.
Sink Use GA for determining initial clusters and CHs
Sink, Broadcasts CHs information to all sensors
Nodes, join to nearest CH.
%% Steady-state phase
Nodes, sense and send information to CH based on TDMA
%% Routing phase
CHs, aggregation packets and send to sink using the greedy route proposed
%% Re-clustering phase
foreach CHs
    if (Energy CH < E_min)
        Re-clustering
    end if
end for
```

شکل(۱): ساختار کلی الگوریتم

گره‌ها و ایستگاه پایه است.

در مرحله دوم از فاز راه‌اندازی، سینک با توجه به اطلاعات بدست آمده در مرحله قبل، با به‌کارگیری یک الگوریتم ژنتیک چند هدفه سرخوشه‌های مناسب را شناسایی کرده و در پایان این فاز به اطلاع همه حسگرها می‌رساند.

فاز راه‌اندازی سربار محاسباتی زیادی داشته و همچنین به یک دید کلی نسبت به شبکه نیاز دارد که از طریق جمع آوری اطلاعات از گره‌ها در سینک امکان‌پذیر است، بنابراین اجرای آن نیازمند ارسال اطلاعات همه گره‌ها به سینک است. به همین منظور، در روش پیشنهادی فاز راه‌اندازی تنها یک بار اجرا شده تا در حد امکان از ارسال بسته‌های اضافی جلوگیری شود. بنابراین فاز راه‌اندازی مجدد به صورت محلی اجرا شده تا ارسال و دریافت بسته‌ها را کاهش دهد.

الگوریتم ژنتیک چندهدفه، به‌طور همزمان چند معیار را برای تعیین خوشه‌های اولیه در نظر می‌گیرد. در این روش معیارهایی نظیر مرکزیت سرخوشه، توازن خوشه‌ها و توزیع سرخوشه‌ها در نظر گرفته شده است. همانطور که بیان شد، الگوریتم ژنتیک در سینک اجرا می‌شود و براساس اطلاعات محلی همه گره‌ها که در مرحله قبل بدست آمده، یک شبکه مجازی متناسب با تعداد خوشه‌های تعیین شده ایجاد می‌کند. به‌طور مثال اگر نیاز به ۲۳ سرخوشه داشته باشیم شبکه مجازی یک صفحه ۵*۵ خواهد بود.

در روش پیشنهادی به جای انتخاب تصادفی گره‌های به عنوان سرخوشه از شبکه مجازی برای انتخاب سرخوشه‌های اولیه استفاده خواهد شد. بدین صورت که در هر سلول حداکثر یک گره می‌تواند به عنوان سرخوشه انتخاب شود. شبکه مجازی، توزیع سرخوشه‌ها در محیط را تضمین می‌کند. اما از آنجایی که تعداد سرخوشه‌ها از تعداد

www.SID.ir

Arch

سلول‌ها همواره کمتر است و تراکم گره‌ها در هر سلول نیز برابر نیست، بنابراین تابع هدف به‌گونه‌ای مشخص می‌شود که توازن و مرکزیت خوشه‌ها را تضمین کند.

برای مرکزیت سرخوشه از متداولترین معیار خوشه‌بندی که همان معیار مربع خطاست، استفاده می‌شود. هدف کلی این معیار، کمینه کردن مجموع مربعات خطاها برای تعداد ثابتی خوشه است. فرض می‌شود که مجموع N حسگر در محیط در قالب k خوشه افراز شده باشد. هدف کمینه کردن تابع هدف ارائه شده در فرمول (۶) است.

$$\min \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in S} \|x - u_i\|^2 \qquad (۶)$$

به این معنا که مراکز خوشه‌ها ui به صورتی پیدا شوند که فاصله هر عضو از مرکز خوشه خود کمینه گردد.

برای ایجاد توازن در خوشه‌ها، تعداد اعضای هر خوشه محاسبه شده و تفاضل بزرگترین خوشه و کوچکترین خوشه به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر باید تفاضل بزرگترین و کوچکترین خوشه کمینه باشد. تابع هدف فرمول (۷) معیار توازن خوشه‌ها را تضمین می‌کند.

$$\min(Max(\sum_{k} |x \in u_k|) - Min(\sum_{k} |x \in u_k|)) \qquad (۷)$$

در نتیجه تابع هدف نهایی از مجموع فرمولهای (۶) و (۷) در فرمول (۸) قابل مشاهده است.

$$\min(Max(\sum_{k} x \in u_k) - Min(\sum_{k} x \in u_k) + \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in S} \|x - u_i\|^2) \qquad (۸)$$

۳-۲- فاز پایداری

پس از انتخاب سرخوشه‌ها و ارسال اطلاعات سرخوشه‌ها به تمامی گره‌ها، گره‌های غیرسرخوشه با دریافت اطلاعات سرخوشه‌ها به نزدیکترین سرخوشه متصل شده و خوشه‌های نهایی را تشکیل می‌دهند. هر سرخوشه یک زمان‌بندی مبتنی بر TDMA[۲] برای اعضای خوشه خود تعیین کرده و آنرا به اطلاع گره‌ها می‌رساند. بنابراین اعضای خوشه تنها در شکاف زمانی مربوط به خود فعال بوده و به ارسال اطلاعات می‌پردازند. این موضوع باعث ذخیره انرژی گره‌ها می‌شود.

در فاز پایداری گره‌ها محیط را حس کرده و اطلاعات جمع‌آوری شده را به سرخوشه ارسال می‌نمایند. سرخوشه‌ها با تجمیع اطلاعات، به جای ارسال چند بسته، یک بسته نهایی را به سینک ارسال می‌کنند. از آنجایی که فاز راه‌اندازی دارای سربار زیادی است، در این بخش روشی برای کاهش اجرا فاز راه‌اندازی پیشنهاد شده است. برای این منظور از یک حد آستانه به نام E_{min} استفاده می‌شود. اگر انرژی سرخوشه از حد آستانه کمتر نباشد، سرخوشه می‌تواند به عنوان سرخوشه در دور بعد عمل کند و نیازی به اجرای فاز راه‌اندازی مجدد ندارد. بنابراین چندین فاز پایداری به ازای یک فاز راه‌اندازی اجرا خواهدشد. مقدار انرژی ذخیره شده در این روش، با فرض آنکه j دور پایداری با یک فاز راه‌اندازی اجرا شود، برابر با فرمول (۹) خواهد بود.

$$j * (setup_phase\ energy\ per\ round) \qquad (۹)$$

هنگامی که انرژی یک سرخوشه از حد آستانه کمتر شود، آن سرخوشه براساس اطلاعات اعضای خود مناسبترین گره را به عنوان سرخوشه انتخاب کرده و اطلاعات سرخوشه جدید را به اعضا می‌رساند. مقدار حد آستانه E_{min} به ازای هر خوشه از فرمول (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$E_{min}^{k} = \gamma . \overline{E_r^k} \qquad (۱۰)$$

که γ یک مقدار عددی بین (۰،۱) می‌باشد و E_r^k میانگین انرژی گره‌های عضو خوشه است.

۳-۳- راه اندازی مجدد

همانطور که بیان شد پس از آنکه انرژی سرخوشه از مقدار آستانه کمتر شد سرخوشه به صورت محلی به یکی از اعضای خوشه را به عنوان سرخوشه در دور بعدی مشخص می‌نماید. معیار انتخاب سرخوشه جدید انرژی گره است. بنابراین سرخوشه، گره‌ای را که بیشترین مقدار انرژی را در بین اعضای خوشه دارد، به عنوان سرخوشه در دور بعد معرفی کرده و خود نیز به آن می‌پیوندد. در صورتی که انرژی سرخوشه از مقدار آستانه بیشتر باشد، سرخوشه بدون اجرای این فاز، وارد فاز بعدی یعنی مسیریابی می‌شود.

۳-۴- مسیریابی

در این فاز هر سرخوشه به جای آنکه به صورت مستقیم داده‌های خود را به سینک ارسال کند، از طریق یک گام میانی به ارسال داده می‌پردازد. انتخاب گام بعدی به صورت حریصانه خواهد بود. بنابراین سرخوشه با در اختیار داشتن اطلاعاتی نظیر مکان همسایگان و سطح انرژی آنها، مقدار تابع هدف ارائه شده طبق رابطه (۱) را برای همه همسایگان بدست می‌آورد. در این همسایگان فاصله آنها تا سینک از فاصله سرخوشه تا سینک کمتر است و انرژی آنها از میانگین خوشه بیشتر است. در نهایت گره‌ای به عنوان گام بعدی انتخاب می‌شود که تابع هدف برای آن کمینه باشد.

www.SID.ir

Arch

٤- نتایج شبیه سازی

در این بخش به بررسی و ارزیابی روش پیشنهادی پرداخته شده است و با این روش با برخی الگوریتمهای معرفی شده در بخش۱ شامل NR_LEACH، BEEG(GRID)، MCFL Adaptive و FPA در دو سناریوی مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. برای ارزیابی، همه روش‌های مورد مقایسه در نرم افزار متلب پیاده سازی شده‌اند. پارامترهای مورد ارزیابی و مورد مطالعه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل طول عمر شبکه، تعداد گره‌های زنده در هر دور، مرگ اولین گره و میانگین مصرف انرژی است، که در آن، طول عمر شبکه با توجه به مدت زمان لازم برای از بین رفتن ۲۰ درصد گره‌های شبکه اندازه‌گیری می‌شود.

٤-١- سناریوی اول

در سناریوی اول الگوریتم پیشنهادی و سایر روش‌ها با توجه به پارامترهای شبیه‌سازی ارائه شده در جدول (۱) ارزیابی می‌شوند. اولین عاملی که در این سناریو مورد بررسی قرار می‌گیرد، میانگین انرژی باقیمانده شبکه طبق شکل (۲) است. در مقایسه با روش‌های دیگر، الگوریتم پیشنهادی به دلیل اجرای محلی فاز خوشه‌بندی مجدد، ارسال پیام‌های اضافی را کاهش داده و همین امر منجر به کاهش ترافیک شبکه می‌شود. همچنین میانگین مصرف انرژی را نیز کاهش داده است.

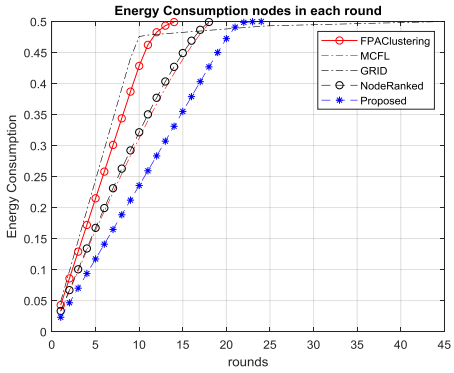
دومین پارامتر تحلیل شده تعداد گره‌های زنده در هر دور است. شکل (۳) تعداد گره‌های زنده در هر روش را نشان می‌دهد. هر چقدر تعداد گره های زنده (فعال) بیشتر باشد پوشش صورت گرفته در شبکه بیشتر است. پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم یکی از معیارهای کیفیت سرویس محسوب می‌شود. انتخاب سرخوشه در هر دور، میزان ارسال پیام‌های ارسالی و دریافتی را افزایش می‌دهد. با افزایش تعداد پیام‌ها، تعداد کل پیام‌های ارسال شده در شبکه نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، در شبکه‌ای با تعداد گره‌های زیاد، هرگونه افزایش تعداد

جدول (۱): پارامترهای شبیه سازی برای سناریو اول

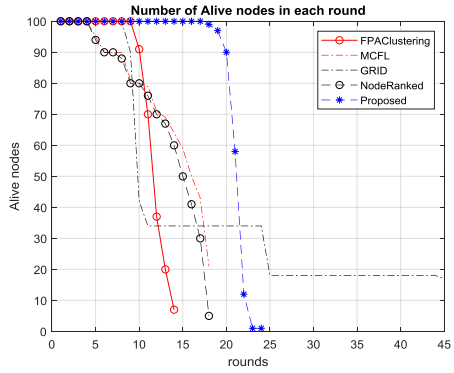
پارامتر	مقادیر در سناریوی اول
اندازه شبکه	$۱۰۰*۱۰۰M^2$
تعداد گره ها	۱۰۰
موقعیت سینک	مرکز ناحیه
اندازه بسته	۴۰۰۰bits
E_{fs}	$۱۰*۱۰^{-۱۴}$
E_{mp}	$۰.۰۰۱۳*۱۰^{-۱۴}$
E_{DA}	$۵*۱۰^{-۹}$
E_{TX}	$۵۰*۱۰^{-۹}$
E_{RX}	$۵۰*۱۰^{-۹}$
انرژی اولیه گره	۰.۵j

بسته‌ها باعث افزایش ترافیک شبکه و افزایش احتمال برخورد می‌شود. از طرف دیگر، از آنجا که گره‌ها مقدار مشخصی از انرژی را برای هر پیام ارسال شده از دست می‌دهند، با افزایش تعداد پیام‌ها، انرژی گره‌ها به طور متناوب کاهش می‌یابد که منجر به مرگ زودرس آنها می‌شود. تعیین تعداد گره‌های زنده باقیمانده در هر روش در هر دور نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها گره زنده بیشتری دارد. روش پیشنهادی با توجه به توازن خوشه‌ها و در نظر گرفتن معیار انرژی در فاز مسیریابی، باعث صرفه‌جویی بیشتر در مقایسه با سایر روش‌ها می‌شود. بنابراین تعداد گره‌های زنده روش پیشنهادی در هر دور بیشتر از سایر روش‌ها بجز روش BEEG است. این روش در دورهای پایانی عملکرد بهتری در این سناریو داشته است. از آنجایی که در دورهای پایانی تعداد گره‌ها کاهش یافته و شبکه پوشش خود را از دست می‌دهد، تعداد کم گره‌های باقیمانده اهمیت چندانی ندارد، زیرا عملا شبکه از دسترس خارج شده است.

سومین پارامتر تحلیل شده، اولین گره مرده (FND) است. شکل (۴) دورهایی را نشان می‌دهد که روش‌های مختلف گره اول خود را از دست داده‌اند. مقایسه اولین گره مرده در هر روش نشان



شکل (۲): متوسط مصرف انرژی شبکه در هر دور در سناریوی اول



شکل (۳): تعداد گره های زنده در هر دور در سناریوی اول

www.SID.ir

Arch

می‌دهد که در سناریوی فعلی، روش پیشنهادی از سایر روش‌ها بهتر عمل می‌کند.

چهارمین پارامتر تحلیل شده، طول عمر شبکه است. افزایش طول عمر شبکه یکی از مهمترین اهداف طراحی روش‌های جدید خوشه‌بندی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. نمودار مربوط به طول عمر شبکه به ازای روش‌های مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی هر بار گره‌ای با بیشترین انرژی انتخاب می‌شود، انرژی بین گره‌ها تقسیم شده و همین امر موجب افزایش طول عمر شبکه می‌شود. همچنین روش پیشنهادی پایداری را نیز تضمین می‌کند، زیرا در بسیاری از روش‌های پیشین تعداد خوشه‌ها به‌صورت تصادفی تعیین شده و همین امر موجب عدم پایداری تعداد خوشه‌ها می‌گردد. بنابراین ممکن است در یک دور تعداد خوشه‌ها بسیار کم و در برخی دورها تعداد خوشه‌ها بسیار زیاد شود. روش پیشنهادی با انتخاب تعداد خوشه بهینه موجب پایداری و توازن در شبکه شده است.

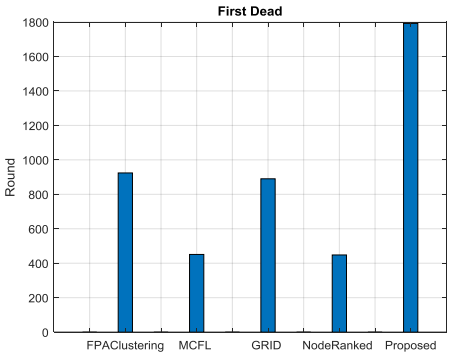
٤-۲- سناریوی دوم

در سناریوی دوم، مقایسه‌ها در محیط بزرگتر در ابعاد ۲۰۰*۲۰۰ و بر اساس ۲۰۰ گره تعریف شده است. سایر پارامترهای شبیه‌سازی شده مشابه سناریو قبلی است. در این سناریو نیز، انرژی باقی‌مانده به عنوان اولین عامل مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۶) نمودار مصرف انرژی هر یک از روش‌های موجود در این سناریو را نشان می‌دهد. در اینجا نیز روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها از مصرف انرژی کمتری برخوردار است. باز هم دلیل این امر کاهش تعداد پیام‌های ارسالی و دریافتی و کاهش انرژی هر گره است. افزایش طول فاز پایداری، نقطه قوت روش پیشنهادی است.

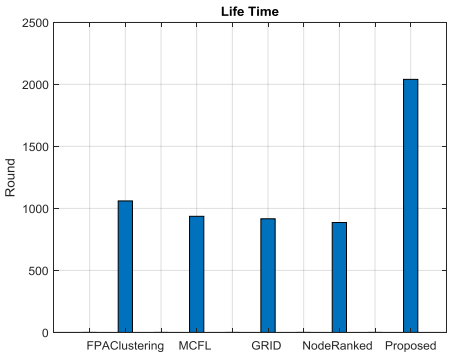
بررسی تعداد گره‌های زنده در هر روش در این سناریو مطابق شکل (۷) نشان می‌دهد که در مقایسه با سایر روش‌ها، روش پیشنهادی از گره‌های زنده بیشتری برخوردار است. مهمترین دلیل این امر، بالا بودن سطوح انرژی باقیمانده روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها است.

سومین پارامتر تحلیل شده، اولین گره مرده است. شکل (۸) نمودار دورهایی را نشان می‌دهد که روش‌های مختلف، گره اول خود را به ازای سناریو دوم و در محیطی بزرگتر با تعداد گره بیشتر از دست داده‌اند.

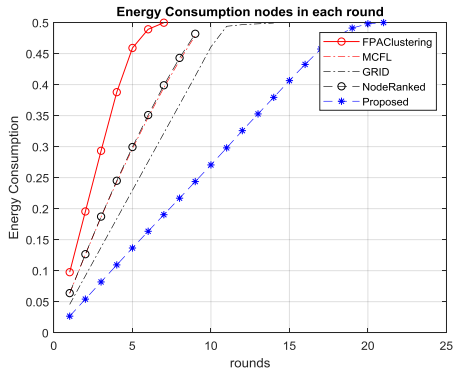
آخرین پارامتر تحلیل شده، طول عمر شبکه است. در این سناریو با توجه به افزایش تعداد گره‌ها و افزایش ابعاد محیط، انتقال اطلاعات انرژی بیشتری نسبت به سناریوی اول مصرف می‌کند و طول عمر شبکه نسبت به حالت قبل کاهش داشته است. با این حال نمودار مربوط به طول عمر شبکه به ازای روش‌های مختلف در شکل



شکل (٤): نمودار مرگ اولین گره در سناریوی اول



شکل (٥): طول عمر شبکه در سناریوی اول



شکل (٦): متوسط مصرف انرژی شبکه در هر دور در سناریوی دوم

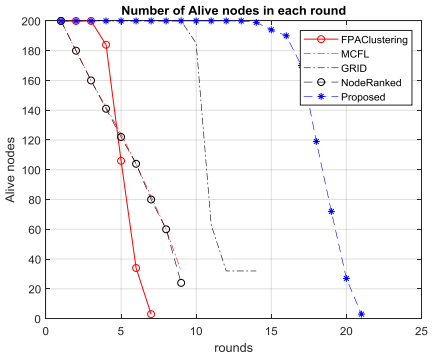
(۹) نشان می‌دهد روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها انطباق پذیری بیشتری داشته و طول عمر شبکه در روش پیشنهادی بیشتر از سایر روش‌ها است.

۵- نتیجه گیری

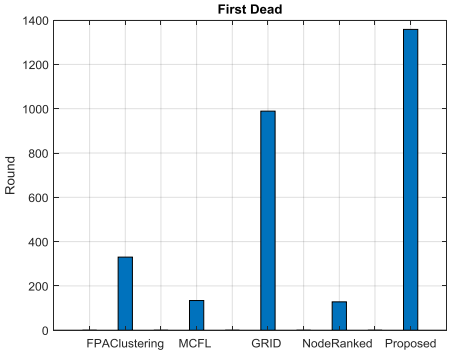
در این مقاله روشی جدید برای بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از یک پروتکل خوشه‌بندی انرژی کارا مبتنی بر شبکه مجازی با بکارگیری الگوریتم‌های هوشمند در چهار فاز برپاسازی، پایداری، مسیریابی و برپاسازی مجدد ارائه شده است. در فاز برپاسازی خوشه‌ها

www.SID.ir

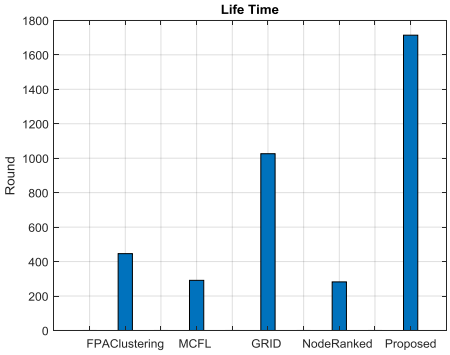
Arch



شکل (۷): تعداد گره های زنده در هر دور در سناریوی دوم



شکل (۸): نمودار مرگ اولین گره در سناریوی دوم



شکل (۹): طول عمر شبکه در سناریوی دوم

به صورت بهینه با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ایجاد می‌شوند. در فاز پایداری بسته‌ها از محیط جمع‌آوری شده و پس از تجمیع در سرخوشه به سمت سینک ارسال می‌شوند. تا زمانی که انرژی سرخوشه از یک حد آستانه که به‌صورت پویا و هوشمندانه تعیین می‌شود کمتر نباشد، سرخوشه در دور بعدی نیز سرخوشه باقی خواهد ماند. در غیر این صورت وارد فاز سوم می‌شود. در فاز سوم، سرخوشه فعلی، سرخوشه بعدی را بر مبنای انرژی تعیین می‌کند. در فاز چهارم بسته‌های تجمیع شده از طریق یک الگوریتم حریصانه، مسیریابی می‌شود. روش پیشنهادی با چهار روش دیگر در دو سناریو مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی عملکرد مناسب شبکه در کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] Wang, Tian, Md Zakirul Alam Bhuiyan, Guojun Wang, Md Arafatur Rahman, Jie Wu, and Jiannong Cao. "Big data reduction for a smart city's critical infrastructural health monitoring." *IEEE Communications Magazine* 56, no. 3 (2018): 128-133.

[2] Yessembayev, Anes, Dilip Sarkar, and Faisal Sikder. "Detection of good and bad sensor nodes in the presence of malicious attacks and its application to data aggregation." IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks 4, no. 3 (2018): 549-563.

[3] Khelladi, Lyes, Djamel Djenouri, Michele Rossi, and Nadjib Badache. "Efficient on-demand multi-node charging techniques for wireless sensor networks." Computer Communications 101 (2017): 44-56.

[4] Stattner, Erick, Nicolas Vidot, Philippe Hunel, and Martine Collard. "Wireless sensor network for habitat monitoring: A counting heuristic." In 37th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks-Workshops, pp. 753-760. IEEE, 2012.

[5] Jaigirdar, Fariha Tasmin, and Mohammad Mahfuzul Islam. "A new cost-effective approach for battlefield surveillance in wireless sensor networks." In 2016 International Conference on Networking Systems and Security (NSysS), pp. 1-6. IEEE, 2016.

[6] Rajaram, Madhupreetha L., Elias Kougianos, Saraju P. Mohanty, and Prabha Sundaravadivel. "A wireless sensor network simulation framework for structural health monitoring in smart cities." In 2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin), pp. 78-82. IEEE, 2016.

[7] Jelicic, Vana, Michele Magno, Davide Brunelli, Giacomo Paci, and Luca Benini. "Context-adaptive multimodal wireless sensor network for energy-efficient gas monitoring." IEEE Sensors journal 13, no. 1 (2012): 328-338.

[8] Sharif, Atif, Vidyasagar Potdar, and Elizabeth Chang. "Wireless multimedia sensor network technology: A survey." In 2009 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics, pp. 606-613. IEEE, 2009.

[9] Rahama, Md Taybur, Monir Hossen, and Md Muminur Rahman. "A routing protocol for improving energy efficiency in wireless sensor networks." In 2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), pp. 1-6. IEEE, 2016.

[10] Ding, Xu-Xing, Ting-ting Wang, Hao Chu, Xuan Liu, and You-hong Feng. "An Enhanced Cluster Head Selection of LEACH Based on Power Consumption and Density of Sensor Nodes in Wireless Sensor Networks." Wireless Personal Communications 109, no. 4 (2019): 2277-2287.

www.SID.ir

Arch

[11] Amer, Asmaa, Abd Elwahab Fawzy, Mona Shokair, Waleed Saad, Said El-Halafawy, and Ahemd Elkorany. "Balanced Energy Efficient Grid Based Clustering Protocol for Wireless Sensor Network." International Journal of Computing and Digital Systems 6, no. 01 (2017): 1-12.

[12] Pau, Giovanni, and Valerio Mario Salerno. "Wireless sensor networks for smart homes: A fuzzy-based solution for an energy-effective duty cycle." Electronics 8, no. 2 (2019): 131.

[13] Mirzaie, Mostafa, and Sayyed Majid Mazinani. "Adaptive MCFL: An adaptive multi-clustering algorithm using fuzzy logic in wireless sensor network." Computer Communications 111 (2017): 56-67.

[14] Sun, Zeyu, Xiaofei Xing, Tian Wang, Zhiguo Lv, and Ben Yan. "An optimized clustering communication protocol based on intelligent computing in information-centric Internet of Things." IEEE Access 7 (2019): 28238-28249.

[15] Ruan, Danwei, and Jianhua Huang. "A PSO-Based Uneven Dynamic Clustering Multi-Hop Routing Protocol for Wireless Sensor Networks." Sensors 19, no. 8 (2019): 1835

[16] Shynkarenko, Heorgiy, Igor Malets, Petro Vahin, and Romanna Malets. "Modeling of Thermoviscoelasticity Time Harmonic Variational Problem for a Thin Wall Body." IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing, 2018.

[17] Raghuvanshi, Ajay Singh, Sudarshan Tiwari, Rajeev Tripathi, and Nand Kishor. "Optimal number of clusters in wireless sensor networks: An FCM approach." In 2010 International conference on computer and communication technology (ICCCT), pp. 817-823. IEEE, 2010.

زیرنویس‌ها

[1] Internet of things
[2] Time-division multiple access

www.SID.ir