



## Improving mobile mass monitoring in the IoT environment based on Chaotic Fog Algorithm

Tahere Motedaieen<sup>1</sup> Mahdi Yaghoobi<sup>2\*</sup> Maryam kheirabadi<sup>3</sup>

Electrical and Computer Engineering, Islamic Azad University, Mashhad branch, Mashhad, Iran

((Received: 2023/09/28, Revised: 2023/07/26, Accepted: 2023/08/20, Published: 2023/09/28))

DOR: <https://dori.net/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.3.8.3>

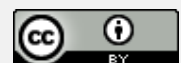
*In the IoT-based IoT environment, users can monitor tasks in the network environment and participate in the data collection process by smart devices. Users monitor their environment data in the form of fog computing during this process, also called mobile mass monitoring, and service providers are required to pay user rewards. But rewards should not be such as to increase platform costs. At the same time, maximizing the maximization rate is one of the main goals of service providers. Increasing network coverage rates and reducing platform costs can be considered as an optimization problem. But providing an algorithm that is less involved in local optimizations and can always provide good results is a challenge in itself. This article is tried to present an efficient approach based on the improved forest optimization algorithm using chaos theory and fuzzy parameter adjustment to reduce platform costs and maximize mobile mass monitoring coverage rate. The proposed method is implemented in MATLAB software and the analysis of the findings shows that the proposed method can optimize the network coverage rate by 31% (average) and the monitoring cost by 11% (average) compared to the CMST plan.*

**Keywords:** Internet of Things, mobile mass monitoring, Forest Optimization Algorithm, Chaos Theory, Fuzzy System

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

**Publisher:** Imam Hussein University

Authors



\*Corresponding Author Email: [yaghoobi@mshdiau.ac.ir](mailto:yaghoobi@mshdiau.ac.ir)

## بهبود نرخ پوشش و کاهش هزینه پایش در پایش جمعی سیار

### با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جنگل آشوبگون

طاهره متدین<sup>۱</sup>، مهدی یعقوبی<sup>۲\*</sup>، مریم خیرآبادی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، ۲- دانشیار، ۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران  
(دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۴، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹، انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۶)

DOR: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23224347.1402.11.3.8.3>



\* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز (CC BY) Creative Commons Attribution توزیع شده است.

نویسندگان ©

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

## چکیده

در اینترنت اشیا حجم انبوهی از داده‌های مختلف تولید می‌شود که برای پردازش به مرکز داده ارسال می‌گردد. برای افزایش توان پردازشی، اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه پیشنهاد شده است. در اینترنت اشیا مبتنی بر مه کاربران با تجهیزات هوشمند (مانند گوشی‌های همراه) وظایف را پایش کرده و در انجام آن‌ها مشارکت می‌کنند. به این فرآیند پایش جمعی سیار گفته می‌شود. در پایش جمعی سیار، اختصاص پاداش (هزینه) بدون برنامه‌ریزی به کاربران، می‌تواند هزینه‌های بستر را افزایش دهد و قابلیت‌های برنامه‌های کاربردی را تهدید کند. بنابراین تعیین سیاست پاداش منطقی برای کاربران به منظور کاهش هزینه‌های بستر به صورتی که نرخ پوشش شبکه نیز بیشینه باشد از چالش‌های مهم در این فناوری است. افزایش نرخ پوشش شبکه و کاهش هزینه‌های بستر را می‌توان در قالب یک مساله بهینه‌سازی مطرح کرد. اما ارائه الگوریتمی که در بهینه‌های محلی کمتر گرفتار شود و بتواند همواره نتایج مطلوبی ارائه دهد خود یک چالش دیگر است. در این مقاله تلاش شده است با بهره‌گیری از تئوری آشوب، و الگوریتم بهینه‌سازی جنگل رویکردی جدید و کارآمد برای پایش جمعی سیار ارائه شود. روش پیشنهادی در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده و تجزیه و تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی توانسته است نرخ پوشش شبکه و هزینه پایش را نسبت به طرح‌های مشابه بهینه کند.

## کلمات کلیدی: اینترنت اشیا، پایش جمعی سیار، الگوریتم بهینه‌سازی جنگل، تئوری آشوب

برای کاربران در نظر بگیرد تا کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده مطلوب باشد [۸].

داده‌های جمع‌آوری شده به مرکز داده ارسال می‌شود. مرکز داده نیز داده‌های پردازش شده را به بستر برنامه کاربردی ارسال می‌کند [۱۱]. در اغلب مدل‌های پایش جمعی سیار، کاربران به صورت مستقل از هم در فرآیند پایش شرکت می‌کنند بنابراین بعضی از وظایف به خاطر داشتن پاداش بالا، کاربران بیشتری را به خود جلب می‌کند [۲]. لذا وظایفی با پاداش کمتر، تعداد کاربران کمتری را به خود تخصیص می‌دهد. در پایش جمعی، هنگامی که بستر، بسته‌های داده کافی را دریافت می‌کند، پاداش کاربران را پرداخت می‌کند [۱۲].

مساله اصلی در پایش جمعی سیار این است که بین هزینه‌های بستر و کیفیت داده‌ها تعادل وجود داشته باشد. به‌طور کلی، برای بهبود کیفیت جمع‌آوری داده‌ها، پاداش‌های کاربر باید به منظور ارتقاء مشارکت کاربران ارتقا یابد به نحوی که نرخ پوشش نیز بیشینه باشد. زیرا افزایش پاداش‌های کاربر

## ۱. مقدمه

اخیرا برای افزایش توان پردازش در اینترنت اشیا، ترکیب آن با معماری مه پیشنهاد شده است [۱]. رایانش مه، محاسبات و پردازش‌ها را از هسته شبکه به سمت لبه پیش می‌برد. رایانش مه<sup>۱</sup> در حال حاضر توجه زیاد محققان را به خود جلب کرده است [۴]. معماری مه به برنامه‌های کاربردی اجازه می‌دهد که در هر مکانی اجرا شوند [۲]. با ترکیب فناوری‌های اینترنت اشیا و رایانش مه کاربران قادر خواهند بود با تجهیزات هوشمند خود (گوشی‌های همراه)، وظایف را پایش کرده و در انجام آن‌ها مشارکت کنند [۳]. به این فرآیند که کاربران با دستگاه‌های هوشمند خود بخش مهمی از محاسبات مه و پایش وظایف باشند پایش جمعی سیار گفته می‌شود [۵]. در فرآیند پایش جمعی، کاربران باید داده‌ها را شناسایی و به مراکز داده ارسال کنند [۹] بنابراین، منابع مختلفی مصرف می‌شوند [۱۰]. به همین دلیل منتشرکننده برنامه‌های کاربردی باید سیاست‌های تشویقی را

<sup>1</sup> Fog Computing

همین راستا یک روش مبتنی بر مدل مارکوف پیشنهاد شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که رویکرد پیشنهادی در رسیدن به اهداف پژوهش موفق بوده است.

وَنگ و همکارانش [۱۸] با استفاده از برنامه‌ریزی خطی یک روش مناسب برای تخصیص بهینه وظایف به کاربران در فرآیند پایش جمعی سیار ارائه داده‌اند. بررسی نتایج در شاخص‌های پوشش و هزینه نشان‌دهنده، عملکرد مطلوب آن در پایش جمعی سیار است. همین رویه نیز مورد توجه سونگ و همکارانش [۱۹] بوده و روش بکار گرفته شده توانسته علاوه بر بهبود نرخ پوشش در شبکه، هزینه پایش را نیز کاهش دهد. وَنگ و همکارانش [۲۰] نیز یک چارچوب جدید برای کاهش هزینه‌های پایش با استفاده از تخصیص بهینه وظایف به کاربران پیشنهاد داده‌اند.

وَنگ و همکارانش [۲۱] برای سیستم‌های حمل‌ونقل یک مدل جدید برای پایش جمعی سیار پیشنهاد داده که در آن هدف اصلی بیشینه‌سازی نرخ پوشش می‌باشد. ژانگ و همکاران [۲۲] علاوه بر نرخ پوشش، افزایش کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده نیز مورد توجه قرار داده و بر همین اساس یک رویکرد مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی برای این منظور پیشنهاد شده که توانسته در رسیدن به اهداف موفق باشد.

الخطیب و همکاران [۲۳] روشی جدید برای کاهش هزینه‌های پایش جمعی سیار پیشنهاد داده که سعی در توزیع بهینه چندین وظیفه میان کاربران دارد. بررسی یافته‌ها نشان‌دهنده عملکرد مطلوب روش پیشنهادی مقاله در رسیدن به هدف است. نهایتاً لی و همکاران [۲۴] یک مدل مشارکتی برای پایش وظایف در پایش جمعی سیار تحت عنوان CMST ارائه داده که سعی دارد کیفیت داده‌های پایش شده را در محیط مه افزایش دهد. در این روش یک روش تخصیص وظایف بر اساس بیشینه کردن پاداش‌های دریافتی ارائه شده است. پاداش‌های داده شده به هر کاربر بر اساس تراکم کاربران در آن ناحیه می‌باشد.

بررسی کارهای پیشین بیانگر آن است که همواره مقوله‌های انرژی، هزینه، نرخ پوشش و کیفیت داده از چالش‌های مطرح در پایش جمعی سیار بوده است. اما در میان چالش‌های یاد شده، نرخ پوشش و هزینه همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. جدول (۱) تمرکز کارهای پیشین بررسی شده بر هر یک از چالش‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت دو شاخص هزینه و نرخ پوشش در این مقاله سعی خواهد شد روشی برای پایش جمعی سیار ارائه گردد که ضمن بیشینه‌سازی نرخ پوشش، هزینه پایش را نیز کاهش دهد.

می‌تواند هزینه‌های بستر را افزایش دهد و قابلیت‌های برنامه‌های کاربردی را تهدید کند. بنابراین تعیین سیاست پاداش منطقی برای کاربران برای به حداقل رساندن هزینه‌ها، بیشینه‌سازی پوشش شبکه و ارائه خدمات به مشتریان با حداکثر کیفیت یک چالش اساسی است. در این مقاله، یک مدل جدید برای پایش هوشمند وظایف در اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه پیشنهاد شده که سعی دارد اختصاص پاداش به کاربران روند بهینه‌ای داشته باشد. برای این منظور از الگوریتم بهینه‌سازی جنگل آشوبگون استفاده شده است.

## ۲. کارهای مرتبط

یک رابطه تعاملی بین برنامه‌های کاربردی در جهت جمع‌آوری داده در محیط شهری به‌عنوان یک زمینه تحقیقاتی بنیادی در رایانش مه معرفی شده است [۶]. در این حالت، مردم وسایل نقلیه با داشتن حسگرهای هوشمند می‌توانند به‌عنوان کاربران در محیط رایانش مه عمل کرده و داده‌های پایش شده را به مرکز داده<sup>۱</sup> ارسال کنند.

با رشد اینترنت اشیا هر روزه تعداد بیشتری دستگاه به محیط اینترنت متصل می‌گردند. اینترنت اشیا، به شدت در برابر انواع حملات آسیب‌پذیر است این آسیب‌پذیری به دلیل این واقعیت است که اکثر ارتباطات در آن بی‌سیم هستند که ریسک استراق سمع را افزایش می‌دهد. مسائل امنیتی، مهم‌ترین مانع برای توسعه این محیط‌ها محسوب می‌شوند. یکی از مسائل امنیتی، احراز هویت موجودیت‌های مختلف در اینترنت اشیا می‌باشد که تأمین آن در اینترنت اشیا کار دشواری است [۱۳].

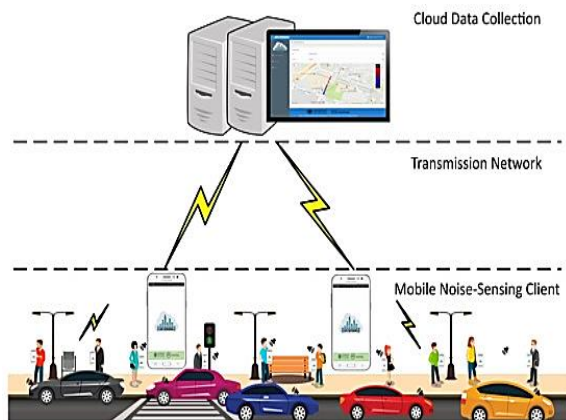
عظمی و همکارانش [۱۴] یک روش جدید برای بهبود نرخ پوشش در پایش جمعی سیار پیشنهاد داده‌اند. رویکرد پیشنهادی این مقاله به مدیران اینترنت اشیا این امکان را می‌دهد که بدانند کدام مناطق شبکه فاقد کیفیت در داده‌های جمع‌آوری شده بوده و چگونه کاربران نزدیک را برای مشارکت ترغیب کنند. همچنین یو همکارانش [۱۵] تلاش کرده‌اند یک روش برای کاهش هزینه در پایش جمعی سیار ارائه دهند که در آن وظایف به‌صورت بهینه میان کاربران تخصیص می‌یابد. رویکرد پیشنهادی در این مقاله مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی می‌باشد. همین رویه در مقاله [۱۶] نیز حاکم است و نگارندگان تلاش کرده‌اند هزینه‌های پیمایش وظایف را در بستر پایش جمعی سیار کاهش دهند.

علاوه بر شاخص پوشش و هزینه، مقوله انرژی مصرفی شبکه نیز مورد توجه کو و همکارانش [۱۷] قرار گرفته و در

<sup>۱</sup> Data Center

بودن حسگرها در این زمینه استفاده‌های مفیدی می‌شود [۲۵]. در فرآیند پایش جمعی سیار منطقه جغرافیایی موردنظر به تعدادی زیر منطقه (سلول) با مساحت مشخص تقسیم می‌شود و برای مدتی (به‌عنوان مثال ده روز) مورد مطالعه قرار می‌گیرد [۲۶]. فرآیند پایش جمعی سیار شامل دو گروه اصلی مراکز پایش جمعی سیار و کاربران مجهز به حسگر است. مراکز پایش جمعی سیار در طول مدت مطالعه وظایف ذیل را به عهده دارند:

- تعریف تعداد و مدت دوره‌های زمانی در هر روز
  - انتخاب و اختصاص کار به حداقل کاربران مناسب برای جمع‌آوری و ارسال داده به مراکز در هر دوره زمانی.
  - پرداخت هزینه تشویقی به کاربران برای شرکت در فرآیند پایش جمعی سیار.
  - جمع‌آوری داده‌های ارسال شده، توسط حسگرهای سیار کاربران و بررسی کیفیت داده‌های آن‌ها [۱۱].
- پدیده پایش جمعی سیار برخی از مشکلات شبکه‌های حسگر بیسیم را برطرف کرده است. به‌عنوان مثال پایش جمعی سیار هزینه اولیه راه‌اندازی، نگهداری و پشتیبانی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد چراکه از بستر آماده حسگرهای شهروندان استفاده می‌کند و طول عمر این حسگرها در مقایسه با حسگرهای شبکه‌های حسگر بیسیم بسیار بیشتر است، همچنین می‌توان گفت در مناطق شهری و قابل سکونت مقیاس‌پذیری و پوشش دهی پایش جمعی سیار در مقایسه با شبکه‌های حسگر بیسیم که از حسگرهای ثابت استفاده می‌کند بیشتر است. شکل ۱ فرآیند پایش جمعی سیار در اینترنت اشیا را برای پایش ترافیک نشان می‌دهد.



شکل (۱). پایش جمعی سیار در اینترنت اشیا برای ترافیک [۲۴]

#### ۴. بهبود الگوریتم‌های فرا ابتکاری با تئوری آشوب

الگوریتم‌های بهینه‌سازی اغلب جمعیت محور بوده و فرآیند حل مساله را با جمعیتی که به‌صورت تصادفی در فضای جستجو

#### جدول (۱). بررسی کارهای پیشین بر اساس چالش‌های مطرح در پایش جمعی سیار

عنوان مقاله	شاخص بررسی شده در مقاله			
	نرخ پوشش	هزینه	انرژی	کیفیت داده
Quality of Coverage: A Novel Approach to Coverage for Mobile Crowd Sensing Systems[14]	*			
Minimum Cost Spatial-Temporal Task Allocation in Mobile Crowd sensing[15]		*		
Maximizing Coverage Quality with Budget Constrained in Mobile Crowd-Sensing Network for Environmental Monitoring Applications [16]				*
Coverage-Guaranteed and Energy-Efficient Participant Selection Strategy in Mobile Crowd sensing[17]		*		*
Mobile crowd sensing task optimal allocation: a mobility pattern matching perspective[18]	*			
Coverage-Oriented Task Assignment for Mobile Crowd sensing[19]	*		*	*
Task Allocation in Mobile Crowd Sensing: State-of-the-Art and Future Opportunities[20]			*	*
Maximizing spatial-temporal coverage in mobile crowd-sensing based on public transports with predictable trajectory [21]	*			*
Quality-Aware Sensing Coverage in Budget-Constrained Mobile Crowd sensing Networks[22]	*		*	*
Cost-efficient Multi-tasking in Coverage-aware Mobile Crowd Sensing[23]			*	*
A Cooperative-Based Model for Smart-Sensing Tasks in Fog Computing[24]	*		*	*

#### ۳. پایش جمعی سیار

پایش جمعی سیار به معنای استفاده از حسگرهای تعبیه‌شده در لوازم متحرک مانند تلفن‌های همراه هوشمند، حسگرهای پوشیدنی ورزشی، کنترل‌گرهای سلامتی و غیره به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات در مقیاس بزرگ می‌باشد [۷]. پایش جمعی سیار از جمعیت مردم به‌عنوان اهرمی برای جمع‌آوری اطلاعات از محیط توسط حسگرهای تلفن همراه آن‌ها، استفاده می‌کند. مدیریت جامعه و شهرها نیازمند نظارت پویا و تهیه اطلاعات ضروری برای تصمیم‌گیری‌های مهم است. پایش جمعی سیار می‌تواند بخشی از این اطلاعات را فراهم نماید. از ذات متحرک

می‌شود. این امر قابلیت‌های الگوریتم را در رسیدن به جواب بهینه با چالش مواجه می‌کند در این مقاله، برای افزایش قدرت در فاز اکتشاف، از تئوری آشوب، استفاده شده است. بدین ترتیب جمعیت اولیه الگوریتم بهینه‌سازی جنگل در کل فضای جستجو پراکنده شده و توان جستجو در آن افزایش پیدا کند.

## ۵. روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی بهبود نرخ پوشش شبکه و کاهش هزینه‌های پایش جمعی سیار به‌عنوان یک مساله بهینه‌سازی در نظر گرفته شده و برای آن استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جنگل بهبود یافته پیشنهاد گردیده است. در این الگوریتم پس از تعریف پارامترهای شبیه‌سازی، جمعیت اولیه درختان به صورت آشوبگون (با استفاده از تابع لجستیک) و محدود در فضای جستجوی پژوهش ایجاد می‌شود. هر درخت از الگوریتم جنگل به‌عنوان یک راه‌حل برای تخصیص بهینه وظایف پایشی بین کاربران می‌باشد. سپس برازندگی هر راه‌حل مطابق با اهداف پژوهش (هزینه پایش و نرخ پوشش) محاسبه می‌گردد. در ادامه عملگرهای دانه پراکنی محلی، دانه پراکنی سراسری و کنترل جمعیت بر روی درختان اعمال می‌گردد و درختان در مسیر رشد قرار می‌گیرند. عملگر دانه پراکنی محلی، راه‌حل‌های جدیدی را در اطراف درختان و عملگر دانه پراکنی سراسری راه‌حل‌هایی را برای سراسر فضای جستجو تولید می‌کند تا الگوریتم در بهینه‌های محلی گرفتار نشود. عملگر کنترل هم جمعیت اولیه جنگل را کنترل می‌کند. خروجی الگوریتم بهینه‌سازی جنگل آشوبگون در نهایت اختصاص بهینه وظایف پایشی به کاربران خواهد بود. شکل (۲) ساختار روش پیشنهادی در بهبود پایش جمعی سیار را معرفی می‌کند.

شکل (۲). ساختار الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی LFOA
۱- مقداردهی اولیه موقعیت و تحرک کاربران
۲- مقداردهی اولیه درخواست پایش جمعی
۳- محاسبه نیازهای سطح مشارکت در هر بلوک بر اساس تراکم کاربر
۴- برای هر درخواست پایش مراحل زیر را انجام دهید
• تعریف جمعیت اولیه (LFOA)
• LFOA را برای پایش تخصیص وظیفه اجرا کنید
• تخصیص وظیفه پایش شده بر اساس بهترین راه‌حل (تخصیص وظیفه پایش شده به گره‌های فعال)
• محاسبه هزینه و پوشش برای هر پایش وظیفه
۵- نمایش نتیجه از نظر هزینه و پوشش

پراکنده هستند آغاز می‌کند. در این الگوریتم‌ها هر عضو جمعیت اولیه بیانگر یک راه‌حل برای مساله بهینه‌سازی می‌باشد. پراکنندگی تصادفی جمعیت اولیه در فضای جستجو ممکن است باعث تجمع راه‌حل‌های اولیه در بخشی از فضای جستجو شده و همین امر باعث شود در رسیدن به جواب مساله، تمام فضای جستجو مورد جستجو قرار نگیرد [۲۷]. برای غلبه بر این محدودیت استفاده از توابع آشوب در فرآیند تولید جمعیت اولیه پیشنهاد شده است. استفاده از توابع آشوب باعث می‌گردد جمعیت اولیه الگوریتم‌های بهینه‌سازی در کل فضای جستجو پراکنده شده و بدین ترتیب عملکرد الگوریتم‌ها در فاز اکتشاف افزایش یابد [۲۸].

## ۴-۱. الگوریتم بهینه‌سازی جنگل

الگوریتم بهینه‌سازی جنگل<sup>۱</sup> یک الگوریتم الهام گرفته از طبیعت می‌باشد که توسط قائمی و همکارانش [۲۹] در سال ۲۰۱۴ معرفی شده است. این الگوریتم با سه گام بذریاشی محلی، محدود کردن درختان جنگل و بذریاشی سراسری، تلاش می‌کند یک راه‌حل برای مسائل بهینه‌سازی ارائه دهد. الگوریتم بهینه‌سازی جنگل نیز همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی با جمعیت اولیه (درختان) آغاز بکار می‌کند. در این الگوریتم یک درخت علاوه بر مقادیر متغیرها، بخشی نیز دارد که سن درخت را نشان می‌دهد. سن یک درخت در گام اول به صورت پیش فرض بر روی مقدار صفر تنظیم شده است. پس از شروع به کار درختان، عملگر بذریاشی محلی درختان جدیدی را با سن صفر تولید و به جمعیت جنگل اضافه می‌کند. سپس، تمام درختان (به جز درخت‌هایی که تازه تولید شده‌اند) در مسیر رشد قرار گرفته و سن آن‌ها به اندازه یک واحد افزایش پیدا می‌کند. در ادامه، یک کنترل بر روی جمعیت درختان جنگل اعمال شده و برخی از درخت‌ها از جمعیت حذف می‌شود. درخت‌های باقی‌مانده، جمعیت منتخب را برای مرحله بذریاشی سراسری تشکیل می‌دهند. بذریاشی سراسری، راه‌حل‌های جدیدی را به جمعیت جنگل اضافه می‌کند تا از گرفتار شدن در بهینه محلی خلاص شود. با خاتمه بذریاشی سراسری، درختان جنگل با توجه به میزان برازندگی رتبه‌بندی شده و درختی که بیشترین نرخ برازندگی را دارد به‌عنوان بهترین درخت انتخاب می‌گردد. در این مرحله باید سن درخت برتر برای نخبه‌گرایی به صفر تغییر یابد. زیرا که مرحله بذر محلی باعث افزایش سن درختان می‌شود.

## ۴-۲. الگوریتم بهینه‌سازی جنگل بهبود یافته

الگوریتم بهینه‌سازی جنگل [۲۹] یک مدل برگرفته شده از طبیعت در حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد که همانند اغلب الگوریتم‌های بهینه‌سازی گاهی در بهینه‌های محلی گرفتار

<sup>۱</sup> Forest Optimization Algorithm (FOA)

0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	1	1
0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	1	0	1
1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0

شکل (۴). ساختار یک نمونه راه‌حل در مساله پایش مشارکتی

در الگوریتم بهینه‌سازی جنگل با توجه به پراکندگی تصادفی درختان، ممکن است تمام فضای جستجو مورد جستجو قرار نگیرد. برای غلبه بر این محدودیت در روش پیشنهادی از نگاشت آشوب برای تولید جمعیت اولیه استفاده خواهد شد. تابع مورد نظر برای نگاشت آشوب در روش پیشنهادی لجستیک می‌باشد این تابع یک نگاشت چندجمله‌ای درجه دو است. از این نگاشت اغلب به‌عنوان مثالی از اینکه چگونه یک تساوی غیرخطی ساده می‌تواند منجر به رفتار پیچیده‌ای شود یاد می‌شود. این نگاشت به‌صورت فرمول (۱) تعریف می‌شود:

$$x_{n+1} = \lambda x_n (1 - x_n) \quad (1)$$

for  $0 < \lambda \leq 4, x_n \in [0,1], n = 0,1,2,3, \dots$

به طوری که  $x_0$  مقدار اولیه تابع و  $x_n$  مقدار تابع بعد از  $n$  مرتبه تکرار می‌باشد. وابستگی رفتار تابع به متغیر  $\lambda$  به‌صورت زیر است:

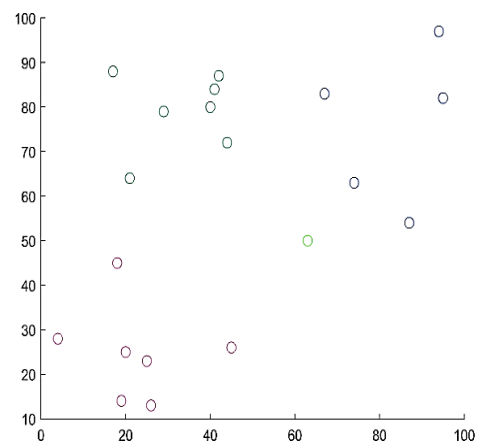
- اگر  $\lambda$  بین ۰ و ۱ باشد (مستقل از شرایط اولیه) تابع میراست.
- اگر  $\lambda$  بین ۱ و ۲ باشد (مستقل از شرایط اولیه) حاصل تابع به مقدار  $(\lambda-1/\lambda)$  رسیده و به حالت پایدار می‌رسد.
- اگر  $\lambda$  بین ۲ و ۳ باشد باز هم تابع به حالت پایدار و مقدار عددی  $(\lambda-1/\lambda)$  می‌رسد، با این تفاوت که در ابتدا حول این مقدار نوسان می‌کند. در این حالت نرخ همگرایی به‌جز در  $\lambda = 3$  خطی است.
- اگر  $\lambda$  بین ۳ و  $1+\sqrt{6}$  (تقریباً ۳٫۴۵) باشد تابع برای همیشه بین دو نقطه نوسان می‌کند. که این دو نقطه به مقدار  $\lambda$  بستگی دارد.
- اگر  $\lambda$  بین ۳٫۴۵ و ۳٫۵۴ باشد، تابع بین چهار نقطه نوسان می‌کند.

تولید آشوبگون درختان جنگل موجب انتخاب نقاط بهتر در فضای جستجو خواهد شد و شانس یافتن نقطه بهینه افزایش می‌یابد. این رویکرد نهایتاً باعث تقویت اکتشاف می‌شود. در روش پیشنهادی عناصر مربوط به هر درخت با بهره‌گیری از تابع لجستیک مقادری اولیه می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی جنگل

## ۵-۱. بلوک‌بندی شبکه و تعیین موقعیت

### مشارکت‌کنندگان

در روش پیشنهادی محیط شبکه (مختصات جغرافیایی) به بلوک‌های هم‌اندازه‌ای تقسیم بندی می‌شود تا از تمامی نواحی آن کاربران در فرآیند پایش وظایف مشارکت داشته باشند. موقعیت مشارکت‌کنندگان در پایش جمعی سیار نیز به صورت تصادفی مدل‌سازی خواهد شد. اگر محیط شبکه به مختصات جغرافیایی به طول و عرض  $100 \times 100$  متر و تعداد کاربران مشارکت‌کننده ۲۰ نفر باشد، شکل (۳) می‌تواند یک حالت تصادفی برای موقعیت مشارکت‌کنندگان در پایش جمعی وظایف باشد.

شکل (۳). موقعیت مشارکت‌کنندگان در محیط شبکه به ابعاد  $100 \times 100$  متر به صورت تصادفی

در این مرحله وظایفی که باید توسط مشارکت‌کنندگان در محیط شبکه پایش شوند نیز تعریف می‌شود. این وظایف می‌تواند ماهیت‌های جداگانه و متفاوتی داشته باشد.

## ۵-۲. تعریف جمعیت اولیه درختان جنگل

با توجه به مطالب ذکر شده در روش پیشنهادی هر درخت یک راه‌حل برای تعامل و مشارکت بهینه کاربران در پایش وظایف در نظر گرفته خواهد شد. لذا هر راه‌حل وظایف انتخاب شده توسط مشارکت‌کنندگان در فرآیند پایش جمعی سیار را مدل‌سازی می‌کند. بر همین اساس جمعیت اولیه درختان در روش پیشنهادی شامل یک ماتریس  $n \times m$  است که سطرها، اندیس متناظر با کاربران و ستون‌ها وظایف پایشی انتشار یافته توسط مراکز داده می‌باشد.

شکل (۴) نمونه‌ای از جمعیت اولیه درختان در الگوریتم بهینه‌سازی جنگل برای تخصیص ۸ وظیفه پایشی بین شش کاربر را نشان می‌دهد. در این مثال مقادیر خانه‌ها نشان‌دهنده مشارکت (مقدار ۱) و عدم مشارکت (مقدار صفر) یک کاربر  $i$  در وظیفه  $j$  می‌باشد.

درخت جمع شده و حاصل گرد می‌شود. به هنگام جمع کردن مقادیر ممکن است حالاتی پیش بیاید که مقدار یک متغیر بیشتر از کران مساله شود، برای اجتناب از این حالات، مقدار حاصل به کران بالای مساله گرد می‌شود. بدین ترتیب درخت جدیدی تولید نمی‌شود. لذا مجدد یک اندیس دیگر از همان بردار برای تغییر انتخاب می‌گردد. این فرآیند تا زمانی تکرار می‌شود که منجر به تولید درخت جدید و ممکن در محدوده جنگل شود.

#### ۴-۵. دانه پراکنی سراسری جنگل

این گام از روش پیشنهادی بر روی درصدی از درختان جمعیت کاندیدا، اعمال می‌شود و نرخ آن از پارامترهای کنترلی الگوریتم جنگل می‌باشد. روند کار در این مرحله بدین صورت است که ابتدا تعدادی از متغیرهای یک درخت انتخاب و سپس مقادیر این متغیرها با مقادیر تصادفی تولیدشده در محدوده متغیرهای مساله جایگزین می‌شود؛ تعداد متغیرهای انتخابی در این مرحله از جمله ویژگی‌های الگوریتم بوده و  $GSC^3$  نام دارد. این مرحله جستجوی سراسری را برای روش پیشنهادی شبیه‌سازی می‌کند.

شکل (۶) مثالی از اعمال عملگر انتقال بر روی یک درخت را نشان می‌دهد. مقدار پارامتر  $GSC$  در این شکل ۲ در نظر گرفته شده است؛ بنابراین ۲ متغیر به‌طور تصادفی انتخاب شده و مقادیر آن‌ها با ۲ مقدار تصادفی دیگر در بازه متغیر مربوطه جایگزین می‌شود.

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T1	T2	T3	T4	r	T6	T7	r'	T9	T10

شکل (۶). نمایش عملگر انتقال بر روی یک درخت در روش پیشنهادی

#### ۵-۵. محاسبه برآزندگی درخت‌های جنگل

برای محاسبه برآزندگی راه‌حل‌ها (درخت‌ها) در روش پیشنهادی، ابتدا با استفاده از رابطه (۲) میزان مشارکت کاربران در هر بلوک از ناحیه تحت پایش (بر حسب تعداد کاربران فعال) تعیین می‌گردد. در رابطه (۲) تراکم بلوک لحاظ شده است. هر چه تراکم کاربران در یک بلوک بیشتر باشد، افزونگی داده بیشتر است لذا در جهت کاهش مصرف انرژی و حذف اکتساب داده زائد، نرخ نمونه‌برداری را در این ناحیه کاهش می‌دهیم.

$$cont(k) = n_b * t_b * t_s * \left( \frac{den_k}{\sum_{p \in B} den_p} \right) \quad (2)$$

که در آن  $den_k$  بیانگر میزان تراکم در بلوک  $k$  است.  $t_s$  تعداد سرویس‌های انتشار یافته توسط مرکز داده،  $t_b$  تعداد

علاوه بر مقادیر متغیرهای مساله، یک قسمت مربوط به «سن» درخت نیز به آن اضافه می‌شود که در ابتدا سن هر درخت صفر است. بعد از هر تکرار دانه پراکنی محلی، یک واحد به سن هر درخت اضافه می‌شود. این افزایش سن بعداً به عنوان ابزار کنترل جمعیت جنگل در نظر گرفته می‌شود. حداکثر طول عمر<sup>۱</sup> هر درخت از جمله پارامترهای این الگوریتم است و باید در ابتدای کار تعیین شود. وقتی که مقدار سن یک درخت به حداکثر طول عمر رسید، آن درخت از جنگل حذف شده و به جمعیت منتخب اضافه می‌شود. نکته قابل توجه این که حداکثر طول عمر باید به میزانی باشد که اجازه جستجوی محلی کافی ایجاد شود.

#### ۳-۵. دانه پراکنی محلی جنگل

این عملگر، بر روی درخت‌هایی (راه‌حل‌هایی) با سن صفر اعمال شده و همسایه‌هایی جدید را به افراد جمعیت اضافه می‌کند. بعد از اعمال این عملگر سن تمام درخت‌ها به‌جز درخت‌هایی که در این مرحله تولید شده‌اند یک واحد افزایش می‌یابد. در ابتدای اجرای الگوریتم با توجه به اینکه سن همه درختان صفر هست مرحله پراکنندگی محلی بر روی تمامی درخت‌های جنگل اعمال می‌شود و به تعداد  $LSC^2$  درخت جدید به ازای هر درخت به جمعیت اولیه جنگل اضافه می‌شود ولی با ادامه روند الگوریتم تعداد درخت‌های جنگل کاهش می‌یابد چون درخت‌هایی در جنگل وجود دارند که سن آن‌ها صفر نیست و در مرحله پراکنندگی محلی شرکت داده نخواهند شد. شکل (۵) روند تولید راه‌حل جدید در مرحله دانه پراکنی محلی به ازای  $LSC=2$  و ویژگی در مجموعه داده را نشان می‌دهد. در این حالت دودسته عدد تصادفی تولید می‌گردد؛ دسته اول نشان‌دهنده اندیسی است که باید مقدار آن در درخت تغییر یابد؛ دسته دوم نیز یک مقدار تصادفی است که باید به اندیس مشخص شده اضافه گردد. در شکل (۵) مقادیر  $r$  و  $r'$  به‌صورت تصادفی تولید شده‌اند. با اجرای این فرآیند ۲ درخت جدید به ازای درخت موردنظر به جمعیت جنگل اضافه می‌شود. ناگفته نماند مقادیر  $r$  و  $r'$  اعداد تصادفی تولیدشده در بازه مساله هستند. و شرط کنترلی مساله مقادیر آن‌ها را کنترل می‌کند.

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T1	T2	T3+r	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8+r'	T9	T10

● درخت والد    ● درخت همسایه اول    ● درخت همسایه دوم

شکل (۵). تولید همسایه در پراکنندگی محلی

مقدار  $r$  با مقدار مندرج در اندیس مشخص شده بردار مربوط به

<sup>3</sup> Global Seeding Changes

<sup>1</sup> Life time

<sup>2</sup> Local Seeding Changes

یک معیار مطلوب، به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$Cover(sol_f) = \frac{N(a)}{N(s)} \quad (۶)$$

– به طوری که  $N(a)$  تعداد نقاط انتخابی است که حداقل یک کاربر پایش کننده در آن محل حضور دارد و  $N(s)$  نیز تعداد کل نقاط در نظر گرفته شده در محیط برای جمع آوری داده می باشد.

با توجه مطالب گفته شده برای محاسبه برآزندگی درختها در الگوریتم بهینه سازی جنگل از رابطه – استفاده خواهد شد. بر اساس این تابع تخصیص وظایف بین مشارکت کنندگان ترکیبی از پوشش و هزینه خواهد بود. مقدار بیشینه برآزندگی برای هر راه حل نشان دهنده برتری آن درخت نسبت به دیگر درختهای جنگل است.

$$Fitness(sol_f) = \frac{Cover(sol_f)}{Cost(sol_f)} \quad (۷)$$

بدین ترتیب دو هدف کاهش هزینه سنجش و افزایش کیفیت را دنبال خواهیم کرد تا روش فرا ابتکاری استفاده شده، بهترین ترکیب تخصیص وظایف به کاربران را محاسبه نماید.

#### ۵-۶. بروزرسانی بهترین درخت

در این مرحله پس از مرتب کردن جمعیت جنگل بر اساس میزان برآزندگی درختان، بهترین راه حل که می تواند با انتخاب ویژگی های مؤثر، میزان دقت تشخیص را افزایش دهد؛ انتخاب می شود و سن آن به صفر تغییر می یابد. به این راه حل مطلوب در اثر دانه پراکنی محلی از جمعیت جنگل حذف نمی شود و می توان عملگر پراکنندگی را بر روی آن اعمال کرد.

#### ۵-۷. کنترل جمعیت جنگل

در این گام راه حل هایی/درخت هایی که سن آن ها به مقدار از پیش تعیین شده طول عمر درخت رسیده باشند، از جمعیت جنگل حذف شده و به مجموعه منتخب انتقال دانه منتقل می گردند؛ همچنین اگر تعداد کل درختان جنگل، از میزان محدودیت کل جنگل فراتر رفت درختان بر اساس میزان برآزندگی، مرتب سازی شده و درختانی که نسبت به دیگر درختها ضعیف بوده و راه حل های بدتری برای بهبود پایش جمعی سیار را ارائه می دهند از جمعیت جنگل حذف شده و به جمعیت منتخب انتقال دانه افزوده می شوند. محدوده جنگل (تعداد درختان جنگل به همراه طول عمر درختان از پارامترهای ورودی می باشد که باید در مرحله شبیه سازی تنظیم گردد. پس از اعمال این مرحله، تعداد درختها به تعداد درختهای جمعیت اولیه کاهش می یابد. بعد از اعمال عملگر کنترلی اشاره شده عملگر انتقال بر روی درصدی از درختان جمعیت کاندیدا صورت گرفته و درختهای جدید

بلوک (ناحیه) در تقسیم بندی محیط تحت پایش و  $n_b$  تعداد پایشگر پایه به ازای هر سرویس در هر بلوک می باشد. تا اینجا برای هر بلوک یک مقدار به عنوان تعداد کاربر پایشگر لازم در اختیار خواهیم داشت (شکل ۷ تعداد کاربران مشارکت کننده در ۴ بلوک را مدل سازی کرده است).

۷	۱۱	۳	۲
---	----	---	---

شکل (۷). تعیین تعداد کاربر پایش کننده در هر بلوک

از میان کاربران حاضر در یک بلوک  $k$ ، تعداد  $cont(k)$  کاربری که به اکتساب داده می پردازند؛ در فرآیند پردازش لحاظ می گردند و سایر کاربران با نرخ نمونه برداری صفر، در چرخه وظایف قرار نمی گیرند. با توجه مطالب گفته شده هزینه یک راه حل پیشنهادی برای تخصیص وظایف به صورت زیر خواهد بود:

$$Cost(sol_f) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m rew(i,j).T(i,j) + \sum_{j=1}^m V_j \quad (۳)$$

$rew(i,j)$  میزان پاداش دریافتی کاربر  $i$  از مشارکت در وظیفه  $j$  می باشد.  $T(i,j)$  مانند مقاله پایه مشارکت یا عدم مشارکت کاربر  $i$  در وظیفه  $j$  (به صورت برداری با مقادیر باینری)،  $Cost(sol_f)$  مجموع هزینه در طرح تخصیص  $sol_f$  و مقادیر  $V_j$  به صورت جریمه راه حل انتخابی به علت عدم مشارکت کافی کاربران در یک وظیفه پایشی می باشد. مقادیر  $rew(i,j)$  و  $V_j$  به صورت رابطه های ۴ و ۵ محاسبه می گردد.

$$V_j = \begin{cases} F_b & \text{if } coop(j) < \tau \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (۴)$$

– به طوری که  $F_b$  میزان جریمه قراردادی برای عدم تکمیل تعداد پایش کننده لازم برای یک وظیفه  $j$  می باشد و  $\tau$  یک مقدار آستانه برای تعداد کاربر مشارکت کننده لازم می باشد.

$$rew(i,j) = \frac{dist(i,dc)}{D(i)} * \frac{R_{base}}{coop(j)} \quad (۵)$$

– به طوری که  $dist(i,dc)$  مقدار فاصله کاربر پایش کننده از مرکز داده و  $D(i)$  حداکثر شعاع پایش برای کاربر  $i$  می باشد.  $R_{base}$  مقدار پاداش پایه برای یک وظیفه  $j$  می باشد.  $coop(j)$  تعداد کاربر مشارکت کننده در وظیفه  $j$  می باشد.

برحسب مطالعات انجام شده می دانیم که باید میزان پاداش اعطایی به کاربران برحسب تعداد مشارکت کنندگان باشد تا کاربران را ترغیب کند در وظایف پایشی که تعداد کمی مشارکت کننده دارد شرکت کنند و میزان پاداش بالایی را دریافت کنند، بدین ترتیب مشکل پوشش شبکه در نقاطی با تراکم کم با مکانیزم ایجاد انگیزه مرتفع خواهد شد. فاکتور پوشش به عنوان



با سن صفر به جمعیت اضافه می‌شود.

جدول شماره (۲). معرفی پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر شبیه‌سازی	کلاس پارامتر
ابعاد شبکه یا محیط شبکه	شبکه
تعداد بلوک‌های محیط	
طول هر بلوک	
تعداد وظایف پایشی	
شعاع پایشی کاربران	
تعداد کاربران در شبکه	بهینه‌سازی
تعداد درختان جنگل	
بیشینه تکرار الگوریتم بهینه‌سازی	
توزیع درختان در فضای جستجو	
نوع الگوریتم بهینه‌سازی	

## ۶. شبیه‌سازی و مقداردهی پارامترها

برای شبیه‌سازی و پیاده‌سازی روش پیشنهادی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. متلب یک محیط نرم‌افزاری برای انجام محاسبات عددی و یک زبان برنامه‌نویسی نسل چهارم است. همچنین در روش پیشنهادی پارامترهای شبیه‌سازی مطابق با جدول (۳) می‌باشند. قابل ذکر است؛ پارامترهای شبیه‌سازی روش پیشنهادی به دودسته پارامترهای شبکه و پارامترهای بهینه‌سازی تقسیم می‌شود و مقادیر این پارامترها در سناریوهای مختلف امکان تغییر را دارد. از آنجاکه پژوهش حاضر به دنبال انتخاب مناسب کاربران پایش کننده از بین انبوه کاربران موجود می‌باشد (مسئله تخصیص وظایف پایش) می‌باشد و در نظر گرفتن تمام راه‌حل‌های تخصیص یک یا چندوظیفه به کاربران مختلف و ارزیابی میزان برازندگی آن‌ها، زمانی نمایی دارد. لذا در روش پیشنهادی از الگوریتم بهینه‌سازی جنگل آشوبگون برای تعیین مشارکت تعاملی بهینه بین کاربران برای پایش داده‌های درخواستی برنامه‌های کاربردی استفاده خواهد شد.

برای این منظور پس از تعریف پارامترهای شبیه‌سازی (الگوریتم بهینه‌سازی، بلوک‌بندی شبکه، موقعیت کاربران، مدل حرکتی کاربران، تعداد وظایف پایشی و ...)، جمعیت اولیه الگوریتم به صورت آشوبگون و محدود در فضای جستجوی پژوهش ایجاد می‌شود. هر درخت در روش پیشنهادی به عنوان یک راه‌حل برای تخصیص بهینه وظایف پایشی بین کاربران می‌باشد. در گام بعدی برازندگی هر راه‌حل مطابق با اهداف پژوهش (هزینه پایش و نرخ پوشش) محاسبه می‌گردد. خروجی الگوریتم بهینه‌سازی اختصاص بهینه وظایف پایشی به کاربران خواهد بود

## ۷. تجزیه و تحلیل

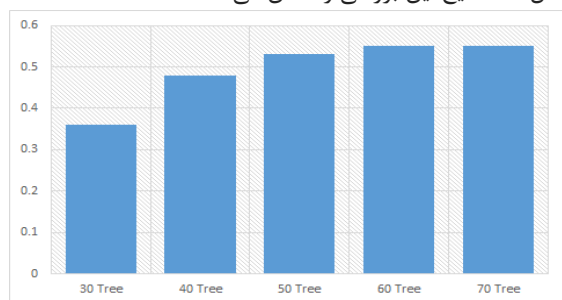
در روش پیشنهادی برای بررسی کارایی روش پیشنهادی از دو معیار هزینه پایش و نرخ پوشش به ازای هر وظیفه استفاده شده است. توضیحات مربوط به هر کدام از این معیارها در ادامه آمده است. هزینه پایش بیانگر میزان پاداش اعطایی به کاربران در فرآیند پایش جمعی سیار است. این شاخص‌ها در روابط ۳ و ۶ مدل‌سازی شده‌اند.

## ۸. یافته‌ها

در این بخش آزمایش‌هایی بر روی روش پیشنهادی مقاله انجام گرفته و پیرامون یافته‌ها بحث گردیده است. برای این منظور روش پیشنهادی مقاله (LFOA\_MCS) با طرح پایه (CMST) و رویکرد مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی جنگل (FOA\_MCS) در شرایط یکسان اجرا شده و نتایج ثبت شده است. تعیین تعداد جمعیت اولیه، دفعات تکرار الگوریتم بهینه‌سازی، بررسی هزینه پایش و تعیین نرخ پوشش آزمایش‌هایی هستند که در این گام انجام شده است. لازم به یادآوری است.

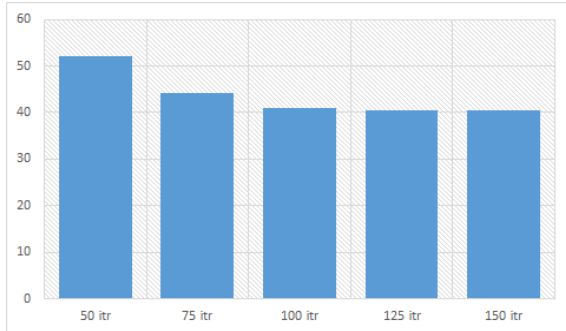
### ۸-۱. بررسی تأثیر تعداد جمعیت اولیه

در این گام، کارایی روش پیشنهادی مقاله به ازای تعداد مختلفی از کل جمعیت (تعداد درختان جنگل) در شاخص هزینه پایش و نرخ پوشش شبکه مورد آزمایش قرار گرفته است. برای این منظور تعداد کاربران ۴۰، تعداد وظایف ۴۰ و دفعات اجرای الگوریتم نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شد. بررسی نتایج در شاخص ارزیابی پوشش نشان می‌دهد که با افزایش تعداد جمعیت، نرخ پوشش شبکه (میانگین و به ازای تمامی وظایف) نیز بهتر می‌شود. اما نتایج برای ۶۰ درخت و ۷۰ درخت یکسان و برابر با ۰.۵۵ می‌باشد. شکل (۸) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.



شکل (۸). بررسی پوشش شبکه به ازای تعداد مختلفی از جمعیت اولیه

دیگر نتایج نیز برای شاخص هزینه پایش نشان می‌دهد که با افزایش تعداد دفعات اجرای الگوریتم، هزینه پایش وظایف (تجمعی و به ازای تمامی وظایف) کاهش پیدا می‌کند. به نحوی که با الگوریتم بعد از ۱۲۵ دور اجرا همگرا شده و بهترین نتیجه خود را تولید می‌کند. شکل (۱۱) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.

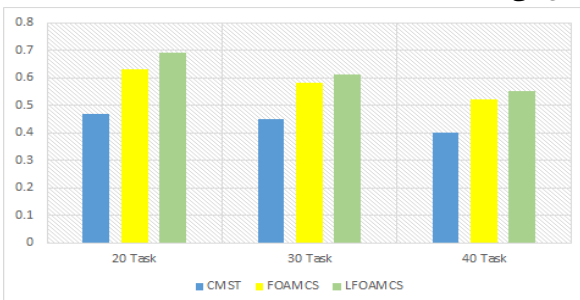


شکل (۱۱). بررسی هزینه پایش به ازای تعداد دفعات مختلف اجرای الگوریتم

با توجه به اینکه افزایش تعداد دورها، پیچیدگی محاسباتی روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری را افزایش می‌دهد اگر اختلاف هزینه پایش ۰٫۴ دلار با بهترین حالت الگوریتم (تقریباً ۰٫۹ درصد) نادیده گرفته شود الگوریتم پیشنهادی پس از ۱۰۰ دور اجرا نتایج مطلوبی (در هر دو شاخص هزینه پایش و نرخ پوشش شبکه) در فرآیند پایش جمعی سیار تولید کند.

### ۳-۸. بررسی تأثیر تعداد وظایف پایشی

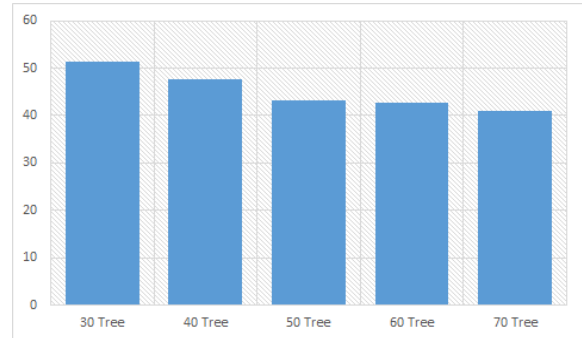
در این آزمایش، روش پیشنهادی به ازای تعداد مختلفی از وظایف پایشی (۲۰، ۳۰ و ۴۰ وظیفه) اجرا شده و یافته‌ها با رویکرد [۲۴] و رویکرد مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی جنگل مقایسه گردید. در این آزمایش تعداد کاربران ۴۰ در نظر گرفته شده است. در شاخص پوشش شبکه یافته‌ها نشان داد که در حالت‌های مختلف همواره نرخ پوشش شبکه با روش پیشنهادی نسبت به رویکرد CMST و FOAMCS بهتر است. شکل (۱۲) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۲). نرخ پوشش شبکه به ازای تعداد مختلفی از وظایف پایشی

بررسی یافته‌ها در این آزمایش نشان می‌دهد؛ که روش پیشنهادی به صورت میانگین (نتایج در تمامی حالت‌ها) ۲۷ درصد نسبت به رویکرد CMST و ۶ درصد نسبت به رویکرد FOAMCS

دیگر نتایج نیز برای شاخص هزینه پایش نشان می‌دهد که با افزایش تعداد کل جمعیت درختان جنگل، هزینه پایش وظایف (تجمعی و به ازای تمامی وظایف) کاهش پیدا می‌کند. به نحوی که با ۷۰ درخت هزینه پایش شبکه در کمترین مقدار خود و برابر با ۴۱ دلار بوده است. شکل (۹) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.

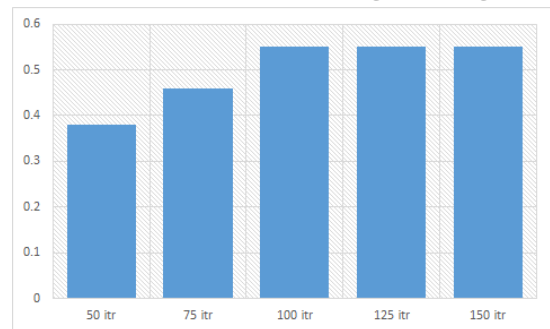


شکل (۹). بررسی هزینه پایش به ازای تعداد مختلفی از جمعیت اولیه

با توجه به اینکه افزایش تعداد جمعیت اولیه، پیچیدگی محاسباتی روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری را افزایش می‌دهد اگر اختلاف هزینه پایش ۱/۸ دلار با بهترین حالت الگوریتم (تقریباً ۴ درصد) نادیده گرفته شود الگوریتم پیشنهادی با ۶۰ درخت می‌تواند نتایج مطلوبی (در هر دو شاخص هزینه پایش و نرخ پوشش شبکه) در فرآیند پایش جمعی سیار تولید کند.

### ۲-۸. بررسی تأثیر دفعات اجرای الگوریتم

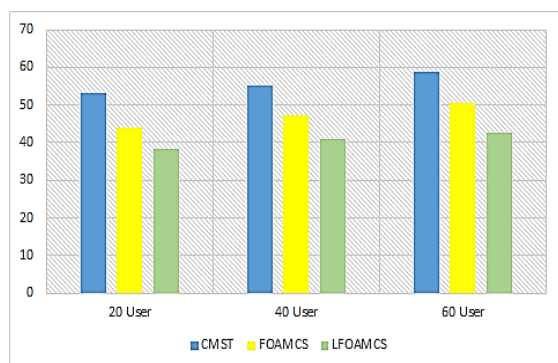
در این گام، کارایی روش پیشنهادی مقاله به ازای دفعات مختلفی از اجرا در شاخص هزینه پایش و نرخ پوشش شبکه مورد آزمایش قرار گرفته است. برای این منظور تعداد کاربران ۴۰، تعداد وظایف ۴۰ و تعداد درختان جنگل ۶۰ در نظر گرفته شد. بررسی نتایج در شاخص ارزیابی پوشش نشان می‌دهد که با دفعات اجرای الگوریتم، نرخ پوشش شبکه (میانگین و به ازای تمامی وظایف) نیز بهتر می‌شود. اما نتایج برای ۱۰۰ دور و بالاتر تغییر چندانی ندارد و به نحوی که تقریباً برابر با ۰٫۵۵ می‌باشد. شکل (۱۱) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰). بررسی نرخ پوشش به ازای تعداد دفعات مختلف اجرای الگوریتم

پیشنهادی به صورت میانگین (نتایج در تمامی حالت‌ها) ۲۵ درصد نسبت به رویکرد CMST و ۷ درصد نسبت به رویکرد FOAMCS نرخ پوشش شبکه را بهبود داده است.

در دیگر بررسی نیز کارایی روش‌ها در شاخص هزینه پایش مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در این آزمایش نیز روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پایه، عملکرد مطلوب‌تری داشته و هزینه به صورت تجمعی (به ازای تمامی وظایف) هزینه پایش کمتری را بین کاربران توزیع می‌کند. در این بررسی به ازای تمامی روش‌ها با افزایش تعداد کاربران هزینه‌های پایش نیز افزایش می‌یابد و این امر گویای آن است که باید در انتخاب بهینه کاربران دقت شود. شکل (۱۵) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۵). هزینه پایش به ازای تعداد مختلفی از کاربران

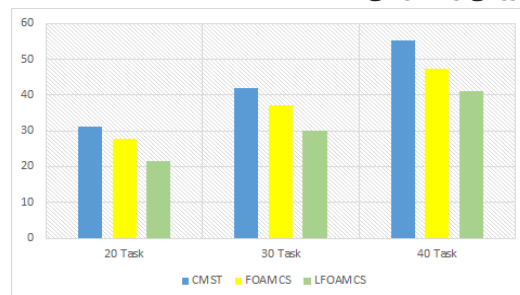
بررسی یافته‌ها در این آزمایش نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به صورت میانگین (نتایج در تمامی حالت‌ها) ۲۷ درصد نسبت به رویکرد CMST و ۱۴ درصد نسبت به رویکرد FOAMCS هزینه پایش را بهبود داده است.

## ۹. نتیجه‌گیری

در مسیر طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های اینترنت اشیا چالش‌های متعددی وجود دارد، دستگاه‌های اینترنت اشیا دائماً در حال ایجاد داده هستند و در اغلب موارد تحلیل و پردازش داده‌ها باید سریع صورت پذیرد. در مواردی که سامانه‌های موردنظر در اینترنت اشیا به زمان و تأخیر حساسیت بالایی دارند از پردازش مه استفاده می‌گردد. معماری مه به برنامه‌های کاربردی یکسانی اجازه خواهد داد که در هر مکانی اجرا شوند، و نیاز به برنامه‌های کاربردی که تنها مختص ابر، تنها مختص نقاط انتهایی، یا فقط برای وسایل لبه‌ای هستند را کاهش می‌دهد. مه برنامه‌های کاربردی از تأمین‌کنندگان مختلف را ممکن می‌سازد که بر روی بستر فیزیکی یکسانی بدون تداخل متقابل با یکدیگر اجرا شوند. مه در واقع یک چارچوب مدیریت چرخه‌ی حیات را به صورت مشترک برای تمام برنامه‌های کاربردی ارائه می‌دهد و این کار را

نرخ پوشش شبکه را بهبود داده است.

در دیگر بررسی نیز کارایی روش‌ها در شاخص هزینه پایش مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در این آزمایش نیز روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پایه، عملکرد مطلوب‌تری داشته و هزینه به صورت تجمعی (به ازای تمامی وظایف) هزینه پایش کمتری را بین کاربران توزیع می‌کند. شکل (۱۳) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.

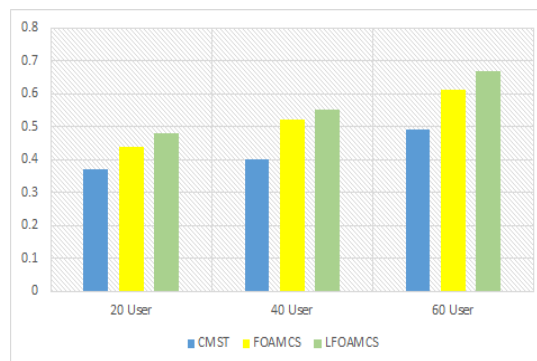


شکل (۱۳). هزینه پایش شبکه به ازای هر پایش کننده

بررسی یافته‌ها در این آزمایش نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به صورت میانگین (نتایج در تمامی حالت‌ها) ۲۸ درصد نسبت به رویکرد CMST و ۱۸ درصد نسبت به رویکرد FOAMCS هزینه پایش را بهبود داده است.

## ۴-۸. بررسی تأثیر تعداد کاربران

در این آزمایش، روش پیشنهادی به ازای تعداد مختلفی از کاربران مشارکت‌کننده در پایش (۲۰، ۴۰ و ۶۰ کاربر) اجرا شده و یافته‌ها با رویکرد [۲۴] و رویکرد مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی جنگل مقایسه گردید. در این آزمایش تعداد وظایف پایشی ۴۰ در نظر گرفته شده است. در شاخص پوشش شبکه یافته‌ها نشان داد که در حالت‌های مختلف همواره نرخ پوشش شبکه با روش پیشنهادی نسبت به رویکرد CMST و FOAMCS بهتر است. در این بررسی با افزایش تعداد کاربران، نرخ پوشش نیز افزایش پیدا کرده است؛ به نحوی که شبکه با ۶۰ کاربر بالاترین نرخ پوشش را داشته است. شکل (۱۴) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴). نرخ پوشش شبکه به ازای تعداد مختلفی از کاربران

بررسی یافته‌ها در این آزمایش نشان می‌دهد که روش

- sensing systems," *Computer Networks*, vol. 115, pp. 109-100, 2017.
- [2] T. Luo, J. Huang, S. S. Kanhere, J. Zhang, and S. K. Das, "Improving IoT data quality in mobile crowd sensing: A cross validation approach," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 5651-5664, 2019.
- [3] H. Xiong, D. Zhang, L. Wang, J. P. Gibson, and J. Zhu, "EEMC: Enabling energy-efficient mobile crowdsensing with anonymous participants," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, vol. 6, no. 3, p. 39, 2015
- [4] M. Kaur and R. Aron, "Energy-aware load balancing in fog cloud computing," *Materials Today: Proceedings*, 2020
- [5] P. Hu, S. Dhelim, H. Ning, and T. Qiu, "Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues," *Journal of network and computer applications*, vol. 98, pp. 27-42, 2017
- [6] H. Atlam, R. Walters, and G. Wills, "Fog computing and the Internet of Things: a review," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 2, no. 2, p. 10, 2018
- [7] X. Wang et al., "A city-wide real-time traffic management system: Enabling crowdsensing in social Internet of vehicles," *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 9, pp. 19-25, 2018.
- [8] H. Xiong, D. Zhang, G. Chen, L. Wang, and V. Gauthier, "Crowdtasker: Maximizing coverage quality in piggyback crowdsensing under budget constraint," in *2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 2015, pp. 55-62: IEEE.
- [9] O. Yaghamzadeh, F. Cicoira, D. A. Bernardis, S. Y. Yang, Y. Bonnassieux, and G. G. Malliaras, "Optimization of organic electrochemical transistors for sensor applications," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, vol. 49, no. 1, pp. 34-39, 2011
- [10] T. Li, A. Liu, and C. Huang, "A similarity scenario-based recommendation model with small disturbances for unknown items in social networks," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 9251-9272, 2016
- [11] N. Agarwal, S. Chauhan, A. K. Kar, and S. Goyal, "Role of human behaviour attributes in mobile crowd sensing: a systematic literature review," *Digital Policy, Regulation and Governance*, vol. 19, no. 2, pp. 168-185, 2017
- [12] J. Wang, C. Hu, and A. Liu, "Comprehensive optimization of energy consumption and delay performance for green communication in Internet of Things," *Mobile Information Systems*, vol. 2017, 2017
- [13] A. Shahidinejad, "A Mutual Authentication Protocol for IoT Users in Cloud Environment," *Journal of Electrical & Cyber Defence*, Vol. 9, No. 2, 2021, Serial No. 34
- [14] S. B. Azmy, N. Zorba, and H. S. Hassanein, "Quality of coverage: A novel approach to coverage for mobile crowd sensing systems," in *2018 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)*, 2018, pp. 1-5: IEEE.
- [15] J. Yu, M. Xiao, G. Gao, and C. Hu, "Minimum cost spatial-temporal task allocation in mobile crowdsensing," in *International Conference on Wireless Algorithms, Systems, and Applications*, 2016, pp. 262-271: Springer.
- [16] J. Chen and J. Yang, "Maximizing coverage quality with budget constrained in mobile crowd-sensing network for environmental monitoring applications," *Sensors*, vol. 19, no. 10, p. 2399, 2019
- [17] H. Ko, S. Pack, and V. C. Leung, "Coverage-guaranteed and energy-efficient participant selection strategy in mobile crowdsensing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 3202-3211, 2018
- [18] L. Wang, Z. Yu, B. Guo, F. Yi, and F. Xiong, "Mobile crowd sensing task optimal allocation: A mobility pattern matching perspective," *Frontiers of Computer Science*, vol. 12, no. 2, pp. 231-244, 2018
- [19] S. Song, Z. Liu, Z. Li, T. Xing, and D. Fang, "Coverage-oriented task assignment for mobile crowdsensing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 8, pp. 7407-7418, 2020

با ارائه‌ی قابلیت‌هایی برای ایجاد، پیکربندی، ارسال، فعال‌سازی و غیر فعال‌سازی، اضافه و حذف کردن، و به‌روزرسانی برنامه‌های کاربردی انجام می‌دهد. در محیط اینترنت اشیا کاربران با تجهیزات هوشمند می‌توانند وظایف را پایش کرده و در انجام آن‌ها مشارکت کنند. بنابراین، دستگاه‌های هوشمند (کاربران) بخش مهمی از فرآیند رایانش مه و پایش جمعی خواهند بود. در پایش جمعی، هر کاربر می‌تواند داده‌های محیط اطراف خود را در شبکه‌های رایانش مه حس کند. در پایش جمعی نرخ پوشش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این قبیل سیستم‌ها برای بهبود کیفیت جمع‌آوری داده‌ها، پاداش‌های کاربر باید به‌منظور ارتقاء مشارکت کاربران ارتقا یابد. اما اختصاص هزینه بدون برنامه‌ریزی به کاربران، می‌تواند هزینه‌های پلت فرم را افزایش دهد و قابلیت‌های برنامه‌های کاربردی را تهدید کند. بنابراین تعیین سیاست پاداش منطقی برای کاربران برای به حداقل رساندن هزینه‌ها، جمع‌آوری داده‌ها بهینه‌سازی و ارائه خدمات به مشتریان با حداکثر کیفیت خدمات چالش مهم است. در این مقاله یک مدل مبتنی بر پایش جمعی سیار برای پایش وظایف در اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه در نظر گرفته شده است تا پاداش کاربران بهینه تخصیص یابد. برای این منظور بهبود نرخ پوشش و پاداش کاربران (هزینه پایش) در فرآیند پایش جمعی سیار به عنوان یک مساله بهینه‌سازی در نظر گرفته شد و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جنگل آشوبگون تلاش گردید راه‌حلی بهینه برای آن ارائه گردد.

روش پیشنهادی در محیط نرم‌افزاری متلب شبیه‌سازی شده و برای سنجش کارایی آن از دو شاخص هزینه و پوشش استفاده گردید. آزمایش‌ها به ازای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ وظیفه پایشی و ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کاربر بررسی شد و یافته‌ها نشان داد که روش پیشنهادی مقاله توانسته است در هر دو شاخص نرخ پوشش و هزینه پایش نسبت به طرح‌های پایه بهتر عمل کند.

## ۱۰. کارهای آتی

در روش پیشنهادی برای بهبود پایش جمعی سیار از متریک‌های نرخ پوشش و هزینه پایش استفاده شد. این در حالی است که مقوله انرژی هم یک متریک تأثیرگذار در فرآیندهای پایش جمعی سیار می‌باشد. در این فرآیند فاصله کاربران از مرکز داده بر مصرف انرژی تأثیر مستقیم دارد. بر همین اساس پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی شاخص انرژی مصرفی نیز در پایش جمعی سیار مورد بررسی قرار گیرد.

## ۱۱. مراجع

- [1] J. Wang, J. Tang, G. Xue, and D. Yang, "Towards energy-efficient task scheduling on smartphones in mobile crowd

- [20] J. Wang, L. Wang, Y. Wang, D. Zhang, and L. Kong, "Task allocation in mobile crowd sensing: State-of-the-art and future opportunities," *IEEE Internet of Things journal*, vol. 5, no. 5, pp. 3747-3757, 2018
- [21] C. Wang, C. Li, C. Qin, W. Wang, and X. Li, "Maximizing spatial-temporal coverage in mobile crowd-sensing based on public transports with predictable trajectory," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, no. 8, p. 155014551879351, 2018
- [22] M. Zhang et al., "Quality-aware sensing coverage in budget-constrained mobile crowdsensing networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 9, pp. 7698-7707, 2015
- [23] R. F. El Khatib, N. Zorba, and H. S. Hassanein, "Cost-efficient multi-tasking in coverage-aware mobile crowd sensing," in *14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2018, pp. 594-599: IEEE.
- [24] T. Li, Y. Liu, L. Gao, and A. Liu, "A cooperative-based model for smart-sensing tasks in fog computing," *IEEE access*, vol. 5, pp. 21296-21311, 2017

- Regulation and Governance, vol. 19, no. 2, pp. 168-185, 2017
- [12] J. Wang, C. Hu, and A. Liu, "Comprehensive optimization of energy consumption and delay performance for green communication in Internet of Things," *Mobile Information Systems*, vol. 2017, 2017
- [13] A. Shahidinejad, "A Mutual Authentication Protocol for IoT Users in Cloud Environment," *Journal of Electronical & Cyber Defence*, Vol. 9, No. 2, 2021, Serial No. 34
- [14] S. B. Azmy, N. Zorba, and H. S. Hassanein, "Quality of coverage: A novel approach to coverage for mobile crowd sensing systems," in *2018 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)*, 2018, pp. 1-5: IEEE.
- [15] J. Yu, M. Xiao, G. Gao, and C. Hu, "Minimum cost spatial-temporal task allocation in mobile crowdsensing," in *International Conference on Wireless Algorithms, Systems, and Applications*, 2016, pp. 262-271: Springer.
- [16] J. Chen and J. Yang, "Maximizing coverage quality with budget constrained in mobile crowd-sensing network for environmental monitoring applications," *Sensors*, vol. 19, no. 10, p. 2399, 2019
- [17] H. Ko, S. Pack, and V. C. Leung, "Coverage-guaranteed and energy-efficient participant selection strategy in mobile crowdsensing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 3202-3211, 2018
- [18] L. Wang, Z. Yu, B. Guo, F. Yi, and F. Xiong, "Mobile crowd sensing task optimal allocation: A mobility pattern matching perspective," *Frontiers of Computer Science*, vol. 12, no. 2, pp. 231-244, 2018
- [19] S. Song, Z. Liu, Z. Li, T. Xing, and D. Fang, "Coverage-oriented task assignment for mobile crowdsensing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 8, pp. 7407-7418, 2020
- [20] J. Wang, L. Wang, Y. Wang, D. Zhang, and L. Kong, "Task allocation in mobile crowd sensing: State-of-the-art and future opportunities," *IEEE Internet of Things journal*, vol. 5, no. 5, pp. 3747-3757, 2018
- [21] C. Wang, C. Li, C. Qin, W. Wang, and X. Li, "Maximizing spatial-temporal coverage in mobile crowd-sensing based on public transports with predictable trajectory," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, no. 8, p. 155014551879351, 2018
- [22] M. Zhang et al., "Quality-aware sensing coverage in budget-constrained mobile
- J. Wang, J. Tang, G. Xue, and D. Yang, "Towards energy-efficient task scheduling on smartphones in mobile crowd sensing systems," *Computer Networks*, vol. 115, pp. 109-100, 2017.
- [2] T. Luo, J. Huang, S. S. Kanhere, J. Zhang, and S. K. Das, "Improving IoT data quality in mobile crowd sensing: A cross validation approach," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 5651-5664, 2019.
- [3] H. Xiong, D. Zhang, L. Wang, J. P. Gibson, and J. Zhu, "EEMC: Enabling energy-efficient mobile crowdsensing with anonymous participants," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, vol. 6, no. 3, p. 39, 2015
- [4] M. Kaur and R. Aron, "Energy-aware load balancing in fog cloud computing," *Materials Today: Proceedings*, 2020
- [5] P. Hu, S. Dhelim, H. Ning, and T. Qiu, "Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues," *Journal of network and computer applications*, vol. 98, pp. 27-42, 2017
- [6] H. Atlam, R. Walters, and G. Wills, "Fog computing and the Internet of Things: a review," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 2, no. 2, p. 10, 2018
- [7] X. Wang et al., "A city-wide real-time traffic management system: Enabling crowdsensing in social Internet of vehicles," *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 9, pp. 19-25, 2018.
- [8] H. Xiong, D. Zhang, G. Chen, L. Wang, and V. Gauthier, "Crowdtasker: Maximizing coverage quality in piggyback crowdsensing under budget constraint," in *2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 2015, pp. 55-62: IEEE.
- [9] O. Yaghmazadeh, F. Cicoira, D. A. Bernards, S. Y. Yang, Y. Bonnassieux, and G. G. Malliaras, "Optimization of organic electrochemical transistors for sensor applications," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, vol. 49, no. 1, pp. 34-39, 2011
- [10] T. Li, A. Liu, and C. Huang, "A similarity scenario-based recommendation model with small disturbances for unknown items in social networks," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 9251-9272, 2016
- [11] N. Agarwal, S. Chauhan, A. K. Kar, and S. Goyal, "Role of human behaviour attributes in mobile crowd sensing: a systematic literature review," *Digital Policy*,

- . 2012
- [28] A. Tharwat and A. E. Hassanien, "Chaotic antlion algorithm for parameter optimization of support vector machine," *Applied Intelligence*, vol. 48, no. 3, pp. 670-686, .2018
- [29] M. Ghaemi, Feizi Derakhshi, M.R, "Forest optimization Algorithm," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 15, pp. 6676-6687, .2014
- crowdsensing networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 9, pp -7698-7707, .2015
- [23] R. F. El Khatib, N. Zorba, and H. S. Hassanein, "Cost-efficient multi-tasking in coverage-aware mobile crowd sensing," in *14th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2018, pp. 594-599: IEEE.
- [24] T. Li, Y. Liu, L. Gao, and A. Liu, "A cooperative-based model for smart-sensing tasks in fog computing," *IEEE access*, vol. 5, pp. 21296-21311, .2017
- [25] B. Guo, C. Chen, D. Zhang, Z. Yu, and A. Chin, "Mobile crowd sensing and computing: when participatory sensing meets participatory social media," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 2, pp. 131-137, .2016
- [26] L. Luceri et al., "VIVO: A secure, privacy-preserving, and real-time crowd-sensing framework for the Internet of Things," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. ۴۹, pp. 126-138, .2018
- [27] J. Cai, Q. Li, L. Li, H. Peng, and Y. Yang, "A fuzzy adaptive chaotic ant swarm optimization for economic dispatch," *International journal of electrical power & energy systems*, vol. 34, no. 1, pp. 154-160,