

بهینه‌سازی موثر پوشش شبکه‌های حسگر بی‌سیم با هوش مصنوعی و الگوریتم Polar Fox فراابتکاری

Hadidastan4@gmail.com هادی محمد مرادپور¹

musa.mojarad@iau.ac.ir موسی مجرد²

^{1,2} گروه کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

چکیده

مقاله حاضر به ارزیابی و بهبود نرخ پوشش استقرار گرہ‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم بهبود یافته Polar Fox می‌پردازد. این الگوریتم با ترکیب استراتژی‌های تنظیم وزن اینرسی پویا و رهبری تصادفی چند نخ‌بگان، توانسته است به‌طور مؤثری پوشش شبکه را در نواحی تحت نظارت بهبود بخشد و هدررفت منابع را کاهش دهد. در این پژوهش، عملکرد الگوریتم Polar Fox با استفاده از یازده تابع بنچمارک و توابع تست 2014CEC ارزیابی و با سایر الگوریتم‌ها مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ابعاد تابع هدف، پیچیدگی آن افزایش می‌یابد، اما میانگین حل الگوریتم Polar Fox در ابعاد مختلف ثابت باقی می‌ماند. این الگوریتم به‌ویژه در توابعی مانند 1f و 2f که تغییرات بالاتری دارند، بهینه‌سازی بهتری را در ابعاد بزرگ‌تر انجام می‌دهد. از سوی دیگر، توابعی مانند 7f و 9f که روند یکنواخت‌تری دارند، پایداری بیشتری را در ابعاد بالاتر نشان می‌دهند. در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها، Polar Fox توانسته است در توابع یکنواخت عملکرد بهتری از خود نشان دهد و به‌طور مؤثری از بهینه‌های محلی خارج شود. نتایج نشان می‌دهند که Polar Fox در شبکه با ۳۵ گرہ به نرخ پوشش ۹۰,۲٪ و با ۵۵ گرہ به نرخ پوشش ۹۷,۲٪ دست یافته است. در آزمایش‌های مختلف، Polar Fox با دستیابی به نرخ پوشش ۹۶,۷۲٪ بهترین عملکرد را در میان الگوریتم‌های مختلف از خود نشان داد. به‌طور کلی، این الگوریتم با توانایی بالا در بهینه‌سازی پوشش شبکه، گزینه‌ای مناسب برای استفاده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم است.

کلمات کلیدی: Polar Fox، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، بهینه‌سازی پوشش، اینرسی پویا.

مقدمه

هوش مصنوعی [1-2] نقش کلیدی در بهینه‌سازی شبکه‌های حسگر بی‌سیم [3-6] دارد؛ به‌ویژه در انتخاب سرخوشه‌ها، پوشش شبکه و مدیریت مصرف انرژی. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تکاملی به شناسایی الگوهای پیچیده، تصمیم‌گیری هوشمندانه و بهبود عملکرد شبکه کمک می‌کند. این الگوریتم‌ها با تحلیل داده‌های محیطی، انتخاب دینامیک گرہ‌ها و کاهش مصرف انرژی، موجب افزایش طول عمر و پایداری شبکه می‌شوند. اهمیت پوشش بهینه نیز در جلوگیری از نواقص عملکرد، حفظ کیفیت داده‌ها و مدیریت بهتر منابع انرژی است که در کاربردهای حیاتی مانند نظارت زیست‌محیطی و سیستم‌های امنیتی نمود دارد. در این راستا، به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری مانند GWO، GA، BOA و Polar Fox برای بهینه‌سازی پوشش WSN اهمیت دارد. این الگوریتم‌ها با الهام از طبیعت و قوانین فیزیکی، در مواجهه با مسائل پیچیده، از قابلیت جستجوی گسترده، تطبیق‌پذیری و سرعت بالا برخوردارند. به‌ویژه الگوریتم Polar Fox با ویژگی‌هایی چون جستجوی محلی و جهانی و توانایی حل مسائل غیرخطی و چندهدفه، در بهینه‌سازی موقعیت گرہ‌ها و سرخوشه‌ها مؤثر واقع می‌شود. در حوزه‌هایی چون شهرهای هوشمند، خانه‌های هوشمند، مراقبت‌های پزشکی و صنعتی، WSN و IoT به‌عنوان فناوری‌های پشتیبان، با بهره‌گیری از این الگوریتم‌ها به بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و ارتقاء خدمات کمک می‌کنند.

کارهای گذشته

در راستای روش پیشنهادی، مطالعات پیشین متعددی انجام شده‌اند که هر یک با بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری و تکنیک‌های نوین یادگیری ماشین به بهینه‌سازی پوشش، استقرار گرہ‌ها، مسیریابی، و مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته‌اند. مقاله

[7] بر بهینه‌سازی مکان ایستگاه‌های پایه تمرکز دارد و مقاله [8] با ترکیب ARO و PSO پوشش شبکه را بهبود می‌بخشد. مقاله [9] ترکیب یادگیری تقویتی و الگوریتم‌های فراابتکاری را برای استقرار گره‌ها ارائه می‌دهد، و مقاله [10] از Q-learning برای بهینه‌سازی پوشش بهره می‌برد. در مقاله [11] ترکیب الگوریتم آب‌پاش و ACO به مسیریابی مؤثرتر کمک می‌کند و مقاله [12] از الگوریتم شکار و طعمه بهبود یافته برای افزایش پوشش استفاده می‌کند. مقاله [13] با اصلاح الگوریتم خرنده به بهبود توزیع حسگرها می‌پردازد و مقاله [14] با بهینه‌سازی خوشه‌بندی QoS را ارتقا می‌دهد. مقاله [15] نسخه بهبود یافته‌ای از GWO برای کاهش نقاط کور ارائه می‌دهد و مقاله‌های [16] و [18] الگوریتم ARSH-FATI را برای افزایش عمر شبکه و کاهش مصرف انرژی معرفی می‌کنند. مقاله [17] نیز با استفاده از تکنیک‌های متاهوریستیک، عمر مفید شبکه را افزایش داده، و مقاله [19] به بررسی جامع الگوریتم‌های طبیعت‌الهام در بهینه‌سازی چندهدفه WSN می‌پردازد.

مدل پوشش شبکه حسگر بی‌سیم (WSN)

فرض کنید که شبکه حسگر بی‌سیم (WSN) تعداد N حسگر هم‌نوع را به صورت تصادفی در یک محیط دوبعدی با مساحت $M = S_1 \times S_2$ مستقر می‌کند. هر حسگر شعاع حسگری R_s و شعاع ارتباطی R_c یکسانی دارد. مجموعه حسگرهای بی‌سیم در موقعیت‌های مختلفی به صورت $L = \{l_1, l_2, \dots, l_N\}$ قرار گرفته‌اند و مختصات حسگر i به صورت $(x_i, y_i), i \in \{1, 2, \dots, N\}$ تعریف شده است. برای محاسبه بهتر پوشش حسگرها، صفحه دوبعدی M به نقاط شبکه‌ای $m \times n$ تقسیم می‌شود که باید تحت پوشش قرار گیرند. مرکز هندسی هر شبکه به عنوان نقطه هدف پوشش $k_j = (x_j, y_j), j \in \{1, 2, \dots, m \times n\}$ در نظر گرفته می‌شود. اگر فاصله بین نقطه شبکه k_j و هر حسگر در منطقه مورد نظر کمتر یا مساوی شعاع حسگری R_s باشد، آن نقطه به عنوان تحت پوشش کامل WSN تلقی می‌شود.

فاصله اقلیدسی بین حسگر i و نقطه شبکه k_j به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d(l_i, k_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

احتمال پوشش نقطه شبکه k_j توسط حسگر i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{cov}(l_i, k_j) = \begin{cases} 1 & d(l_i, k_j) \leq R_s \\ \exp(\Delta) & R_s - R_e < d(l_i, k_j) < R_s \\ 0 & R_s - R_e \geq d(l_i, k_j) \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta = -\lambda \frac{d(l_i, k_j) - R_s - R_e}{R_s - d(l_i, k_j)}$$

که در آن R_e شعاع خطای ادراکی و λ ضریب کاهش ادراک است. ضریب Δ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P(L, k_j) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{cov}(l_i, k_j)) \quad (2)$$

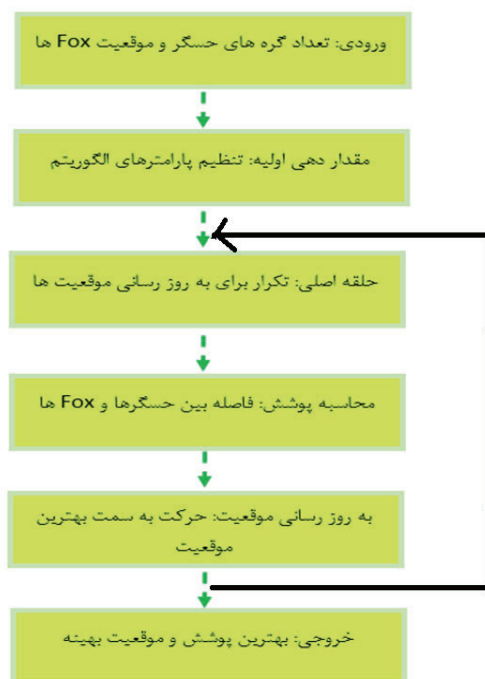
در این محیط، هر نقطه از شبکه می‌تواند همزمان توسط چند حسگر پوشش داده شود. مدل ریاضی احتمال پوشش مشترک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_{cov} = \frac{\sum_{j=1}^{m \times n} P(L, k_j)}{m \times n} \quad (3)$$

این مدل امکان ارزیابی دقیق پوشش شبکه حسگر بی‌سیم را با در نظر گرفتن محدودیت‌های فیزیکی و همپوشانی حسگرها فراهم می‌کند و به بهینه‌سازی و افزایش کیفیت پوشش محیط کمک می‌کند.

4-فلوچارت و شبه کد روش پیشنهادی

فلوچارت و شبه کد روش پیشنهادی و توضیح مراحل الگوریتم پیشنهادی در ادامه آمده است:



شکل 1. فلوچارت روش پیشنهادی

```

nSensors=100; nCoverage=10; maxIter=100; popSize=50; sensorPos=rand(nSensors,2);
foxPos=rand(popSize,nCoverage,2); [bestCov,bestPos]=deal(Inf,[]);
for iter=1:maxIter
    for i=1:popSize, cov=0; for j=1:nSensors, for k=1:nCoverage, d=norm(sensorPos(j,:)-
squeeze(foxPos(i,k,:))); if d<5, cov=cov+1; end, end, end
    if cov<bestCov, bestCov=cov; bestPos=squeeze(foxPos(i,:)); end, end
    for i=1:popSize, for j=1:nCoverage, a=rand(); foxPos(i,j,:)=squeeze(foxPos(i,j,:))+a(bestPos(j,:)-
squeeze(foxPos(i,j,:))); end, end
    disp(['Iter: ',num2str(iter),' Best:',num2str(bestCov)]);
end
    
```

شکل 2. شبه کد روش پیشنهادی

الگوریتم Polar Fox برای بهینه سازی پوشش در شبکه های حسگر بی سیم شامل مراحل مختلفی است که از مقداردهی اولیه [Initial Setup] با تعریف پارامترهایی مانند تعداد گره ها، پوشش ها، تکرارها و جمعیت آغاز می شود؛ سپس در حلقه اصلی [Main Loop]، پوشش هر Fox محاسبه شده و در صورت یافتن پوشش بهتر، مقدار و موقعیت به روزرسانی می شود. پوشش شبکه [Coverage Evaluation] با بررسی فاصله هر Fox از گره های حسگر و مقایسه با شعاع پوشش ارزیابی می شود. در مرحله به روزرسانی [Position Update]، هر Fox به صورت تصادفی به سمت بهترین موقعیت حرکت می کند تا کیفیت پوشش بهبود یابد. در پایان هر تکرار [Progress Display]، نتایج فعلی نمایش داده شده و پس از پایان کل فرآیند [Termination]، بهترین موقعیت و پوشش نهایی به دست

می‌آید. این الگوریتم با تلفیق جستجوی تصادفی و گرایش به بهترین پاسخ‌ها، برای بهینه‌سازی پوشش شبکه‌های حسگر بی‌سیم بسیار مؤثر عمل می‌کند.

5- استراتژی تنظیم وزن اینرسی پویا

یکی از معایب الگوریتم‌های فراابتکاری، دشواری در برقراری تعادل مؤثر بین توانایی‌های جستجوی سراسری و بهره‌برداری محلی الگوریتم است [20]. به‌منظور بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی، در این پایان‌نامه از یک عامل وزن اینرسی غیرخطی مبتنی بر ترکیب تابع کسینوس و نمایی استفاده شده است که از تعادل پویا وزن اینرسی برای بهبود توانایی جستجوی سراسری و محلی در منبع [21] الهام گرفته شده است. مدل ریاضی وزن اینرسی دینامیک غیرخطی w در فرمول (6) نشان داده شده است:

$$w(t) = \cos\left(\frac{\pi t}{2T_{\max}}\right)^{e\left(\frac{-\pi t}{2T_{\max}}\right)} \quad (6)$$

در اینجا، t تعداد فعلی تکرارها است و $T_{\max}$ حداکثر تعداد تکرارها می‌باشد. عامل وزن اینرسی به الگوریتم POLAR FOX وارد شده است، و فرمول به‌روزرسانی موقعیت در مراحل اولیه تکرار الگوریتم به‌صورت زیر است:

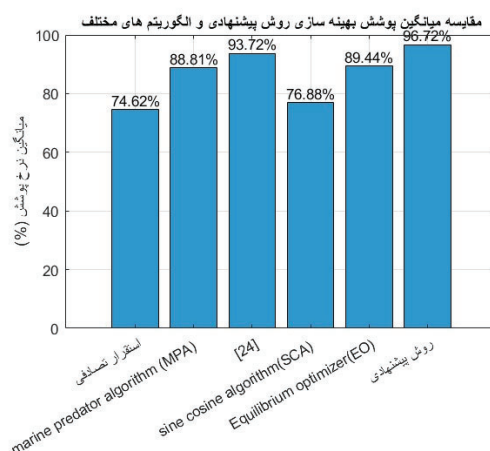
$$\text{While } t < \frac{1}{3} T_{\max} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\begin{cases} \text{stepsize}_i = (R_b \otimes (\text{Elite}_i - R_b \otimes \text{prey}_i)) \\ \text{prey}_i = \text{prey}_i + w \times \text{stepsize}_i & \text{if } i \leq n/2 \\ \text{prey}_i = \text{prey}_i + P \times R \otimes \text{stepsize}_i & \text{if } i > n/2 \end{cases} \quad (8)$$

این استراتژی به الگوریتم کمک می‌کند تا در مراحل اولیه جستجو بهتر کاوش کرده و در مراحل بعدی با دقت بیشتری بهره‌برداری کند، که بهبود عملکرد و همگرایی سریع‌تر الگوریتم را به دنبال دارد.

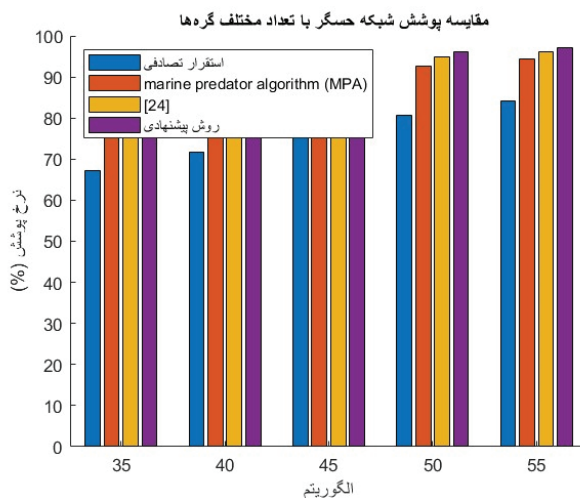
مقایسه با روش‌های دیگر

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی POLAR FOX، این الگوریتم با روش‌های پیشرفته‌ای مانند [22] ODMPA، LEO- [23] MPA و [24] در حل مسائل بهینه‌سازی مقایسه شده است. آزمایش‌ها شامل ۱۱ تابع بنچمارک با جمعیت $[30N =]$ ، بعد جستجو $[30d =]$ و تکرار $[500T_{\max} =]$ هستند که هر الگوریتم ۳۰ بار به‌طور مستقل اجرا شده است. همچنین، برای ارزیابی پوشش شبکه حسگر بی‌سیم (WSN)، الگوریتم‌های EO، SCA، MPA و POLAR FOX شبیه‌سازی شده‌اند.



شکل 3. مقایسه میانگین پوشش بهینه‌سازی روش پیشنهادی و الگوریتم‌های مختلف

در شکل 3 نتایج مقایسه‌ای نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با نرخ پوشش $[96.72\%]$ از سایر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری دارد. روش‌های دیگر مانند استقرار تصادفی $[74.62\%]$ ، $[76.88\%]$ SCA، $[88.81\%]$ MPA، EO $[89.44\%]$ و روش [24] با $[93.72\%]$ پوشش، همگی نرخ پایین‌تری نسبت به POLAR FOX داشته‌اند. بنابراین، POLAR FOX به عنوان یک روش مؤثر در بهینه‌سازی پوشش شبکه‌های حسگر بی‌سیم شناخته می‌شود.



شکل 4. مقایسه پوشش شبکه حسگر با تعداد مختلف گره‌ها

در شکل 4 مقایسه روش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در تمامی شرایط بهترین نرخ پوشش را ارائه می‌دهد. در حالی که استقرار تصادفی با نرخ پوشش بین $[67.1\%]$ تا $[84.2\%]$ ضعیف‌ترین عملکرد را دارد، الگوریتم MPA نسبت به آن بهبود یافته و نرخ پوشش را تا $[94.4\%]$ برای ۵۵ گره افزایش می‌دهد. الگوریتم IMPA عملکرد بهتری از MPA داشته و با نرخ پوشش $[88.3\%]$ برای ۳۵ گره و $[96.1\%]$ برای ۵۵ گره به روش پیشنهادی نزدیک می‌شود. در نهایت، روش پیشنهادی با دستیابی به نرخ پوشش $[90.2\%]$ برای ۳۵ گره و $[97.2\%]$ برای ۵۵ گره، بالاترین میزان پوشش را در همه سناریوها دارد و کارآمدترین روش در بهینه‌سازی پوشش شبکه‌های حسگر بی‌سیم محسوب می‌شود.

مقایسه با روش‌های مشابه

برای برجسته‌سازی رقابت‌پذیری POLAR FOX در حل مشکل پوشش WSN، جدول 1 نتایج مقایسه POLAR FOX با دیگر الگوریتم‌ها در مراجع شامل [25] IGWO، [26] IWO، [26] LRDE_IWO، [27] LGWO و [27] VFTGWO و [24] را نمایش می‌دهد.

جدول 1. مقایسه میانگین پوشش WSN روش پیشنهادی با روش‌های دیگر

روش	میانگین نرخ پوشش
VFTGWO[27]	0.8546
[24]	0.9372
LRDE_IWO[26]	0.9399
IWO[26]	0.904
LGWO[27]	0.8153
IGWO[25]	0.9365
روش پیشنهادی	0.9549

مقایسه میانگین نرخ پوشش الگوریتم‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با مقدار [0.9549] بهترین عملکرد را در میان تمامی روش‌ها دارد. در مقابل، LGWO [27] و VFTGWO [27] با نرخ‌های [0.8153] و [0.8546] ضعیف‌ترین عملکرد را ارائه داده‌اند. روش‌های IWO [26] با [0.904]، [24] با [0.9372]، IGWO [25] با [0.9365] و LRDE_IWO [26] با [0.9399] عملکرد نسبتاً مناسبی دارند، اما همچنان از روش پیشنهادی عقب‌تر هستند. این تحلیل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در بهینه‌سازی پوشش شبکه حسگر بی‌سیم از نظر دقت و کارایی نسبت به سایر الگوریتم‌ها برتری دارد و انتخاب مناسبی برای حل این مسئله محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

مقاله حاضر به بررسی و ارزیابی الگوریتم بهبود یافته Polar Fox برای بهبود نرخ پوشش استقرار گره‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پرداخته است. این الگوریتم با ترکیب استراتژی‌های تنظیم وزن اینرسی پویا و رهبری تصادفی چند نخبگان، توانسته است پوشش شبکه را بهبود بخشیده و هدررفت منابع را کاهش دهد. در مقایسه با یازده تابع بنچمارک و توابع تست 2014CEC، نتایج نشان می‌دهند که این الگوریتم در عملکرد بهینه‌سازی برتری دارد. در آزمایش‌ها، با افزایش ابعاد تابع، پیچیدگی تابع هدف افزایش می‌یابد، اما میانگین حل الگوریتم Polar Fox ثابت می‌ماند. برای توابع 1f و 2f که نرخ تغییر بالاتری دارند، بهینه‌سازی بیشتری در ابعاد بالاتر نیاز است، در حالی که توابع 7f و 9f پایداری بیشتری در ابعاد بالاتر دارند. این الگوریتم در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها، به‌ویژه در توابع یکنواخت، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد و قادر است بهینه‌سازی دقیقی انجام دهد. به‌ویژه، در شبکه‌های با ۳۵ گره، نرخ پوشش ۹۰٫۲٪ و در شبکه با ۵۵ گره، ۹۷٫۲٪ را به‌دست آورد. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن است که نرخ پوشش ۹۶٫۷۲٪ در این الگوریتم بالاترین میزان در میان سایر روش‌ها بوده و آن را به انتخاب بهتری برای بهینه‌سازی پوشش در شبکه‌های حسگر بی‌سیم تبدیل می‌کند. در نهایت، الگوریتم Polar Fox با دستیابی به بهترین عملکرد در تمامی مراحل آزمایش، به‌ویژه در نرخ پوشش [0.9549]، توانسته است بهترین نتایج را در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه دهد.

منابع و مآخذ

- [1] Schwalbe, G., & Finzel, B. (2023). A comprehensive taxonomy for explainable artificial intelligence: a systematic survey of surveys on methods and concepts. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1-59.
- [2] Lu, Y. (2019). Artificial intelligence: a survey on evolution, models, applications and future trends. *Journal of Management Analytics*, 6(1), 1-29.
- [3] Qiu, Y., Ma, L., & Priyadarshi, R. (2024). Deep learning challenges and prospects in wireless sensor network deployment. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-24.
- [4] Egwuche, O. S., Singh, A., Ezugwu, A. E., Greeff, J., Olusanya, M. O., & Abualigah, L. (2023). Machine learning for coverage optimization in wireless sensor networks: a comprehensive review. *Annals of Operations Research*, 1-67.
- [5] Salama, R., Al-Turjman, F., Bordoloi, D., & Yadav, S. P. (2023, April). Wireless sensor networks and green networking for 6G communication-an overview. In *2023 International Conference on Computational Intelligence, Communication Technology and Networking (CICTN)* (pp. 830-834). IEEE.
- [6] Zhu, R., Boukerche, A., Long, L., & Yang, Q. (2024). Design Guidelines on Trust Management for Underwater Wireless Sensor Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*.
- [7] Chaurasia, S., & Kumar, K. (2024). MBASE: Meta-heuristic Based optimized location allocation algorithm for baSE station in IoT assist wireless sensor networks. *Multimedia Tools and Applications*, 83(18), 53383-53415.
- [8] Wu, J., & Su, Z. (2024). Improved Artificial Rabbit Optimization Algorithm Fused with Particle Swarm Optimization for Wireless Sensor Network Coverage Optimization. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 1-15.

- [9] Kusuma, S. M., Veena, K. N., Kumar, B. P., Naresh, E., & Marianne, L. A. (2024). Meta Heuristic Technique with Reinforcement Learning for Node Deployment in Wireless Sensor Networks. *SN Computer Science*, 5(5), 1-11.
- [10] Zhong, R., Peng, F., Yu, J., & Munetomo, M. (2024). Q-learning based vegetation evolution for numerical optimization and wireless sensor network coverage optimization. *Alexandria Engineering Journal*, 87, 148-163.
- [11] Kooshari, A., Fartash, M., Mihaneshad, P., Chahardoli, M., AkbariTorkestani, J., & Nazari, S. (2024). An optimization method in wireless sensor network routing and IoT with water strider algorithm and ant colony optimization algorithm. *Evolutionary Intelligence*, 17(3), 1527-1545.
- [12] Song, J., Hu, Y., & Luo, Y. (2024). Wireless Sensor Network Coverage Optimization Based on the Novel Enhanced Hunter-Prey Optimization Algorithm. *IEEE Sensors Journal*.
- [13] Ma, N., Wang, S., & Hao, S. (2024). Enhancing Reptile search algorithm with shifted distribution estimation strategy for coverage optimization in wireless sensor networks. *Heliyon*, 10(15).
- [14] Komala, C. R., Pradeep, N., Devi, S. R., Pithadiya, B. H., Arumugam, J., & Hema, N. (2024, April). Metaheuristic-Optimized Clustering for Improving QoS in IoT-Enabled Wireless Sensor Networks. In *2024 International Conference on Expert Clouds and Applications (ICOECA)* (pp. 124-129). IEEE.
- [15] Ou, Y., Qin, F., Zhou, K. Q., Yin, P. F., Mo, L. P., & Mohd Zain, A. (2024). An improved grey wolf optimizer with multi-strategies coverage in wireless sensor networks. *Symmetry*, 16(3), 286.
- [16] Tariq, U. U., Ali, H., Hussain, M., & Liu, L. (2023). Shuffled arsh-fati: A novel meta-heuristic for lifetime maximization of range-adjustable wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 7(3), 1217-1233.
- [17] Manoharan, J. S. (2023). A Metaheuristic Approach Towards Enhancement of Network Lifetime in Wireless Sensor Networks. *KSII Trans. Internet Inf. Syst.*, 17(4), 1276-1295.
- [18] Tariq, U. U., Ali, H., Hussain, M., & Liu, L. (2023). Shuffled arsh-fati: A novel meta-heuristic for lifetime maximization of range-adjustable wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 7(3), 1217-1233.
- [19] Gunjan. (2023). A Review on Multi-objective Optimization in Wireless Sensor Networks Using Nature Inspired Meta-heuristic Algorithms. *Neural Processing Letters*, 55(3), 2587-2611.
- [20] Guo, W.; Wang, Y.; Dai, F.; Liu, T. Alternating sine cosine algorithm based on elite chaotic search strategy. *Control Decis.* 2019, 34, 1654–1662. [Google Scholar]
- [21] Chen, L.; Tian, Y.; Ma, Y. An improved grasshopper optimization algorithm based on dynamic dual elite learning and sinusoidal mutation. *Computing* 2022, 104, 981–1015. [Google Scholar] [CrossRef]
- [22] Oszust, M. Enhanced Marine Predators Algorithm with Local Escaping Operator for Global Optimization. *Knowl. Based Syst.* 2021, 232, 107467. [Google Scholar] [CrossRef]
- [23] Hu, G.; Zhu, X.N.; Wei, G.; Chang, C.T. An improved marine predators algorithm for shape optimization of developable Ball surfaces. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2021, 105, 104417. [Google Scholar] [CrossRef]
- [24] He, Q., Lan, Z., Zhang, D., Yang, L., & Luo, S. (2022). Improved marine predator algorithm for wireless sensor network coverage optimization problem. *Sustainability*, 14(16), 9944.
- [25] Hu, X.P.; Cao, J. Improved grey wolf optimization algorithm for WSN node deployment. *Chin. J. Sens. Actuators* 2018, 31, 753–758. [Google Scholar]
- [26] Zhu, F.; Wang, W. A Coverage Optimization Method for WSNs Based on the Improved Weed Algorithm. *Sensors* 2021, 21, 5869. [Google Scholar] [CrossRef]
- [27] Wang, S.; Yang, X.; Wang, X.; Qian, Z. A virtual force algorithm-Lévy-embedded grey wolf optimization algorithm for wireless sensor network coverage optimization. *Sensors* 2019, 19, 2735. [Google Scholar] [CrossRef]