



Computational Intelligence in Electrical Engineering
Vol. 13, No. 1, 2022
Research Paper

Target and Areas Coverage in Wireless Sensor Networks Using Analytical and Evolutionary Algorithms

Mohsen Sheikh-Hosseini ^{*1}, Seyed Rouhollah Samareh Hashemi ²

¹ Dept. of Computer and Information Technology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

² Fiber Optics Group, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Abstract:

Wireless sensor network (WSN) is a set of spatially distributed sensors with the pre-determined or randomly structure. Coverage, as an important performance indicator of WSNs, is subdivided into three classes of target coverage, area coverage and barrier coverage. This paper investigates problems of target and area coverage for a randomly distributed WSN. To this end, the analytical algorithm of steepest descent (SD) with Armijo and Wolf rules is suggested as a new solution for target coverage, and the SD algorithm along with evolutionary Genetic and Shuffled Frog Leaping algorithms (GA and SFLA) are utilized for the maximization of area coverage. According to the results of performance evaluation over different scenarios, it is confirmed that utilizing SD algorithm for the target coverage could increase the coverage accuracy and reduce the computational complexity compared with the evolutionary method the GA. Moreover, the SD algorithm can manage sensors movement towards targets. Furthermore, in the case of area coverage, the results reveal that SFLA provides more coverage accuracy in comparison with the GA although this improvement leads to more complexity of the SFLA.

Keywords: Steepest Descent Algorithm, Shuffled Frog Leaping algorithm, Genetic Algorithm, Target and Areas Coverage, Armijo and Wolf Search Rules.



This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<http://dx.doi.org/10.22108/isee.2020.122866.1372>

پوشش دهی اهداف و نواحی در شبکه حسگر بی سیم با استفاده از الگوریتم های تحلیلی و

تکاملی در حل مسائل بهینه سازی

محسن شیخ حسینی*^۱، سیدروح الله ثمره هاشمی^۲

۱- استادیار گروه پژوهشی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم

محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

m.sheikhhosseini@kgut.ac.ir

۲- استادیار گروه پژوهشی فیبر نوری، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات

تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

sr.hashemi@kgut.ac.ir

چکیده: شبکه حسگر بی سیم، متشکل از مجموعه ای از حسگرهای توزیع مکانی شده با ساختار ازپیش معین یا تصادفی است. مسئله پوشش دهی، یکی از شاخص های عملکردی این شبکه، شامل سه دسته پوشش دهی اهداف، نواحی و مرز است. مسئله مدنظر این مقاله به تحلیل مسائل پوشش دهی اهداف و نواحی در یک شبکه با پخش تصادفی معطوف است. در این راستا، الگوریتم تحلیلی شدیدترین نزول مبتنی بر قاعده های آرمیجو و وولف برای نخستین بار برای حل مسئله پوشش دهی اهداف پیشنهاد می شود و در مسئله پوشش دهی نواحی از یک روش ترکیبی مبتنی بر روش شدیدترین نزول و الگوریتم های تکاملی وراثتی و جهش قورباغه ای به هم آمیخته استفاده می شود. بر مبنای ارزیابی عملکرد روش های پیشنهادی در سناریوهای مختلف، مشخص می شود استفاده از روش شدیدترین نزول در مقایسه با الگوریتم وراثتی به پیچیدگی محاسباتی کمتر و دقت بالاتر در پوشش دهی اهداف منجر می شود و مهم تر اینکه این روش، قابلیت مدیریت نحوه حرکت حسگرها به مقصد را نیز دارا است. نتایج در مسئله پوشش دهی نواحی نیز نشان می دهند الگوریتم جهش قورباغه ای به هم آمیخته در مقایسه با الگوریتم وراثتی، دقت بیشتری در پوشش دهی دارد؛ البته این افزایش در ازای پیچیدگی بالاتر حاصل می شود.

واژه های کلیدی: الگوریتم شدیدترین نزول، الگوریتم جهش قورباغه ای به هم آمیخته، الگوریتم وراثتی، پوشش دهی اهداف و

نواحی، شبکه حسگر بی سیم، قاعده های جستجوی آرمیجو و وولف

۱- مقدمه

هر گره مبتنی بر یک یا چند حسگر کوچک با انرژی محدود است. این حسگرها در تعامل با محیط نسبت به جمع آوری اطلاعات، پردازش جزئی، ذخیره و ارسال بی سیم آن اقدام می کنند. تکنیک های مخابرات تک و چندپرسی در سطح شبکه، این اطلاعات را بر مبنای خاصیت پخش محیط های بی سیم و توانایی همکاری گرهها با یکدیگر منتشر می کنند و در نهایت، در مرکز پردازش اطلاعات، دریافت و برای کاربرد در حوزه های مختلفی نظیر کشاورزی، صنعتی، نظامی و ... استفاده می شود [۱-۳].

شبکه حسگر بی سیم^۱ متشکل از تعدادی گره است که

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۸

نام نویسنده مسئول: محسن شیخ حسینی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - کرمان - دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته - گروه پژوهشی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

۴۰ پوشش‌دهی اهداف و نواحی در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تحلیلی و تکاملی در حل مسائل بهینه‌سازی

زیادی حسگر نیاز دارد؛ اما رویکرد پوشش‌دهی اهداف به پوشش تعدادی هدف خاص در ناحیه مدنظر مربوط است و در پوشش‌دهی مرز، مسیرهای خاصی نظیر مرزهای ناحیه به دلیل ممانعت از نفوذ خرابکاران و نیروهای دشمن تحت پوشش قرار می‌گیرند. ویژگی اصلی دو رویکرد آخر در نیازمندی به تعداد کمتری حسگر است. همچنین برای پوشش‌دهی اهداف نیز سه حالت مختلف متصور است که هر هدف، در ساده‌ترین حالت، فقط با یک حسگر پوشش داده می‌شود. عیب این حالت از دست دادن پوشش‌دهی با هرگونه خرابی حسگر است؛ بنابراین، برای پوشش‌دهی اهداف و نقاط استراتژیک بیش از یک حسگر منظور می‌شود. در این شرایط، اگر تعداد حسگرها برای پوشش اهداف استراتژیک با یکدیگر یکسان باشند، مسئله با عنوان پوشش‌دهی K -تایی شناخته می‌شود و اگر این تعداد برای اهداف، مختلف متفاوت باشد، مسئله مدنظر با عنوان پوشش‌دهی Q -تایی شناخته می‌شود [۹-۱۰].

حجم مطالعات در مواجهه با چالش‌های شبکه حسگر بی‌سیم همچون پوشش‌دهی بسیار زیاد است. این امر در وهله نخست، ناشی از تنوع در انتخاب جزئیات مدل شبکه همچون همگن یا غیرهمگن بودن، متمرکز یا غیرمتمرکز بودن، متحرک یا ثابت بودن گرهمها و ... است. در وهله دوم، ناشی از دسته‌بندی‌های مختلف مسئله پوشش‌دهی است که به مطالعات مجزا منجر می‌شود. در وهله آخر، نتیجه تغییر رویکرد در مواجهه با چالش‌های شبکه حسگر بی‌سیم است؛ زیرا رهیافت اولیه بررسی این چالش‌ها مستقل از یکدیگر بوده است؛ اما با توجه به وابستگی برخی چالش‌های شبکه به یکدیگر، به‌تازگی تحلیل هم‌زمان چندین چالش با یکدیگر به‌عنوان رهیافتی جدید مدنظر قرار گرفته است. این تغییر رویکرد نیز به مطالعات متنوعی همچون [۱۱-۱۲] منجر می‌شود که برخی از آنها صرفاً معطوف پوشش‌دهی است و در برخی دیگر، پوشش‌دهی هم‌زمان با سایر چالش‌ها تحلیل می‌شود. در اینجا برای پیشینه پژوهش چالش پوشش‌دهی به رویکرد ارائه‌شده در [۱۳] اکتفا می‌شود که در آن، رهیافت‌های مواجهه با این چالش به سه دسته روش‌های کلاسیک، تکاملی و خودبرنامه‌ریزی شده تقسیم شده‌اند. روش‌های کلاسیک به سه گروه نیرومحور

طراحی و پیاده‌سازی شبکه‌های حسگر بی‌سیم در عمل با چالش‌های فراوانی روبه‌رو است که یکی از نخستین و در عین حال، مهم‌ترین این مسائل به نحوه استقرار گرهمها در ناحیه مدنظر بر می‌گردد. به‌طورکلی، دو رویکرد برای استقرار گرهمها در شبکه حسگر وجود دارد که عبارت‌اند از رویکرد قطعی و تصادفی [۴-۶]. حسگرها در رویکرد قطعی به‌صورت از پیش برنامه‌ریزی شده‌ای در مختصات مدنظر جایگذاری می‌شوند. این رویکرد به عملکرد بهینه شبکه از منظر پارامترهایی همچون پوشش‌دهی^۲، ارتباط و طول عمر منجر می‌شود؛ اما فقط برای پیاده‌سازی شبکه‌های کوچک کاربردی است و در محیط‌های نظامی و دسترس‌ناپذیر کارایی ندارد. حسگرها در رویکرد تصادفی به‌صورت تصادفی و با بالگرد یا ربات در ناحیه مدنظر پخش می‌شوند که امکان پیاده‌سازی شبکه‌های بزرگ در محیط دسترس‌ناپذیر را فراهم می‌آورند؛ اما عملکرد شبکه در این رویکرد نیازمند بهینه‌سازی است.

صرف‌نظر از نوع رویکرد پیاده‌سازی ساختار شبکه‌های حسگر بی‌سیم در ارائه رهیافت برای چالش‌های این شبکه‌ها توجه به نکاتی همچون همگن یا ناهمگن بودن شبکه و ثابت یا متحرک بودن گرهمها نیز حائز اهمیت است. منظور از شبکه همگن، شبکه‌ای است که گرهمهای شبکه از قابلیت‌های مشابهی همچون شعاع حسگری و مخابره یکسان برخوردارند؛ اما در شبکه غیرهمگن گرهمهای مختلف قابلیت‌های متفاوتی دارند. همچنین از منظر مکان پردازش، شبکه‌های حسگر به دو دسته متمرکز و توزیع‌شده تقسیم‌بندی می‌شوند؛ در شبکه‌های متمرکز، بار پردازشی شبکه در یک پردازنده مرکزی انجام می‌شود؛ اما در شبکه‌های توزیع‌شده این بار در سطح گرهمها توزیع می‌شود [۷-۸].

پوشش‌دهی از جمله مهم‌ترین پارامترهای عملکردی شبکه است که بیان‌کننده نحوه پوشش ناحیه با حسگرها است و مشخص می‌کند چه میزان از ناحیه در شعاع حسگری حسگرها واقع شده است [۹-۱۰]. چالش پوشش‌دهی معمولاً به سه دسته پوشش‌دهی ناحیه^۲، اهداف^۴ و مرز^۵ تقسیم‌بندی می‌شود. در پوشش‌دهی ناحیه، هدف، ایجاد پوشش حداکثری در ناحیه مدنظر است که به تعداد

ولی چون خروجی این روش‌ها صرفاً همین چیدمان نهایی است، نیازمندی به الگوریتم مدیریت حرکت حسگرها همچنان در این حالت وجود دارد.

در این مقاله، به منظور مرتفع کردن این نقایص، چالش پوشش‌دهی اهداف از نواحی متمایز فرض می‌شود و هر کدام به صورت جداگانه در یک شبکه حسگر بی‌سیم با پخش تصادفی بررسی و تحلیل شدند. با توجه به ماهیت چالش پوشش‌دهی اهداف، برای نخستین بار استفاده از الگوریتم تحلیلی شدیدترین نزول^۷ مبتنی بر قاعده آرمیجو^۸ و قاعده وولف^۹ به‌عنوان روش کلاسیک تحلیلی (و جایگزین روش‌های تکاملی) برای این چالش پیشنهاد می‌شود. این روش به هر دو صورت متمرکز و توزیع شده ارائه می‌شود و نتایج پیاده‌سازی عددی، نخست مؤید جامعیت روش پیشنهادی و عملکرد مناسب آن در شبکه‌های همگن و ناهمگن، انواع مختلف پوشش‌دهی شامل پوشش اهداف با یک، K و Q حسگر، محیط‌های مشتمل بر نویز و موانع است، دوم اینکه این نتایج بیان‌کننده برتری این روش بر الگوریتم وراثتی در برخورداری از دقت بالاتر، پیچیدگی محاسباتی کمتر و فراهم آوردن قابلیت مدیریت مسیر حرکت حسگرها است؛ اما با توجه به نیازمندی به تعیین چیدمان بهینه در چالش پوشش‌دهی نواحی، پیشنهاد می‌شود در ابتدا از الگوریتم‌های تکاملی برای دستیابی به این چیدمان استفاده شود و پس از آن، چیدمان حاصل با الگوریتم شدیدترین نزول برای مدیریت حرکت حسگرها به کار گرفته شود. در این راستا، الگوریتم وراثتی به‌عنوان یک روش سنتی به همراه الگوریتم جدید و پیشرفته‌تر جهش قورباغه‌ای به هم آمیخته^{۱۰} به کار گرفته می‌شوند و عملکرد آنها در تعیین چیدمان بهینه ارزیابی و مقایسه می‌شوند.

ساختار مقاله بدین صورت است که بخش بعد به معرفی الگوریتم شدیدترین نزول مبتنی بر قاعده‌های آرمیجو و وولف اختصاص دارد و بخش سوم، به مدل‌سازی، فرمول‌بندی مسئله و جزئیات الگوریتم پیشنهادی اختصاص دارد. بخش چهارم دربرگیرنده نتایج عددی و تحلیل عملکرد الگوریتم پیشنهادی است و در نهایت، در بخش پنجم جمع‌بندی و نتیجه پژوهش ارائه می‌شود.

[۱۴، ۱۵]، شبکه‌محور [۱۶، ۱۷] و هندسه محاسباتی محور [۱۸، ۱۹] تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های تکاملی نیز مربوط به استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی‌اند که از جمله آنها الگوریتم وراثتی^۱ [۲۰-۲۲]، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده [۲۳] و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات [۲۴] هستند. در نهایت، روش‌های خودبرنامه‌ریزی شده معطوف به حداقل‌سازی توان مصرفی با ارائه الگوریتم‌های زمان‌بندی روشن و خاموشی حسگرها هستند [۲۵، ۲۶].

بر مبنای پیشینه تحقیق یادشده، ذکر چند نکته در ارتباط با مطالعات موجود در حوزه چالش پوشش‌دهی و انگیزه و اهمیت انجام پژوهش حاضر حائز اهمیت است. اول اینکه ماهیت پوشش‌دهی اهداف، متفاوت از پوشش نواحی است و این تفاوت در مطالعات قبلی مدنظر قرار نگرفته است؛ زیرا در پوشش‌دهی اهداف، مطلوب پوشش تعدادی هدف با موقعیت مشخص توسط حسگرها است. بر این مبنای مختصات نهایی که حسگرها باید نسبت به پوشش آن اقدام کنند، مشخص و در دسترس است؛ اما این مختصات در چالش پوشش‌دهی نواحی از پیش تعیین شده نیست و الگوریتم ارائه شده باید توانایی دستیابی به آن را داشته باشد. نکته دوم این است روش‌های تکاملی، اغلب از بار محاسباتی نسبتاً زیادی برخوردارند و پوشش نهایی آنها نیز کاملاً بهینه نیست؛ این در حالی است که در صورت تفکیک پوشش‌دهی اهداف از نواحی، امکان استفاده از روش‌های تحلیلی با دقت بالاتر و پیچیدگی کمتر برای چالش پوشش‌دهی اهداف وجود دارد. سوم اینکه خروجی الگوریتم‌های تکاملی صرفاً چیدمان نهایی حسگرها است و هیچ اطلاعاتی از نحوه حرکت حسگرها از مختصات تصادفی اولیه برای رسیدن به این چیدمان ارائه نمی‌دهند. بر مبنای این نکات نتیجه می‌شود استفاده از روش‌های تکاملی در حل پوشش‌دهی اهداف غیرضروری است؛ زیرا در پوشش‌دهی اهداف مختصات اولیه و نهایی حسگرها از قبل مشخص است و این چالش صرفاً نیازمندی الگوریتمی است برای مدیریت حرکت حسگرها از مبدا تا مقصد است؛ اما به دلیل نامشخص بودن چیدمان و مختصات بهینه حسگرها در پوشش‌دهی نواحی، استفاده از روش‌های تکاملی برای دستیابی به این چیدمان در پوشش‌دهی نواحی منطقی است؛

۴۲ پوشش‌دهی اهداف و نواحی در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تحلیلی و تکاملی در حل مسائل بهینه‌سازی

• الگوریتم شدیدترین نزول: ماتریس D_k در این الگوریتم برابر ماتریس همانی است و این بدان معناست که $D_k = I$.

• الگوریتم‌های نیوتن یا شبه‌نیوتن: ماتریس D_k در آنها عبارت از معکوس ماتریس هسین^{۱۱} در نقطه x_k یا تقریب‌هایی از آن است.

روش نیوتن در مقایسه با روش شدیدترین نزول، پیچیدگی محاسباتی بیشتری دارد و به محاسبه ماتریس هسین و معکوس آن نیازمند است. مضاف بر این، همگرایی آن منوط به معین مثبت بودن این ماتریس است؛ بنابراین، این مقاله به الگوریتم شدیدترین نزول معطوف است و در ادامه، فرایند جستجوی خط مبتنی بر این روش جستجوی جهت ارائه می‌شود [۲۷، ۲۸].

۲-۳- الگوریتم‌های جستجوی خط مبتنی بر قاعده‌های آرمیجو و وولف

پس از تعیین d_k ، قدم بعدی مشخص کردن طول گام برای تعیین میزان جلورفتن در راستای این جهت است. این دیدگاه شهودی در قالب مسئله بهینه‌سازی یک‌بعدی زیر با روش‌های جستجوی خط مدل‌سازی می‌شود:

$$f(x_k + \alpha_k d_k) = \min_{\alpha} \{f(x_k + \alpha d_k)\} \quad (2)$$

حل صریح این مسئله به معنای حل یک مسئله بهینه‌سازی در هر تکرار الگوریتم‌های تحلیلی و پذیرفتن بار محاسباتی زیاد است؛ بنابراین، حل آن بیشتر با روش‌های جستجوی خط با پیچیدگی کمتر است که متضمن همگرایی الگوریتم نیز باشند. اصول این روش‌ها بر ارائه معیارهایی جهت ممانعت از انتخاب طول گام غیربهینه و بررسی آنها برای دنباله‌ای از طول گام‌ها استوار است [۲۷-۳۰].

قاعده آرمیجو، پرکاربردترین الگوریتم جستجوی خط است که مبتنی بر دو پارامتر ثابت $0 < \beta < 1$ و $0 < \mu < 0.5$ است و در آن با شروع از طول گام اولیه $\alpha_k^0 \leq \alpha_k = \alpha_k^0 \leq 1$ مقدار گام بهینه برابر با α_k^{Armijo} کوچک‌ترین عدد حسابی $\beta^l \alpha_k$ انتخاب می‌شود که در آن l کوچک‌ترین عدد حسابی

۲- الگوریتم شدیدترین نزول مبتنی بر

قاعده‌های آرمیجو و وولف

۲-۱- الگوریتم‌های تکراری در حل مسائل

بهینه‌سازی

اصول کلی کار الگوریتم‌های تحلیلی در حل مسائل بهینه‌سازی مبتنی بر شروع از یک نقطه آغازین و بروزرسانی موقعیت آن در تکرارهای متوالی تا همگرایی به جواب است. فرایند بروزرسانی دنباله جواب این الگوریتم‌ها در تکرارهای متوالی به صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x_k = x_k + \alpha_k d_k \quad (1)$$

که در آن x_k و x_{k+1} به ترتیب معرف جواب در تکرارهای k و $k+1$ هستند. $\Delta x_k = \alpha_k d_k$ نیز میزان نمو تکرار k ام است که بردار d_k معرف برای نمو و مقدار ثابت α_k اندازه یا طول گام نمو هستند. همگرایی این فرایند کاملاً به نحوه تعیین جهت و طول گام نمو وابسته است؛ بنابراین، اغلب در ابتدا جهت نمو بر مبنای روش‌های جستجوی جهت مشخص می‌شود و سپس طول گام بهینه متناظر با آن به کمک روش‌های جستجوی خط محاسبه می‌شود که جزئیات آنها به شرح ذیل است [۲۷، ۲۸].

۲-۲- الگوریتم جستجوی جهت مبتنی بر

شدیدترین نزول

هدف روش‌های جستجوی جهت، پیدا کردن جهت جستجو به نحوی است که d_k معرف جهت نزولی تابع $f(x)$ در نقطه x_k باشد. به صورت ریاضی اثبات می‌شود اگر $g_k^T d_k < 0$ باشد، آنگاه d_k معرف جهت نزولی تابع $f(x)$ در نقطه x_k است که $g_k = \nabla f(x_k)$ معرف بردار گرادیان تابع $f(x)$ در نقطه x_k است و بالانویس $(\cdot)^T$ نیز معرف ترانواده آن است. به منظور برآوردن این شرایط، جهت جستجو به صورت $d_k = -D_k g_k$ انتخاب می‌شود که در آن D_k یک ماتریس معین مثبت است و دو دسته عمده الگوریتم‌های متوجه از آن عبارت‌اند از:

پوشش دهی بدین صورت است که اگر فاصله اقلیدسی هدف t_j به مختصات Z_{t_j} از حسگر S_i به مختصات Z_{S_i} کمتر یا مساوی با شعاع حسگری این حسگر باشد، آنگاه t_j با S_i پوشش داده می شود و بیشتر بودن این فاصله از شعاع حسگری به معنای عدم پوشش است. به عبارت دیگر:

$$P_{S_i, t_j} = \begin{cases} 1 & 0 \leq R(S_i, t_j) \leq R_i^S \\ 0 & R(S_i, t_j) > R_i^S \end{cases} \quad (5)$$

که P_{S_i, t_j} احتمال پوشش دهی مختصات t_j با حسگر S_i شعاع حسگری R_i^S ، S_i $R(S_i, t_j) = \sqrt{(x_{S_i} - x_{t_j})^2 + (y_{S_i} - y_{t_j})^2}$ برابر با فاصله اقلیدسی مختصات t_j از S_i است.

۳-۲- پوشش دهی اهداف با الگوریتم شدیدترین نزول مبتنی بر قاعده های آرمیجو و وولف

مطلوب پوشش دهی اهداف، ارائه الگوریتمی برای تحت پوشش قرار دادن M هدف مفروض در ناحیه A با زیرمجموعه ای از N حسگر موجود است که از قابلیت مدیریت حرکت حسگرها نیز برخوردار باشد. در ادامه برای نخستین بار روش تحلیلی مبتنی بر الگوریتم شدیدترین نزول با قاعده های آرمیجو و وولف (به هر دو صورت متمرکز و توزیع شده) برای این منظور پیشنهاد می شود.

الگوریتم متمرکز:

در این حالت، تمام بار پردازشی الگوریتم به صورت متمرکز در پردازنده اصلی شبکه انجام می پذیرد. فرض بر این است که امکان ارتباط بین این مرکز و حسگرهای شبکه وجود دارد. همچنین در ابتدا فرض می شود مطلوب، پوشش دادن هر هدف فقط با یک حسگر است و در ادامه، این امر به بیش از یک حسگر تعمیم داده می شود. نخستین مرحله الگوریتم پیشنهادی، انتخاب زیرمجموعه M تایی $A_{S'} = \{S'_1, \dots, S'_M\}$ از مجموعه حسگرهای در دسترس $A_S = \{S_1, \dots, S_N\}$ و تخصیص یک هدف از مجموعه $A_t = \{t_1, \dots, t_M\}$ به هر کدام از این حسگرها برای

است که به ازای آن α_k^{Armijo} حاصل در رابطه زیر صدق کند [۲۹، ۳۰]:

$$f(x_k + \alpha_k d_k) \leq f(x_k) + \mu \alpha_k g_k^T d_k \quad (3)$$

علاوه بر قاعده آرمیجو، روش های جستجوی خط دیگری با پیچیدگی محاسباتی بیشتر وجود دارد؛ از جمله قاعده وولف که در آن به دلیل ممانعت از انتخاب طول گام های خیلی بزرگ و خیلی کوچک، α_k بر مبنای ارضای دو معیار ذیل انتخاب می شود [۲۹، ۳۰]:

$$\begin{cases} f(x_k + \alpha_k d_k) \leq f(x_k) + \mu \alpha_k g_k^T d_k \\ g(x_k + \alpha_k d_k)^T d_k \geq \beta g_k^T d_k \end{cases} \quad (4)$$

که همانند قاعده آرمیجو، در اینجا $0 < \mu < 0.5$ است؛ اما $\mu < \beta < 1$ است.

۳- نتایج اصلی: مدل سازی مسئله و روش پیشنهادی

۳-۱- مدل سازی مسئله پوشش دهی اهداف

ناحیه دوبعدی پیوسته $A = \{(x, y) : 0 \leq x \leq x_A, 0 \leq y \leq y_A\}$ متشکل از M هدف استراتژیک در دسترس است که مجموعه اهداف و مختصات آن به ترتیب با $Z_t = \{z_{t_1} = (x_{t_1}, y_{t_1}), \dots, z_{t_M}\}$ و $A_t = \{t_1, \dots, t_M\}$ $\{(x_{t_M}, y_{t_M})\}$ نمایش داده می شوند. فرض می شود تعداد N حسگر متحرک نیز به صورت تصادفی در این ناحیه پخش شده اند که مجموعه حسگرها و مختصات آن به ترتیب با $Z_S = \{z_{S_1} = (x_{S_1}, y_{S_1}), \dots, z_{S_M}\}$ و $A_S = \{S_1, \dots, S_N\}$ $\{(x_{S_N}, y_{S_N})\}$ نمایش داده می شوند. همچنین این شبکه به صورت کلی ناهمگن فرض می شود و R_i^S شعاع حسگری حسگر S_i منظور می شود.

درخور ذکر است در این مدل، همواره باید $N \geq M$ باشد؛ زیرا در حالتی که $N = M$ باشد، مسئله فقط مربوط به پوشش دهی اهداف و پوشش هر هدف با یک حسگر است؛ اما در حالتی که $N > M$ باشد، هم می توان نسبت به پوشش دهی اهداف با بیش از یک حسگر اقدام کرد و هم در جهت پوشش دهی نواحی گام برداشت. مدل سازی

که در حالت کلی برابر $M' = (Q_1 + \dots + Q_M)$ است و در آن Q_i برابر با تعداد حسگرهای لازم برای پوشش‌دهی هدف t_i است. همچنین در این حالت برای برقراری تناظر بین $A_{S'}$ و A_t و برابری اعضای این دو مجموعه با یکدیگر، باید هر عضو مجموعه A_t به اندازه تعداد حسگرهای لازم برای پوشش‌دهی آن تکرار شود که این به معنای تخصیص Q_i حسگر به هدف t_i است.

الگوریتم توزیع‌شده:

کلیات الگوریتم توزیع‌شده با الگوریتم متمرکز مشابه است و تفاوت اصلی در نبود پردازنده مرکزی و توزیع محاسبات در سطح گره‌های شبکه است. در این حالت، اعضای مجموعه $A_{S'}$ صرفاً باید قبل از پخش تصادفی حسگرها انتخاب و مختصات اهداف متناظر از مجموعه A_t در حافظه آنها بارگذاری شود. سپس این حسگرها به صورت تصادفی در محیط پخش می‌شوند و هر کدام از اعضای A_t بر مبنای قابلیت‌های محاسباتی خود با در نظر گرفتن مختصات اولیه خود به‌عنوان نقطه شروع و با استفاده از الگوریتم شدیدترین نزول مبتنی بر قاعده‌های آرمیجو و وولف نسبت به بروزسانی مختصات خود تا قرارگرفتن در شعاع حسگری هدف مربوطه اقدام می‌کنند. تعمیم الگوریتم توزیع‌شده به پوشش‌دهی K-تایی و Q-تایی نیز همانند روش متمرکز است.

درخور ذکر است مدل سیگنال حاکم بر الگوریتم متمرکز برداری است؛ چون در این حالت، مرکز پردازش مسئول محاسبات است و محاسبات بروزسانی مختصات حسگرها در آن انجام می‌شود که برداری M' بعدی است؛ اما در الگوریتم توزیع‌شده این بردار به M' کمیت اسکالر شکسته می‌شود که هر کدام مربوط به یک حسگر است.

۳-۱- پوشش‌دهی نواحی با الگوریتم‌های

تکاملی

این بخش درباره مسئله پوشش‌دهی نواحی است؛ بنابراین، $N > M'$ فرض می‌شود؛ این بدان معنا است که تعداد حسگرهای دردسترس، بیشتر از تعداد مورد نیاز برای مسئله پوشش‌دهی اهداف است. روند کار بدین صورت

پوشش‌دهی آن هدف است. این کار در الگوریتم متمرکز می‌تواند قبل از پخش تصادفی حسگرها یا بعد از آن انجام شود. در حالت اول، اعضای مجموعه $A_{S'}$ قبل از پخش حسگرها انتخاب و مختصات اهداف متناظر با هر عضو آن در حافظه آنها بارگذاری می‌شود. در حالت دوم، پس از پخش حسگرها و با توجه به امکان ارتباط بین مرکز پردازش و حسگرهای شبکه، این مرکز نسبت به انتخاب اعضای مجموعه $A_{S'}$ و تخصیص اهداف به آنها اقدام می‌کند. پس از تعیین مجموعه $A_{S'}$ و تخصیص اعضای A_t به اعضای آن، مرحله نهایی الگوریتم پوشش‌دهی انجام می‌شود که در آن، مرکز پردازش با استفاده از الگوریتم شدیدترین نزول با قاعده‌های آرمیجو و وولف نسبت به حداقل‌سازی فاصله اقلیدسی بین اعضای متناظر دو مجموعه $A_{S'}$ و A_t اقدام می‌کند. اگر فرض شود اعضای $A_{S'}$ به نحوی مرتب شده‌اند که هر عضو این مجموعه مسئولیت پوشش عضو متناظر در مجموعه A_t را دارد، آنگاه این فاصله یا به عبارت دیگر، تابع برازش^{۱۱} مسئله پوشش‌دهی اهداف برای آامین عضو مجموعه $A_{S'}$ با تابع غیرخطی زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$R_i(s'_i, t_i) = \sqrt{(x_{s'_i} - x_{t_i})^2 + (y_{s'_i} - y_{t_i})^2} \quad (6)$$

که $R_i(s'_i, t_i)$ معرف فاصله اقلیدسی حسگر آام مجموعه $A_{S'}$ یا همان s'_i از آامین هدف مجموعه A_t است.

در مرحله نهایی الگوریتم با توجه به امکان ارتباط مرکز پردازش با حسگرها، مختصات اولیه حسگرهای مجموعه $A_{S'}$ به این مرکز مخابره می‌شوند و در مرکز با شروع از این نقاط و استفاده از الگوریتم شدیدترین نزول مبتنی بر قاعده‌های آرمیجو و وولف نسبت به محاسبه میزان نمو و مخابره آن به حسگرها اقدام می‌شود. هر گره بر مبنای نمو دریافتی نسبت به بروزسانی مختصات خود اقدام می‌کند و این فرایند تا زمان حصول نتیجه و قرارگرفتن اهداف در شعاع حسگری حسگرهای متناظر ادامه می‌یابد.

الگوریتم فوق به‌راحتی تعمیم‌پذیر به مسائل پوشش K-تایی و Q-تایی است. تنها تفاوت این حالت در تعداد اعضای زیرمجموعه انتخابی $A_{S'} = \{s'_1, \dots, s'_{M'}\}$ است

از دو شیوه جستجوی محلی و به هم آمیختن اطلاعات در سیر تکاملی خود به منظور یافتن بهینه مطلق و ممانعت از همگرایی به بهینه‌های محلی بهره می‌گیرد [۳۳، ۳۴].

۴- نتایج عددی و تحلیل عملکرد الگوریتم پیشنهادی

این بخش به نتایج عددی و تحلیل عملکرد روش پیشنهادی برای پوشش‌دهی شبکه حسگر بی‌سیم در قالب دو زیربخش مجزا اختصاص دارد. زیربخش اول، به پوشش‌دهی اهداف معطوف است که در آن $N = M'$ است؛ اما در زیربخش دوم $N > M'$ فرض شده است و اثر چالش‌های پوشش‌دهی اهداف و نواحی با هم تحلیل می‌شود. شبکه آزمون مفروض یک شبکه پیوسته دوبعدی به ابعاد 400×400 متر متشکل از چهار هدف $M = 4$ است و شبیه‌سازی‌های مربوطه با نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند. به منظور فراهم آوردن شرایط عادلانه، تمامی اجزای نرم‌افزاری در یک دستگاه رایانه انجام شده است و شرایط اولیه یکسانی برای حالات مختلف منظور شده است. همچنین با توجه به پیوستگی فضای مسئله پوشش‌دهی، از نسخه حقیقی الگوریتم‌های تکاملی وراثتی و جهش قورباغه‌ای به هم آمیخته در شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است. پارامترهای تنظیمی الگوریتم‌های آرمیجو و وولف در شبیه‌سازی‌ها $\mu = 0.01$ و $\beta = 0.5$ هستند؛ این پارامترها به صورت تجربی و از [۲۹، ۳۰] استخراج شده‌اند. تعداد اعضای جمعیت الگوریتم وراثتی برابر ۴۰ فرض شده است و نرخ ترکیب و جهش آن نیز به ترتیب ۰٫۹ و ۰٫۱ است. تعداد اعضای جمعیت الگوریتم جهش قورباغه‌ای به هم آمیخته، به صورت معادل، برابر با ۴۰ است که به ۱۰ دسته (مپلکس^{۱۳}) چهارتایی شکسته می‌شود و جستجوی محلی در هر مپلکس پنج بار تکرار می‌شود.

۴-۱- نتایج عددی برای پوشش‌دهی اهداف

این زیربخش به ارائه نتایج روش پیشنهادی شدیدترین نزول در پوشش‌دهی اهداف و مقایسه عملکرد آن با روش تکاملی مبتنی بر الگوریتم وراثتی در [۲۲-۲۰] اختصاص

برنامه‌ریزی می‌شود که ابتدا از N حسگر در دسترس، M' حسگر به مجموعه A_S برای پوشش‌دهی اهداف تخصیص داده می‌شود و $N - M'$ حسگر باقیمانده برای پوشش‌دهی نواحی منظور می‌شود. پس از این، الگوریتم مربوط به هر کدام از این چالش‌ها در راستای بهینه‌سازی پوشش‌دهی مربوطه اقدام می‌کند. همان‌طور که پیش از این اشاره شد حل مسئله پوشش‌دهی نواحی در وهله نخست، در گرو دستیابی به چیدمان بهینه حسگرها است؛ بنابراین، در این بخش، الگوریتم‌های تکاملی وراثتی و جهش قورباغه‌ای به هم آمیخته برای بهینه‌سازی پوشش‌دهی نواحی پیشنهاد می‌شوند.

با توجه به اینکه پوشش‌دهی نواحی، معرف درصدی از ناحیه دوبعدی A است که در شعاع حسگری گره‌های شبکه قرار دارد، پوشش‌دهی نقطه Z_i در این ناحیه دو بعدی به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$C_{Z_i} = \begin{cases} 1 & \text{if } \exists s_j \in A_S, R(Z_i, s_j) \leq R_i^f \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

که در آن C_{Z_i} معرف پوشش‌دهی نقطه Z_i است و $R(Z_i, s_j)$ فاصله اقلیدسی این نقطه از حسگر s_j با شعاع حسگری R_i^f است. در نهایت، نرخ پوشش‌دهی کل ناحیه A ، C_A ، که تابع برازش الگوریتم پوشش‌دهی نواحی محسوب می‌شود، برابر با ضریبی از مساحت این ناحیه است که با حسگرها پوشش داده شده است:

$$C_A = \frac{\sum_{Z_i \in A} C_{Z_i}}{x_A y_A} \quad (8)$$

که x_A و y_A طول و عرض ناحیه دو بعدی A هستند.

شایان ذکر است الگوریتم بهینه‌سازی وراثتی از اصل انتخاب طبیعی الهام گرفته شده است که با شروع از یک جمعیت اولیه از جواب‌های مسئله، اصلاح آن بر مبنای عملگرهای انتخاب، نخبه‌پروری، ترکیب و جهش، و تکرار این روند تا رسیدن به پاسخ بهینه ادامه می‌یابد [۳۱، ۳۲].

به منظور ممانعت از همگرایی به بهینه محلی در برخی مسائل، الگوریتم‌های جدیدی نظیر الگوریتم جهش قورباغه‌ای به هم آمیخته ارائه شده‌اند که از تکامل گروهی قورباغه‌ها در تعیین محل ذخیره غذایی الهام گرفته شده‌اند و

به‌صورت کمی مقایسه شده است. نواحی تحت پوشش حسگرها در این شکل‌ها با رنگ سفید، مشخص و نقاط بدون پوشش با رنگ تیره نمایش داده شده‌اند. قسمت‌های (الف) و (ب) این دو شکل به ترتیب نشان‌دهنده موقعیت اولیه اهداف و حسگرها و پوشش‌دهی اولیه قبل از اجرای الگوریتم‌اند. در قسمت‌های (د)، (ه) و (و) به ترتیب پوشش‌دهی نهایی حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی شدیدترین نزول، الگوریتم وراثتی با عملگر نخبه‌پروری و الگوریتم وراثتی بدون نخبه‌پروری نمایش داده شده است. در نهایت، در قسمت (ج)، این دو شکل منحنی تابع برازش پوشش‌دهی اهداف (متوسط فاصله اقلیدسی حسگرها از اهداف) در سه حالت فوق با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین چون پوشش‌دهی نهایی الگوریتم شدیدترین با هر یک از قاعده‌های جستجوی خط آرمیجو و وولف کاملاً مشابه با دیگری است، نتایج در قسمت (د) این شکل‌ها صرف‌نظر از نوع قاعده خط ارائه شده‌اند.

جدول (۱): مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم وراثتی

زمان اجرا (ثانیه)	تعداد تکرار	پارامترها	
		اول	دوم
۰/۰۳۱۱	۳۲۵	شدیدترین نزول با آرمیجو	سناریو
۰/۰۴۰۶	۳۲۵	شدیدترین نزول با وولف	
۰/۰۵۲۸	۴۳	وراثتی با نخبه‌پروری	
۰/۰۷۲۸	۵۸	وراثتی بدون نخبه‌پروری	
۰/۰۲۷۲	۲۶۵	شدیدترین نزول با آرمیجو	
۰/۰۳۱۳	۲۶۵	شدیدترین نزول با وولف	
۰/۱۱۶۹	۹۵	وراثتی با نخبه‌پروری	
۰/۰۵۸۰۹	۵۰۰	وراثتی بدون نخبه‌پروری	

با توجه به قسمت‌های (الف) و (ب) این شکل‌ها، پوشش‌دهی اولیه در هیچ‌یک از این دو سناریو مطلوب نیست و اهداف خارج از شعاع حسگری حسگرهای مربوطه قرار دارند؛ اما با اجرای برنامه، هر الگوریتم با جابه‌جایی حسگرها از موقعیت اولیه به مکان مطلوب‌تر نسبت به بهبود این شرایط اقدام می‌کند؛ جزئیات آن در موارد ذیل خلاصه می‌شوند:

- مقایسه عملکرد الگوریتم تحلیلی پیشنهادی با الگوریتم وراثتی: با توجه به شکل (۱) و جدول (۱)، در

دارد. همچنین درخور ذکر است چون تفاوت رویکردهای متمرکز و توزیع‌شده به پیاده‌سازی عملی آنها معطوف است و در شبیه‌سازی آنها تفاوتی وجود ندارد، نتایج روش پیشنهادی صرف‌نظر از نوع رویکرد ارائه می‌شوند. نتایج حاصل از الگوریتم وراثتی نیز در هر دو حالت مختلف ارائه می‌شوند که در یک حالت، الگوریتم از عملگر نخبه‌پروری در تولید نسل‌های مختلف استفاده می‌کند و در حالت دوم، از استفاده از این عملگر صرف‌نظر می‌شود.

در اینجا عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی و وراثتی از منظر دقت پوشش‌دهی و زمان اجرا یا همان پیچیدگی محاسباتی در دو سناریو ارزیابی و مقایسه می‌شود. در سناریوی اول فرض می‌شود چهار هدف در مختصات (۱ و ۱)، (۱ و ۴۰۰)، (۴۰۰ و ۱) و (۴۰۰ و ۴۰۰) واقع شده‌اند و مطلوب پوشش‌دهی هر هدف فقط با یک حسگر به شعاع حسگری ۵۰ متر در یک شبکه همگن است؛ بنابراین، در مجموع به $N = M' = 4$ حسگر نیاز است؛ اما در سناریوی دوم، این چهار هدف در مختصات (۱۰۰ و ۱۰۰)، (۱۰۰ و ۳۰۰)، (۳۰۰ و ۱۰۰) و (۳۰۰ و ۳۰۰) واقع شده‌اند و مطلوب پوشش‌دهی آنها به ترتیب با ۱، ۲، ۱ و ۲ حسگر (پوشش‌دهی Q-تایی: کلی‌ترین حالت پوشش‌دهی اهداف) در یک شبکه ناهمگن است؛ بنابراین، در این سناریو به $N = M' = 6$ حسگر نیاز است که شعاع حسگری سه حسگر اول برابر با ۸۰ متر و سه تای آخر ۵۰ متر فرض می‌شود.

برای اجرای الگوریتم در سناریوی اول و دوم به ترتیب چهار و شش حسگر به صورت تصادفی در ناحیه مفروض پخش می‌شوند و دو الگوریتم نسبت به پوشش‌دهی اهداف اقدام می‌کنند. همچنین از تابع برازش الگوریتم پوشش‌دهی اهداف یا همان متوسط فاصله حسگرها از اهداف در رابطه (۶) به‌عنوان معیار توقف الگوریتم‌ها استفاده شده است و اجرای هر الگوریتم در صورت دستیابی به متوسط فاصله پنج متر یا کمتر از آن متوقف می‌شود؛ اما اگر این معیار برآورده نشود، حداکثر تعداد تکرار، ملاک عمل قرار می‌گیرد و الگوریتم با رسیدن به ۵۰۰ تکرار متوقف خواهد شد. نتایج حاصل برای سناریوهای اول و دوم به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. در جدول (۱) نیز

پیشنهادی است.

- جامعیت روش پیشنهادی: نتایج ارائه شده مشخص می کند پوشش دهی نهایی روش پیشنهادی در هر دو دسته شبکه های همگن (شکل ۱) و ناهمگن (شکل ۲) کاملاً بهینه و دقیق است و همان گونه که مورد انتظار بود دو هدف اول در سناریوی ناهمگن شکل (۲) توسط حسگرهایی با شعاع حسگری بیشتر و هدف های سوم و چهارم توسط حسگرهایی با شعاع حسگری کمتر پوشش داده شده اند. علاوه بر این، نتایج نشان می دهند الگوریتم پیشنهادی برای دسته بندی های مختلف پوشش دهی اهداف شامل پوشش دهی ساده، K- تایی و Q- تایی نیز معتبر است. زیرا در شکل (۱) مدل پوشش دهی ساده برقرار است و در شکل (۲) پوشش دهی هر سه حالت فوق با موفقیت تضمین شده است.

- مقایسه عملکرد قاعده های آرمیجو و وولف: بر مبنای نتایج این دو شکل، ملاحظه می شود عملکرد الگوریتم شدیدترین نزول بر مبنای قاعده آرمیجو از منظر دقت پوشش دهی کاملاً با عملکرد آن در حضور قاعده وولف مشابه است؛ بنابراین، نتایج این الگوریتم در این شکل ها صرف نظر از نوع قاعده ارائه شده اند؛ اما جدول (۱) مؤید این است که تنها تفاوت قاعده های وولف و آرمیجو در زمان اجرای آنها است و الگوریتم وولف به علت پیچیدگی بیشتر از زمان اجرای بیشتری در تعداد تکرار مساوی برخوردار است؛ اما این تفاوت بسیار کم و در حد کسری از ثانیه است.

در نهایت، به منظور تأیید کارایی الگوریتم شدیدترین نزول با قاعده آرمیجو در محیط های واقعی تر و موفقیت آن در مدیریت حرکت حسگرها، عملکرد این الگوریتم برای سه حالت مختلف شبکه آزمون مفروض در شکل (۳) ارزیابی شده است. ناحیه مفروض در حالت اول مشابه با سناریوی های قبل عاری از نویز و موانع فیزیکی فرض شده است. در حالت دوم، حسگرها غیردقیق و در معرض نویز هستند؛ بنابراین، محاسبات نمو آنها آغشته به نویز و حرکت آنها همراه با یک خطای تصادفی است. در نهایت، حالت سوم، یک ناحیه ممنوعه برای حرکت حسگرها در نظر گرفته شده که این ناحیه، در واقعیت شامل موانع فیزیکی

سناریوی اول، پوشش دهی نهایی الگوریتم پیشنهادی شدیدترین نزول (با هر یک از قاعده های آرمیجو و وولف)، الگوریتم وراثتی با عملکرد نخبه پروری و بدون آن کاملاً مشابه با یکدیگر است. در واقع پوشش دهی نهایی هر دو الگوریتم، بهینه و از دقت یکسانی برخوردار است و این الگوریتم ها در برآوردن شرط توقف و کاهش متوسط فاصله حسگرها از اهداف به پنج متر کاملاً موفق بوده اند. تنها تفاوت عملکردی در سناریوی اول در زمان اجرا یا همان پیچیدگی الگوریتم ها است و ملاحظه می شود کمترین زمان ها متعلق به الگوریتم شدیدترین نزول با قاعده های آرمیجو و وولف است؛ اما زمان اجرای هر دو حالت مختلف الگوریتم وراثتی از الگوریتم شدیدترین نزول بیشتر است و بیشترین زمان نیز در غیاب عملکرد نخبه پروری (به دلیل نیازمندی به تعداد تکرار بیشتر برای رسیدن به معیار توقف) حاصل می شود؛ اما با حرکت از سناریوی اول به سمت سناریوی پیچیده تر دوم ملاحظه می شود دقت پوشش الگوریتم شدیدترین نزول و الگوریتم وراثتی با نخبه پروری همچنان مطلوب و بهینه است؛ اما در غیاب عملکرد نخبه پروری، از دقت پوشش دهی الگوریتم وراثتی کاسته می شود و با توجه به جدول (۱)، الگوریتم وراثتی در این حالت در برآوردن معیار توقف و دستیابی به متوسط فاصله پنج متر ناتوان بوده و عملاً با رسیدن به تکرار ۵۰۰ متوقف شده است. این نکته از قسمت (ج) شکل (۲) نیز مشهود است و ملاحظه می شود برخلاف دو حالت دیگر، مقدار نهایی تابع برآزش الگوریتم وراثتی در غیاب عملکرد نخبه پروری بیشتر از پنج و برابر با ۱۲/۵۳ متر است. این امر از مقایسه قسمت (و) شکل (۲) با قسمت های (د) و (ه) مشخص می شود؛ زیرا اهداف در مرکز دایره های سفیدرنگ واقع نشده اند؛ این بدان معنا است که حسگرها دقیقاً بر اهداف منطبق نشده اند و پوشش نهایی بهینه نیست؛ بنابراین، در مجموع دقت پوشش دهی الگوریتم وراثتی در بهترین حالت مشابه با روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم شدیدترین نزول است و در غیاب عملکرد نخبه پروری، دقت الگوریتم وراثتی دچار افت می شود. این درحالی است که زمان اجرای الگوریتم وراثتی به دلیل برخورداری از پیچیدگی محاسباتی بالاتر بیشتر از الگوریتم تحلیلی

یکسان و در راستای حداقل‌سازی فاصله (خط واصل بین اهداف و حسگرها) است و مسیر حرکت حسگرها خط مستقیم است؛ اما در حالت دوم، حسگرها به دلیل نویزی بودن محاسبات نمو در هر مرحله، از مسیر مستقیم منحرف می‌شوند؛ ولی با توجه به عملکرد الگوریتم شدیدترین نزول در جهت نزولی تابع فاصله، این انحراف به صورت متوالی اصلاح می‌شود و در نهایت، حسگرها در طی یک مسیر منحنی شکل به موقعیت مطلوب نهایی خود می‌رسند. جالب‌ترین اتفاق برای حالت سوم رخ می‌دهد که در آن حسگرهای شماره ۳ و ۴ در مسیر حرکت مستقیم خود به سمت اهداف مربوطه، هنگامی که به مانع می‌رسند، از این مسیر مستقیم منحرف می‌شوند و عملاً مانع را دور می‌زنند. این امر بدان دلیل است که ادامه مسیر مستقیم برای این حسگرها برابر با بالارفتن از مانع و به معنای افزایش تابع برازش یا همان فاصله از اهداف است؛ بنابراین، الگوریتم شدیدترین نزول بر مبنای ماهیت ذاتی خود با تغییر جهت حرکت حسگرها به منظور حداقل‌کردن تابع برازش، نسبت به دورزدن مانع اقدام می‌کند.

۴-۱- نتایج عددی برای پوشش‌دهی اهداف

و نواحی

این زیربخش به ارائه نتایج برای پوشش هم‌زمان اهداف و نواحی اختصاص دارد و با توجه به تأیید کارایی روش شدیدترین نزول در پوشش‌دهی اهداف، از این روش برای پوشش‌دهی اهداف استفاده می‌شود. همچنین، همان‌طور که پیش از این اشاره شد نخستین قدم در پوشش‌دهی نواحی، تعیین چیدمان بهینه برای حسگرهای توزیع تصادفی شده در ناحیه مدنظر با الگوریتم‌های تکاملی است؛ بنابراین، در اینجا یک سناریوی متشکل از چهار هدف به مختصات (۱ و ۱)، (۱ و ۴۰۰)، (۴۰۰ و ۴۰۰) و (۱ و ۴۰۰) و ۱۴ عدد حسگر تصادفی با شعاع حسگری ۵۰ متر فرض می‌شود. مطلوب این سناریو، پوشش این اهداف با روش شدیدترین نزول توسط چهار حسگر اول و استفاده از مابقی حسگرها برای دستیابی به چیدمان بهینه برای پوشش نواحی است. نتایج عملکردی این الگوریتم‌ها برای این سناریو در

مانند درختان، صخره‌ها و ... است. در اینجا این ناحیه با تابع جریمه رابطه (۹) به صورت یک تابع باترورث تعریف شده است. هنگامی که حسگر بخواهد وارد این ناحیه شود، این تابع جریمه به تابع برازش رابطه (۶) اضافه می‌شود و مقدار نهایی تابع برازش به شدت افزایش می‌یابد؛ بنابراین، انتظار می‌رود حسگر با تغییر مسیر حرکت در جهت شدیدترین نزول تابع برازش حاصل به سمت نقطه کمینه حرکت کند و مانع را دور بزند.

$$P_i(s'_i, c_0) = \frac{A}{1 + \left(\frac{R_i(s'_i, c_0)}{D_0}\right)^{2n}} \quad (9)$$

که A دامنه تابع جریمه، D_0 شعاع ناحیه ممنوعه، $R_i(s'_i, c_0)$ فاصله اقلیدسی حسگر نام از مرکز ناحیه ممنوعه (به مختصات (c_0) و n درجه تابع است. هرچه n بزرگ‌تر باشد، تابع جریمه در مرز ناحیه ممنوعه شیب بیشتری خواهد داشت. در قسمت (و) شکل (۳) شعاع ناحیه ممنوعه برابر با ۵۰ متر فرض شده و مرکز آن با علامت ضربدر در مختصات (۲۰۰ و ۲۵۰) مشخص است. همچنین $A = 10000$ و $n = 50$ فرض شده‌اند.

درخور ذکر است در شکل (۳) حسگرها با S_i و اهداف با T_i مشخص شده‌اند و مطلوب پوشش هدف نام توسط نامین حسگر است. قسمت‌های (الف) و (ب) این شکل به ترتیب نشان‌دهنده موقعیت اولیه اهداف و حسگرها در سناریوی مفروض و پوشش‌دهی اولیه متناظر با آن قبل از اجرای الگوریتم هستند. در قسمت (ج) این شکل نیز پوشش‌دهی نهایی حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی شدیدترین نزول در سه حالت یادشده ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این پوشش در هر سه حالت یکسان و کاملاً موفقیت‌آمیز است و تنها تفاوت آنها در رسیدن به این پوشش در زمان‌ها و تکرارهای متفاوت است؛ اما نکته مهم درباره مسیر حرکت حسگرها از مختصات تصادفی اولیه تا رسیدن به مختصات نهایی است. با توجه به قسمت‌های (د)، (ه) و (و) این شکل، با توجه به عاری بودن ناحیه از موانع و نویز در حالت اول، حسگرها و اهداف در مسیر دید مستقیم یکدیگرند؛ بنابراین، جهت حرکت تعیین‌شده با الگوریتم شدیدترین نیز در تمامی تکرارها

عددی این مقالات به‌صراحت تاکید شده است قبل از اجرای الگوریتم وراثتی، حسگرهای مدنظر برای پوشش‌دهی اهداف در مختصات مدنظر جایگذاری شده‌اند و این الگوریتم هیچ نقشی در آن ندارد. این درحالی است که در مقاله حاضر، علاوه بر الگوریتم شدیدترین نزول، پوشش‌دهی اهداف با الگوریتم وراثتی نیز به‌صورت عددی پیاده‌سازی شده است؛ اما در بخش پوشش‌دهی نواحی، با توجه به یکسان‌بودن تابع ارزیابی استفاده‌شده در مقاله حاضر و [۲۰، ۲۱]، نتایج مقاله حاضر بر مبنای الگوریتم وراثتی بازتولید نتایج [۲۰، ۲۱] هستند؛ البته در مقاله حاضر، پیاده‌سازی عددی با استفاده از الگوریتم پیشرفته‌تر جهش قورباغه‌ای به‌هم‌آمیخته به‌منظور بهبود نتایج نسبت به [۲۰، ۲۱] نیز مدنظر قرار گرفته است. در نهایت، در [۲۲]، هدف دستیابی به چیدمانی از حسگرها به‌وسیله الگوریتم وراثتی است که در آن، هر هدف، تحت پوشش K حسگر (پوشش K تایی) باشد و ارتباط هر حسگر نیز با m حسگر دیگر برقرار باشد؛ بنابراین، بخشی از نتایج عددی مقاله حاضر که معطوف پوشش‌دهی اهداف با K حسگر است، بازتولید نتایج [۲۲] در پوشش K تایی است. ضمن این نتایج، مقاله حاضر صرفاً به پوشش K تایی معطوف نیست؛ بلکه سناریوی جامع‌تر پوشش‌دهی Q تایی در شبکه‌های همگن و ناهمگن را نیز شامل می‌شود

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله به تحلیل هم‌زمان دو چالش پوشش‌دهی اهداف و نواحی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با پخش تصادفی اختصاص دارد که در آن، الگوریتم تحلیلی شدیدترین نزول مبتنی بر قاعده‌های آرمیجو و وولف برای حل مسئله پوشش‌دهی اهداف پیشنهاد شد و برای دستیابی به مطلوب مسئله پوشش‌دهی نواحی، از الگوریتم شدیدترین نزول در کنار الگوریتم‌های تکاملی وراثتی و جهش قورباغه‌ای به‌هم‌آمیخته استفاده شد. عملکرد این الگوریتم‌ها در سناریوهای مختلف یک شبکه آزمون به‌صورت عددی پیاده‌سازی و ارزیابی شد و نتایج بر قابلیت‌های منحصر به فرد الگوریتم شدیدترین نزول در کاهش پیچیدگی محاسباتی، افزایش دقت پوشش‌دهی و قابلیت مدیریت حرکت حسگرها در پوشش‌دهی اهداف صحه گذاشت. همچنین

شکل (۴) آورده شده‌اند. قسمت‌های (الف) و (ب) این شکل به‌ترتیب نشان‌دهنده موقعیت اولیه اهداف و حسگرها، و پوشش‌دهی اولیه‌اند. قسمت‌های (ج) و (د) معرف توابع برازش پوشش‌دهی اهداف و نواحی‌اند و در نهایت، در قسمت‌های (و) و (ه) به‌ترتیب پوشش‌دهی نهایی حاصل از الگوریتم‌های وراثتی و جهش قورباغه‌ای به‌هم‌آمیخته نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود همانند شکل‌های قبلی، پوشش‌دهی اولیه، مطلوب نیست و نرخ پوشش نواحی (تابع برازش در قسمت (د) این شکل) نیز کمترین مقدار را دارد؛ اما با اجرای الگوریتم‌ها، پوشش لازم در اهداف با الگوریتم شدیدترین نزول تضمین می‌شود و ملاحظه می‌شود دو الگوریتم تکاملی به‌کاررفته برای دستیابی به چیدمان بهینه در مسئله پوشش‌دهی نواحی نیز از قابلیت لازم برای دستیابی به این چیدمان برخوردارند و افزایش نرخ پوشش‌دهی نواحی در نتایج هر دو الگوریتم مشهود است؛ اما در مقایسه این دو الگوریتم با یکدیگر ملاحظه می‌شود پوشش‌دهی نهایی الگوریتم جهش قورباغه‌ای به‌هم‌آمیخته در قسمت (و) از پوشش الگوریتم وراثتی در قسمت (ه) مطلوب‌تر است و این امر از مقایسه مقادیر نهایی تابع برازش این دو در قسمت (د) شکل (۴) نیز مشهود است. این بهبود به دلیل انجام جستجوی محلی در این الگوریتم است که البته افزایش زمان اجرای آن را در مقایسه با الگوریتم وراثتی به همراه دارد. درخور ذکر است در صورت نیازمندی به مدیریت حرکت حسگرها در این سناریو، الگوریتم شدیدترین نزول می‌تواند نسبت به هدایت حسگرها به این چیدمان اقدام کند که عملکرد آن در شکل‌های قبل به‌تفصیل بررسی شده است.

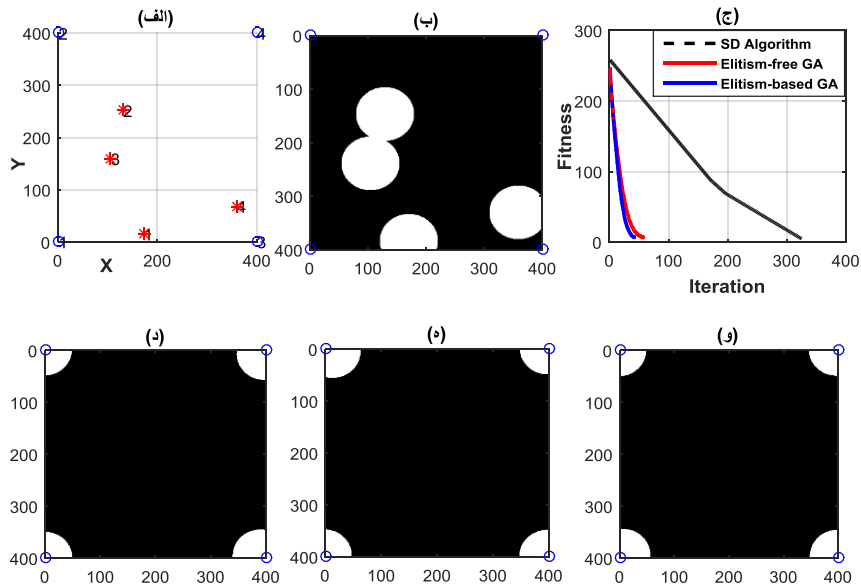
در انتها گفتنی است با توجه به اینکه پیشنهاد استفاده از الگوریتم تحلیلی شدیدترین نزول برای نخستین‌بار در این پژوهش مطرح شده، این پیشنهاد و تمامی نتایج آن بخشی از نوآوری‌های این مقاله نسبت به مطالعات پیشین است؛ اما نتایج مقاله در حوزه الگوریتم وراثتی به نحوی بازتولید نتایج [۲۰-۲۲] هستند که در ادامه، تفاوت‌ها و شباهت‌های آنها نسبت به همدیگر تبیین می‌شوند. در [۲۰، ۲۱]، هدف استفاده از الگوریتم وراثتی برای دستیابی به چیدمان مطلوب از طریق بیشینه‌سازی معیارهای پوشش‌دهی اهداف، پوشش‌دهی نواحی و ارتباط بوده است؛ اما در بخش نتایج

۵۰ پوشش‌دهی اهداف و نواحی در شبکه حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تحلیلی و تکاملی در حل مسائل بهینه‌سازی

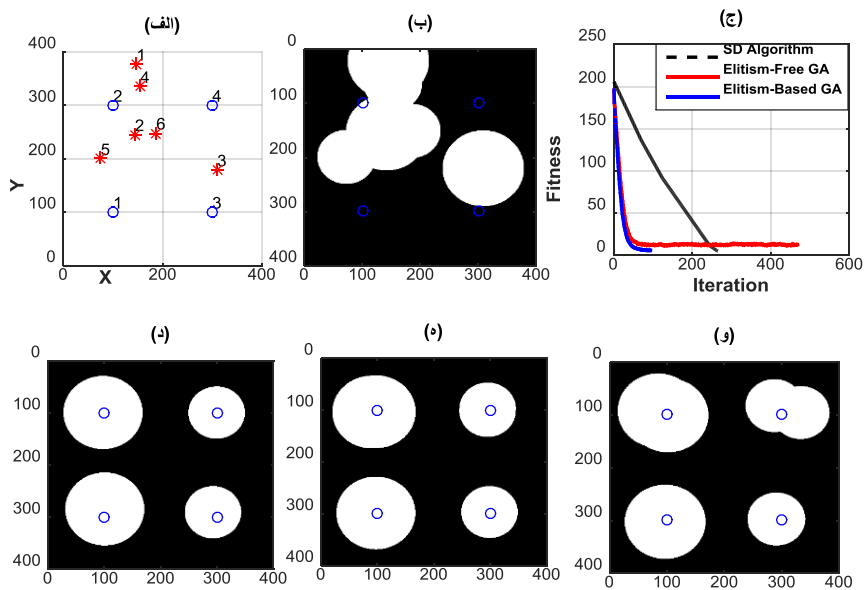
تأیید شد این الگوریتم در ترکیب با روش‌های تکاملی، استفاده از اعتبارات پژوهشی- پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است.

سپاسگزاری

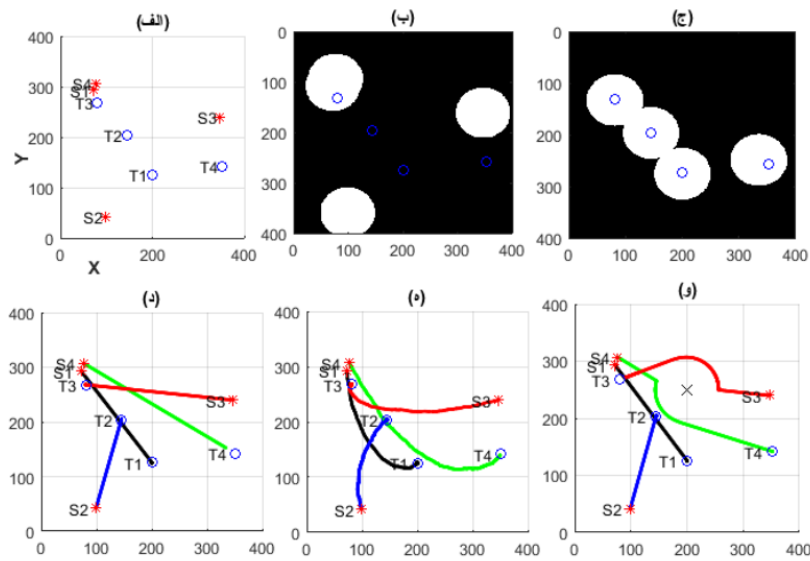
این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۹۷/۲۹۶۱ با



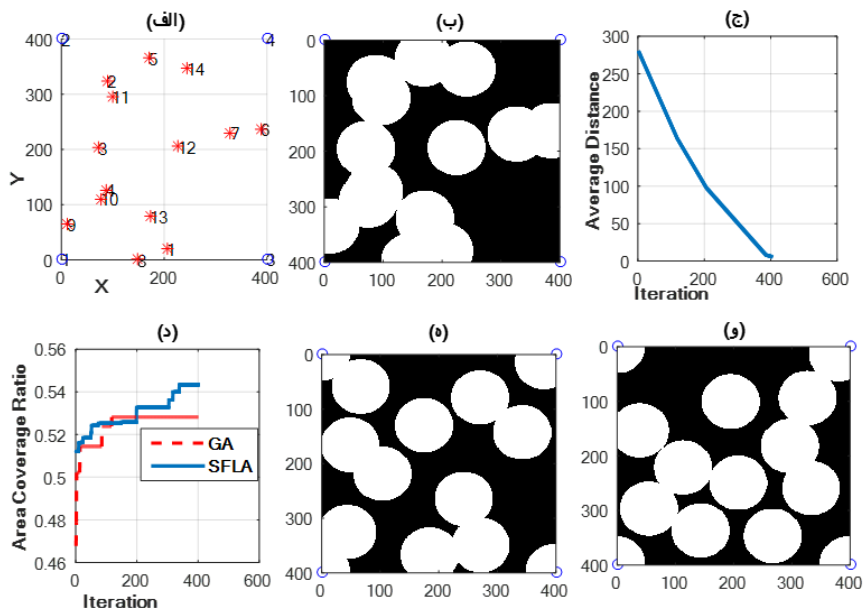
شکل (۱): سناریوی اول، (الف): موقعیت اولیه اهداف (دایره) و حسگرها (ستاره)، (ب): پوشش‌دهی اولیه، (ج): مقایسه منحنی تابع برازش برای الگوریتم‌های مختلف، (د)، (ه) و (و): به ترتیب پوشش‌دهی نهایی الگوریتم‌های شدیدترین نزول با قاعده‌های آرمیچو و وولف، وراثتی با عملگر نخبه‌پروری و وراثتی بدون نخبه‌پروری.



شکل (۲): سناریوی دوم، (الف): موقعیت اولیه اهداف (دایره) و حسگرها (ستاره)، (ب): پوشش‌دهی اولیه، (ج): مقایسه منحنی تابع برازش برای الگوریتم‌های مختلف، (د)، (ه) و (و): به ترتیب پوشش‌دهی نهایی الگوریتم‌های شدیدترین نزول با قاعده‌های آرمیچو و وولف، وراثتی با عملگر نخبه‌پروری و وراثتی بدون نخبه‌پروری.



شکل (۳): (الف): موقعیت اولیه اهداف (دایره) و حسگرها (ستاره)، (ب): پوشش‌دهی اولیه، (ج): پوشش‌دهی نهایی حالت‌های مفروض، (د)، (ه) و (و): به ترتیب ترسیم مسیر حرکت حسگرها برای حالت ایدئال عاری از موانع و نویز، حالت دوم مبتنی بر نویز و حالت سوم در حضور مانع فیزیکی.



شکل (۴): (الف): موقعیت اولیه اهداف (دایره) و حسگرها (ستاره)، (ب): پوشش‌دهی اولیه، (ج) و (د) منحنی برازش پوشش‌دهی اهداف و نواحی، (ه) و (و): به ترتیب پوشش‌دهی نهایی الگوریتم‌های وراثتی و جهش قورباغه‌ای به هم‌آمیخته

genetic algorithm in heterogeneous wireless sensor networks”, Computational Intelligence in Electrical Engineering, vol. 6, no. 3, pp. 0-16, 2015.

- [3] A. Ali, et. al., “A comprehensive survey on real-time applications of WSN” Future Internet, vol. 9, no.4, 2017.
- [4] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, “Wireless

مراجع

- [1] M. Tubaishat and S. Madria, “Sensor networks: an overview,” IEEE Potentials, vol. 22, no. 2, pp. 20-23, 2003.
- [2] M. Honarmand, A. Ghiasian and H. Saidi, “Design of an energy aware clustering scheme based on

- “Maximizing Coverage in a Connected and K-Covered Wireless Sensor Network Using Genetic Algorithms,” *International Journal of Applied Mathematics and Informatics*, vol. 1, no. 3, pp. 123-130, 2007.
- [21] K. S. Yildirim, T. E. Kalayci, and A. Ugur, “Optimizing Coverage in a K-Covered and Connected Sensor Network Using Genetic Algorithms,” In *Proc. 9th WSEAS international conference on evolutionary computing*, 2008.
- [22] S.-K. Gupta, P. Kuila, and P. K. Jana, “Genetic algorithm approach for k-coverage and m-connected node placement in target based wireless sensor networks,” *Comput. Elect. Eng.*, vol. 56, pp. 544-556, 2016.
- [23] Y. El Khamlichi, et. al., “A hybrid algorithm for optimal wireless sensor network deployment with the minimum number of sensor nodes,” *Algorithms*, vol. 10, no. 3, 2017.
- [24] B. Cao, et. al., “Deployment optimization for 3D industrial wireless sensor networks based on particle swarm optimizers with distributed parallelism,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 103, pp. 225-238, 2018.
- [25] H. Mostafaei, et. al., “A sleep scheduling approach based on learning automata for WSN partial coverage,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 80, pp. 67-78, 2017.
- [26] W. Osamy, et. al., “Sensor network node scheduling for preserving coverage of wireless multimedia networks,” *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 9, no. 5, pp. 295-305, 2019.
- [27] J. Nocedal, S. J. Wright, *Numerical Optimization*; Springer Verlag: New York, NY, USA, 2006.
- [28] W.Y. Sun, Y. Yuan, *Optimization Theory and Methods: Nonlinear Programming*, Springer-Verlag, New York, 2006.
- [29] M. Ahookhosh, S. Ghaderi, “On efficiency of nonmonotone Armijo-type line searches”, *Appl. Math. Model.* Vol. 43, pp. 170–190, 2017.
- [30] M. Kim, S. Kwon, S. Oh, “The Performance of A Modified Armijo Line Search Rule in BFGS Optimization Method”, *J. Chungcheong Math. Soc.* Vol. 21, pp. 117-127, 200.
- [31] R. L. Haupt, S. E. Haupt, “*Practical Genetic Algorithms*”, Wiley, 2004.
- [32] M. Sharifiasn, H. Karshenas, S. Sharifiasn . “Improving Network Intrusion Detection by Identifying Effective Features using Evolutionary Algorithms based on Support Vector Machine”, *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 29-42, 2020.
- [33] T. H. Huynh, “A Modified Shuffled Frog Leaping Algorithm for. Optimal Tuning of Multivariable PID Controllers”, *Proc. IEEE Int. Conf. on Industrial Technol.* 2008, pp. 1-6.
- [34] M. Jadidoleslam, A. Bijami, A. Ebrahimi , “Generation Expansion Planning by a Modified SFL Algorithm”, *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 27-44, 2013.
- sensor network survey,” *Computer networks*, vol. 52, no. 12, pp. 2292–2330, 2008.
- [5] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, “Overview of wireless sensor networks,” *IEEE Computer*, vol. 38, no. 8, pp. 41-49, 2004.
- [6] M. Salkhordeh Haghighi, P. Aminsharie Najafi, “Improving the performance of three dimensional wireless sensor networks with nodes displacement capability”, *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 65-82, 2020.
- [7] S. Abdollahzadeh, and N. J. Navimipour, “Deployment strategies in the wireless sensor network: A comprehensive review,” *Comput. Communications*, vol. 91–92, pp. 1–16, 2016.
- [8] F. Aznoli, and N. J. Navimipour, “Deployment strategies in the wireless sensor networks: systematic literature review, classification, and current trends,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 95, no. 2, pp. 819–846, 2017.
- [9] B. Wang, “Coverage problems in sensor networks: A survey,” *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 43, no. 4, 2011.
- [10] M. Esnaashari, and M. R. Meybodi, “Dynamic point coverage problem in wireless sensor networks: a cellular learning automata Approach,” *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 193-234, 2010.
- [11] M. Karatas, “Optimal deployment of heterogeneous sensor networks for a hybrid point and barrier coverage application,” *Computer Networks*, vol. 132, pp. 129-144, 2018.
- [12] P. M. Pradhan and G. Panda, “Connectivity constrained wireless sensor deployment using multiobjective evolutionary algorithms and fuzzy decision making,” *Ad Hoc Networks*, vol.10, pp.1134–1145, 2012.
- [13] M. Farsi, et. al., “Deployment Techniques in Wireless Sensor Networks, Coverage and Connectivity: A Survey,” *IEEE Access* 7, pp. 28940–28954, 2019.
- [14] K. Mougou, et. al., “Redeployment of randomly deployed wireless mobile sensor nodes,” *VTC Fall, IEEE*, 2012, pp. 1-5.
- [15] J. Li, et. al., “An extended virtual force-based approach to distributed self-deployment in mobile sensor networks,” *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 8, no. 3, Art. no. 417307, 2012.
- [16] M. Maksimovic, “Evaluating the optimal sensor placement for smoke detection,” *Yugoslav J. Oper. Res.*, vol. 26, no. 1, pp. 33-50, 2016.
- [17] Y. Liu, et. al., “A virtual square grid-based coverage algorithm of redundant node for wireless sensor network,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 811-817, 2013.
- [18] S. Fortune, “Voronoi diagrams and delaunay triangulations,” in *Computing in Euclidean Geometry*, 1995, pp. 225-265.
- [19] T.-W. Sung and C.-S. Yang, “Voronoi-based coverage improvement approach for wireless directional sensor networks,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 39, pp. 202–213, 2014.
- [20] T. E. Kalayci, K. S. Yildirim, and A. Ugur,

-
- ¹ Wireless Sensor Network (WSN)
 - ² Coverage
 - ³ Area Coverage
 - ⁴ Target Coverage
 - ⁵ Barrier Coverage
 - ⁶ Genetic algorithm
 - ⁷ Steepest descent algorithm
 - ⁸ Armijo search Line rule
 - ⁹ Wolf Search Line rule
 - ¹⁰ Shuffled Frog Leaping algorithm
 - ¹¹ Hessian Matrix
 - ¹² Fitness Function
 - ¹³ Memplex

