



ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ QUY HOẠCH MẠNG RFID

Nguyễn Văn Tùng^{1,2*}, Lê Văn Hòa³

¹ Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Khoa học – Đại học Huế, Việt Nam

² Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

³ Trường Du Lịch – Đại học Huế, Việt Nam

Tóm tắt. Quy hoạch mạng RFID (Radio frequency identification) là bài toán lắp đặt các đầu đọc trong một vùng làm việc sao cho một thẻ có thể được bao phủ bởi ít nhất một đầu đọc. Mục tiêu của bài toán quy hoạch mạng RFID là tìm vị trí tối ưu của các đầu đọc sao cho mạng các đầu đọc bao phủ được hầu hết các thẻ và đồng thời đáp ứng một số ràng buộc như độ bao phủ thẻ tối đa, nhiều tối thiểu,... Do số vị trí ứng viên của các đầu đọc trong một vùng làm việc thường là rất lớn, nên giải pháp phù hợp cho vấn đề này là sử dụng các phương pháp heuristic để tìm vị trí tối ưu. Các phương pháp heuristic đã được đề xuất gồm ABC (Artificial Bee Colony), CS (Cuckoo Search), FA (Firefly Algorithm), GA (Genetic Algorithm) và PSO (Particle Swarm Optimization). Tuy nhiên, chưa có một đánh giá và so sánh nào về hiệu quả của các phương pháp này trong vấn đề quy hoạch mạng RFID. Do đó, bài báo này tiến hành so sánh và đánh giá hiệu quả của các phương pháp quy hoạch mạng theo heuristic này. Từ kết quả mô phỏng có thể nhận thấy rằng không có phương pháp nào là tốt nhất trong mọi trường hợp và tùy theo mục tiêu và mong muốn người dùng có thể sử dụng các phương pháp heuristic khác nhau.

Từ khóa: RFID, quy hoạch mạng RFID, Artificial Bee Colony, Cuckoo Search, Firefly Algorithm, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization

Evaluating effectiveness of RFID network planning

Nguyen Van Tung^{1,2*}, Le Van Hoa³

¹ Faculty of Information Technology, University of Sciences, Hue University, Vietnam

² Faculty of Information Technology, Ho Chi Minh City University of Industry and Trade, Vietnam

³ School of Hospitality & Tourism - Hue University, Vietnam

Abstract. RFID (Radio Frequency Identification) network planning is the challenge of strategically placing RFID readers in a working area to ensure that each tag can be covered by at least one reader. The objective of the RFID network planning problem is to find the optimal positions of readers so that the network of readers can cover most of the tags while also satisfying certain constraints such as maximum tag coverage, minimum interference, etc. Because the number of potential candidate locations for readers within a working area is typically large, the appropriate solution for this problem is to utilize heuristic methods to find

* Liên hệ: nvtung@hueuni.edu.vn

the optimal positions. Various heuristic methods have been proposed, including Artificial Bee Colony (ABC), Cuckoo Search (CS), Firefly Algorithm (FA), Genetic Algorithm (GA), and Particle Swarm Optimization (PSO). However, there has been no evaluation and comparison of the effectiveness of these methods in the RFID network planning problem. Therefore, this paper proceeds to compare and evaluate the effectiveness of these heuristic network planning methods. From the simulation results, it can be observed that there is no one-size-fits-all method, and depending on the user's goals and preferences, different heuristic methods can be utilized.

Keywords: RFID, RFID network planning, Artificial Bee Colony, Cuckoo Search, Firefly Algorithm, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization

1 Giới thiệu

Công nghệ nhận dạng tần số vô tuyến (RFID) đã thể hiện được nhiều ưu điểm vượt trội như: không tiếp xúc vật lý, nhanh chóng, bảo mật cao và dung lượng lưu trữ cao,... Không giống như công nghệ nhận dạng mã vạch truyền thống, RFID được sử dụng rộng rãi hơn nhằm gắn thẻ (tag) và xác định các đối tượng vật lý trong các lĩnh vực khác nhau: công nghiệp, chăm sóc sức khỏe, quản lý chuỗi cung ứng và vận chuyển, thậm chí là nông nghiệp và du lịch [1]. Công nghệ RFID được xem là công nghệ chủ chốt của IoT (Internet of Things), trong đó RFID cho phép cung cấp cơ sở hạ tầng thông tin cho các ứng dụng IoT quy mô lớn [2].

Mạng RFID bao gồm một tập hợp các thẻ RFID, một hoặc nhiều đầu đọc RFID được kết nối với nhau cùng một hệ thống máy chủ trung tâm để lưu trữ và xử lý dữ liệu. Một thẻ RFID có thể chủ động (active) hoặc thụ động (passive). Thẻ RFID thụ động không có nguồn năng lượng riêng, nó lấy năng lượng từ đầu đọc và thường chỉ chứa một số lượng nhỏ dữ liệu. Thẻ thụ động có giá khá rẻ nên được ứng dụng khá nhiều trong thực tế, như an ninh công cộng, kiểm soát giao thông, giám sát kho bãi ...

Mỗi đầu đọc RFID có vùng phủ sóng hạn chế, nên việc phân bố chúng sao cho có thể phủ/đọc được hết các thẻ là điều cần thiết. Ngoài ra, các ràng buộc khác như hạn chế tối đa số thẻ nằm trong vùng chồng lấn các đầu đọc là điều cần thiết trong các hệ thống RFID. Vấn đề này được biết đến là quy hoạch mạng RFID (RFID networks planning - RNP). Việc giải quyết bài toán RNP là một nhiệm vụ khó khăn và trong thời gian gần đây đã có nhiều công trình nghiên cứu nhằm giải quyết vấn đề này, chủ yếu là sử dụng các phương pháp heuristic như ABC, CS, FA, GA và PSO.

Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành so sánh và đánh giá hiệu quả của 5 phương pháp quy hoạch mạng RFID theo heuristic (ABC, CS, FA, GA và PSO) từ đó đưa ra các khuyến nghị cho việc sử dụng các phương pháp heuristic để quy hoạch mạng RFID.

Các phần tiếp theo của bài báo này bao gồm: Phần 2 trình bày các nghiên cứu liên quan về việc sử dụng phương pháp heuristic trong vấn đề RNP, Phần 3 là mô tả chi tiết về các phương

pháp heuristic trong RNP, các tiêu chí đánh giá hiệu quả quy hoạch mạng RFID được trình bày trong phần 4, mô phỏng, trình bày các kết quả đạt được thể hiện trong Phần 5 và kết luận ở trong Phần 6.

2 Các nghiên cứu liên quan

Vì RNP thuộc về lớp bài toán NP-khó [3] nên hướng tiếp cận thông thường là sử dụng các phương pháp dựa trên heuristic. Sau đây là các công trình nghiên cứu liên quan sử dụng phương pháp heuristic trong quy hoạch mạng RFID.

Phương pháp cải tiến từ hành vi đàn ong ABC (Artificial Bee Colony) là một thuật toán tối ưu hóa lấy cảm hứng từ hành vi săn mồi thông minh của đàn ong. Thuật toán này được đề xuất trong [4] bởi Dervis Karaboga vào năm 2005. Mục tiêu của thuật toán là tìm kiếm giải pháp tối ưu bằng cách mô phỏng quá trình tương tác giữa ong công và ong thợ trong một tổ ong. Chen và cộng sự [5] đã đề xuất phương pháp MOABC (MultiObjective ABC) trong đó tác giả đưa ra các mục tiêu như độ phủ sóng, độ nhiễu và mô hình hóa về một hàm mục tiêu và ứng dụng phương pháp ABC để tìm vị trí các đầu đọc. Bacanin và cộng sự [6] tiến hành xác định số lượng và vị trí của các đầu đọc theo phương pháp ABC kết hợp với việc nhóm thẻ và đầu đọc theo từng khu vực. Jing và cộng sự [7] đề xuất một phương pháp gọi là tổ ong nhân tạo lai HABC (Hybrid ABC), sử dụng cơ chế vòng đời tự nhiên để biến đổi khung làm việc ABC gốc thành một hình thái hợp tác và thay đổi số lượng cá thể. Trong thuật toán HABC đề xuất, cá thể có thể chuyển đổi trạng thái tồn tại và kích thước đầu đọc thay đổi động tùy theo thực tế phạm vi hoạt động trong quá trình thực thi. Ma và cộng sự [8] đề xuất mô hình H-MOABC (Hybird – MultiObjective ABC) dựa trên các giá trị hàm mục tiêu với phương pháp học tăng cường.

Phương pháp CS là phương pháp được lấy cảm hứng từ hành vi ấp trứng của chim Cuckoo được giới thiệu bởi Xin-She Yang và Suash Deb vào năm 2009 [9]. Phương pháp CS có hiệu suất tốt trong việc tìm kiếm các giải pháp tối ưu cho các bài toán phức tạp. Tuy nhiên, như các thuật toán tối ưu hóa khác, hiệu suất của nó còn phụ thuộc vào cách thức thực hiện và cấu hình tham số. Jaballah và cộng sự [10] đã đề xuất phương pháp điều khiển các tham số động của CS có tên là SACS (Self Adaptive Cuckoo Search). Talib và cộng sự [11] đề xuất phương pháp tìm kiếm theo gradient có tên GBCS (Gradient-Based Cuckoo Search). Hasnan và cộng sự [12] tiến hành so sánh, đánh giá phương pháp GBCS với phương pháp PSO, FA kết quả là GBCS chỉ sử dụng số lượng 6 đầu đọc khi phân phối 100 thẻ và 5 đầu đọc trong trường hợp 50 thẻ cho hiệu quả bao phủ 100% cho thấy tính tin cậy của GBCS trong khu vực quy mô lớn và dữ liệu thẻ lớn.

Phương pháp FA (Firely Alogrithm) là một thuật toán tối ưu hóa heuristic được lấy cảm hứng từ hành vi phát sáng của đom đóm. Nó được đề xuất bởi Xin-She Yang vào năm 2008 [13] và từ đó đã được sử dụng rộng rãi để giải quyết các vấn đề tối ưu hóa khác nhau, gồm tối ưu hóa hàm, ước lượng tham số và lựa chọn đặc trưng. Tuba và cộng sự [14], đề xuất phương pháp

MBFA (multi-objective Firely Alogrithm) với việc xây dựng hàm đa mục tiêu bao gồm độ bao phủ, độ nhiễu,... kết hợp sử dụng FA để tối ưu hóa vị trí lắp đặt đầu đọc. Một cải tiến tiếp theo của Musin và cộng sự [15] bằng cách kết hợp kỹ thuật phân cụm thể dựa trên mật độ phân bố thể DBSCAN (Density Based Clustering Method) và sử dụng FA để tối ưu hóa vị trí đầu đọc. Phương pháp này cho thấy có thể sử dụng trong các môi trường lớn và phức tạp với các khu vực làm việc trong nhà có hình dạng khác nhau, đó là một trong những thách thức đối với việc quy hoạch mạng RFID.

Phương pháp PSO là một thuật toán tối ưu hóa lấy cảm hứng từ hành vi di cư của các hạt/cá thể trong một bầy đàn. Thuật toán này được đề xuất bởi Kennedy và Eberhart vào năm 1995 [16]. PSO mô phỏng quá trình tìm kiếm tối ưu bằng cách xem xét sự tương tác và hợp tác giữa các cá thể trong không gian tìm kiếm. PSO đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, bao gồm tối ưu hóa hệ thống RFID. Trong những nghiên cứu thời gian gần đây, Hasnan và cộng sự [17] đã triển khai cải tiến thuật toán PSO đầu tiên cho bài toán RNP với thuật toán tối ưu hoá bầy đàn hồi quy MC-GPSO (Multi-Colony Global Particle Swarm Optimization) nhằm mục tiêu tối đa hóa phạm vi phủ sóng, tối thiểu hóa số lượng đầu đọc và độ nhiễu thấp nhất. Nhằm mục tiêu giảm thiểu tổng số đầu đọc cần thiết để nhận dạng các thẻ trong một khu vực cho trước tốt hơn, Raghib và cộng sự [18] đề xuất thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phần tử giới hạn tốc độ các đầu đọc cho việc di chuyển có tên là SMPSO (Speed constrained Multi-objective Particle Swarm Optimisation) được áp dụng. Cao và cộng sự [19] đã đề xuất một thuật toán tối ưu hóa bầy đàn lai với phân cụm K-mean và “lực ảo” (virtual forces) được đặt tên là HPSO-RNP (Hybrid Particle Swarm Optimization - RNP). HPSO-RNP có thể tự động tìm kiếm các đầu đọc và khởi tạo tọa độ ban đầu của các đầu đọc thông qua thuật toán K-means. “Lực ảo” được tích hợp vào chuyển động ngẫu nhiên để điều chỉnh vị trí của đầu đọc trong quá trình tìm kiếm của PSO. Để so sánh HPSO-RNP với các phương pháp khác, thực nghiệm được tiến hành trên 8 bộ dữ liệu chuẩn và kết quả xác nhận rằng hiệu suất của HPSO-RNP là tốt hơn về số lượng đầu đọc, nhiễu, công suất và cân bằng tải trong khu vực làm việc lần lượt là $50 \times 50 \text{m}^2$ và $150 \times 150 \text{m}^2$ với số lượng thử nghiệm gồm 30, 50 và 100 đầu đọc.

Nhóm các giải pháp được sử dụng phổ biến tiếp theo là dùng giải thuật di truyền GA (Genetic Algorithm để giải quyết vấn đề RNP. Tiêu biểu như Guam và cộng sự [20] đã đưa ra cách tiếp cận GA cho RNP, theo đó một bộ gene mang thông tin của mạng RFID được đưa vào, bộ gene được xác định theo mô hình phân cấp với 3 cấp. Cấp đầu tiên quyết định lựa chọn vị trí ứng viên, cấp 2 xác định loại antena được sử dụng và cấp cuối cùng xử lý vị trí thông số các đầu đọc. Guan sử dụng toán tử lai ghép cho cấp đầu tiên của giải thuật và toán tử đột biến được sử dụng ở cấp cuối cùng. Trong nghiên cứu của Yang và cộng sự [21], bộ gene được sử dụng là các mã nhị phân nhằm thể hiện thông tin của các RFID reader, bao gồm 2 thông tin là vị trí và vùng phủ sóng. Ngoài ra tác giả còn tiến hành mã hóa thuộc tính vật lý của ăng ten bao gồm: loại ăng ten, năng lượng,... Yang và CS sử dụng phương pháp Rouletted để lựa chọn các quần thể, đồng

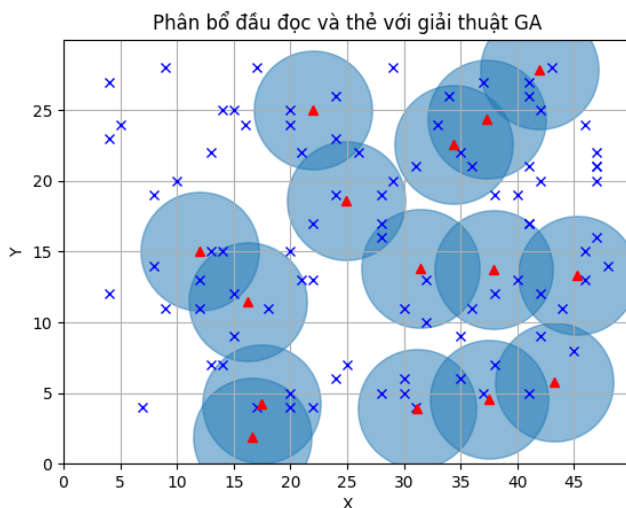
thời sử dụng lai ghép và đột biến nhằm tạo sự đa dạng trong quần thể. Zhang và cộng sự [22], đã giới thiệu 2 loại RFID reader là RFID reader với ăng ten định hướng và RFID reader với ăng ten đa hướng nhằm cải tiến RNP bằng cách sử dụng GA. Nhìn chung các giải pháp sử dụng GA trong RNP chủ yếu khác nhau ở việc xác định gene và dùng GA để tối ưu hóa vị trí phân bố các đầu đọc RFID.

Rõ ràng, các phương pháp cải tiến heuristic đã chứng tỏ được hiệu quả cho việc quy hoạch mạng RFID. Tuy nhiên, chưa có một công trình nào đánh giá một cách khách quan hiệu quả quy hoạch mạng RFID trên các phương pháp heuristic này. Do đó, bài báo này tiến hành phân tích và đánh giá hiệu quả của 5 phương pháp heuristic ABC, CS, FA, GA và PSO trong quy hoạch mạng RFID nhằm đưa ra một số khuyến nghị cho việc áp dụng.

3 Phương pháp heuristic trong quy hoạch mạng RFID

3.1 Phân tích bài toán quy hoạch mạng RFID

Xét một vùng làm việc có kích thước $w \times h$ trong đó các thẻ được phân bố ngẫu nhiên (như Hình 1, với $w = 50m$ và $h = 30m$). Vấn đề RNP được biết đến là làm sao có thể phân bố các đầu đọc thỏa mãn các tiêu chí như: bao phủ được hầu hết các thẻ, số lượng thẻ nằm trong vùng chồng lấn giữa các đầu đọc là thấp nhất. Vấn đề này là NP-khó do số lượng vị trí có thể bố trí các đầu đọc là không có giới hạn. Do đó, giải pháp tối ưu cho vấn đề này là sử dụng phương pháp heuristic (ABC, CS, FA, GA và PSO) nhằm đạt được hiệu quả tối ưu trong phân bố đầu đọc.



Hình 1. Ví dụ vùng làm việc trong vấn đề RNP

Theo như [22] giả sử các đầu đọc là đẳng cấu với tần số truyền 915 MHz, công suất truyền 2 watts (W), ngưỡng công suất nhận 0.1 milliwatts (mW) và ăng-ten vô hướng được trang bị có vùng bao phủ tròn với bán kính.

$$r = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}} \quad (1)$$

trong đó:

P_t : Năng lượng (power) truyền bởi đầu đọc

P_r : Năng lượng truyền bởi thẻ

G_t, G_r : Độ lợi (gain) ca đầu đọc và thẻ (được giải thiết bằng 1)

λ : Bước sóng của tín hiệu

r : Bán kính của vùng bao phủ ăng-ten

Bằng cách sử dụng các giá trị ở trên, bán kính (r) vùng đọc của mỗi đầu đọc được tính bằng m.

3.2 Giá trị hàm mục tiêu (fitness)

Việc lắp đặt các đầu đọc trong một vùng làm việc cần đáp ứng nhiều tiêu chí khác nhau, mà chúng được mô hình hóa dưới dạng các hàm mục tiêu. Các tiêu chí phổ biến và quan trọng nhất là độ bao phủ các thẻ và tỉ lệ chồng lấn các thẻ trong vùng chồng lấn. Do đó, 2 tiêu chí này được chúng tôi sử dụng là hàm mục tiêu trong quá trình tối ưu hóa vị trí lắp đặt các đầu đọc trong quy hoạch mạng RFID theo các phương pháp heuristic.

Độ bao phủ các thẻ

Cải thiện mức độ phủ sóng luôn là mục tiêu tối quan trọng trong việc thiết kế mạng RFID. Trong nhiều ứng dụng, cần có bao phủ đầy đủ, tức là mỗi thẻ được bao phủ bởi ít nhất một đầu đọc. Đặt RS_r là tập hợp các đầu đọc được triển khai ban đầu và TS là tập hợp các thẻ. Vì giao tiếp giữa đầu đọc với thẻ và giao tiếp từ thẻ đến đầu đọc đều được xem xét, nên đối với thẻ bất kỳ $tag \in TS$, nó được xem là được bao phủ nếu và chỉ nếu tồn tại một đầu đọc $reader \in RS$ thỏa mãn $Distance(reader, tag) < r$ (khoảng cách Euclid từ reader đến tag bé hơn bán kính vùng đọc).

Tỷ lệ phủ sóng của mạng có thể được định nghĩa như Công thức (2) [23][24], trong đó f_1 là hàm mục tiêu về độ bao phủ.

$$f_1 = COV = \sum_{tag \in TS} \frac{cv(tag)}{|TS|} \quad (2)$$

$$\text{trong đó: } cv(tag) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } \exists reader \in RS, Distance(reader, tag) < r \\ 0 & \text{ngược lại} \end{cases}$$

và $|TS|$ là số lượng thẻ được phân phối trong khu vực làm việc.

Theo Công thức (2), giá trị f_1 thuộc khoảng $(0, 1)$: f_1 càng lớn thì càng hiệu quả vì càng nhiều số lượng thẻ được bao phủ.

Độ chồng lấn vùng phủ sóng

Việc đạt được phạm vi bao phủ đầy đủ các thẻ có thể gây ra sự chồng lấn vùng thẩm vấn của các đầu đọc (như Hình 1, các vùng giao thoa đọc cùng thẻ giữa các đầu đọc). Sự chồng lấn này có thể gây nhiễu khi một số đầu đọc cố gắng truy vấn một thẻ cùng lúc, điều này dẫn đến việc đọc lỗi và tốn nhiều năng lượng (Hình 1). Do đó, một trong những nhiệm vụ quan trọng tiếp theo của RNP là làm giảm nhiễu. Để đáp ứng điều này bài báo đề xuất một hàm giảm số lượng thẻ được đọc trong vùng nhiễu như Công thức (3) [23, 24]:

$$f_2 = \frac{|TS|}{|TS| + I_t} \quad (3)$$

trong đó I_t là số lượng thẻ nằm trong vùng nhiễu. Giá trị $f_2 = 1$ khi $I_t = 0$ lúc này việc lắp đặt các readers không gây ra nhiễu.

Kết hợp giữa các giá trị này chúng tôi có hàm mục tiêu (fitness) cho bài toán quy hoạch mạng RFID như được thể hiện trong Công thức (4).

$$fitness = f_1 w_1 + f_2 w_2 \quad (4)$$

trong đó w_k là trọng số của hàm mục tiêu k và $\sum_{k=1}^2 w_k = 1$. Giải pháp tốt nhất có giá trị fitness lớn nhất trong $[0, 1]$.

3.3 Tối ưu hóa vị trí lắp đặt đầu đọc dựa trên phương pháp heuristic

Các phương pháp heuristic được sử dụng để phân bố đầu đọc trong quy hoạch mạng RFID cho đến hiện tại có thể kể đến là: *ABC*, *CS*, *FS*, *GA* và *PSO* sau đây là chi tiết các phương pháp này trong quy hoạch mạng RFID.

Tối ưu hóa vị trí lắp đặt dựa trên ABC

Phương pháp ABC (Artificial Bee Colony) là một thuật toán tối ưu hóa dựa trên hành vi tự nhiên của ong trong tổ để tìm kiếm thức ăn. Nó được sử dụng để giải quyết các vấn đề tối ưu hóa trong vấn đề quy hoạch mạng phương pháp ABC được thực hiện lần lượt ở các bước sau.

Các bước chính trong phương pháp ABC cho quy hoạch mạng RFID được mô tả như sau:

Bước 1. Khởi tạo: Bắt đầu với một tập hợp các giải pháp ban đầu, mỗi giải pháp đại diện cho một cách triển khai thử nghiệm phân bố vị trí các đầu đọc trong hệ thống RFID.

Bước 2. Quy trình của Ong Khởi Tạo (Employed Bees): Các ong khởi tạo tìm kiếm các vị trí tốt hơn bằng cách điều chỉnh các thông số của các đầu đọc RFID. Các giải pháp mới được tạo ra thông qua việc thay đổi một số tham số liên quan đến vị trí và giá trị hàm mục tiêu (hàm fitness ở mục 3.2) được đưa vào.

Bước 3. Quy trình của Ong Khám Phá (Onlooker Bees): Ong khám phá theo dõi các ong khởi tạo và chọn các vị trí tốt hơn dựa trên chất lượng của các giải pháp hiện tại. Các ong khám phá thực hiện việc tìm kiếm trong các vùng có tiềm năng tốt hơn bằng cách thử nghiệm và đánh giá các giải pháp mới một cách liên tục.

Bước 4. Quy trình của Ong Khai Thác (Scout Bees): Nếu một ong khám phá không tìm thấy giải pháp tốt hơn sau một thời gian, nó có thể báo cáo về việc này và các ong khai thác có thể thay thế giải pháp đó bằng cách tạo ra các giải pháp ngẫu nhiên mới. Điều này giúp tránh việc tối ưu hóa cục bộ trong lựa chọn các giải pháp phân bố đầu đọc RFID.

Bước 5. Cập nhật vị trí: Sau khi các ong đã thực hiện quá trình tìm kiếm và đánh giá các giải pháp mới, các giải pháp tốt nhất được cập nhật và duy trì.

Bước 6. Điều kiện dừng: Quá trình lặp lại từ Bước 2 đến Bước 5 ở trên trong một số lần lặp cố định hoặc cho đến khi đạt được một giải pháp tối ưu đủ tốt (chẳng hạn qua 5 lần lặp không thay đổi giá trị fitness).

Tóm lại, phương pháp ABC trong quy hoạch mạng RFID sử dụng mô phỏng hành vi của ong để tìm kiếm các giải pháp tối ưu. Các ong khởi tạo, khám phá và khai thác tương tác với nhau để cùng nhau tìm ra phân bố tối ưu cho bài toán RNP.

Tối ưu hóa vị trí lắp đặt đầu đọc dựa trên CS

Cuckoo Search (CS) là một thuật toán dạng heuristic lấy cảm hứng từ tự nhiên để giải quyết các vấn đề về tối ưu hóa bằng cách tìm ra một giải pháp gần như tối ưu trong một khoảng thời gian hợp lý. Chim Cuckoo có thể thay đổi vị trí của các quả trứng và sao chép các chiến lược tốt từ các tổ khác để cải thiện khả năng sinh sản của chúng. Tương tự, trong CS, các "quả trứng" biểu diễn các giải pháp trong không gian tìm kiếm và được di chuyển qua các vị trí khác nhau để tìm kiếm giải pháp tối ưu.

Các bước của phương pháp CS trong quy hoạch mạng RFID được mô tả như sau:

Bước 1. Khởi tạo quần thể: Tạo ra một số lượng lớn các "quả trứng" (giải pháp phân bố vị trí các đầu đọc RFID) ban đầu trong vùng làm việc. Các quả trứng có thể được đặt ở các vị trí ngẫu nhiên hoặc theo một quy tắc cụ thể.

Bước 2. Xác định hàm mục tiêu (fitness): Tiến hành xác định rõ hàm mục tiêu của quy hoạch mạng RFID. Giá trị hàm mục tiêu này chính là giá trị hàm fitness như được mô tả trong mục 3.2.

Bước 3. Đánh giá và chọn lọc: Đánh giá hiệu suất của mỗi "quả trứng" dựa trên hàm mục tiêu ở Bước 2. Chọn lọc ra một số lượng "quả trứng" tốt nhất để tiếp tục tối ưu hóa.

Bước 4. Di chuyển và sao chép: Di chuyển một số "quả trứng" tới các vị trí mới trong không gian tìm kiếm. Một số "quả trứng" cũng có thể sao chép các thông tin từ các "quả trứng" khác nhằm cải thiện giải pháp của chúng.

Bước 5. Tạo ra quả trứng mới: Tạo ra một số lượng mới "quả trứng" bằng cách kết hợp thông tin từ các "quả trứng" tốt nhất

Bước 6. Điều kiện dừng: Quá trình lặp lại từ Bước 2 đến Bước 5 ở trên trong một số lần lặp cố định hoặc cho đến khi đạt được một giải pháp tối ưu đủ tốt (chẳng hạn qua 5 lần lặp không thay đổi giá trị fitness).

Tóm lại, phương pháp CS trong quy hoạch mạng RFID sử dụng cơ chế ấp trứng của chim Cuckoo để di chuyển và cải thiện các giải pháp trong không gian tìm kiếm, nhằm tối ưu hóa vị trí của các đầu đọc RFID trong vùng làm việc.

Tối ưu hóa vị trí lắp đặt dựa trên FA

Giải thuật FA (Firefly Algorithm) là một thuật toán tối ưu hóa dựa trên hành vi của đom đóm trong việc tìm kiếm đối tượng hoặc thức ăn trong môi trường. Phương pháp FA mô phỏng quá trình giao tiếp và tương tác giữa các đom đóm trong đêm. Các đom đóm thường tỏa sáng để thu hút nhau, và ánh sáng này được coi là tương ứng với chất lượng của giải pháp tối ưu hóa. Các đom đóm sẽ tìm kiếm và di chuyển đến những vị trí sáng hơn để cải thiện chất lượng giải pháp.

Các bước chính trong phương pháp FA cho quy hoạch mạng RFID được mô tả như sau:

Bước 1. Khởi tạo: Bắt đầu với một tập hợp các giải pháp ban đầu, tương ứng với các vị trí ban đầu của các đầu đọc trong hệ thống RFID.

Bước 2. Phát triển ánh sáng: Mỗi đom đóm có một mức độ ánh sáng tương ứng với chất lượng của giải pháp mà nó đại diện. Ánh sáng đại diện cho hàm mục tiêu (hàm fitness), giải pháp có giá trị fitness lớn hơn được xem là có ánh sáng tốt hơn so với các giải còn lại.

Bước 3. Di chuyển đến vị trí sáng hơn: Các đom đóm di chuyển đến các vị trí có ánh sáng sáng hơn để cải thiện chất lượng giải pháp. Quá trình di chuyển này có thể được thực hiện bằng cách điều chỉnh các thông số liên quan đến vị trí của các đầu đọc trong hệ thống RFID.

Bước 4. Quá trình giao tiếp: Các đom đóm tương tác với nhau bằng cách phát ánh sáng và tương tác với các đom đóm có ánh sáng sáng hơn. Quá trình này giống với quá trình lai ghép trong giải thuật GA nhằm tạo ra các giải pháp mới tốt hơn dựa trên giải pháp tốt nhất hiện tại.

Bước 5. Cập nhật vị trí: Sau mỗi vòng lặp, các vị trí của các đầu đọc RFID được cập nhật dựa trên quá trình tìm kiếm và di chuyển của đom đóm.

Bước 6. Điều kiện dừng: Quá trình lặp lại từ Bước 2 đến Bước 5 ở trên trong một số lần lặp cố định hoặc cho đến khi đạt được một giải pháp tối ưu đủ tốt (chẳng hạn qua 5 lần lặp không thay đổi giá trị fitness).

Tóm lại, giải thuật FA trong quy hoạch mạng RFID mô phỏng hành vi giao tiếp và di chuyển của đom đóm để tìm kiếm các giải pháp phân bố đầu đọc RFID tối ưu cho mạng. Các đom đóm di chuyển đến các vị trí có ánh sáng sáng hơn (giá trị fitness lớn hơn), tạo ra một quá trình tối ưu hóa theo hình thái của tự nhiên.

Tối ưu hóa vị trí lắp đặt dựa trên GA

Mục tiêu của bài toán RNP được xem xét trong bài báo này là xác định vị trí tối ưu của các đầu đọc trong vùng làm việc, nên tọa độ của đầu đọc sẽ được quan tâm chính. Giải pháp ứng viên do đó được mã hóa thành từng cặp gen biểu diễn tọa độ của các đầu đọc trong mỗi giải pháp ứng viên. Kết quả là nhiễm sắc thể có cấu trúc là một chuỗi $2n$ gen trong đó n cặp gen lưu tọa độ của n đầu đọc tương ứng. Phương pháp GA lấy cảm hứng từ cơ chế di truyền và tiến hóa trong tự nhiên. Quá trình tối ưu hóa bắt đầu với một quần thể các cá thể (giải pháp) và qua các thế hệ, các cá thể tốt hơn được tạo ra thông qua các phép lai ghép, đột biến và chọn lọc.

Các bước của phương pháp GA trong quy hoạch mạng RFID được mô tả như sau:

Bước 1. Khởi tạo quần thể: Tạo ra một quần thể ban đầu các cá thể (giải pháp phân bố vị trí các đầu đọc RFID) trong vùng làm việc. Các cá thể ban đầu có thể được tạo ngẫu nhiên hoặc thông qua quy tắc cụ thể.

Bước 2. Đánh giá: Đánh giá hiệu suất của mỗi cá thể trong quần thể dựa trên hàm mục tiêu (hàm fitness trong mục 3.2) trong quy hoạch mạng RFID.

Bước 3. Chọn lọc: Chọn ra một số lượng cá thể tốt nhất từ quần thể hiện tại để trở thành cha mẹ của thế hệ tiếp theo. Hay chọn ra các giải pháp có giá trị fitness tốt nhất để đưa vào quá trình lai ghép, đột biến tạo ra các cá thể mới tối ưu hơn.

Bước 4. Lai ghép: Tạo ra các cá thể con thông qua quá trình lai ghép. Thông thường, các cá thể con sẽ kế thừa các đặc điểm tốt từ cha mẹ và có thể trải qua quá trình biến đổi này.

Bước 5. Đột biến: Với một xác suất nhỏ, thực hiện quá trình đột biến trên các cá thể con để tạo ra sự đa dạng các giải pháp phân bố đầu đọc RFID.

Bước 6. Thế hệ mới: Tạo ra thế hệ cá thể mới bằng cách kết hợp các cá thể con mới với một số cá thể cha mẹ được chọn lọc từ thế hệ trước.

Bước 7. Lắp lại: Tiến hành các bước chọn lọc, lai ghép, đột biến và tạo thế hệ mới trong một số vòng lặp. Quá trình tiến hóa này làm cho quần thể dần hội tụ tới các giải pháp tốt trong không gian tìm kiếm.

Bước 8. Điều kiện dừng: Quá trình lắp lại từ Bước 3 đến Bước 6 ở trên trong một số lần lặp cố định hoặc cho đến khi đạt được một giải pháp tối ưu đủ tốt (chẳng hạn qua 5 lần lặp không thay đổi giá trị fitness).

Tóm lại, phương pháp GA trong quy hoạch mạng RFID sử dụng cơ chế di truyền và tiến hóa để tạo ra các giải pháp tối ưu thông qua quá trình lai ghép, đột biến và chọn lọc tự nhiên.

Tối ưu hóa vị trí lắp đặt đầu đọc dựa trên PSO

Thuật toán tối ưu hóa bầy đàn PSO (Particle Swarm Optimization) là một thuật toán nhằm giải quyết các bài toán tối ưu hóa trên một mô hình quần thể hay bầy đàn thông minh.

Các bước của phương pháp PSO trong quy hoạch mạng RFID được mô tả như sau:

Bước 1. Biểu diễn cá thể: Mỗi cá thể trong PSO biểu diễn một phương án phân bố đầu đọc RFID, được biểu diễn bằng vector các vị trí tương ứng.

Bước 2. Khởi tạo quần thể: Tạo ra một quần thể ban đầu của các cá thể (khởi tạo một nhóm giải pháp phân bố đầu đọc RFID ngẫu nhiên ban đầu). Các giá trị ban đầu của các biến trong cá thể có thể được chọn ngẫu nhiên hoặc thông qua một quy tắc nhất định.

Bước 3. Xác định hàm mục tiêu (fitness): Tiến hành xác định rõ hàm mục tiêu của quy hoạch mạng RFID. Giá trị hàm mục tiêu này chính là giá trị hàm fitness như được mô tả trong mục 3.2.

Bước 4. Cập nhật vận tốc và vị trí: Để tiến tới giải pháp tối ưu, mỗi cá thể cập nhật vận tốc và vị trí của nó. Vận tốc tương ứng với sự thay đổi vị trí của từng đầu đọc trong vùng làm việc. Quá trình cập nhật này dựa trên vị trí tốt nhất của chính cá thể và vị trí tốt nhất của toàn bộ quần thể.

Bước 5. Đánh giá và so sánh: Đánh giá hiệu suất của các cá thể dựa trên hàm mục tiêu. So sánh kết quả của các cá thể để xác định cá thể tốt nhất trong quần thể.

Bước 6. Cập nhật vị trí tốt nhất: Lưu trữ vị trí tốt nhất của các đầu đọc RFID mà cá thể đã đạt được trong lịch sử. Nếu một cá thể tốt hơn được tìm thấy, cập nhật các vị trí tốt nhất này.

Bước 7. Điều kiện dừng: Quá trình lặp lại từ Bước 3 đến Bước 6 ở trên trong một số lần lặp cố định hoặc cho đến khi đạt được một giải pháp tối ưu đủ tốt (chẳng hạn qua 5 lần lặp không thay đổi giá trị fitness).

Tóm lại, ý tưởng cơ bản của PSO là mô phỏng hành vi tìm kiếm và hợp tác của các cá thể trong một quần thể. Mỗi cá thể được coi là một "hạt" (particle) và có một vị trí trong không gian tìm kiếm. Các cá thể di chuyển xung quanh không gian tìm kiếm bằng cách cập nhật vận tốc và vị trí của chúng. Các cá thể "nhớ" vị trí tốt nhất mà chúng đã tìm thấy và vị trí tốt nhất mà toàn bộ quần thể đã tìm thấy.

4 **Mô phỏng và phân tích kết quả**

Mô phỏng được cài đặt bằng ngôn ngữ Python với vùng thử nghiệm 50×30 m², trong đó có 90 thẻ RFID được phân bố ngẫu nhiên trong vùng thử nghiệm. Số đầu đọc RFID được xem xét thay đổi từ 5 đến 50 đầu đọc trong quá trình mô phỏng. Các tham số mô phỏng như được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Các tham số mô phỏng

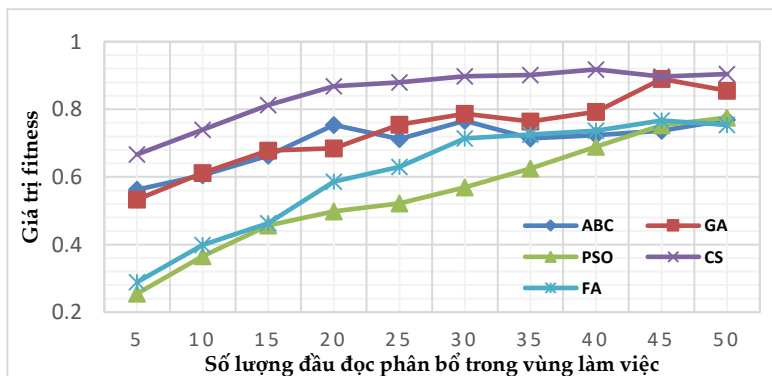
Tham số	Giá trị
Số lượng thẻ (Tag)	90
Trọng số fitness	$w_1=0.6; w_2=0.4$
Hàm fitness	Phương trình (5)
Điều kiện dừng	Qua 100 thế hệ hoặc 5 thế hệ fitness không đổi
Số cá thể/quần thể	15
Bán kính đầu đọc	3.69m
<i>Các tham số của GA</i>	
Phương pháp lựa chọn	Bánh xe Roulette
Phương pháp lai ghép	Tại một điểm
Phương pháp đột biến (xác suất)	tại một gen (0.05)
Chọn lựa thế hệ tiếp theo	30% cha mẹ tinh hoa và 70% con tốt nhất
<i>Các tham số của PSO</i>	
w (trọng số tương tác giữa cá thể và quần thể)	0.7
c1 (hệ số tương tác giữa các cá thể)	1.5
c2 (hệ số tương tác toàn quần thể)	1.5
<i>Các tham số của CS</i>	
p_a (xác suất thay thế trứng của cá thể)	0.25
α (tỉ lệ di chuyển của cá thể)	0.1
<i>Các tham số của ABC</i>	
Số lượng cá thể trong mỗi bầy	15
<i>Các tham số của FA</i>	
Số lượng cá thể trong mỗi bầy	15

Mục tiêu mô phỏng gồm:

- So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên giá trị fitness.
- So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên giá trị độ bao phủ các thẻ.
- So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên giá trị tỉ lệ các thẻ trong vùng chồng lấn.
- So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên giá trị thời gian thực hiện.

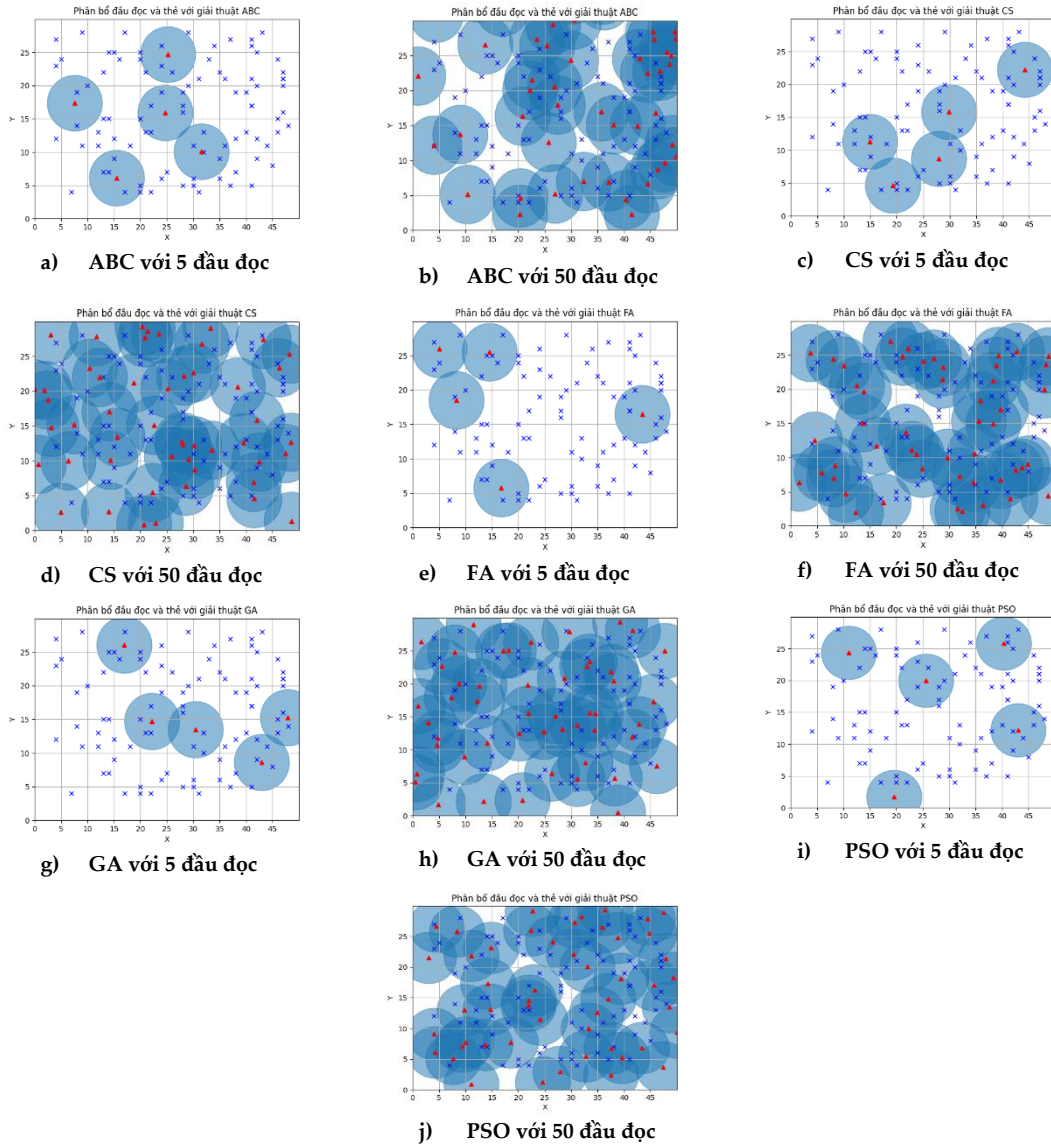
4.1 So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên giá trị fitness

Chúng tôi tiến hành khảo sát 5 phương pháp ABC, CS, GA, FA và PSO khi số lượng đầu đọc phân bố trong vùng làm việc thay đổi từ 5 đến 50 đầu đọc. Kết quả như được chỉ ra ở Hình 2 cho thấy rằng khi tăng số lượng đầu đọc thì giá trị fitness có xu hướng gia tăng ở cả 5 phương pháp, nguyên nhân là do khi tăng số lượng đầu đọc thì độ bao phủ cũng gia tăng theo dẫn đến giá trị fitness tốt hơn (như thể hiện trong Hình 2).



Hình 2. So sánh giá trị fitness của các phương pháp heuristic

Từ kết quả ở Hình 2 chúng ta cũng thấy rằng phương pháp CS cho kết quả tốt nhất ở cả 5 phương pháp, tiếp đến là GA, ABC, FA và PSO có giá trị thấp nhất ở cả 5 phương pháp. Cụ thể giá trị *fitness* của CS tốt hơn GA là khoảng 13%, tốt hơn ABC là 17%, tốt hơn FA là 29% và tốt hơn PSO là 35%. Nguyên nhân của kết quả này đến từ quá trình di chuyển và sao chép các trứng tốt nhất (giải pháp phân bố đầu đọc RFID) trong CS được tiến hành liên tục qua các thế hệ làm cho đạt đến sự phân bố tối ưu tốt hơn. Với phương pháp PSO kết quả tối ưu phụ thuộc rất nhiều vào quá trình di chuyển của cá thể (giải pháp), mà quá trình này phụ thuộc nhiều đến quá trình điều khiển vận tốc phù hợp khi thay đổi số lượng đầu đọc phân bố. Với GA kết quả đạt được cũng tương đối tốt do qua mỗi thế hệ luôn duy trì quá trình chọn lọc, lai ghép đột biến giúp đa dạng hơn các nhóm giải pháp.

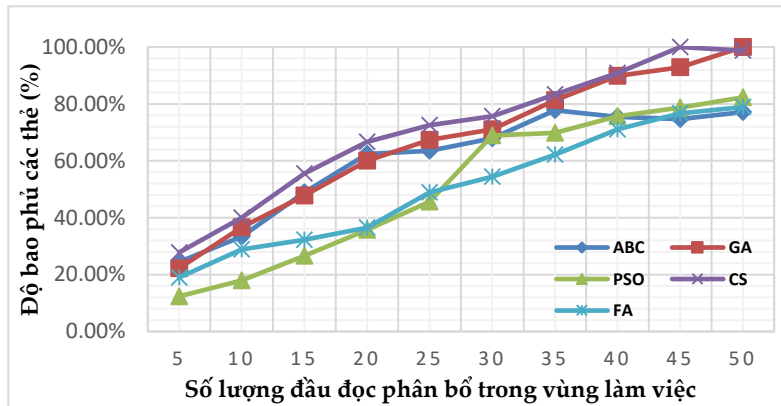


Hình 3. Phân bố vị trí đầu đọc theo các phương pháp heuristic

4.2 So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên độ bao phủ các thẻ

Chúng tôi tiếp tục xem xét độ bao phủ các thẻ ở cả 5 phương pháp ABC, CS, GA, FA và PSO kết quả như được chỉ ra ở Hình 4. Phương pháp CS cho độ bao phủ tốt nhất ở cả 5 phương pháp và đạt đến gần 100% khi số lượng đầu đọc gia tăng đến 45. Cụ thể độ bao phủ của CS trung bình tốt hơn GA là 6%, ABC là 15%, PSO là 28% và FA là gần 29%. Khi tăng số lượng đầu đọc từ 30 đầu đọc trở lên độ bao phủ của PSO tăng hơn so với FA, do số lượng đầu đọc lớn làm FA khó

tìm ra các đom đóm (giải pháp phân bố RFID) tối ưu toàn cục và di chuyển đến các đom đóm có ánh sáng tối ưu cục bộ nhiều hơn.

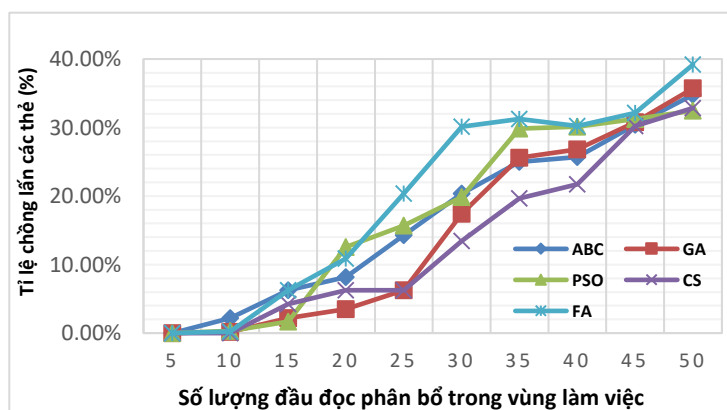


Hình 4. So sánh độ bao phủ thẻ của các phương pháp heuristic

4.3 So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên tỉ lệ các thẻ ở trong vùng chồng lấn

Chúng tôi tiếp tục xem xét tỉ lệ các thẻ ở trong vùng chồng lấn ở cả 5 phương pháp ABC, CS, GA, FA và PSO kết quả như được chỉ ra ở Hình 6. Trong đó, các thẻ ở trong vùng chồng lấn là các thẻ nằm trong vùng bao phủ của 2 đầu đọc trở lên, việc hạn chế này là rất quan trọng trong hệ thống RFID, do chúng luôn được đọc từ cả 2 đầu đọc trở lên dẫn đến nguyên nhân dư thừa dữ liệu khi truyền, hao phí năng lượng và gây ra các hiện tượng xung đột dữ liệu.

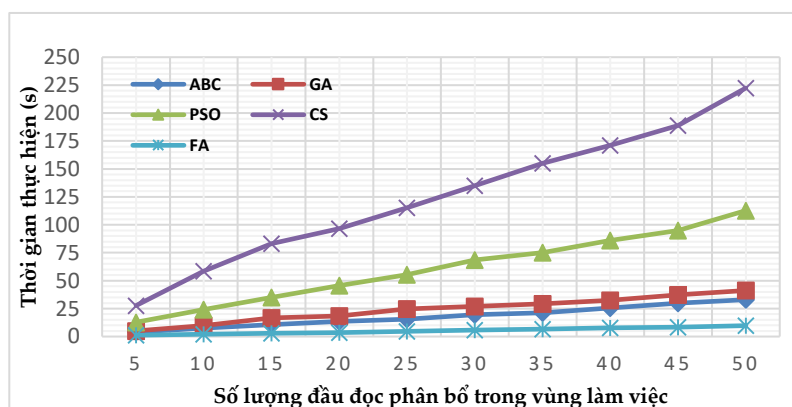
Như được chỉ ra ở Hình 5, phương pháp CS cũng cho kết quả tốt nhất trong cả 5 phương pháp heuristic và FA cho tỉ lệ thấp nhất. Cụ thể CS có tỉ lệ chồng lấn thẻ thấp hơn GA là 10%, ABC là 24%, PSO là 29% và FA là 49%.



Hình 5. So sánh tỉ lệ các thẻ trong vùng chồng lấn của các phương pháp heuristic

4.4 So sánh hiệu quả quy hoạch mạng RFID dựa trên thời gian thực hiện

Chúng tôi tiếp tục xem xét thời gian thực hiện ở 5 phương pháp ABC, CS, GA, FA và PSO kết quả như được chỉ ra ở Hình 6. Thời gian thực hiện theo giây (s) được chúng tôi đo lường dựa vào chi phí thời gian tính toán của 5 phương pháp. Kết quả được chỉ ra ở Hình 6 cho thấy rằng mặc dù phương pháp CS cho hiệu quả *fitness*, độ bao phủ và tỉ lệ chồng lấn các thẻ tốt nhất, tuy nhiên phương pháp CS lại chịu chi phí thời gian tính toán cao nhất trong cả 5 phương pháp. Cụ thể ở 5 đầu đọc thời gian thực hiện của CS là gần 28s ở 5 đầu đọc và con số này tăng lên 222s ở 50 đầu đọc. Phương pháp FA có thời gian tính toán nhanh nhất, nhưng các hiệu quả như *fitness*, độ bao phủ và cả tỉ lệ chồng lấn các thẻ đều không tốt.



Hình 6. So sánh thời gian thực hiện của các phương pháp heuristic

5 Kết luận

Quy hoạch mạng RFID là một vấn đề thuộc về lớp bài toán NP-khó, nên thông thường được giải bằng các phương pháp heuristic. Tuy nhiên, mỗi phương pháp luôn tồn tại các ưu và nhược điểm riêng. Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành so sánh hiệu quả của 5 phương pháp heuristic được sử dụng trong quy hoạch mạng RFID là ABC, CS, FA, GA và PSO. Kết quả cho thấy rằng phương pháp CS cho kết quả quy hoạch mạng tốt nhất trong 5 phương pháp, nhưng về hiệu quả chi phí thời gian tính toán thì CS đã cho thời gian tính toán cao nhất. Phương pháp GA là một phương pháp có hiệu quả trung bình trên tất cả 4 tiêu chí đưa ra là *fitness*, độ bao phủ, tỉ lệ chồng lấn các thẻ và chi phí thời gian tính toán là tối ưu nhất. Rõ ràng, không có một phương pháp heuristic nào là tốt nhất trong mọi trường hợp mà tùy theo mong muốn và mục tiêu thì chúng ta có thể sử dụng phương pháp khác nhau cho phù hợp.

Tài liệu tham khảo

1. X. Jia, Q. Feng, T. Fan, and Q. Lei, "RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT)," 2012 2nd Int. Conf. Consum. Electron. Commun. Networks, CECNet 2012 - Proc., pp. 1282–1285, 2012, doi: 10.1109/CECNet.2012.6201508.
2. F. Costa, S. Genovesi, M. Borgese, A. Michel, F. A. Dicandia, and G. Manara, "A review of rfid sensors, the new frontier of internet of things," *Sensors*, vol. 21, no. 9, 2021, doi: 10.3390/s21093138.
3. Q. Guan, Y. Liu, Y. Yang, and W. Yu, "Genetic Approach for Network Planning in the RFID Systems," in *Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, Oct. 2006, vol. 2, pp. 567–572. doi: 10.1109/ISDA.2006.253899.
4. D. Karaboga and B. Akay, "Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks," in *2007 IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications*, IEEE, Jun. 2007, pp. 1–4. doi: 10.1109/SIU.2007.4298679.
5. H. Chen, Y. Zhu, L. Ma, and B. Niu, "Multiobjective RFID network optimization using multiobjective evolutionary and swarm intelligence approaches," *Math Probl Eng*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/961412.
6. N. Bacanin, M. Tuba, and I. Strumberger, "RFID Network Planning by ABC Algorithm Hybridized with Heuristic for Initial Number and Locations of Readers," in *Proceedings - UKSim-AMSS 17th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, UKSim 2015, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2016, pp. 39–44. doi: 10.1109/UKSim.2015.83.
7. S. Jing, X. Lian, H. Chen, T. Zou, and L. Ma, "Optimal layout and deployment for RFID system using a novel hybrid artificial bee colony optimizer based on bee life-cycle model," *Soft comput*, vol. 21, no. 14, pp. 4055–4083, Jul. 2017, doi: 10.1007/s00500-016-2056-7.
8. L. Ma, X. Wang, M. Huang, Z. Lin, L. Tian, and H. Chen, "Two-Level Master-Slave RFID Networks Planning via Hybrid Multiobjective Artificial Bee Colony Optimizer," *IEEE Trans Syst Man Cybern Syst*, vol. 49, no. 5, pp. 861–880, May 2019, doi: 10.1109/TSMC.2017.2723483.
9. X.-S. Yang and Suash Deb, "Cuckoo Search via Lévy flights," in *2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, IEEE, Mar. 2009, pp. 210–214. doi: 10.1109/NABIC.2009.5393690.
10. A. Jaballah and A. Meddeb, "A new variant of cuckoo search algorithm with self adaptive parameters to solve complex RFID network planning problem," *Wireless Networks*, vol. 25, no. 4, pp. 1585–1604, May 2019, doi: 10.1007/s11276-017-1616-9.
11. A. Nawawi et al., "Comparative evaluation of the gradient-based cuckoo search (GBCS) and (MC-GPSO) techniques for optimal RFID network planning," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, vol. 10, no. 01, pp. 677–689, 2019.
12. K. Hasnan, N. H. Talib, and A. Nawawi, "Analysis of gradient-based cuckoo search for the large scale optimal rfid network planning," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1150/1/012008.
13. X. S. Yang, "Firefly algorithms for multimodal optimization," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2009, pp. 169–178. doi: 10.1007/978-3-642-04944-6_14.

14. M. Tuba, N. Bacanin, and A. Alihodzic, "Firefly algorithm for multi-objective RFID network planning problem," in 2014 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), IEEE, Nov. 2014, pp. 95–98. doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034365.
15. A. Muhsin Elewe, K. Bin Hasnan, and A. Bin Nawawi, "hybridized firefly algorithm for multi-objective radio frequency identification (RFID) network planning," vol. 12, no. 3, 2017.
16. J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks, IEEE, 1995, pp. 1942–1948. doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
17. K. Hasnan, A. Ahmed, Badrul-aisham, Q. Bakhsh, K. Hussain, and K. Latif, "A Novel Optimal RFID Network Planning by MC-GPSO," Indian J Sci Technol, vol. 8, no. 17, Aug. 2015, doi: 10.17485/ijst/2015/v8i17/76221.
18. A. Raghib and B. A. El Majd, "Hierarchical multiobjective approach for optimising RFID reader deployment," International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation, vol. 9, no. 1, pp. 70–88, 2019, doi: 10.1504/IJMMNO.2019.096918.
19. Y. Cao, J. Liu, and Z. Xu, "A hybrid particle swarm optimization algorithm for RFID network planning," Soft comput, vol. 25, no. 7, pp. 5747–5761, Apr. 2021, doi: 10.1007/s00500-020-05569-1.
20. Q. Guan, Y. Liu, Y. Yang, W. Yu W, "Genetic approach for network planning in the RFID systems", In: Sixth international conference on intelligent systems design and applications, 2006. ISDA '06, vol 2, pp 567–572, 2006.
21. Y. Yang, Y. Wu, M. Xia, Z. Qin, "A RFID network planning method based on genetic algorithm. In: international conference on networks security, *Wireless Communications And Trusted Computing*, vol 1, pp 534–537, 2009.
22. Z. Zhang, J. Zhang, L. Wu, H. Song, "An improved approach for rfid network planning: Introduction of directional antenna reader," In: 2019 IEEE international conference on smart manufacturing, industrial logistics engineering (SMILE), pp 29–33, 2019.
23. V. H. Le, "An Optimal Model for Allocation Readers with Grid Cell Size and Arbitrary Workspace Shapes in RFID Network Planning", *Journal of Internet Services and Information Security (JISIS)*, Vol. 14, No. 1 (February), pp. 180-194, 2024. DOI: 10.58346/JISIS.2024.I1.012.
24. Lê Văn Hòa, Phạm Trung Đức, Nguyễn Văn Tùng, "Đánh giá hiệu quả một số phương pháp tối ưu trong quy hoạch mạng RFID", *Kỷ yếu hội nghị khoa học quốc gia FAIR 2023*, Tr. 708-716. DOI: 10.15625/vap.2023.00103.