

TỐI ƯU HÓA MẠNG ĐẦU ĐỌC RFID TRONG QUẢN LÝ SÁCH THƯ VIỆN BẰNG THUẬT TOÁN LAI GA-PSO

Nguyễn Văn Tùng^{1,2*}, Nguyễn Lê Kim Thành², Nguyễn Thanh Tùng²,
Lê Văn Hoà³, Võ Viết Minh Nhật⁴

¹ Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

² Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

³ Trường Du lịch, Đại học Huế

⁴ Viện Khảo thí và Đảm bảo chất lượng giáo dục, Đại học Huế

*Email: nvtung@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 11/12/2024; ngày hoàn thành phản biện: 19/12/2024; ngày duyệt đăng: 20/12/2024

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất thuật toán lai GA-PSO để giải quyết bài toán quy hoạch mạng đầu đọc (RNP) trong hệ thống RFID quản lý sách thư viện. Mô hình được áp dụng tại thư viện Trường Đại học Công Thương TP. HCM (HUIT Library), với mục tiêu tối ưu hóa số lượng đầu đọc RFID nhưng vẫn đảm bảo độ bao phủ tối ưu. Mô phỏng cho thấy thuật toán kết hợp GA-PSO vượt trội về cả tỉ lệ bao phủ và thời gian xử lý so với các thuật toán đơn lẻ GA và PSO.

Từ khóa: Công nghệ RFID, kết hợp GA-PSO, tối ưu hóa, quản lý sách thư viện.

1. MỞ ĐẦU

Công nghệ RFID sử dụng sóng vô tuyến để nhận dạng thẻ hoặc đối tượng được gắn thẻ. Một hệ thống RFID gồm ba thành phần chính: thẻ lưu trữ dữ liệu nhận dạng, đầu đọc để truy vấn và tiếp nhận thông tin từ thẻ, cùng với máy chủ đảm nhiệm việc lưu trữ và xử lý dữ liệu. Nhờ khả năng nhận dạng nhanh chóng, hoạt động không dây, hình thức tàng hình và phạm vi liên lạc xa, RFID ít bị ảnh hưởng bởi chướng ngại vật và tương thích tốt với các vật thể di chuyển. Những đặc điểm này giúp công nghệ RFID trở thành giải pháp lý tưởng trong việc giám sát sách tại thư viện.

Quản lý thư viện hiệu quả khi các công việc quản lý áp dụng công nghệ một cách tự động hóa, và công nghệ RFID là một giải pháp tiềm năng [1]. Tuy nhiên, tối ưu hóa việc lắp đặt đầu đọc RFID (bài toán RNP) là bài toán NP-khó [5, 9, 12], đòi hỏi cân bằng nhiều mục tiêu: độ bao phủ thẻ, số lượng đầu đọc, nhiều tín hiệu, và cân bằng tải [3].

Các phương pháp heuristic như thuật toán di truyền (Genetic Algorithm – GA) và tối ưu hoá bầy đàn (Particle Swarm Optimization – PSO) đã được đề xuất triển khai áp dụng [2]. Tuy nhiên GA có thể hội tụ chậm, trong PSO dễ rơi vào tối ưu cục bộ [15, 18].

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giải pháp kết hợp GA và PSO cho việc quản lý thư viện tự động (GA-PSO for Library – GA-PSO-4L). Thư viện khai thác giải pháp tốt nhất từ cả hai thuật toán, hướng dẫn quá trình tìm kiếm và thúc đẩy hiệu ứng cộng hưởng, nhằm đạt được giải pháp RNP tốt và nhanh hơn cho môi trường thư viện. Bài báo này mô tả chi tiết thiết kế và tiến trình xây dựng giải pháp GA-PSO-4L.

Các phần tiếp theo của bài báo này bao gồm: Phần 2 trình bày các nghiên cứu liên quan về việc sử dụng giải thuật GA và PSO trong vấn đề RNP, Phần 3 là nghiên cứu một phương pháp nền tảng, mô tả chi tiết tiếp cận GA-PSO-4L trong tối ưu hóa vị trí lắp đặt đầu đọc, mô phỏng và trình bày các kết quả đạt được thể hiện trong Phần 4 và kết luận ở trong Phần 5.

2. NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Hiện nay, chưa có nhiều nghiên cứu trực tiếp liên quan đến việc triển khai công nghệ RFID trong công tác quản lý sách tại các thư viện thông minh. Tuy nhiên, đã có một số nghiên cứu tập trung vào việc ứng dụng các giải pháp lấy cảm hứng từ tự nhiên để giải quyết bài toán quy hoạch mạng RFID (RFID Network Planning - RNP) trong lĩnh vực này.

Đầu tiên, Yuanzhong Shu và cộng sự [5] đã giới thiệu một số mô hình thuật toán xác định vị trí dựa trên công nghệ RFID, nhằm cải thiện độ chính xác trong việc xác định vị trí sách trên kệ. Mô hình trong bài nghiên cứu đã kết hợp các nhãn tham chiếu để thu thập thông tin vị trí mà không cần tăng số lượng thiết bị đầu cuối. Bài nghiên cứu đã nhấn mạnh rằng việc ứng dụng công nghệ RFID không chỉ giảm chi phí mà còn tối ưu hóa quy trình quản lý sách trong thư viện [11, 13, 14].

Bên cạnh đó thuật toán di truyền (GA) cho bài toán RNP lần đầu tiên được Guan và cộng sự đưa ra trong [2], với ba mục tiêu chính: giảm số lượng đầu đọc RFID, giảm mức độ nhiễu tín hiệu và tối ưu hóa khoảng vùng phủ sóng. Các mục tiêu này được biểu diễn thông qua các hàm mục tiêu riêng biệt, sau đó được tổng hợp thành một hàm fitness thông qua phép tính tổng có trọng số. Guan và các đồng nghiệp cũng thiết kế mã hóa đa tầng cho nhiễm sắc thể, gồm vị trí đầu đọc, loại ăng-ten, và cường độ suy hao tín hiệu. Trong một nghiên cứu khác [6], Botero và Chaouchi đã nâng cao phạm vi ứng dụng của GA vào bài toán RNP với sáu mục tiêu: tối thiểu hóa phần phủ chồng lấp giữa các đầu đọc, tối thiểu hóa số đầu đọc yêu cầu, tối đa hóa số thẻ được phủ, hạn chế tối đa số đầu đọc được đặt ở ngoài khu vực làm việc, tối thiểu hóa số đầu đọc không cần thiết, và tối thiểu hóa số thẻ được định vị ở vùng phủ chồng lấp. Tương tự, các mục tiêu này được

xây dựng dưới dạng các hàm mục tiêu và được kết hợp thông qua tổng có trọng số để tạo thành hàm mục tiêu (fitness) cho GA.

Nghiên cứu của Azli Nawawi và cộng sự [4] về thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) trong quy hoạch mạng RFID tập trung vào mối quan hệ giữa các tham số RNP (như vị trí, công suất đầu đọc, ...) và các giải pháp PSO. Họ đặc biệt chú trọng đến việc tối ưu hóa vùng phủ sóng thẻ RFID bằng cách xây dựng công thức phân bổ tham số RNP và đề xuất hệ thống biểu diễn giúp tích hợp các tham số vào giải pháp PSO [4]. Nghiên cứu này đặt nền móng cho việc ứng dụng PSO trong tối ưu hóa phạm vi phủ sóng thẻ và bố trí đầu đọc hợp lý trong hệ thống RFID.

Việc kết hợp thuật toán di truyền và thuật toán tối ưu bầy đàn vào bài toán quy hoạch mạng RFID [2] là để khai thác điểm mạnh của cả hai phương pháp nhằm đạt hiệu quả tối ưu. GA được sử dụng để tạo ra một tập hợp các giải pháp đa dạng ban đầu thông qua các phép lai ghép và đột biến, Các giải pháp tốt nhất từ GA được sử dụng làm hạt giống cho PSO, giúp thuật toán này nhanh chóng hội tụ đến các cực trị cục bộ hoặc toàn cục. Sự kết hợp này cho phép GA tạo ra các giải pháp đa dạng ban đầu, sau đó PSO tinh chỉnh các giải pháp này để đạt được tối ưu toàn cục [1, 3], từ đó cải thiện độ bao phủ thẻ RFID và giảm thiểu sự chồng lấp giữa các đầu đọc.

Từ các nghiên cứu trên, bài báo này đề xuất tiếp cận kết hợp GA và PSO cho việc quản lý thư viện tự động. Mô tả chi tiết kết hợp GA-PSO trong tối ưu hóa vị trí lắp đặt đầu đọc tại thư viện Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh (giải pháp GA-PSO-4L) được trình bày trong mục tiếp theo.

3. PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP GA-PSO CHO QUẢN LÝ SÁCH THƯ VIỆN

3.1. Phát biểu bài toán và kiến trúc thuật toán

Kết hợp GA-PSO-4L được thiết kế trên việc kết hợp điểm mạnh và khắc phục điểm yếu của GA và PSO thông qua hệ thống RFID trong nghiệp vụ quản lý thư viện Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh (Library HUIT). Cụ thể gồm việc cân bằng giữa khám phá toàn cục của GA và khai thác cục bộ của PSO, tăng tốc độ hội tụ, hỗ trợ thoát khỏi tối ưu cục bộ, và đặc biệt là lưu trữ, tái sử dụng tri thức tìm kiếm thông qua ứng dụng tại Library HUIT. Thư viện hoạt động như một bộ nhớ động, không chỉ lưu trữ các giải pháp ưu tú mà còn chủ động hướng dẫn quá trình tìm kiếm bằng việc cung cấp thông tin cho các toán tử thuật toán và cho phép điều chỉnh tham số một cách thích ứng, từ đó tạo ra hiệu ứng cộng hưởng giữa các thành phần.

Kiến trúc của kết hợp GA-PSO-4L sử dụng cách tiếp cận tuần tự, trong đó GA được thực thi trước để tìm ra giải pháp tốt trong không gian tìm kiếm. Sau đó PSO tiếp tục tinh chỉnh và cải thiện độ chính xác. Hai thuật toán GA và PSO không chạy song

song và không chia sẻ thư viện hay thông tin hai chiều. GA chủ yếu đảm nhiệm vai trò khám phá toàn cục, trong khi PSO khai thác cục bộ để tối ưu hóa sâu hơn. Cách kết hợp này giúp tận dụng ưu điểm của cả hai thuật toán nhưng theo trình tự rõ ràng. Kết quả cuối cùng là nghiệm tốt nhất do PSO tìm được sau khi kế thừa từ GA.

3.2. Xây dựng hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu được mô tả như Phương trình (1) nhằm tối đa hóa hàm fitness $f(x)$, x là vector mã hóa vị trí n đầu đọc $[r_{1,x}, r_{1,y}, \dots, r_{n,x}, r_{n,y}]$. Mục thư viện $entry_k = \{solution : x_k, fitness : f(x_k), \dots\}$. Hàm Fitness $f(x)$ là tổng có trọng số của độ bao phủ, số đầu đọc (nghịch đảo)[8], nhiễu (nghịch đảo)[10], cân bằng tải (nghịch đảo) [11].

Các toán tử GA được cải tiến để nhận hướng dẫn từ Library HUIT (L). Xác suất chọn lọc cá thể i được điều chỉnh bởi độ tương đồng với các giải pháp trong thư viện:

$$P_{select}(i) \propto \alpha \frac{f(x_i)}{\bar{f}} + (1 - \alpha) Similarity(x_i, L) \quad (1)$$

trong đó α là trọng số cân bằng giữa chất lượng và độ tương đồng của cá thể, $\bar{f}$ là fitness trung bình, và $Similarity$ đo độ tương đồng.

Tỷ lệ lai ghép (t) và đột biến $P_m(t)$ trong Phương trình (2), (3) được điều chỉnh động dựa trên tốc độ cải thiện $ImpRate(L, t)$ và độ đa dạng $Diversity(P_{GA}, L)$ của thư viện L và quần thể:

$$P_c(t) = P_{c,base} + k_c \cdot ImpRate(L, t) \quad (2)$$

$$P_m(t) = P_{m,base} + k_c \cdot (1 - Diversity(P_{GA}, L)) \quad (3)$$

Bản thân các toán tử lai ghép và đột biến cũng có thể được hướng dẫn. Với xác suất P_{guide} , gen con có thể được tạo ra hoặc thay đổi dựa trên thông tin từ giải pháp x_{lib} liên quan trong thư viện, ví dụ như dịch chuyển gen đột biến về phía giá trị tương ứng trong x_{lib} :

$$x_{i,j,new} = x_{i,j} + \beta(x_{lib,j} - x_{i,j}) \cdot rand() \quad (4)$$

Tương tự, việc cập nhật PSO được tăng cường bởi thư viện, trong đó β là tham số điều khiển mức độ ảnh hưởng. Công thức cập nhật vận tốc bao gồm một thành phần bổ sung hướng hạt về phía giải pháp hướng dẫn $LibGuide(L, x_i(t))$ lấy từ thư viện:

$$v_i(t+1) = w(t)v_i(t) + c_1(t)r_1(P_{best,i} - x_i(t)) + c_2(t)r_2(G_{best}(t) - x_i(t)) + c_3(t)r_3(LibGuide(L, x_i(t)) - x_i(t)) \quad (5)$$

trong đó $G_{best}(t)$ có thể được chọn là giải pháp tốt nhất từ cả bầy đàn PSO và thư viện, r_1, r_2, r_3 là các số ngẫu nhiên $[0,1]$, w_t là trọng số quán tính tại thời gian t , $c_1(t)$ là hệ số gia tốc cá nhân tại thời gian t , $c_2(t)$ là hệ số gia tốc xã hội tại thời gian t và $c_3(t)$ là hệ số gia tốc hướng dẫn từ thư viện tại thời gian t . Công thức cập nhật vị trí vẫn giữ nguyên: $x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$.

Việc quản lý thư viện bao gồm các hàm để thêm giải pháp mới dựa trên fitness và độ đa dạng so với các giải pháp hiện có, và các hàm để lấy ra giải pháp phù hợp (dựa trên fitness, tuổi, độ liên quan) nhằm hướng dẫn GA và PSO.

Các tham số thuật toán như $w(t)$, $c_1(t)$, $c_2(t)$, $c_3(t)$, $P_c(t)$, $P_m(t)$, α , β , P_{guide} được điều khiển thích ứng dựa trên các tín hiệu phản hồi từ quá trình tìm kiếm, như tiến trình hội tụ, độ đa dạng, và tỷ lệ đóng góp tương đối của GA và PSO vào thư viện:

$$param(t+1) = param(t) \cdot (1 + k_{adapt} \cdot feedback_signal(t)) \quad (6)$$

Việc phân bổ tài nguyên tính toán (ví dụ: số lượng đánh giá fitness) giữa GA và PSO cũng có thể được điều chỉnh động dựa trên hiệu quả đóng góp của chúng vào thư viện.

3.3. Độ hội tụ và độ phức tạp

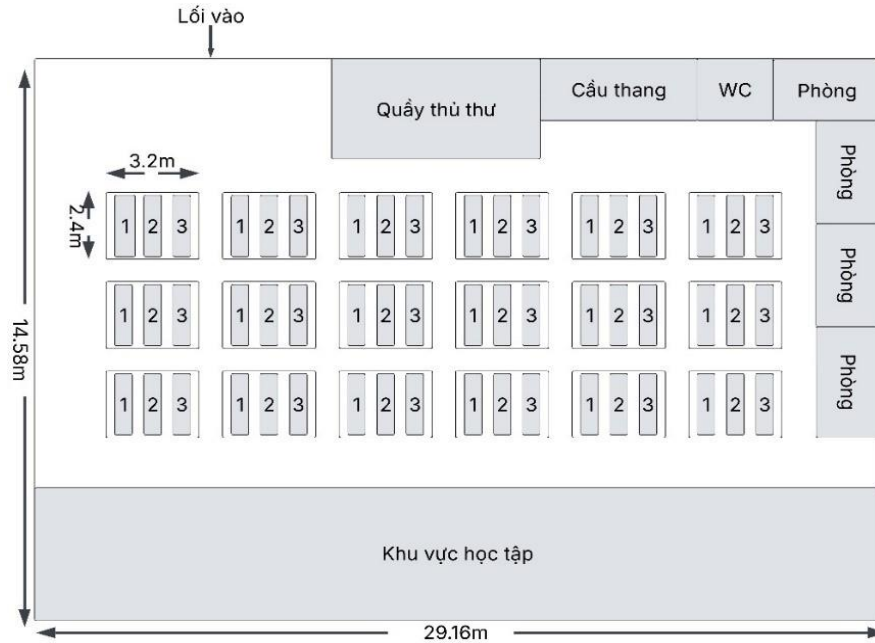
Về mặt lý thuyết, GA-PSO-4L có khả năng hội tụ về tối ưu toàn cục theo xác suất, tương tự như GA và PSO với chuẩn tinh hoa (elitism), nhờ việc lưu giữ giải pháp tốt nhất trong thư viện và các toán tử khám phá. Cơ chế thư viện và thích ứng được kỳ vọng sẽ làm tăng tốc độ hội tụ trong thực tế. Độ phức tạp tính toán mỗi thế hệ của GA-PSO-4L là $O(N \cdot C_{eval} + N \cdot D + C_{library})$, với $N = \max(N_{GA}, N_{PSO})$, C_{eval} là chi phí đánh giá fitness (phụ thuộc số đầu đọc/thẻ), D là chiều dài nhiễm sắc thể, và $C_{library}$ là chi phí quản lý thư viện. Chi phí này về cơ bản tương đương với GA/PSO chuẩn, cộng thêm chi phí quản lý thư viện, thường không quá lớn nếu kích thước thư viện N_L được chọn hợp lý.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Phần này mô tả trường hợp nghiên cứu là thư viện HUIT, các tham số cài đặt, kịch bản mô phỏng và phân tích kết quả.

4.1. Trường hợp nghiên cứu và kịch bản mô phỏng

Phương pháp GA-PSO-4L được đề xuất áp dụng và đánh giá thông qua mô phỏng trên mô hình thư viện HUIT. Đây là thư viện được đầu tư cơ sở hạ tầng, phục vụ lưu trữ tài liệu học thuật và nghiên cứu cho 32 ngành đào tạo. Thư viện có tổng diện tích trên 1700 m², bao gồm 4 tầng, mỗi tầng có kích thước sàn 29,16 m × 14,58 m (Hình 1). Các khu vực chức năng (quầy thủ thư, khu tự học tập) và khu vực lưu trữ sách được bố trí cụ thể. Khu vực lưu trữ sách, đối tượng giám sát chính, bao gồm các kệ sách kích thước 3,2 m × 2,4 m, cách nhau 0.7 m, tạo thành cấu trúc lưới. Thẻ RFID được gắn định gán trên sách, phân loại theo các chuyên ngành như trong Bảng 1. Giả định bán kính đầu đọc $r = 3,69$ m [3], một tham số quan trọng ảnh hưởng đến cả vùng phủ và mức độ nhiễu ('Interference(x)') trong hàm fitness, từ đó tác động đến giải pháp tối ưu do GA-PSO-4L tìm được.



Hình 1. Trường hợp nghiên cứu là thư viện Trường Đại học Công Thương TP. HCM

Bảng 1. Lĩnh vực sách được giám sát

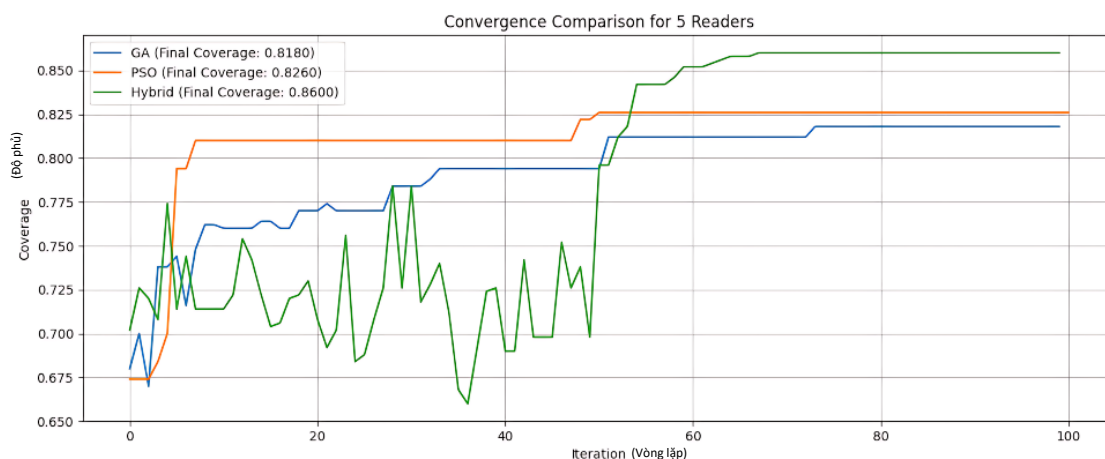
TT	Thể loại	Số lượng ($w_1 = 0.2$)		Đơn giá (triệu VND/cuốn)		Chuẩn hóa
				($w_2 = 0.45$)		
		Ban đầu	Chuẩn hóa	Ban đầu	Chuẩn hóa	
1	Công nghệ thông tin	380	0.747	0.082	0.369	0.485
2	Kỹ thuật cơ khí	152	0.198	0.181	0.318	0.281
3	Kỹ thuật điện	485	1.000	0.153	1.000	1.000
4	Kỹ thuật môi trường	398	0.790	0.111	0.563	0.633
5	Công nghệ sinh học	320	0.602	0.223	0.957	0.848
6	Quản trị kinh doanh	156	0.207	0.092	0.128	0.152
7	Tài chính – Ngân hàng	121	0.123	0.239	0.339	0.272
8	Quản trị khách sạn – Nhà hàng và Dịch vụ ăn uống	238	0.405	0.286	0.910	0.754
9	Ngôn ngữ Anh	70	0.000	0.080	0.000	0.000
10	Kế toán	152	0.198	0.298	0.577	0.461
11	Công nghệ thực phẩm	171	0.243	0.216	0.455	0.390
12	Kỹ thuật hóa học	264	0.467	0.215	0.742	0.657

Các đặc điểm cụ thể của thư viện HUIT ảnh hưởng trực tiếp đến việc thiết lập và thực thi thuật toán LGA-PSO. Kích thước mặt bằng mỗi tầng ($29,16 \text{ m} \times 14,58 \text{ m}$) và cấu trúc lưới của các kệ sách ($3,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$, cách nhau 0.7 m) xác định không gian tìm kiếm rời rạc cho vị trí đặt các đầu đọc RFID. Số lượng ô lưới tiềm năng trên mỗi tầng sẽ quyết định chiều dài D của vector giải pháp x trong GA và PSO. Việc thư viện có 4 tầng đòi hỏi bài toán RNP phải được giải quyết trong không gian 3 chiều hoặc xử lý từng tầng riêng biệt và kết hợp kết quả, làm tăng độ phức tạp. Các khu vực chức năng không chứa sách cần được loại trừ khỏi không gian tìm kiếm hợp lệ, điều này ảnh hưởng đến hàm xử lý biên (boundary handling) trong PSO và việc khởi tạo giải pháp ban đầu. Sự phân bố sách theo 12 chuyên ngành (Bảng 1) và mật độ sách thực tế trên các kệ ảnh hưởng đến việc tính toán hàm mục tiêu $f(x)$, đặc biệt là thành phần 'Coverage(x)' và 'LoadImbalance(x)'. Mặc dù mô hình hiện tại chưa xem xét ưu tiên theo loại sách, dữ liệu này cho phép mở rộng hàm fitness trong tương lai.

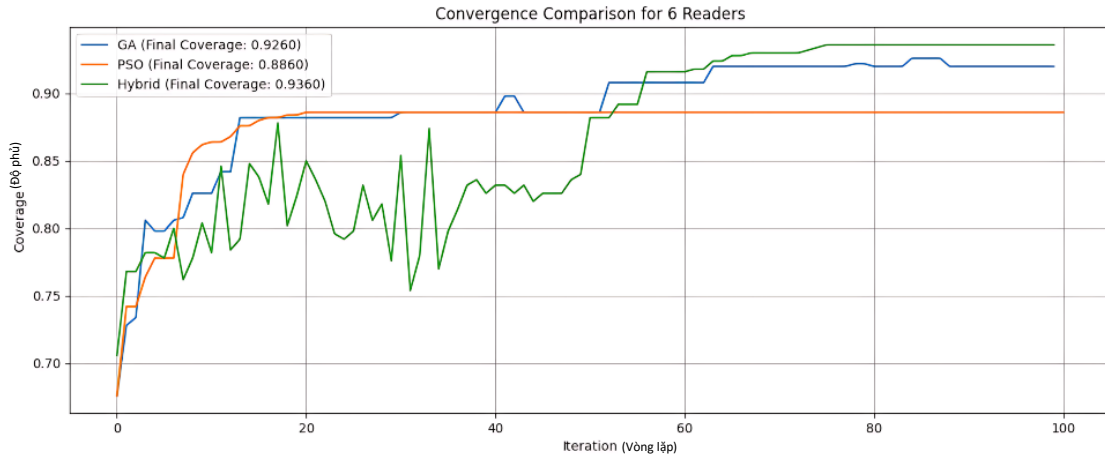
Thiết lập thực nghiệm dự kiến bao gồm việc tinh chỉnh các tham số thuật toán (NGA, NPSO, NL, các hệ số w , c_1 , c_2 , c_3 , tỷ lệ P_c , P_m , các hệ số thích ứng k^* , ngưỡng thư viện). GA-PSO-4L sẽ được so sánh với GA và PSO chuẩn dựa trên các chỉ số về chất lượng giải pháp (fitness, bao phủ, số đầu đọc, nhiễu, cân bằng tải) và hiệu quả tính toán (thời gian chạy, số lượng đánh giá hàm mục tiêu - NFEs, đồ thị hội tụ). Các thí nghiệm sẽ được thực hiện nhiều lần (30 lần) để đảm bảo tính ổn định thống kê.

4.2. Phân tích kết quả

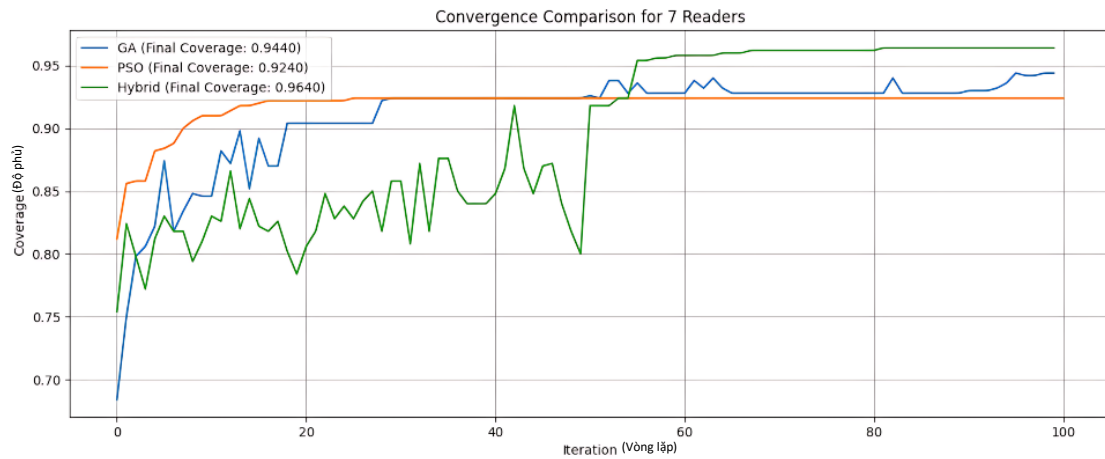
Các kết quả đánh giá được thể hiện thông qua biểu đồ dòng và cột, với các tiêu chí đánh giá chính là tỉ lệ phủ và thời gian tính toán. Quá trình so sánh được thực hiện với số lượng 5, 6 và 7 đầu đọc, được minh họa lần lượt trên Hình 2, 3 và 4.



Hình 2. So sánh độ phủ theo 5 đầu đọc RFID



Hình 3. So sánh độ phủ theo 6 đầu đọc RFID



Hình 4. So sánh độ phủ theo 7 đầu đọc RFID

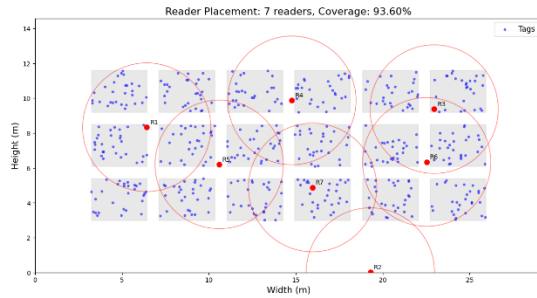
Phân tích từ ba biểu đồ cho thấy rằng mặc dù thuật toán lai GA-PSO-4L biểu hiện kém hiệu quả trong các giai đoạn đầu, nhưng ở các giai đoạn sau, thuật toán này đạt được trạng thái tối ưu vượt trội hơn so với hai thuật toán GA và PSO đơn lẻ.

Bảng 2 cho thấy thuật toán kết hợp GA-PSO-4L đạt được kết quả vượt trội về cả hai thông số đánh giá: tỉ lệ bao phủ và thời gian thực hiện, khi so sánh với các thuật toán GA và PSO đơn lẻ. Để tối ưu hóa hàm mục tiêu, GA-PSO-4L đã đề xuất giải pháp tối ưu cấu hình với 7 đầu đọc được lắp đặt. Kết quả chỉ ra rằng GA-PSO-4L (Hình 7) cải thiện đáng kể mức độ bao phủ so với PSO (Hình 5) và GA (Hình 6).

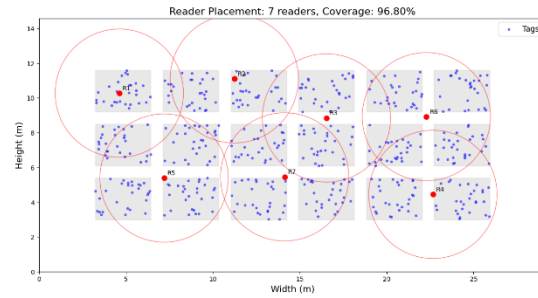
Bảng 2. So sánh hiệu quả của GA, PSO và GA-PSO-4L dựa trên thời gian thực hiện và tỉ lệ bao phủ

Số đầu đọc	GA		PSO		LGA-PSO	
	Thời gian thực hiện (s)	Tỉ lệ bao phủ	Thời gian thực hiện (s)	Tỉ lệ bao phủ	Thời gian thực hiện (s)	Tỉ lệ bao phủ
5	0.39	0.8180	0.46	0.8260	0.40	0.8600
6	0.46	0.9260	0.54	0.8860	0.44	0.9360
7	0.52	0.9440	0.59	0.9240	0.50	0.99

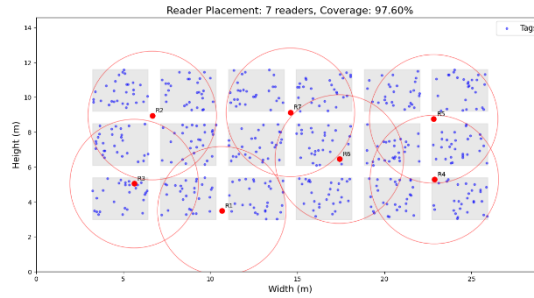
Kết hợp GA-PSO-4L thể hiện hiệu suất vượt trội so với hai thuật toán GA và PSO đơn lẻ. Với cùng số lượng 7 đầu đọc, GA-PSO-4L đạt được tỉ lệ bao phủ lên tới 99,00%, cao hơn đáng kể so với mức 94,42% của GA và 92,40% của PSO. Kết quả này minh chứng cho khả năng tối ưu hóa vị trí đặt các đầu đọc RFID của GA-PSO-4L, tạo ra sự cân bằng giữa độ bao phủ và hiệu quả sử dụng tài nguyên. GA-PSO-4L đã thành công trong việc kết hợp ưu điểm của cả hai thuật toán gốc: khả năng tìm kiếm toàn cục của GA và khả năng hội tụ nhanh của PSO, dẫn đến giải pháp tối ưu hơn trong bài toán bố trí đầu đọc RFID. Tuy nhiên việc kết hợp này có một sự đánh đổi về độ phức tạp tính toán. Như đã đề cập trong Mục 3.3, độ phức tạp tính toán mỗi thế hệ của GA-PSO-4L là $O(N \cdot C_{eval} + N \cdot D + C_{library})$, với $N = \max(N_{GA}, N_{PSO})$, C_{eval} là chi phí đánh giá fitness (phụ thuộc số đầu đọc/thẻ), D là chiều dài nhiễm sắc thể, và $C_{library}$ là chi phí quản lý thư viện. Trong khi chi phí này tương đương với GA/PSO chuẩn, việc bổ sung thêm $C_{library}$ đòi hỏi thêm tài nguyên tính toán. Do đó, cần xem xét sự cân bằng giữa hiệu quả đạt được và chi phí tính toán tăng thêm khi triển khai GA-PSO trong thực tế.



Hình 5. Mô phỏng lắp đặt bằng PSO



Hình 6. Mô phỏng lắp đặt bằng GA



Hình 7. Mô phỏng lắp đặt bằng GA-PSO-4L

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất giải pháp kết hợp GA-PSO-4L, một kết hợp GA và PSO, cho bài toán RNP ứng dụng vào quản lý sách thư viện. Việc thiết kế và xây dựng các phương trình toán học, tiếp cận tối ưu hóa cho các toán tử lai và thư viện đã được trình bày. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng GA-PSO-4L đã cải thiện đáng kể chất lượng giải pháp và hiệu quả tính toán so với các phương pháp heuristic truyền thống (GA và PSO) bằng cách cân bằng khám phá và khai thác, đồng thời học hỏi từ kinh nghiệm tìm kiếm được lưu trữ. Nghiên cứu tình huống tại thư viện HUIT được đề xuất để đánh giá thực nghiệm. Tuy vậy, vẫn cần có các nghiên cứu sâu hơn để kiểm chứng hiệu quả và tinh chỉnh thuật toán cho các ứng dụng thực tế khác. Trong tương lai, cần triển khai thực nghiệm thực tế tại các hệ thống thư viện có quy mô khác nhau để đánh giá tính khả chuyển của GA-PSO-4L. Ngoài ra, việc mở rộng mô hình để xử lý dữ liệu động (sách di chuyển, thay đổi vị trí) là một hướng nghiên cứu tiềm năng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bharany, S., Sharma, S., Bhatia, S., Rahmani, M. K. I., Ahmad, M., & Alkhayyat, A. (2024). Optimizing multi-objective task scheduling in fog computing with GA-PSO algorithm for big data application. *Frontiers in Big Data*, 7, 1358486.
- [2] Botero, O., & Chaouchi, H. (2011). RFID network topology design based on Genetic Algorithms. *IEEE International Conference on RFID-Technologies and Applications*, 300–305.
- [3] Giri, S., Mishra, S., Pati, B. B., & Panigrahi, C. K. (2023). A Novel Hybrid GA-PSO Algorithm-Based Optimization of Transmission and Expansion Planning. *SN Computer Science*, 4(5), 488.
- [4] Gong, Y. J., Shen, M., Zhang, J., Kaynak, O., Chen, W. N., & Zhan, Z. H. (2012). Optimizing RFID Network Planning by Using a PSO Algorithm with Redundant Reader Elimination. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 8(4), 900–912.
- [5] Guan, Q., Liu, Y., Yang, Y., & Yu, W. (2006). Genetic Approach for Network Planning in the RFID Systems. *Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, ISDA '06*, 2, 567–572.

- [6] Hoa, L. V., Chuong, D. T., Quoc, N. H., & Nhat, V. V. M. (2023). An Integrated Model of Placement Optimization and Redundancy Elimination in RFID Network Planning. *Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS 734)*, 342–354.
- [7] Hoa, L. V., Tung, N. V., Duc, P. T., & Nhat, V. V. M. (2024). Đánh giá hiệu quả của thuật toán ga và pso cho việc triển khai hệ thống RFID giám sát thiết bị y tế. *FAIR 2024 Conference*.
- [8] Jia, X., Feng, Q., Fan, T., & Lei, Q. (2012). RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT). *2012 2nd Int. Conf. Consum. Electron. Commun. Networks, CECNet 2012 - Proc.*, 1282–1285.
- [9] Maimouni, F. Z., & Abou El Majd, B. (2022). RFID network planning using a new hybrid ANNs-based approach. *Connection Science*, 34(1), 2284–2306.
- [10] Nawawi, A., Hasnan, K., & Bareduan, S. A. (2013). Correlation between RFID Network Planning (RNP) Parameters and Particle Swarm Optimization (PSO) Solutions. *Applied Mechanics and Materials*, 465–466, 1245–1249.
- [11] PeerJ Computer Science. (2024). Research on intelligent file management system: a design strategy based on RFID technology and improved AICT algorithm. *PeerJ Computer Science*, 10, e1794.
- [12] Sanagooy Aghdam, A., Afshar Kazemi, M. A., & Toloie Eshlaghy, A. (2021). A hybrid GA–SA multiobjective optimization and simulation for RFID network planning problem. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 8(Spec. Issue), 1–25.
- [13] Shu, Y., Su, Y., Peng, X., & Mei, M. (2014). Research of the Books Localization Algorithm in Library Intelligent Bookshelf System Based on RFID. *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Science and Service System*.
- [14] Trends in Computer Science and Information Technology. (2024). Intelligent library management system. *Trends in Computer Science and Information Technology*, 9(1), 001–009.
- [15] Tung, N. V., & Hoa, L. V. (2024). Đánh giá hiệu quả quy hoạch mạng RFID. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Kỹ thuật và Công nghệ*, 133(2A), 21–30.
- [16] Yang, Y., Wu, Y., Xia, M., & Qin, Z. (2009). A RFID network planning method based on genetic algorithm. *International conference on networks security, Wireless Communications And Trusted Computing*, 1, 534–537.
- [17] Zhang, J., Wu, W., Gao, H., & Zhang, Y. (2012). Design of Monitoring and Management System of Tourist Attractions Based on RFID Technology. *2012 IEEE Symposium on Robotics and Applications (ISRA)*.
- [18] Zhu, X., Zhang, J., Jia, C., Liu, Y., & Fu, M. (2025). A Hybrid Black-Winged Kite Algorithm with PSO and Differential Mutation for Superior Global Optimization and Engineering Applications. *Mathematics*, 10(4), 236.

EVALUATION OF THE COMBINATION OF GENETIC ALGORITHM AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR RFID-BASED LIBRARY BOOK MANAGEMENT SYSTEM

**Nguyen Van Tung^{1,2*}, Nguyen Le Kim Thanh², Nguyen Thanh Tung²,
Le Van Hoa³, Vo Viet Minh Nhat⁴**

¹University of Sciences, Hue University

²Ho Chi Minh City University of Industry and Trade

³School of Hospitality & Tourism, Hue University

⁴Institute of Educational Testing and Quality Assurance, Hue University

*Email: nvtung@hueuni.edu.vn

ABSTRACT

This paper proposes a hybrid GA-PSO (Genetic Algorithm – Particle Swarm Optimization) approach to address the RFID Reader Network Planning (RNP) problem in library book management systems. The model is applied to the library of Ho Chi Minh City University of Industry and Trade (HUIT), aiming to minimize the number of required RFID readers while maintaining optimal coverage. Simulation results demonstrate that the GA-PSO approach outperforms standalone GA and PSO algorithms in both coverage ratio and computational efficiency. The proposed method balances global exploration and local exploitation, and leverages a memory-based mechanism to retain and reuse optimal solutions during the search process.

Keywords: RFID, GA-PSO combination, optimization, library book management .



Nguyễn Văn Tùng sinh năm 1985 tại Tiền Giang. Ông nhận bằng Thạc sĩ ngành Khoa học máy tính năm 2015 tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, hiện đang học NCS khoá 2023 Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế. Ông hiện đang là giảng viên Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh.

Lĩnh vực nghiên cứu: Công nghệ RFID, công nghệ cảm biến, Internet of Things, tối ưu hóa.



Nguyễn Lê Kim Thành sinh năm 2003 tại Thành phố Hồ Chí Minh. Ông nhận bằng Cử nhân Công nghệ Thông tin 2025 tại Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh. Ông hiện đang công tác tại Reelsights Limited.

Lĩnh vực nghiên cứu: Công nghệ RFID, công nghệ cảm biến, Internet of Things.



Nguyễn Thanh Tùng sinh năm 2003 tại Đồng Nai. Ông nhận bằng Cử nhân Công nghệ Thông tin 2025 tại Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh. Hiện tại công tác tại HippoT&C.

Lĩnh vực nghiên cứu: Công nghệ RFID, công nghệ cảm biến, Internet of Things.



Lê Văn Hòa sinh năm 1985 tại TP Huế. Ông nhận bằng Tiến sĩ Khoa học máy tính năm 2020 tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, đạt danh hiệu phó giáo sư năm 2024. Hiện ông công tác tại Trường Du lịch, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Mạng máy tính, IoT, Mạng chuyển mạch chùm quang, Đa dạng chất lượng dịch vụ (QoS), du lịch thông minh, công nghệ RFID.



Võ Viết Minh Nhật nhận bằng Tiến sĩ về Công nghệ thông tin năm 2007 tại Đại học Quebec ở Montreal (Canada), đạt danh hiệu phó giáo sư năm 2016. Hiện ông công tác Viện Khảo thí và Bảo đảm chất lượng giáo dục - Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: mạng chuyển mạch quang, công nghệ RFID, đảm bảo đa dạng chất lượng dịch vụ, tối ưu hóa.