**THÔNG TIN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU**

Tên luận án : Phát triển các phương pháp tối ưu hóa thông minh cho một số bài toán cơ học

Thuộc chuyên ngành : Cơ kỹ thuật Mã số NCS: 13252010105

Họ tên Nghiên cứu sinh: Lâm Phát Thuận

Người hướng dẫn chính (học hàm, học vị): PGS. TS. Nguyễn Hoài Sơn

Người hướng dẫn phụ (học hàm, học vị): PGS. TS. Lê Anh Thắng

Cơ sở đào tạo: Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

1. **Tóm tắt nội dung luận án**

Hầu như các bài toán thiết kế trong kỹ thuật có thể được coi là những bài toán tối ưu và do đó đòi hỏi các kỹ thuật tối ưu hóa để giải quyết. Trong những thập kỷ qua, nhiều kỹ thuật tối ưu hóa đã được đề xuất và áp dụng để giải quyết một loạt các vấn đề khác nhau. Trong số đó, các thuật toán meta-heuristic đã trở nên phổ biến trong những năm gần đây trong việc giải quyết các vấn đề tối ưu hóa thiết kế của nhiều loại cấu trúc với các vật liệu khác nhau. Các thuật toán meta-heuristic này bao gồm Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization, Bat Algorithm, Cuckoo Search, Differential Evolutioin, Firefly Algorithm, Harmony Search, Flower Pollination Algorithm, Ant Colony Optimization, Bee Algorithms, Jaya Algorithm và nhiều thuật toán khác. Trong số các phương pháp được đề cập ở trên, Differential Evolution là một trong những phương pháp được sử dụng rộng rãi nhất. Kể từ khi được Storn và Price [1] giới thiệu lần đầu tiên, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để cải thiện và áp dụng DE trong việc giải quyết các vấn đề tối ưu hóa cấu trúc. DE đã chứng minh hiệu suất tuyệt vời trong việc giải quyết nhiều vấn đề kỹ thuật khác nhau. Bên cạnh thuật toán Differential Evolution, thuật toán Jaya được Rao [2] đề xuất gần đây cũng là một phương pháp hiệu quả và đã được áp dụng rộng rãi để giải quyết nhiều vấn đề tối ưu hóa và cho thấy hiệu suất tốt. Nó đạt được kết quả vượt trội khi được thử nghiệm với các hàm test benchmark so với các phương pháp dựa trên dân số khác.

Tuy nhiên, giống như nhiều thuật toán tối ưu hóa dựa trên dân số khác, một trong những nhược điểm của DE và Jaya là thời gian tính toán tối ưu chậm hơn nhiều so với các phương pháp tối ưu hóa dựa trên độ dốc (gradient-based algorithms). Điều này là do DE và Jaya mất rất nhiều thời gian để đánh giá hàm mục tiêu của các cá thể trong bộ dân số. Để khắc phục nhược điểm này, các mạng nơ ron nhân tạo (Artificial Neural Networks) được nghiên cứu để kết hợp với các thuật toán meta-heuristic, như Differential Evolution, để tạo thành một phương pháp tiếp cận mới giúp giải quyết các bài toán tối ưu hóa thiết kế một cách hiệu quả.

Mặt khác, một trong những vấn đề quan trọng nhất trong thiết kế kỹ thuật là các thiết kế tối ưu thường bị ảnh hưởng bởi những yếu tố ngẫu nhiên. Những yếu tố này có thể xảy ra từ nhiều nguồn khác nhau, chẳng hạn như quy trình sản xuất, tính chất vật liệu và môi trường vận hành và có thể khiến các cấu trúc hoạt động không đúng như trong thiết kế ban đầu, và có thể dẫn đến rủi ro cho các cấu trúc [3]. Do đó, tối ưu hóa thiết kế dựa trên độ tin cậy (Reliability-Based Design Optimization) có thể được coi là một chiến lược toàn diện, cần thiết để tìm kiếm một thiết kế tối ưu.

Trong luận án này, lần đầu tiên một phiên bản cải tiến của phương pháp Differential Evolution đã được sử dụng để tìm góc hướng sợi tối ưu và độ dày của tấm gia cường vật liệu composite. Thứ hai, Mạng nơ ron nhân tạo (ANN) được tích hợp vào quy trình tối ưu hóa thuật toán Differentail Evolution cải tiến để hình thành thuật toán mới gọi là thuật toán ABDE (Artificial Neural Network-Based Differential Evolution). Thuật toán mới này sau đó được áp dụng để giải quyết các bài toán tối ưu hóa của các cấu trúc tấm composite gia cường. Thứ ba, một kỹ thuật lựa chọn tinh hoa (Elitist Selection Technique) được sử dụng để hiệu chỉnh bước lựa chọn của thuật toán Jaya ban đầu để cải thiện sự hội tụ của thuật toán và hình thành một phiên bản mới của thuật toán Jaya được gọi là thuật toán iJaya. Thuật toán Jaya cải tiến (iJaya) sau đó được áp dụng để giải quyết bài toán tối ưu hóa dầm Timoshenko vật liệu composite và thu được kết quả rất tốt. Cuối cùng, thuật toán mới SLMD-iJaya được tạo thành từ sự kết hợp giữa thuật toán Jaya cải tiến và phương pháp vòng lặp đơn xác định (Single-Loop Deterministic Method) đã được đề xuất như một công cụ mới để giải quyết các vấn đề Tối ưu hóa thiết kế dựa trên độ tin cậy. Phương pháp mới này được áp dụng để tìm kiếm thiết kế tối ưu của các cấu trúc dầm composite Timoshenk và cho kết quả vượt trội.

1. **Những đóng góp mới của luận án**
2. Thuật toán DE cải tiến đã được áp dụng lần đầu tiên để giải bài toán thiết kế tối ưu của cấu trúc tấm composite gia cường và kết quả cho thấy hiệu quả và độ chính xác tốt.
3. Một sự hiệu chỉnh trong bước lựa chọn của thuật toán Jaya ban đầu sử dụng kỹ thuật lựa chọn tinh hoa (Elitist Selection Technique) được đề xuất để tạo thành một phiên bản cải tiến của thuật toán. Thuật toán Jaya cải tiến sau đó được áp dụng để giải quyết bài toán tối ưu hóa cấu trúc dầm composite Timoshenko và thu được kết quả rất tốt.
4. Thuật toán Jaya cải tiến lần đầu tiên được kết hợp với Phương pháp xác định vòng lặp đơn nghiệm toàn cục (SLDM) để tạo ra một bộ công cụ mới có tên (SLMD-iJaya) để giải quyết bài toán Tối ưu hóa thiết kế dựa trên độ tin cậy của các mô hình dầm composite liên tục. Các thiết kế tối ưu thu được tốt hơn và an toàn hơn nhiều so với các thiết kế không có xét đến yếu tố độ tin cậy.
5. Mạng nơ-ron nhân tạo được sử dụng để xấp xĩ đáp ứng của tấm composite gia cường và ANN được tích hợp với thuật toán Differential Evolution cải tiến để tạo thành thuật toán mới gọi là thuật toán ABDE. Thuật toán mới này sau đó được áp dụng để tìm kiếm thiết kế tối ưu của các cấu trúc tấm composite gia cường. Bài toán đầu tiên là tối ưu hóa các góc hướng sợi của tấm composite gia cường và vấn đề thứ hai là giải tìm độ dày tối ưu của tấm composite gia cường. Kết quả thu được cho thấy tính hiệu quả cao của bộ công cụ ABDE được đề xuất.
6. **Những kết luận rút ra từ kết quả nghiên cứu của luận án**

- Trong luận án này, phương pháp DE cải tiến đã được giới thiệu và ứng dụng để giải quyết tối ưu góc hướng sợi và độ dày của tấm composite gia cường và kết quả cho thấy hiệu quả và độ chính xác tốt.

- Kỹ thuật lựa chọn tinh hoa được sử dụng để cải tiến bước lựa chọn của thuật toán Jaya gốc nhằm cải thiện sự hội tụ của thuật toán. Thuật toán Jaya cải tiến sau đó được áp dụng để giải bài toán tối ưu hóa dầm tổng hợp Timoshenko và thu được kết quả rất tốt.

- Ngoài ra, thuật toán SLMD-iJaya đã được đề xuất như một bộ công cụ mới để giải quyết bài toán tối ưu thiết kế dựa trên độ tin cậy của mô hình dầm composite liên tục. Kết quả thu được tốt hơn và đáng tin cậy hơn nhiều so với kết quả không có đánh giá độ tin cậy.

- Mạng nơ ron nhân tạo được tích hợp với thuật toán DE cải tiến để tạo thành một thuật toán mới gọi là thuật toán ABDE (ANN-based Differential Evolution). Thuật toán mới này sau đó được áp dụng để giải quyết hai bài toán tối ưu hóa của kết cấu tấm composite gia cường. Bài toán thứ nhất là tối ưu hóa các góc sợi của tấm composite gia cường và bài toán thứ hai là tối ưu hóa độ dày của tấm composite gia cường. Kết quả thu được cho thấy hiệu quả cao của bộ công cụ ABDE được đề xuất.

- Ngoài ra, thông qua một số kết quả số có thể nêu một số kết luận chính như sau:

* Kết quả tối ưu của hướng sợi cho cả trường hợp tấm composite gia cường hình vuông và hình chữ nhật cho thấy rằng các giải pháp của iDE rất phù hợp với các giải pháp của GA. Kết quả cũng cho thấy các thông số hình học của kết cấu cũng có ảnh hưởng đến giá trị tối ưu của bài toán. Đặc biệt, hướng sợi tối ưu của tấm hình vuông và hình chữ nhật là khá khác nhau trong cùng điều kiện
* Kết quả tối ưu hóa chiều dày cho thấy, trong trường hợp tấm vuông, hàm mục tiêu đạt giá trị thấp nhất với 4 dầm gia cường (XX-YY) vì chiều dày tấm thu được nhỏ hơn nhiều so với trường hợp 2 dầm gia cường. Trong trường hợp tấm chữ nhật, kết quả tốt nhất thu được trong trường hợp 2 dầm cốt thép bố trí theo phương Y (Y-Y), với giá trị chiều dày tấm là nhỏ nhất. Nói cách khác, phương án tối ưu thường đạt được với chiều dày tấm nhỏ nhất kết hợp với số lượng dầm gia cường nhiều hơn đối với trường hợp tải trọng đồng đều.
* Các vấn đề thiết kế tối ưu hóa của dầm tổng hợp Timoshenko được giải quyết với các loại điều kiện biên khác nhau (PP, FF, FP và CL) bằng cách sử dụng bốn thuật toán dựa trên tập hợp khác nhau bao gồm DE, IDE, Jaya và iJaya và một thuật toán dựa trên gradient từ công trình của Liu . Các kết quả số cho thấy rằng khối lượng tối ưu thu được từ iJaya phù hợp với các giải pháp khác. Tuy nhiên, thuật toán iJaya tiêu tốn ít thời gian nhất để đạt được giải pháp tối ưu so với các cách tiếp cận khác. Trong số năm phương pháp, thuật toán SQP (được triển khai bởi fmincon promt trong MATLAB) được sử dụng trong công trình của Liu đã đạt được lời giải tối ưu rất nhanh nhưng nó có thể bị mắc kẹt ở nghiệm tối ưu cục bộ và điều đó ảnh hưởng đến giá trị nghiệm tối ưu. So với các phương pháp tối ưu hóa toàn cục khác (DE, IDE, Jaya), phương pháp iJaya chắc chắn vượt trội hơn chúng. Trong trường hợp chiều dày của dầm composite (h) được chia thành độ dày của các lớp để tối ưu hóa thì một lần nữa, phương pháp iJaya lại chiếm ưu thế so với các phương thức khác về cả số lượng hàm thực thi và thời gian chạy của CPU.
* Các lời giải RBDO cho bài toán chuẩn sử dụng SLDM-iJaya cũng đã được trình bày và thể hiện trong Bảng 5. 17. Các lời giải đạt được của SLDM-iJaya và DLM-iJaya rất tương đồng với các nghiệm tối ưu thu được bằng các phương pháp khác. Tuy nhiên, chi phí tính toán đã giảm đáng kể khi sử dụng phương pháp DLM-iJaya và phương pháp SLDM-iJaya thay vì sử dụng DLM-IDE và SLDM-IDE. Đặc biệt, số lượng đánh giá hàm ràng buộc giảm gần 16% đối với trường hợp sử dụng DLM-iJaya, và giảm đến 20% đối với trường hợp sử dụng SLDM-iJaya. Mức giảm chi phí tính toán lần lượt là 52% và 36%. Những con số này đã chứng minh mạnh mẽ tính hiệu quả và độ chính xác của phương pháp SLDM-iJaya được đề xuất.
* Phương pháp SLDM-iJaya đề xuất được áp dụng để giải bài toán thiết kế tối ưu hóa dựa trên độ tin cậy của các dầm composite nhiều lớp với nhiều loại điều kiện biên khác nhau. Kết quả so sánh giữa phương pháp DLM-iJaya và SLDM-iJaya được liệt kê trong Bảng 5. 18 cho thấy rằng các lời giải tối ưu đạt được là rất tương đồng, nhưng số lượng hàm thực thi và thời gian chạy CPU của SLDM-iJaya thấp hơn so với DLM- iJaya trong mọi trường hợp.
* Các thuật toán tối ưu hóa ABDE được đề xuất được áp dụng cho ba mô hình bài toán: tấm hình chữ nhật gia cường theo hướng X (RX), tấm hình chữ nhật gia cường hướng Y (RY) và tấm hình vuông được gia cường theo hai hướng X và Y (S-XY). So với kết quả tối ưu thu được từ thuật toán DE, các giá trị của biến thiết kế được tính toán từ ABDE là rất giống nhau, với sai số tối đa chỉ là 1,99%. Chi phí cho mô hình R-X do ABDE tính toán chỉ là 8 giây so với 2851 giây của DE, nhanh hơn 356 lần. 2 trường hợp còn lại của mô hình R-Y và S-XY, chi phí tính toán lần lượt là 13 giây và 5 giây so với 2903 giây và 1497 giây của thuật toán DE. Sự ưu việt này có được là do hàm mục tiêu được xấp xỉ từ mô hình ANN. Kết quả trong Bảng 5. 13 có thể chứng minh độ chính xác và hiệu quả vượt trội của thuật toán ABDE so với thuật toán DE độc lập. Thuật toán đơn giản này có thể dễ dàng mở rộng áp dụng để giải nhiều dạng bài toán tối ưu hóa cấu trúc cho cả mô hình tuyến tính và phi tuyến.

*Tp. Hồ Chi Minh, ngày 06 tháng 01 năm 2021*

 **Lâm Phát Thuận**

**INFORMATION ABOUT RESEARCH RESULTS**

Thesis title: DEVELOPMENT OF METAHEURISTIC OPTIMIZATION METHODS FOR MECHANICS PROBLEMS

Major: Engineering Mechanics ID: 13252010105

Full-Name: Lâm Phát Thuận

Supervisor 1: Assoc. Prof. Dr. NGUYEN HOAI SON

Supervisor 2: Assoc. Prof. Dr. LE ANH THANG

Training institution: Ho Chi Minh City University Of Technology And Education

1. **Thesis summary**

Almost all design problems in engineering can be considered as optimization problems and thus require optimization techniques to solve. During the past decades, many optimization techniques have been proposed and applied to solve a wide range of various problems. Among them, metaheuristic algorithms have gained huge popularity in recent years in solving design optimization problems of many types of structure with different materials. These metaheuristic algorithms include genetic algorithms, particle swarm optimization, bat algorithm, cuckoo search, differential evolution, firefly algorithm, harmony search, flower pollination algorithm, ant colony optimization, bee algorithms, Jaya algorithm and many others. Among the methods mentioned above, the Differential Evolution is one of the most widely used methods. Since it was first introduced by Storn and Price [1], many studies have been carried out to improve and apply DE in solving structural optimization problems. The DE has demonstrated excellently performance in solving many different engineering problems. Besides the Differential Evolution algorithm, the Jaya algorithm recently proposed by Rao [2] is also an effective and efficient methods that has been widely applied to solve many optimization problems and showed its good performance. It gains dominate results when being tested with benchmark test functions in comparison with other population-based methods.

However, like many other population-based optimizations, one of the disadvantages of DE and Jaya is that the optimal computational time is much slower than the gradient-based optimization methods. This is because DE and Jaya takes a lot of time in evaluating the fitness of individuals in the population. To overcome this disadvantage, Artificial Neuron Networks (ANN) are proposed to combine with the metaheuristic algorithms, such as Differential Evolution, to form a new approach that help solve the design optimization effectively.

Moreover, one of the most important issues in engineering design is that the optimal designs are often effected by uncertainties which can be occurred from various sources, such as manufacturing processes, material properties and operating environments. These uncertainties may cause structures to improper performance as in the original design, and hence may result in risks to structures [3]. Therefore, reliability-based design optimization (RBDO) can be considered as a comprehensive strategy for finding an optimal design.

In this dissertation, an improved version of Differential Evolution has been first time utilized to solve for optimal fiber angle and thickness of the stiffened composite. Secondly, the Artificial Neural Network is integrated to the optimization process of the improved Differential Evolution algorithm to form a new algorithm call ABDE (ANN-based Differential Evolution) algorithm. This new algorithm is then applied to solve optimization problems of the stiffened composite plate structures. Thirdly, an elitist selection technique is utilized to modify the selection step of the original Jaya algorithm to improve the convergence of the algorithm and formed a new version of the original Jaya called iJaya algorithm. The improved Jaya algorithm is then applied to solve for optimization problem of the Timoshenko composite beam and obtained very good results. Finally, the so-called called (SLMD-iJaya) algorithm which is the combination of the improved Jaya algorithm and the Global Single-Loop Deterministic Methods (SLDM) has been proposed as a new tool set for solving the Reliability-Based Design Optimization problems. This new method is applied to look for optimal design of Timoshenko composite beam structures..

1. **New contributions of the thesis**
2. a) The improved DE algorithm was first applied to solve the optimal design problem of stiffened composite plate structure and the results showed good efficiency and accuracy.
3. b) A modification in the selection step of the original Jaya algorithm using the proposed Elitist Selection Technique is proposed to form an improved version of the algorithm. The improved Jaya algorithm is then applied to solve the optimization problem of the Timoshenko composite beam structure and obtained very good results.
4. The improved Jaya algorithm is combined, for the first time, with the Global Single-Loop Deterministic Method (SLDM) to create a new toolkit named (SLMD-iJaya) to solve the RBDO problems of continuous composite beam models. Optimal designs achieved are much better and safer than those without reliability.
5. Neural networks were used to approximate the response of stiffened composite plate and ANN was integrated with an improved Differential Evolution algorithm to form a new algorithm called ABDE algorithm. This new algorithm is then applied to find the optimal design of stiffened composite plates. The first problem is to optimize the fiber angles of stiffened composite plates and the second problem is to find the optimal thickness of stiffened composite plates. The obtained results show the high efficiency of the proposed ABDE toolkit.
6. **Conclusions drawn from research results of the thesis**

In this dissertation, the improved Differential Evolution is introduced and apply to solve for optimal fiber angle and thickness of the reinforced composite plate and the results showed its good effectiveness and accuracy.

The elitist selection technique is utilized to modify the selection step of the original Jaya algorithm to improve the convergence of the algorithm. The improved Jaya algorithm is then applied to solve for optimization problem of the Timoshenko composite beam and obtained very good results.

In addition, the so-called called (SLMD-iJaya) algorithm which is the combination of the improved Jaya algorithm and the Global Single-Loop Deterministic Methods (SLDM) has been proposed as a new tool set for solving the Reliability-Based Design Optimization of the continuous composite beam models. The results obtained is much better and more reliable than those without the reliability factor.

The Artificial Neural Network is integrated to optimization process of the improved Differential Evolution algorithm to form a new algorithm call ABDE (ANN-based Differential Evolution) algorithm. This new algorithm is then applied to solve two optimization problems of the reinforced composite plate structures. The first one is optimizing the fiber angles of the reinforced composite plate and the second one is optimizing the thickness of the reinforced composite plate. The results obtained show a highly effective performance of the proposed ABDE tool set. However, for problems with available behavioral equations, creating data from FEM to train the model and apply it to the optimization algorithm may take more time than solving directly by the optimal algorithm.

Besides, through several numerical results, some main conclusions can be stated as follows:

• The optimal results of fiber orientations for both cases of square and rectangular reinforced composite plate show that the solutions by the iDE agree very well with those by the GA. The errors of strain energy in both case are very low. The maximum one is just about 0.2% for the case of rectangular plate. However, the computational time of the iDE algorithm are much smaller. This proved the accuracy and the effectiveness of the iDE method. The results also show that the geometric parameters of the structures also have influence to the optimal values of the problems. Particularly, the optimal fiber orientations of the square and rectangular plate are quite different under the same conditions

• The thickness optimization results show that, in the case of square plate, the objective function reaches the lowest value with 4 reinforced beams (XX-YY) because the thickness of the plate obtained is much smaller than the case of 2 reinforced beams. In the case of rectangular plates, the best results are obtained in the case of 2 reinforced beams arranged in Y-direction (Y-Y), with the value of the plate thickness being the smallest. In other words, the optimal option is usually achieved with the smallest plate thickness combined with the more number of reinforced beams for the case of uniform loads.

• The optimization design problems of Timoshenko composite beam are solved with different types of boundary conditions (P-P, F-F, F-P and C-L) using four different population-based algorithm including DE, IDE, Jaya and iJaya and one gradient-based algorithm from Liu’s work. The numerical results show that the optimal mass obtained from iJaya are agreed well with other solutions. However, the iJaya algorithm consumed least time to achieve the optimal solution in compared with other approaches. Among the five methods, the SQP (implemented by fmincon promt in MATLAB) algorithm used in Liu’s work reached the optimal solution very fast but it could be stuck in the local optimum and that affects the value the optimal solution. In comparison with other global optimization method (DE, IDE, Jaya), the iJaya method definitely outperforms them. The iJaya algorithm can be considered as the most effective and the efficient algorithm because it solved for the global solution at the highest speed of convergence. In the case where the depth of the composite laminated beam (h) are divided into thicknesses of the layers of the beam to optimize. And once again, the iJaya method dominates the other methods in both the number of function count and the CPU time.

• The RBDO solutions for the benchmark problem using the SLDM-iJaya has also presented and shown in Table 5. 17. The solutions achieved by the SLDM-iJaya and DLM-iJaya are agreed well with those obtained by the other methods. However, the computational costs are significantly decreased when using the DLM-iJaya method and the SLDM-iJaya method instead of utilizing the DLM-IDE and SLDM-IDE. In particularly, the number of constraint function evaluations is reduced nearly 16% for the case of using the DLM-iJaya to 20% for the case of using the SLDM-iJaya. These reductions in term of computational costs are 52% and 36%, respectively. These numbers strongly verified the efficiency and the effectiveness of the proposed SLDM-iJaya method.

• The proposed SLDM-iJaya method is applied to solve the lightweight reliability-based optimization design problem of the composite laminated beams with various types of boundary conditions. The optimal results are computed with three different required reliability indexes, r,i. The results compared between the DLM-iJaya and the SLDM-iJaya method listed in Table 5. 18 show that the optimal solutions of mass are agreed well, but the function count and the CPU time by the SLDM-iJaya outperformed those of the DLM-iJaya in all cases.

• In the final chapter, the proposed ABDE optimization algorithms were applied to three problem models: rectangular plate with X-directional stiffener (R-X), rectangular plate with Y-directional stiffener (R-Y), and square plate reinforced in two directions X and Y (S-XY). Compared to the optimal results obtained from the DE algorithm, the values of the design variable computed from ABDE is very similar, with maximum error is just 1.99%. The cost for the R-X model computed by ABDE is only 8 seconds compared to 2851 seconds of DE, which is 356 times faster. The remaining 2 cases of R-Y and S-XY models, the cost are respectively 13 seconds and 5 seconds compared to 2903 seconds and 1497 seconds of the DE algorithm. This superiority is due to the fact that the objective function can be approximated from the ANN model by a single command: net(popular), which is independent of the population of each generation, instead of using for/end loop as in the original DE algorithm. The results in Table 5. 13 can prove the ABDE algorithm's superior accuracy and efficiency in comparison to the independent DE algorithm. This simple algorithm can be easily extended to apply to solve many types of structural optimization problems for both linear and nonlinear models

*Tp. Hồ Chi Minh, ngày 06 tháng 01 năm 2021*

**Lâm Phát Thuận**