

TỐI ƯU THÔNG SỐ HÌNH DÁNG TÀU THEO HƯỚNG GIẢM SỨC CẢN ÁP DỤNG GIẢI THUẬT DI TRUYỀN

SHIP HULL FORM OPTIMIZATION FOR REDUCED RESISTANCE USING GENETIC ALGORITHM

Nguyễn Thị Ngọc Hoa¹, Lê Tấn Hiệp², Vũ Ngọc Bích³

^{1,3} Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

² Trường Đại học Bách Khoa – Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Bài báo trình bày công cụ tối ưu thông số hình dáng tàu từ tàu mẫu dựa trên đường cong diện tích sườn tích hợp thuật toán tối ưu di truyền. Cơ chế hoạt động của giải thuật di truyền là khả năng lựa chọn nghiệm tối ưu mà không cần thông qua các phương pháp tìm nghiệm theo hướng giải tích truyền thống. Các thông số kích thước cơ bản tàu được xem xét tối ưu trong giải thuật là hoành độ tâm nổi (LCB) và hệ số béo thể tích (CB), hệ số béo lăng trụ (CP), hệ số béo sườn giữa tàu (CM). Hàm đa mục tiêu trong mô hình tối ưu là thành phần sức cản ma sát và sức cản sóng dựa trên phương pháp Holtrop. Từ kết quả các thông số hình dáng tối ưu được giải thuật di truyền đề xuất, đường cong diện tích sườn lý thuyết của tàu được xây dựng. Trong bài báo này, áp dụng cho mẫu tàu container, thuật toán được xây dựng trên nền MATLAB và phù hợp trong việc hỗ trợ kỹ sư trong giai đoạn thiết kế tàu sơ bộ.

Từ khóa: Giải thuật di truyền, sức cản ma sát, sức cản sóng, hàm mục tiêu.

Chỉ số phân loại: 2.1

Abstract: The paper presents a tool to optimize the ship hull form parameters based on the integration of the sectional area curve and genetic algorithm. The mechanism of a genetic algorithm is the ability to select the best solution for solving multi-objective problems without any traditional analytical methods. Longitudinal center of buoyancy (LCB), ship hull form coefficients such as block coefficient (CB), prismatic coefficient (CP), and mid-ship coefficient (CM) are considered as optimization variables in our research. The multi-objective mathematical function for problem optimization, in this study, is described through the frictional resistance and the wave resistance using Holtrop prediction method. As a result, in our proposed technique, the sectional area curve of a ship hull form is built from these optimized variables. In this paper, the proposed research method is applied to the container ship based on MATLAB platform and aims to support the designer in the preliminary ship design stage.

Keywords: Genetic algorithm, frictional resistance, wave resistance, multi-objective function.

Classification number: 2.1

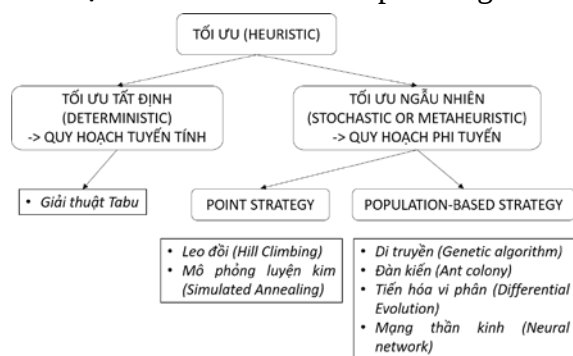
1. Giới thiệu

Thiết kế hình dáng tuyến hình tàu là một công việc đòi hỏi thời gian, yêu cầu người thiết kế phải có kiến thức và kinh nghiệm toàn diện trong công tác thiết kế. Theo quan điểm thủy động lực học, sức cản tàu là mục tiêu quan trọng trong bài toán thiết kế hình dáng vì ảnh hưởng đến chi phí khai thác và nhiên liệu tiêu thụ. Các công bố của Gammon (2011), Grigoropoulos và Chalkias (2010) được trình bày các nghiên cứu về thiết kế tối ưu hình dáng tàu dựa trên một và nhiều hàm mục tiêu [1], [2]. Thiết kế tàu thủy dựa trên cơ sở các

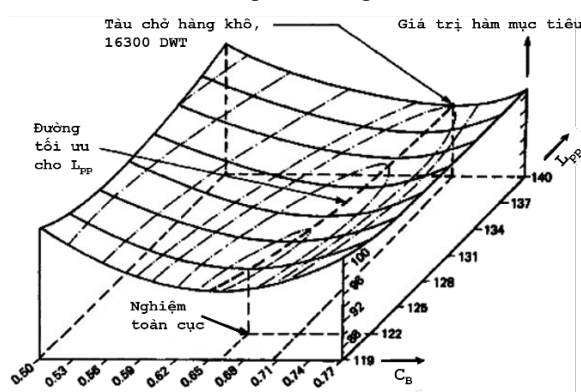
phép tính gần đúng nhằm xác định các thông số tối ưu của tàu. Thiết kế tối ưu trong thực tế là chọn lựa một lời giải tốt nhất theo một nghĩa xác định với những điều kiện hạn chế, chúng ta gọi là các ràng buộc hoặc không có ràng buộc cho vấn đề. Thời gian gần đây, các nghiên cứu tối ưu dựa trên thuyết tiến hóa, cá tuyến tính và phi tuyến, đang được áp dụng rộng rãi trong bài toán thiết kế (hình 1).

Lời giải tìm được khi tối ưu hóa thiết kế tàu thủy thông thường thuộc lớp tối ưu cục bộ. Hiện chúng ta có nhiều hàm mục tiêu khác nhau về mặt thông số cơ bản của tàu trong việc

xác định lời giải cho tối ưu toàn cục (hình 2). Năm 2004, Jun và cộng sự giới thiệu thuật toán tối ưu di truyền trong việc cải thiện sức cản tàu hai thân [3]. Theo hướng nghiên cứu về thuật toán di truyền trong hàm mục tiêu tối ưu sức cản, Sun và cộng sự đã tối ưu diện tích mặt đường nước, lượng chiếm nước, và món nước. Kết quả sức cản sóng có giảm tại các giá trị vận tốc cao, tuy nhiên trong nghiên cứu lại chưa xét đến hàm mục tiêu sức cản ma sát [4]. Trong nghiên cứu này, sức cản sóng và sức cản ma sát đồng thời được khảo sát trong hàm mục tiêu tối ưu, các biến số là các thông số hình học cơ bản của mẫu tàu pha sông biển.



Hình 1. Mô hình phân loại giải thuật tối ưu.



Hình 2. Ví dụ điểm tối ưu cục bộ và tối ưu toàn cục của tàu [5].

2. Hàm mục tiêu tối ưu dựa trên phương pháp tính sức cản Holtrop

2.1. Bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu

Bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu có ràng buộc có thể được phát biểu như sau:

$$\text{Xác định: } X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (1)$$

Sao cho:

$$f(X) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_k(X)]$$

Thỏa mãn các yêu cầu ràng buộc:

$$g_j(X) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m$$

Trong đó:

X được gọi là tập khả thi (feasible set), chứa n biến quyết định;

$f(X)$ là vector hàm mục tiêu (vector objective function), chứa k hàm mục tiêu (objective function);

$g_j(X)$ là các hàm ràng buộc.

2.2. Xây dựng hàm mục tiêu dựa trên phương pháp tính Holtrop

Hàm mục tiêu tối ưu sức cản dựa trên phương pháp Holtrop [6], [7].

$$R = R_F(1 + k_1) + R_w + R_{APP} + R_B + R_{TR} + R_A \quad (2)$$

Trong đó:

R_F : Sức cản ma sát theo ITTC 1957;

$1 + k_1$: Hệ số hình dáng bổ sung cho R_F ;

R_{APP} : Sức cản thành phần phụ;

R_B : Sức cản phần mũi quả lê;

R_{TR} : Sức cản bổ sung cho phần vách lái;

R_A : Sức cản chuyển đổi giữa mô hình và tàu thật.

Do việc tính toán hoàn chỉnh sức cản tàu đòi hỏi rất nhiều thông số kỹ thuật liên quan. Trong nghiên cứu này, hàm mục tiêu được giới hạn là sức cản ma sát và sức cản sóng, các công thức tính toán liên quan được trình bày bên dưới.

$$R_F = \frac{1}{2} C_f \rho S U^2 (1 + k_1) \quad (3)$$

$$R_w = c_1 c_2 c_5 \nabla \rho g \exp \{ m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2}) \} \quad (4)$$

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10}(Rn) - 2)^2}$$

$$(1 + k_1) = c_{13} \left\{ \begin{aligned} &0.93 + c_{12} (B/L_R)^{0.92497} \\ &\times (0.95 - C_p)^{-0.521448} \\ &\times (1 - C_p + 0.0225 lcb)^{0.6906} \end{aligned} \right\}$$

$$L_R/L = 1 - C_p + 0.06 C_p lcb (4 C_p - 1)$$

$$c_{12} = \begin{cases} (T/L)^{0.2228446} & T/L > 0.05 \\ 48.2(T/L - 0.02)^{2.078} + 0.479948 & 0.02 < T/L < 0.05 \\ 0.479948 & T/L < 0.02 \end{cases}$$

$$c_1 = 2223105 c_7^{3.78613} (T/B)^{1.07961} (90 - i_e)^{-1.37565}$$

$$c_2 = \exp(-1.89\sqrt{c_3})$$

$$c_5 = e1 - 0.8A_T / (BTC_M)$$

$$c_7 = \begin{cases} 0.229577(B/L)^{0.33393} & B/L < 0.11 \\ (B/L) & 0.11 < B/L < 0.25 \\ 0.5 - 0.0625(B/L) & B/L > 0.25 \end{cases}$$

Trong đó:

$C_f, 1+k_1, c_{12}, c_{13}$: Hệ số liên quan đến sức cản ma sát;

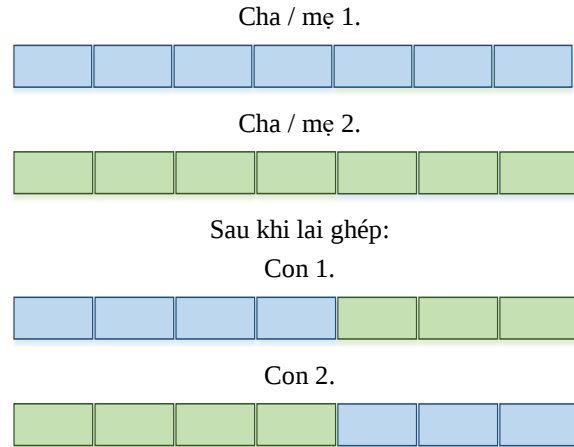
c_1, c_2, c_5, c_7 : Hệ số liên quan đến sức cản sóng.

3. Giải thuật tối ưu di truyền trong giai đoạn thiết kế

3.1. Tổng quan về giải thuật di truyền

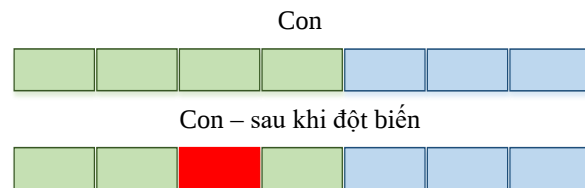
Giải thuật di truyền (GA) là một kỹ thuật của khoa học máy tính, có chức năng tìm kiếm giải pháp thích hợp cho các bài toán tối ưu đa mục tiêu. Ý tưởng về GA được phát triển bởi Holland và đồng sự, được lấy cảm hứng từ thuyết tiến hóa của các quần thể sinh học dựa trên học thuyết của Darwin [8]. Theo Golberg [9], về mặt kỹ thuật, một vector chứa những giải pháp $x \in X$ được gọi là một cá thể (individual) hoặc là một nhiễm sắc thể (chromosome). Nhiễm sắc thể được tạo ra từ các đơn vị riêng biệt được gọi là gen (genes). Mỗi gen mang một số đặt trưng và có vị trí nhất định trong nhiễm sắc thể. Mỗi nhiễm sắc thể sẽ biểu diễn một lời giải của bài toán. GA vận hành với một tập hợp các cá thể được gọi là quần thể (population) và quần thể thường được khởi tạo ngẫu nhiên. GA sử dụng hai cơ chế để khởi tạo quần thể mới từ quần thể đã tồn tại là lai ghép (crossover) và đột biến (mutation). Trong trường hợp chung nhất, độ thích nghi (fitness) của một cá thể sẽ xác định xác suất sống sót của nó trong thế hệ tiếp theo.

Phép lai ghép tạo ra các nhiễm sắc thể (chromosome) con cái (offspring) từ các nhiễm sắc thể cha mẹ (parent) (hình 3). Lưu ý rằng, hai cá thể cha – mẹ có đặc tính tốt, sau khi lai ghép thì hai cá thể con chưa chắc có đặc tính tốt hơn, nhưng khả năng tạo ra cá thể con tốt là rất cao. Nếu cá thể con có độ thích nghi thấp, nó sẽ bị đào thải trong quá trình chọn lọc.

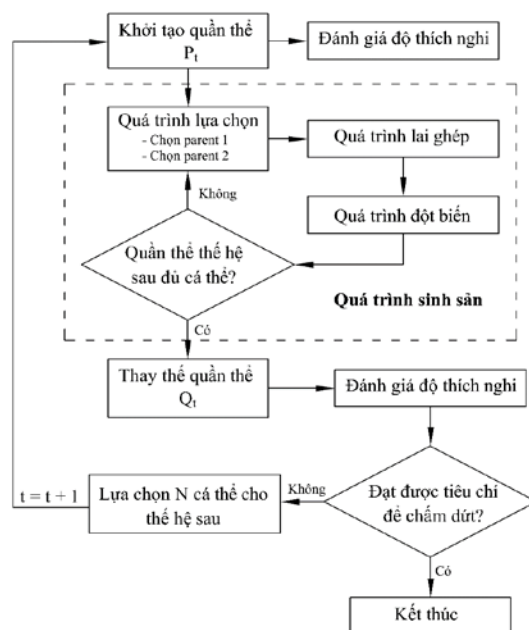


Hình 3 Quá trình lai ghép trong GA.

Quá trình đột biến thay đổi ngẫu nhiên đặc điểm của nhiễm sắc thể, có thể phụ thuộc vào độ hội tụ của bài toán. Đột biến đóng một vai trò rất quan trọng trong GA, như đã trình bày ở trên, quá trình lai ghép có thể dẫn đến sự hội tụ cục bộ cho một hàm mục tiêu nào đó. Đột biến sẽ giúp tăng sự đa dạng trong quần thể và làm tăng nhanh quá trình hội tụ, nhưng có thể sự tăng đột ngột không có tác dụng hoặc làm hội tụ sớm dẫn đến một lời giải kém tối ưu (hình 4).



Hình 4. Quá trình đột biến trong GA.



Hình 5 Quy trình vận hành của GA.

Bước 1: Cho $t = 1$. Khởi tạo ngẫu nhiên N giải pháp để hình thành quần thể đầu tiên, P_1 , sau đó đánh giá độ thích nghi của các giải pháp trong P_1 .

Bước 2: *Lai ghép*: Tạo một quần thể thế hệ con (offspring) Q_t theo các bước:

- Lựa chọn hai giải pháp x (parent 1) và y (parent 2) dựa theo độ thích nghi.
- Sử dụng cơ chế lai ghép, tạo cá thể con và thêm vào Q_t .

Bước 3: *Đột biến*: Đột biến mỗi giải pháp $x \in Q_t$ theo một xác suất đột biến cho trước.

Bước 4: *Đánh giá độ thích nghi*: Đánh giá và gán độ thích nghi cho mỗi giải pháp $x \in Q_t$ dựa trên các hàm mục tiêu trong bài toán.

Bước 5: *Chọn lọc*: Chọn N giải pháp từ Q_t dựa trên độ thích nghi của giải pháp và sao chép chúng vào thế hệ tiếp theo P_{t+1} .

Bước 6: Nếu tiêu chí để chấm dứt thỏa mãn, ngừng vòng lặp trở lại quần thể hiện tại, nếu chưa thỏa mãn, đặt $t = t + 1$ và quay lại bước 2.

3.2. Ứng dụng giải thuật di truyền trong bài toán tối ưu thông số hình dáng

Trong bài toán tối ưu hình dáng tàu, các thuật giải tối ưu tuyến tính và phi tuyến được áp dụng và nghiên cứu triển khai. Năm 2011, Sarker sử dụng thuật giải tối ưu toàn phương tuần tự (SQP) để chọn lựa các thông số hình học phù hợp [10]. Kết quả cho thấy hàm mục tiêu sức cản giảm không đáng kể, xấp xỉ 0.32%.

Đối với bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu, khó khăn lớn nhất chính là rất khó xác định phương án tối ưu nhất và khó có thể so sánh phương án này với phương án khác. Kết quả tốt nhất đạt được là kết quả có thể dung hòa hợp lý giữa các hàm mục tiêu với nhau và các bài toán này thường chấp nhận nhiều phương án khác nhau. Là một cách tiếp cận dựa vào quần thể các phương pháp, GA rất phù hợp để giải quyết các bài toán đa mục tiêu vì nó có khả năng đồng thời tìm kiếm các vùng khác nhau trong không gian giải pháp. Do đó, GA là phương pháp tiếp cận nghiệm khả thi trong giải quyết bài toán tối ưu đa mục tiêu.

Bảng 1. Kết quả tối ưu sức cản theo [10].

Thông số cơ bản	Tàu mẫu		Thông số tối ưu		
			Theo Holtrop		
Vận tốc tàu (knots)			8.0	9.0	10.0
Chiều dài tàu L (m)	80.0	$70 < L < 80$			
Tỉ số L / B	5.33	$7.0 < L/B < 10.0$			
Tỉ số B / T	3.75	$1.6 < B/T < 3.3$			
Hệ số đường nước C_W	0.665		0.665	0.665	0.665
Hệ số thể tích C_B	0.444		0.437	0.444	0.444
Hệ số sườn giữa C_M	0.667		0.652	0.667	0.667
Hệ số lặn trụ C_P	0.665		0.670	0.665	0.665
∇ (m ³)	1419.4	$1400 < \nabla < 1500$	1400	1419.4	1419.4
Sức cản tàu (KN)	10.426	8 knots	10.39	14.17	20.81
	14.173	9 knots			
	20.816	10 knots			
Độ giảm sức cản (%)			0.32	0.0	0.0

4. Kết quả tính toán

4.1. Giải thuật di truyền cho bài toán tối ưu đa mục tiêu

Trong bài toán tối ưu đa mục tiêu, để đánh giá hiệu quả thuật toán di truyền, hàm toán học Rastrigin được sử dụng nhằm tìm nghiệm xấp xỉ $f(x)$ là nhỏ nhất.

Tìm giá trị nhỏ nhất:

$$f(x) = 20 + x_1^2 + x_2^2 - 10(\cos 2\pi x_1 + \cos 2\pi x_2) \quad (5)$$

Với $-5.12 < x_i < 5.12$

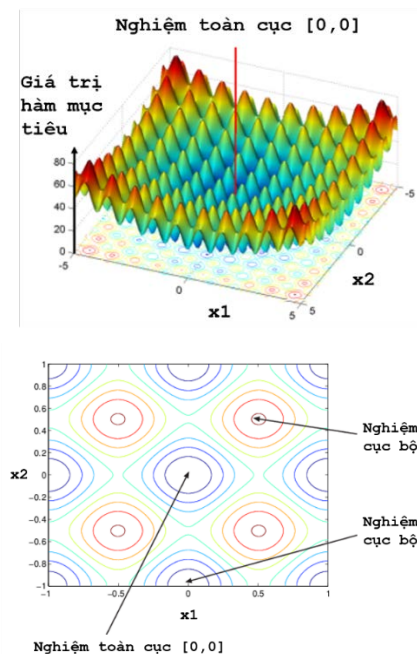
Bài toán có lời giải chính xác là:

$$x^* = (0,0), f(x^*) = 0$$

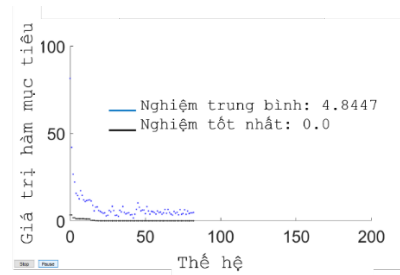
Áp dụng giải thuật di truyền, ta có số lần lặp để giải thuật đạt được lời giải tối ưu chính xác đến hai số lẻ $f(x) = 0.00$ được thống kê trong các bảng sau:

Bảng 2. So sánh kết quả nghiệm.

	Nghiệm chính xác	Nghiệm GA
x_1	0.0	0.16
x_2	0.0	0.0067
$f_{\min}$	0.0	2.7×10^{-13}



Hình 5. Nghiệm cục bộ và toàn cục trong bài toán tối ưu.

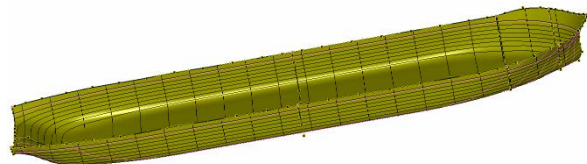


Hình 6. Đồ thị hội tụ trong tính toán tối ưu.

Đối với hàm toán học Rastrigin, các giá trị nghiệm cục bộ và toàn cục được thể hiện như hình 5 và hình 6. Thông qua đồ thị hội tụ, giải thuật tối ưu di truyền thể hiện tính xấp xỉ nghiệm toàn cục và thoát khỏi các vùng nghiệm cục bộ một cách hiệu quả. Như vậy, trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, giải thuật di truyền có thể áp dụng cho bài toán tối ưu các thông số hình học tàu theo hướng giảm sức cản.

4.2. Áp dụng giải thuật tối ưu di truyền cho mẫu tàu hàng pha sông biển

Trong nghiên cứu này, các thông số được khảo sát bao gồm hoành độ tâm nổi LCB, các hệ số béo thân tàu C_b , C_p và C_m , giả thuyết các kích thước hình dáng tàu L , B và d không thay đổi. Tàu được áp dụng là mẫu tàu 128 TEU pha sông biển.



Hình 7. Mô hình hóa hình dáng tàu container 128 TEU pha SB.

Bảng 3. Thông số tàu thiết kế.

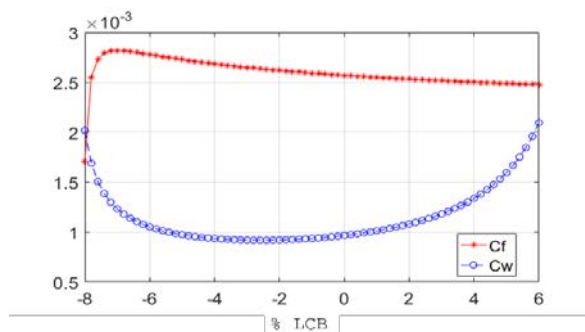
THÔNG SỐ TÀU MẪU			
Lượng chiếm nước	Δ	3070	tấn
Thể tích chiếm nước	V	2998	m^3
Chiều dài	L	72.5	m
Chiều chìm	d	3.9	m
Chiều rộng	B	12.875	m
Hệ số béo lạng trụ	C_p	0.852	
Hệ số béo thể tích	C_B	0.824	
Hệ số béo giữa tàu	C_M	0.967	
Hệ số béo đường nước	C_{WP}	0.947	
LCB (từ lái tàu)	LCB_{ms}	34.091	m

THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA TÀU		KẾT QUẢ TÍNH TOÁN SỨC CẢN VÀ CÔNG SUẤT MÁY	
- Chiều dài đường nước thiết kế	72.5 m	- Sức cản ma sát	50.7993 kN
- Chiều dài giữa hai trụ	71.2 m	- Sức cản phụ Raop	0 kN
- Chiều rộng thiết kế	12.875 m	- Sức cản sóng Rsw	32.3332 kN
- Chiều chìm tại mũi	3.9 m	- Sức cản hình dạng của mũi qua le Rb0	0 kN
- Chiều chìm tại lái	3.9 m	- Sức cản do áp suất ở vòm dưới tàu Rtr	10.642 kN
- Thể tích chiếm nước	3070 m³	- Sức cản tương quan mô hình tàu Rra	10.3299 kN
- Hoàng độ tam nôi (theo Lpp) tính từ sườn giữa	-0.013 %	- Sức cản toàn tàu Rtotal	104.104 kN
- Diện tích mặt cắt ngang của mũi qua le	0 m²	- Công suất máy chính P	714.08 PS
- Chiều cao tam của mũi qua le	0 m		
- Hệ số bề mặt sườn giữa	0.967		
- Hệ số bề mặt đường nước	0.847		
- Diện tích vòm dưới tàu	7 m²		
- Diện tích mặt ướt các thành phần phụ	0 m²		
- Hệ số hình học dưới tàu	10.0		
- Khoảng hở chân vịt tính từ đường cơ bản	0.1 m		
- Vận tốc tàu	10 knot		

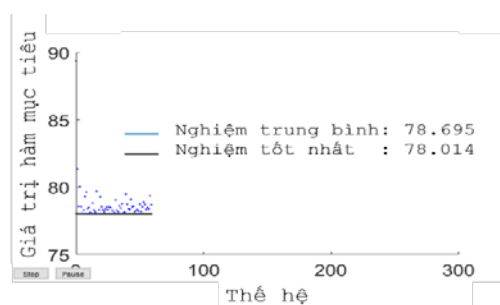
Hình 8. Giao diện chương trình tính sức cản theo Holtrop.

Khảo sát độc lập mối quan hệ giữa thông số hình dáng LCB đến sức cản ma sát và sức cản sóng, kết quả được trình bày như hình vẽ. Kết quả tính toán cho thấy giá trị LCB của từng hàm mục tiêu sức cản ma sát và sức cản sóng là khác nhau (hình 9).

Giải thuật di truyền được ứng dụng nhằm tối ưu hoành độ tâm nổi LCB theo mục tiêu giảm sức cản ma sát và sức cản sóng.



Hình 9 Mối liên hệ LCB – hệ số sức cản ma sát C_f và sức cản sóng C_w .

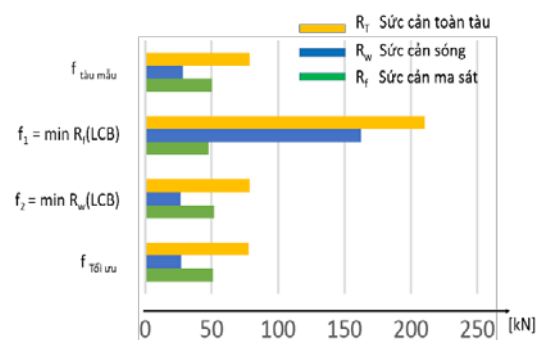


Hình 11. Đồ thị hội tụ LCB.

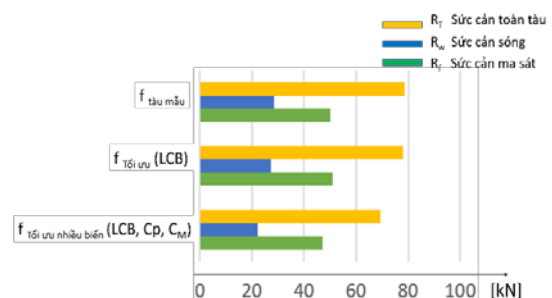
Kết quả tính toán cho thấy, giải thuật GA đề xuất lời giải đa mục tiêu tốt hơn so với cách chọn lựa độc lập từng hàm mục tiêu sức cản ma sát và sức cản sóng (bảng 4, hình 10 và hình 11).

Trong trường hợp tiếp theo, ngoài thông số LCB, hàm tối ưu bổ sung thêm thông số C_p và C_M (bảng 5, hình 12 và 13). Trong nghiên cứu này, các hàm ràng buộc được thiết lập đảm bảo sai số nhỏ hơn 3% so với tàu mẫu ban đầu, gồm:

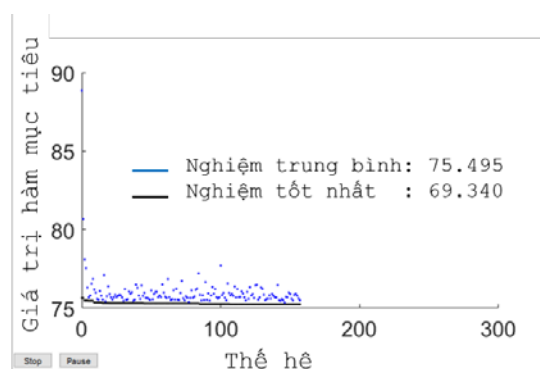
$$\begin{aligned} \delta\Delta &= \pm 3\% \\ -5\% &\leq LCB \leq 5\% \\ 0.86 &\leq C_p \leq 0.87 \\ 0.95 &\leq C_M \leq 0.98 \end{aligned} \quad (6)$$



Hình 10. So sánh giá trị sức cản tối ưu theo GA, hàm tối ưu 1 biến số LCB.



Hình 12. So sánh giá trị sức cản tối ưu theo GA, hàm tối ưu nhiều biến số.



Hình 13. Đồ thị hội tụ LCB, C_p , C_M .

Bảng 4. Kết quả tính toán sức cản theo GA, hàm tối ưu gồm 1 biến số LCB.

	R_f [kN]	R_w [kN]	R_T [kN]	[%]
f tàu mẫu	50.135	28.466	78.601	
$f_1 = \min R_f$ (LCB)	47.787	162.658	210.445	167.74
$f_2 = \min R_w$ (LCB)	51.670	26.852	78.522	-0.10
f Tối ưu (LCB)	50.862	27.152	78.014	-0.75

Bảng 5. Kết quả tính toán sức cản theo GA, hàm tối ưu nhiều biến LCB, C_p , C_M .

	R_f [kN]	R_w [kN]	R_T [kN]	[%]
f tàu mẫu	50.135	28.466	78.601	
f Tối ưu (LCB)	50.862	27.152	78.014	-0.75
f Tối ưu (LCB, C_p , C_M)	47.236	22.104	69.34	-11.78

Bảng 6. Kết quả hiệu chỉnh thông số hình học cơ bản từ tàu mẫu theo giải thuật GA.

	Tàu mẫu	Đề xuất		Hiệu chỉnh [%]
V	3048	3005.5	m^3	-1.4
C_P	0.866	0.860		-0.7
C_B	0.837	0.826		-1.3
C_M	0.967	0.960		-0.7
LCB_{ms}	-0.013	-1.2	%	-1.187
R_f	50.135	47.236	kN	-5.8
R_w	28.466	22.104	kN	-22.3

Trong bảng 6, kết quả tính toán tối ưu bằng giải thuật di truyền thể hiện các thông số đề xuất thỏa hàm đa mục tiêu về sức cản ma sát và sức cản sóng, trong khi vẫn đảm bảo nằm trong phạm vi ràng buộc ban đầu.

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả tối ưu thông số hình dáng tàu từ tàu mẫu. Hàm mục tiêu trong nghiên cứu này thể hiện thông qua thành phần sức cản ma sát và sức cản sóng trong

phương pháp tính Holtrop. Các thông số tối ưu trong giải thuật di truyền được trình bày gồm LCB, C_p , C_b , C_M . Giải thuật tối ưu di truyền được xây dựng nhằm tự động hóa công tác thiết kế thay đổi hình dáng tàu theo hướng giảm sức cản, trong khi ràng buộc giữ nguyên thông số kích thước cơ bản tàu gồm chiều dài toàn tàu, chiều rộng và chiều chìm lượng chiếm nước của tàu mẫu. Hiệu quả của giải thuật tối ưu di truyền thể hiện rõ qua kết quả tính toán, cụ thể giá trị hàm mục tiêu sức cản

ma sát giảm 5.8 %, sức cản sóng giảm 22.3 % so với tàu mẫu.

Trong các nghiên cứu sắp tới, nhóm tác giả sẽ triển khai làm trơn hình dáng tuyến hình thông qua các thông số hình học tối ưu được đề xuất từ giải thuật GA. Việc này có ý nghĩa quan trọng trong việc đánh giá chất lượng tuyến hình tàu và sức cản hình dáng của tàu thiết kế □

Tài liệu tham khảo

- [1] M. A. Gammon (2011), *Optimization of fishing vessels using a Multi-Objective Genetic Algorithm*, Ocean Eng.
- [2] G. J. Grigoropoulos and D. S. Chalkias (2010), *Hull-form optimization in calm and rough water*, CAD Comput. Aided Des.
- [3] N. Jun, A. and Kuniharu, *A Trial to Reduce Wave making Resistance of Catamaran-Hull Form Improvement Using Real-Coded Genetic Algorithm*, Trans. West-Japan Soc. Nav. Archit., vol. 107, pp. 1–13, 2004.
- [4] J. Sun, X. Lv, W. Liu, H. Ning, and X. Chen, *Research on a method of hull form design based on wave-making resistance optimization*, Polish Marit. Res., 2012.
- [5] T. C. Nghi and L. Tắt-Hiền (2018), *Tối ưu kỹ thuật trong thiết kế và kết cấu tàu*, NXB Đại học Quốc gia Tp.HCM.
- [6] J. Holtrop, *A Statistical Re-Analysis of Resistance and Propulsion data*, Int. Shipbuild. Prog., 1984.
- [7] ITTC, “7.5-03-02-03: *Recommended Procedures and Guidelines: Practical Guidelines for Ship CFD Applications*, in International Towing Tank Conference, 2011.
- [8] Holland J.H., *Genetic Algorithms and Adaptation*. In: Selfridge O.G., Rissland E.L., Arbib M.A. (eds) *Adaptive Control of Ill-Defined Systems*, NATO Conf. Ser. (II Syst. Sci., vol. 16, pp. 317–333, 1984.
- [9] D. E. Goldberg and J. H. Holland (1988), *Genetic Algorithms and Machine Learning, Machine Learning*.
- [10] Asim Kumar Sarker (2011), *Optimization of ship hull parameters based on regression based resistance analysis*, Bangladesh University of Engineering and Technology.

Ngày nhận bài: 27/6/2019

Ngày chuyển phản biện: 26/4/2019

Ngày hoàn thành sửa bài: 18/7/2019

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2019