

Giải thuật NURBS cho đường nước thiết kế dựa trên biến đổi đường cong diện tích sườn tàu

Nguyễn Thị Ngọc Hoa¹, Vũ Ngọc Bích¹, Lê Tất Hiến^{2,3,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

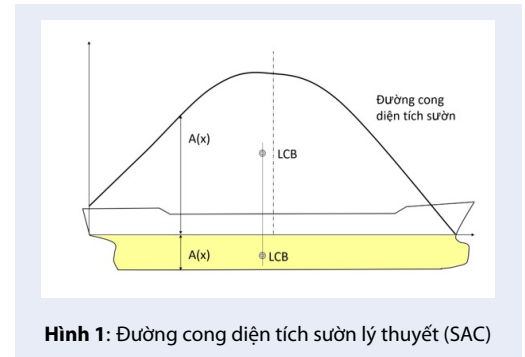
TÓM TẮT

Thiết kế tuyến hình theo tàu mẫu là kết quả biến đổi tham số hình dáng tàu dựa trên phương pháp hiệu chỉnh đường cong diện tích sườn lý thuyết Lackenby. Việc hiệu chỉnh, biến đổi đường cong diện tích sườn lý thuyết thực chất là biến đổi lượng chiếm nước, các hệ số béo hình học, và hoành độ tâm nổi LCB từ hình dáng tàu mẫu. Trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, tiếp cận thiết kế tuyến hình theo tàu mẫu giúp giảm thiểu tối đa các rủi ro so với thiết kế mới trong khi vẫn giữ ưu điểm về đặc tính thủy tĩnh và thủy động. Tuy nhiên, phương pháp biến đổi hình dáng tàu Lackenby sử dụng hàm tuyến tính hoặc bậc hai cho độ dịch chuyển của các sườn lý thuyết mà chưa xét đến chất lượng hình dáng tàu, đặc biệt là tính mất liên tục về đường cong tại các phân đoạn mũi, lái và giữa tàu. Do vậy, giải thuật đồ họa máy tính trên cơ sở hàm B-spline được nghiên cứu áp dụng, đồng thời mô hình toán cho đường nước thiết kế được xây dựng dưới dạng đường cong liên tục thay cho các phân đoạn B-spline riêng lẻ. Trong nghiên cứu này, mô hình toán cho đường nước thiết kế của phương tiện thủy container pha sông biển được xây dựng, đảm bảo tính liên tục và trơn trên toàn đường cong. Kết quả đánh giá chất lượng hình học được thể hiện qua độ cong của đường cong tham số và các tính toán thành phần sức cản bằng tính toán mô phỏng số.

Từ khoá: đường cong diện tích sườn, B-spline, đường nước thiết kế, liên tục, trơn

TỔNG QUAN PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG ĐƯỜNG CONG DIỆN TÍCH SƯỜN LÝ THUYẾT TỪ TÀU MẪU

Thiết kế theo tàu mẫu, trong thực tế, dùng những tuyến hình tàu đã có tính năng tốt là cơ sở chọn đường hình dáng. Việc thiết kế tuyến hình tàu theo phương pháp chỉnh sửa, biến đổi hình dáng tàu mẫu thường được ưa chuộng vì có thể giảm thiểu tối đa các rủi ro so với thiết kế mới hoàn toàn. Tuy nhiên, để thiết kế một con tàu có tính năng tốt, tuyến hình của tàu thiết kế được điều chỉnh dựa trên tàu mẫu phải có đặc điểm tương tự, vì thế hình dáng thân tàu được chỉnh sửa cần giữ được những ưu điểm về đặc tính thủy tĩnh và động lực học của tàu mẫu. Tuy nhiên, các thông số hình học và lượng chiếm nước của tàu thiết kế sẽ khác so với tàu mẫu, vì thế cần phải có một giải pháp phù hợp để thay đổi, chỉnh sửa tuyến hình theo yêu cầu thiết kế mà vẫn giữ nguyên được những tính năng vượt trội của tàu mẫu. Trong thực tế, kỹ sư thiết kế tàu thường bắt đầu từ việc phác thảo hình dáng các mặt cắt ngang, sau đó phát triển thành bản vẽ tuyến hình hoàn chỉnh sau khi tích hợp hệ thống mặt cắt đường nước và mặt cắt dọc. Chất lượng tuyến hình tàu phụ thuộc vào hình dáng tiết diện mặt cắt ngang thông qua đường cong diện tích sườn (Hình 1).



Hình 1: Đường cong diện tích sườn lý thuyết (SAC)

Một cách đơn giản, hiệu chỉnh thiết kế là quá trình dịch chuyển khoảng sườn lý thuyết theo chiều dài tàu cho phù hợp với đường cong diện tích sườn mới. Thực tế công việc là hiệu chỉnh khoảng sườn từ mũi đến lái tàu tương ứng với sự chênh lệch hệ số béo lặn trung trực tương ứng. Phương pháp $1 - C_p$ được áp dụng hiệu quả và thuận tiện, theo đó phần thân ống được thêm vào hoặc bớt đi một cách phù hợp sao cho vẫn đảm bảo độ đẩy mạn khu vực mũi và lái tàu và sự chênh lệch $C_p + \delta C_p$. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp $1 - C_p$ là chiều dài đoạn thân ống khu vực giữa tàu không thể thay đổi độc lập với hệ số lặn trụ trong khi đây là cách thiết kế theo mẫu hiệu quả và phổ

¹Trường Đại học Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Lê Tất Hiến, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: hienlt@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 02-8-2019
- Ngày chấp nhận: 28-12-2020
- Ngày đăng: 11-02-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v3iS12.529



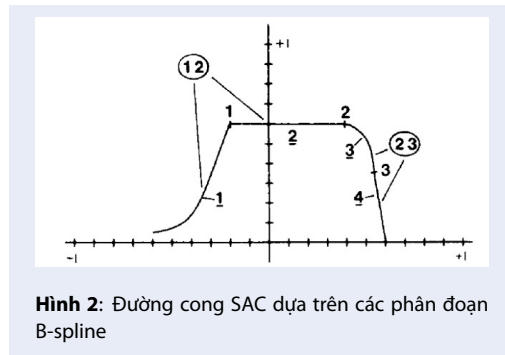
Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Hoa N T N, Bích V N, Hiến L T. Giải thuật NURBS cho đường nước thiết kế dựa trên biến đổi đường cong diện tích sườn tàu. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 3(S12):SI37-SI46.

biến hiện nay. Lackenby (1950) đề xuất phương pháp khắc phục sự phụ thuộc các thông số C_p , chiều dài đoạn thân ống phía trước L_{pf} & đoạn thân ống phía sau L_{pa} ¹. Tuy nhiên, phương pháp Lackenby chỉ điều chỉnh các hệ số thông số kích thước cơ bản tàu trên các mặt cắt sườn theo cơ sở toán học mà chưa xét đến chất lượng hình dáng tàu, đặc biệt là hệ thống đường nước tuyến hình tàu². Cùng với sự phát triển của các giải thuật đồ họa máy tính, xây dựng tuyến hình với sự hỗ trợ của máy tính được Gunter đề xuất thông qua kết hợp các đoạn B-splines trong đường cong diện tích sườn và đường nước thiết kế (Hình 2). Do vậy, tính liên tục giữa các đoạn B-splines cần phải được hiệu chỉnh và xem xét trong các nghiên cứu liên quan³. Bài báo này nghiên cứu giải thuật đồng nhất uniform B-splines, đồng thời xây dựng đường cong liên tục thay cho các phân đoạn B-spline trong đường cong diện tích sườn SAC.



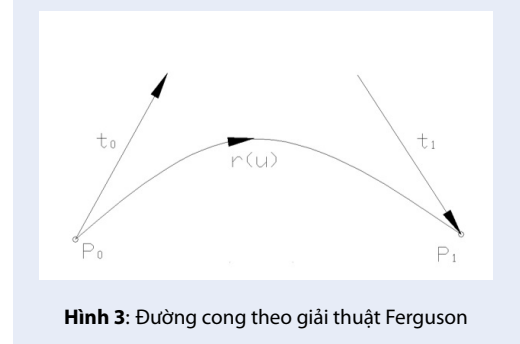
Hình 2: Đường cong SAC dựa trên các phân đoạn B-spline

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHỈNH TRƠN ĐƯỜNG CONG SƯỜN LÝ THUYẾT

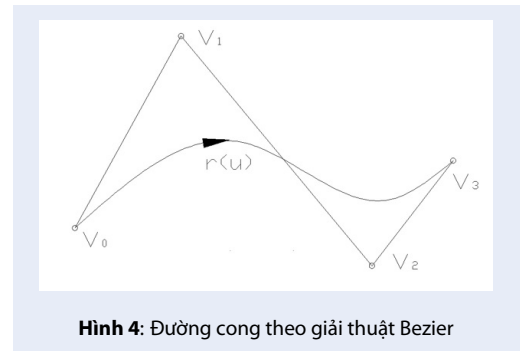
Tổng quan về thiết kế tuyến hình với sự hỗ trợ của các giải thuật máy tính (CAD)

Năm 1960, Ferguson đã công bố phương pháp mô tả đường cong và bề mặt tham số thông qua các điểm bắt đầu, kết thúc đường cong và các vector tiếp tuyến tương ứng. Hình 3, 4 và 5 thể hiện việc mô tả tham số đường cong theo mô hình toán này khó kiểm soát nhưng dẫn trở thành phép toán tiêu chuẩn cho mô hình đường cong. Vấn đề kiểm soát chất lượng đường cong được khắc phục khi Bezier đưa ra khái niệm điểm kiểm soát (vertices).

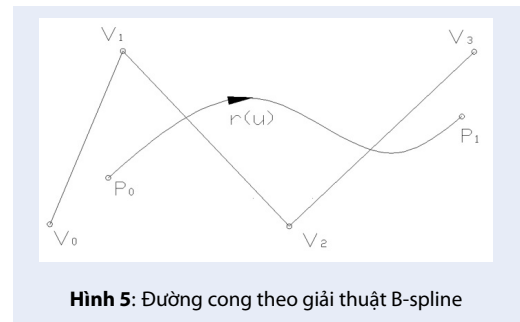
Sau đó, Gordon và Riesenfeld lần đầu tiên giới thiệu B-spline thay cho Bezier nhằm cải thiện kiểm soát cục bộ chất lượng đường cong. Hiện nay, giải thuật Non-uniform B-spline (NURBS) được dùng phổ biến trong thiết kế tuyến hình tàu có sự hỗ trợ của máy tính⁴. Vấn đề mất liên tục trong việc kết nối các phân đoạn B-spline vào đường cong tuyến hình tàu (Hình 6).



Hình 3: Đường cong theo giải thuật Ferguson



Hình 4: Đường cong theo giải thuật Bezier



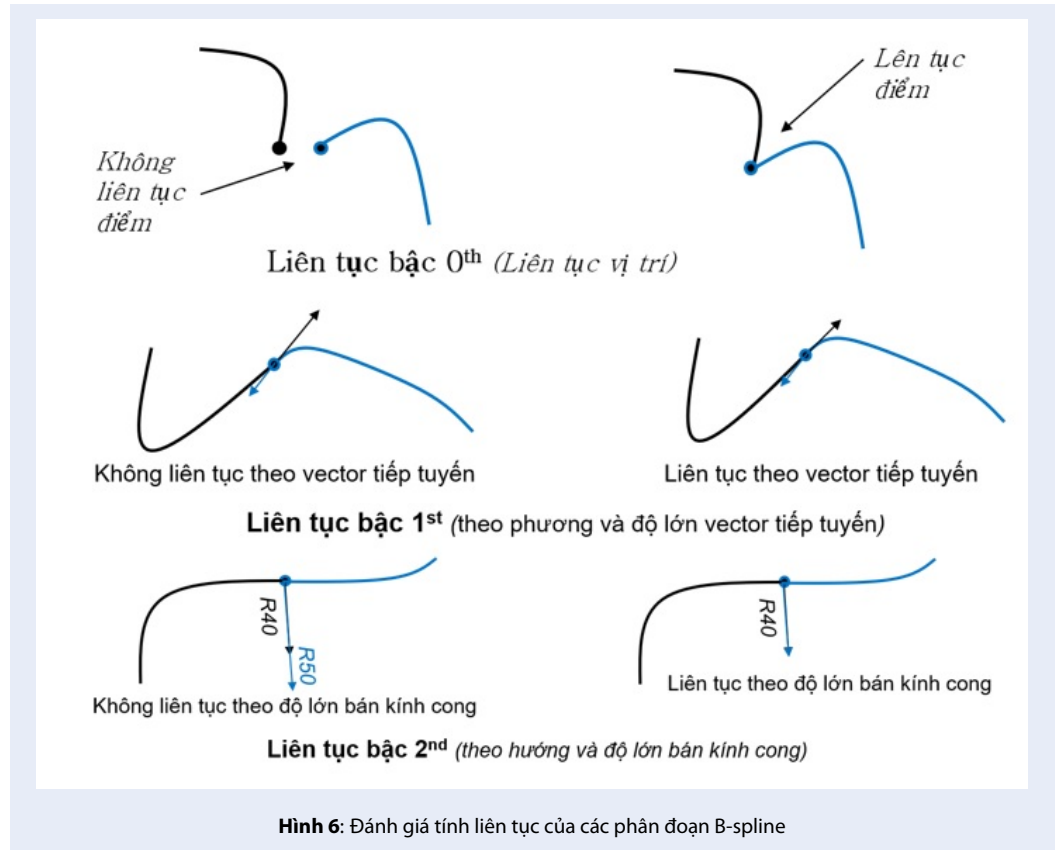
Hình 5: Đường cong theo giải thuật B-spline

Mô hình toán đường tham số NURBS trong xây dựng đường cong diện tích sườn và đường nước thiết kế

Hàm NURBS, viết tắt từ non-uniform rational B-spline, trong nghiên cứu này, các tính toán liên quan đến trọng số của hàm NURBS được lấy giá trị là 1 trong các phần mềm đồ họa máy tính chuyên dụng. Như vậy, giải thuật đường cong trong bài báo này được đơn giản hóa thành uniform B-spline dựa trên cơ sở giải thuật NURBS với các giả thuyết về trọng số và véc tơ knot là hằng số như trình bày.

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+m} B_i N_{i,k}(t); \quad 2 \leq k \leq n+1 \quad (1)$$

trong đó B_i là các vectơ vị trí của $n+1$ điểm điều khiển và $N_{i,k}$ là các hàm cơ sở B-spline.



Hình 6: Đánh giá tính liên tục của các phân đoạn B-spline

Đặt x_i ($i = 1-m, 2-m, \dots, n + m$) là các knot của B-spline, n là số lượng knot nằm trong khoảng $[0,1]$ và m là thứ tự (độ + 1) của hàm cơ sở $N_i, k(t)$. Đối với hàm cơ sở B-spline thứ i của bậc k (độ $k-1$), hàm cơ sở N_i, k được xác định bởi các công thức đệ quy Cox-deBoor.

$$N_{i,k} = \begin{cases} 1 & (x_i \leq t \leq x_{i+1}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}$$

và

$$N_{i,k} = \frac{(t - x_i)N_{i,k-1}(t)}{x_{i+k-1} - x_i} + \frac{(x_{i+k} - t)N_{i+1,k-1}(t)}{x_{i+k} - x_{i+1}} \quad (2)$$

Trong bài toán thiết kế tàu, sau khi biến đổi Lackenby, mô hình toán được xây dựng từ đường cong diện tích sườn⁵. Theo đó, các giá trị trị số tuyến hình đầu vào trên sườn lý thuyết được lưu trữ trong ma trận $[D]$, hàm cơ sở $[N]$ được thiết lập thông qua (2).

$$[D] = [N][B] \quad (3)$$

Với

$$[D]^T = [D_1(t_1), D_2(t_2), \dots, D_j(t_j)]$$

$$D_1(t_1) = N_{1,k}(t_1)B_1 + N_{2,k}(t_1)B_2 + \dots + N_{i,k}(t_1)B_i$$

$$D_2(t_2) = N_{1,k}(t_2)B_1 + N_{2,k}(t_2)B_2 + \dots + N_{i,k}(t_2)B_i$$

$$D_j(t_j) = N_{1,k}(t_j)B_1 + N_{2,k}(t_j)B_2 + \dots + N_{i,k}(t_j)B_i$$

$$[B]^T = [B_1, B_2, \dots, B_i]$$

$$[N] = \begin{bmatrix} N_{1,k} & \dots & \dots & N_{i,k}(t_1) \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ N_{1,k}(t_j) & \dots & \dots & N_{i,k}(t_j) \end{bmatrix}$$

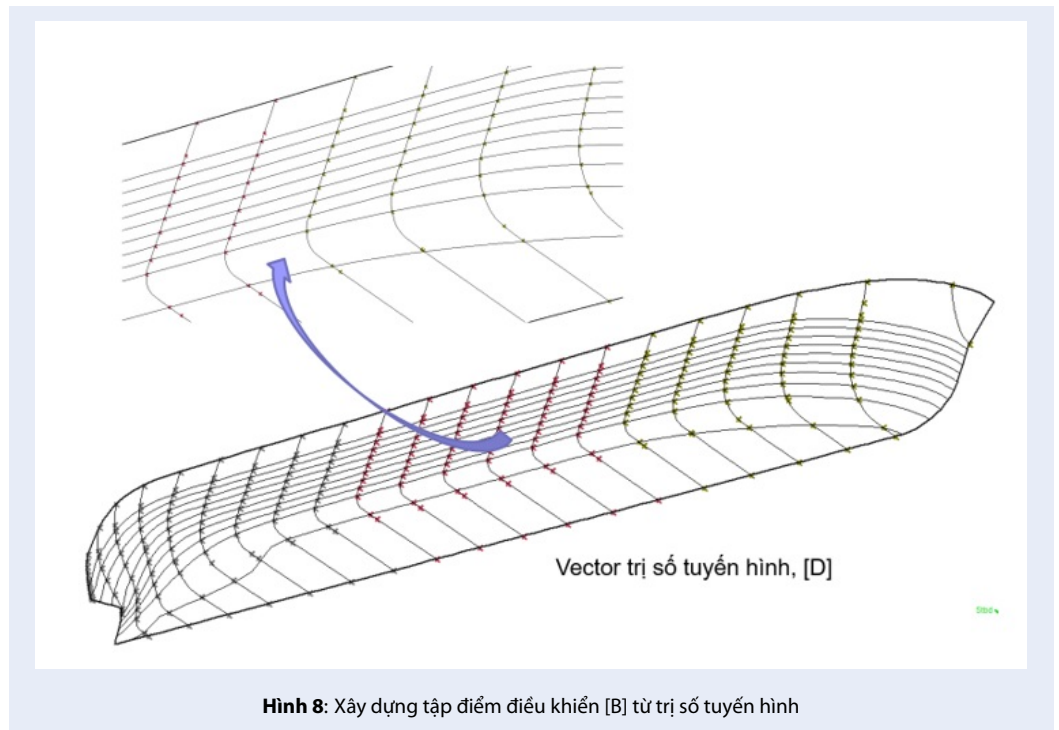
trong đó B là các vector vị trí của $n + 1$ điểm điều khiển và $N_{i,k}$ là các hàm cơ sở B-spline, D là vectơ tọa độ (x,y) của đường cong NURBS.

Với vector $[D]$ được lấy từ bảng trị số tuyến hình, thông qua nghịch đảo và đạo hàm các hàm cơ sở B-spline, các điểm điều khiển B-spline của vector $[B]$ được tính toán phục vụ công tác đánh giá độ cong (Hình 7 và 8).

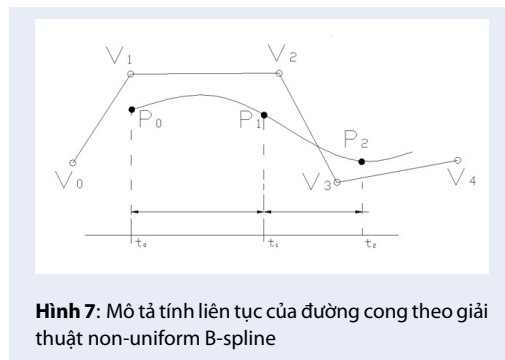
$$[B] = [N]^{-1}[D] \quad (4)$$

Tính liên tục trong giải thuật đường cong

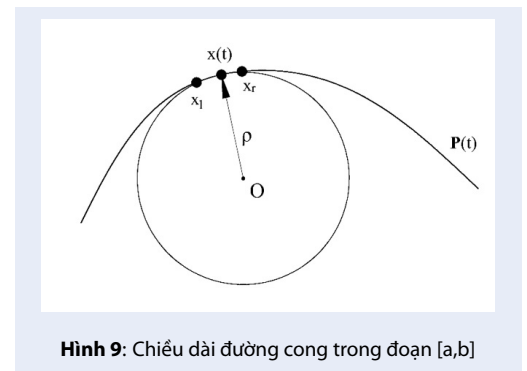
Độ cong của đường cong tham số là một đại lượng hình học đánh giá tốc độ thay đổi của vector tiếp tuyến đơn vị của đường cong, nó thường được sử dụng



Hình 8: Xây dựng tập điểm điều khiển [B] từ trị số tuyến hình



Hình 7: Mô tả tính liên tục của đường cong theo giải thuật non-uniform B-spline



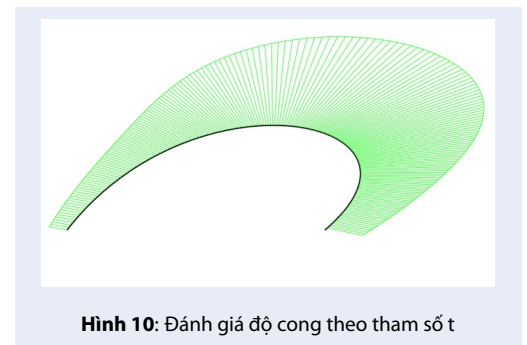
Hình 9: Chiều dài đường cong trong đoạn [a,b]

để mô tả độ phức tạp của đường cong⁶. Một trong những đại lượng hình học quan trọng nhất của độ cong chính là bán kính cong (Hình 9).

Theo Hình 10, độ cong của đường cong tham số $P(t)$ được tính theo công thức của Banchoff⁷.

$$\kappa(t) = \frac{\|r'(t) \times r''(t)\|}{\|r'(t)\|^3} \quad (4)$$

trong đó $\kappa(t)$ là độ cong của đường cong tham số tại vị trí tham số t , $r'(t)$ và $r''(t)$ là đạo hàm bậc nhất và bậc hai của đường cong tại vị trí tham số t .



Hình 10: Đánh giá độ cong theo tham số t

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Xây dựng cơ sở dữ liệu đầu vào

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mẫu tàu container pha sông biển 128 TEU. Phạm vi thông số chính của tập dữ liệu này thể hiện qua bảng bên dưới, các thông số kỹ thuật khác được mô tả theo Hình 11, 12 và 13, Bảng 1 và 2 và tài liệu tham khảo⁸.

Kết quả tính toán mô phỏng mặt cắt đường nước thiết kế

Sau khi tiến hành cải thiện sức cản tàu thiết kế thông qua phương pháp biến đổi Lackenby, trong nghiên cứu này, giải thuật uniform B-spline được áp dụng để xây dựng mặt đường nước của mẫu tàu thiết kế (Hình 14).

Dựa vào Hình 15 và 16 và Bảng 3, thành phần lực cản tiếp tuyến trên mặt cắt đường nước thiết kế chênh lệch không đáng kể trước và sau quá trình làm trơn bằng giải thuật uniform B-spline, xấp xỉ 2.2%. Tuy nhiên thành phần sức cản pháp tuyến lại giảm rất lớn sau quá trình làm trơn bằng các hàm cơ sở, xấp xỉ 89%. Việc này thể hiện qua trường áp suất tương đối đều sau quá trình làm trơn tuyến hình ở Hình 15. Nghiên cứu này tập trung xây dựng thuật toán đường cong uniform B-spline duy nhất trên cơ sở NURBS thay cho tập hợp các đường B-spline gián đoạn. Ưu điểm của giải thuật là xây dựng đường cong liên tục dựa trên trị số tuyến hình tàu và nghịch đảo các hàm cơ sở NURBS, không qua các bước giải lập. Phạm vi tính toán mô phỏng ở dạng 2D, cụ thể là đường nước thiết kế, nhằm đưa ra đánh giá chất lượng hình học tuyến hình tàu trong giai đoạn thiết kế sơ bộ.

KẾT LUẬN

Với các kết quả nghiên cứu trong đề tài này, đường cong uniform B-spline duy nhất được đề xuất thay cho tập hợp các đường B-spline gián đoạn hoàn toàn phù hợp, kết quả trước và sau quá trình làm trơn không làm thay đổi hình dáng tàu thiết kế, và có cải thiện về mặt sức cản pháp tuyến. Trên thực tế, do giải quyết bài toán hoàn toàn dựa trên mô hình toán 2D, nên các đánh giá về sức cản toàn tàu chưa thể hiện bức tranh tổng thể. Tại giá trị vận tốc thấp, việc ảnh hưởng từ làm trơn tuyến hình không đáng kể do sự nổi trội

của thành phần lực cản tiếp tuyến. Tuy nhiên, tại giá trị vận tốc cao, ảnh hưởng của thành phần lực cản pháp tuyến có thể tăng dần, ảnh hưởng chất lượng hình học tuyến hình tàu sẽ trở nên cực kỳ quan trọng. Các hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ được nhóm tác giả tiến hành triển khai làm rõ thông qua các giải thuật NURBS cho mặt cong, và triển khai tiếp các tính toán mô phỏng số 3D. Trong phạm vi bài báo này, áp dụng với mẫu tàu cần thiết kế, giải thuật uniform - B-spline bước đầu giúp xây dựng nhanh tuyến hình với kết quả phù hợp.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG - HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số C2018-20-06.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

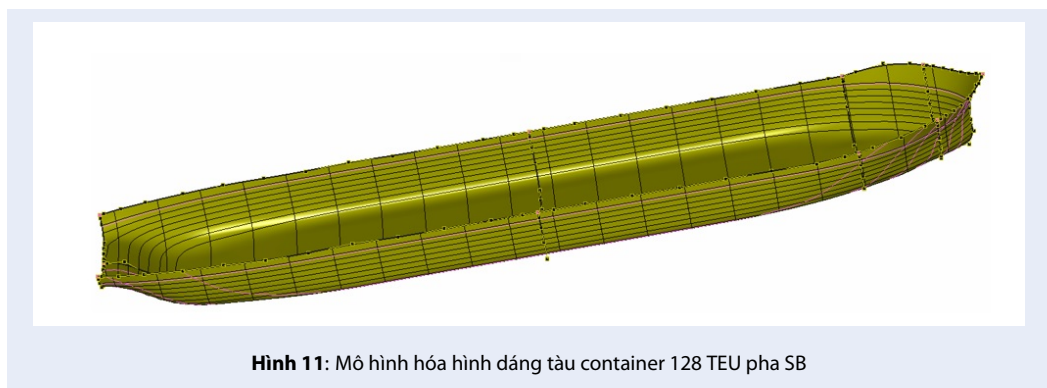
Nhóm tác giả xác nhận không có xung đột lợi ích liên quan đến công trình nghiên cứu.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu dựa trên việc phân tích dữ liệu và tính toán mô phỏng số. Các thành viên đều có đóng góp như nhau trong nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lackenby H. On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms. Trans. R. Inst. Nav. Archit. 1950;
2. Haberlandt FR. Computer Aided Geometrical Variation And Fairing Of Ship Hull Forms. MIT. 1978;
3. Creutz G, Schubert C. An interactive line creation method using B-splines. Comput. Graph. 1980; Available from: [https://doi.org/10.1016/0097-8493\(80\)90009-6](https://doi.org/10.1016/0097-8493(80)90009-6).
4. Piegl L, Tiller W. The NURBS book, 2nd edition. Springer-Verlag. . 1997; Available from: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59223-2>.
5. Byoung KC. Surface Modeling for Cad/Cam (Advances in Industrial Engineering). Amsterdam by Elsevier. 1991;
6. Hernández-Mederos V, Estrada-Sarlabous J. Sampling points on regular parametric curves with control of their distribution. Comput. Aided Geom. Des. 2003; Available from: [https://doi.org/10.1016/S0167-8396\(03\)00079-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8396(03)00079-7).
7. Banchoff T, Lovett S. Differential geometry of curves and surfaces. 2010; PMID: 20107345. Available from: <https://doi.org/10.1201/9781439894057>.
8. Hoa NTN, Hiền LT, Bích VN. Tối ưu thông số hình dáng tàu theo hướng giảm sức cản áp dụng giải thuật di truyền. Tạp chí khoa học công nghệ GTVT. 2019;



Hình 11: Mô hình hóa hình dáng tàu container 128 TEU pha SB

Bảng 1: Thông Số Tàu Mẫu

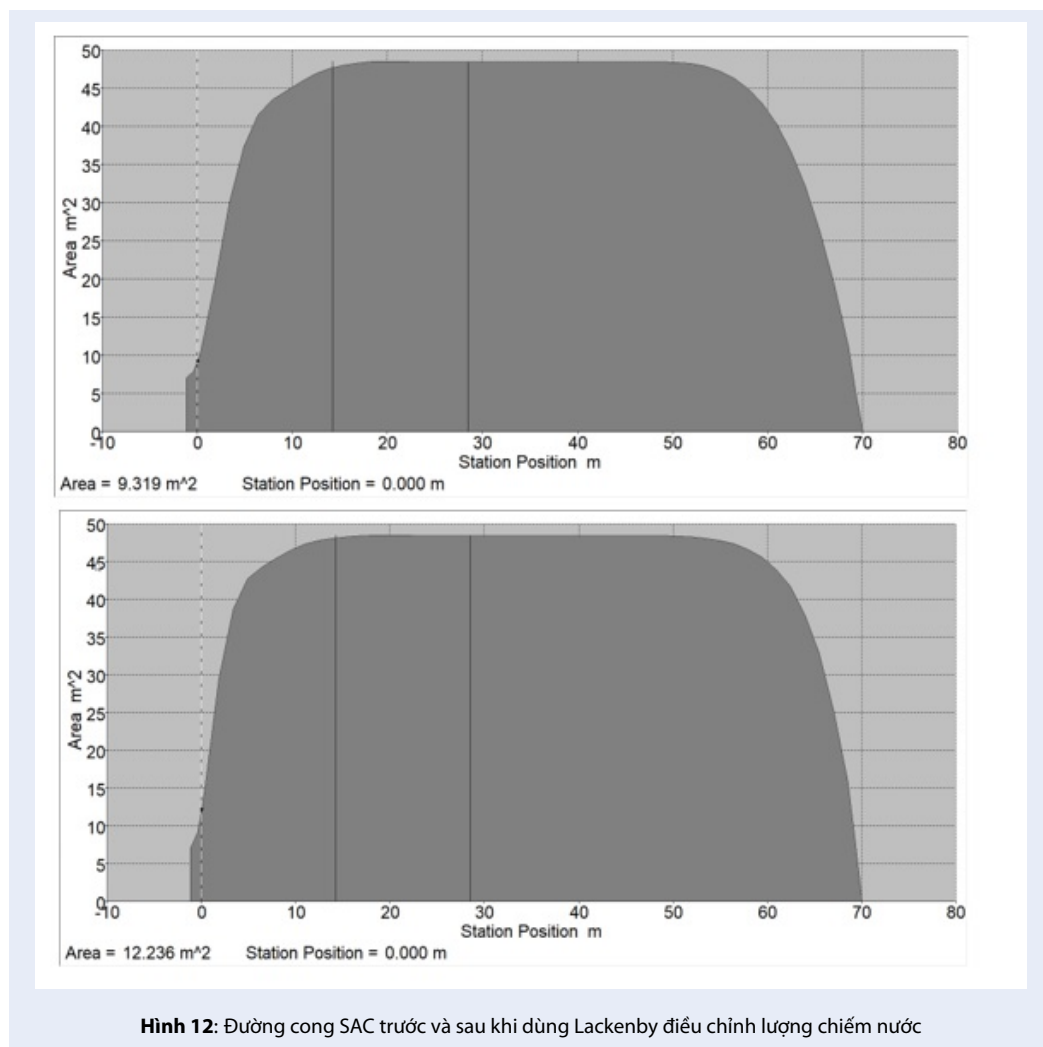
Lượng chiếm nước	Δ	3070	tấn
Thể tích chiếm nước	V	2995	m ³
Chiều dài	L	71.2	m
Chiều chìm	d	3.9	m
Chiều rộng	B	12.875	m
Hệ số béo lạng trụ	C_P	0.905	
Hệ số béo thể tích	C_B	0.837	
Hệ số béo giữa tàu	C_M	0.966	
Hệ số béo đường nước	C_{WP}	0.932	
LCB (từ lái tàu)	LCB_{ms}	34.091	m

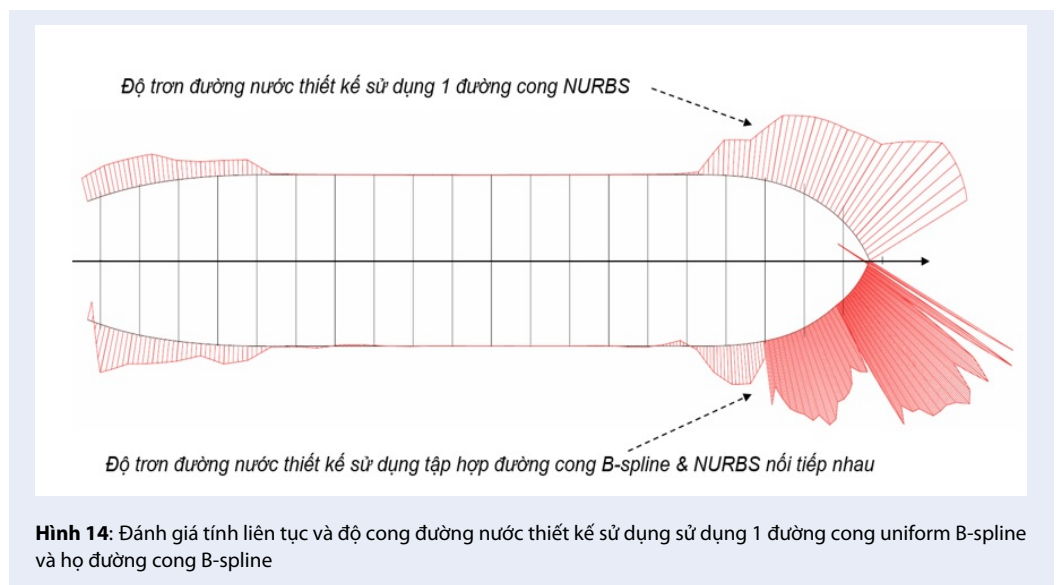
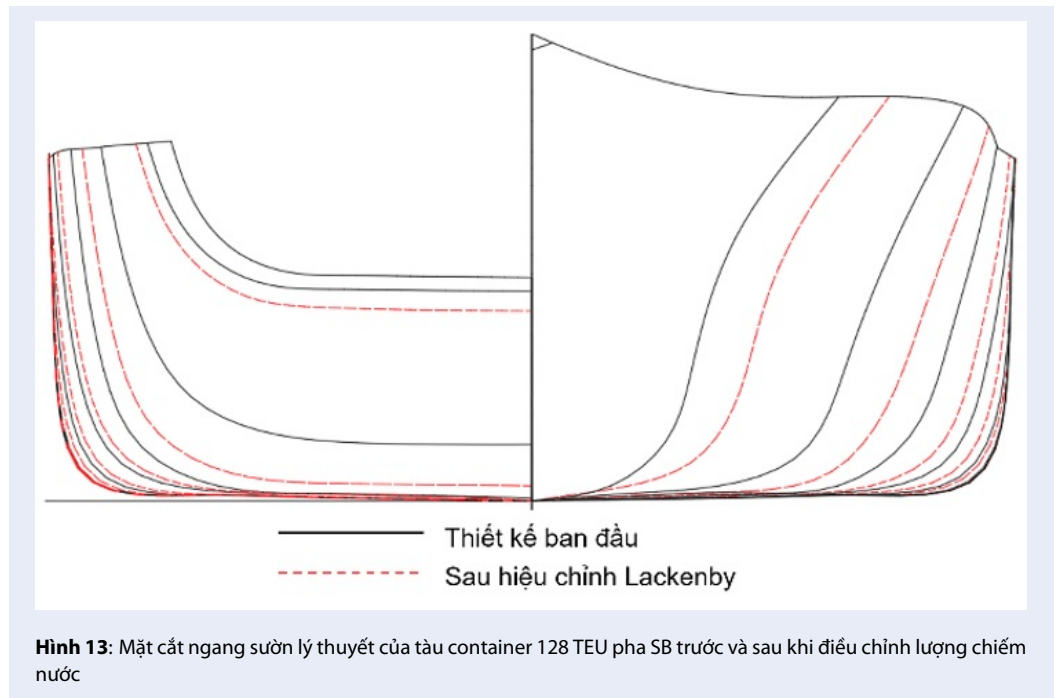
Bảng 2: Thông Số Sức Cản Tàu Thiết Kế So Với Tàu Mẫu

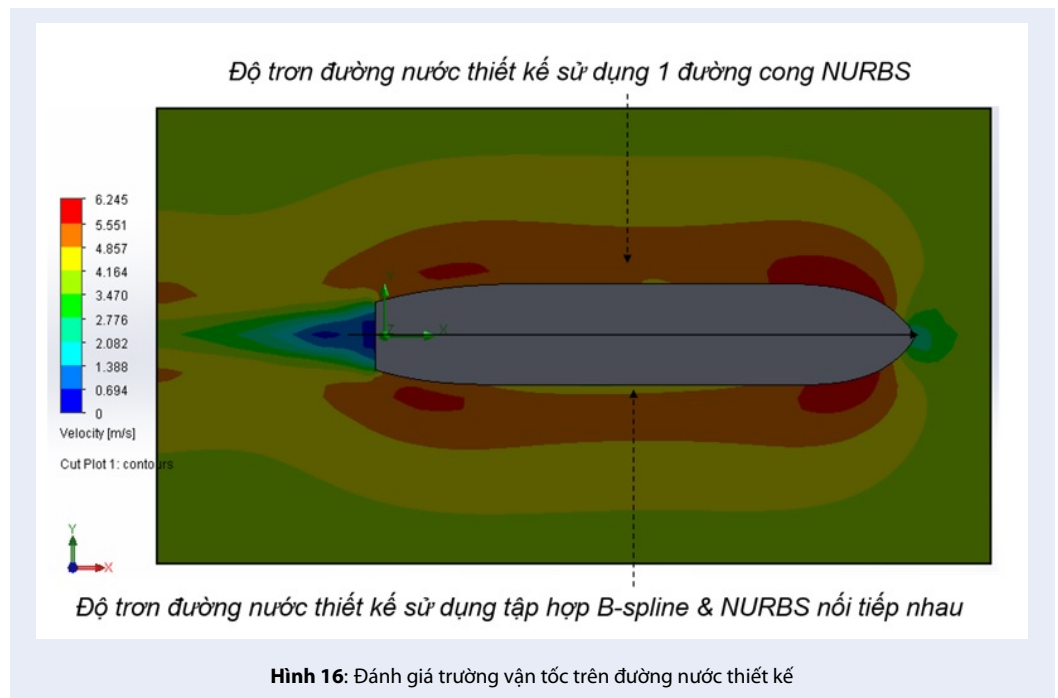
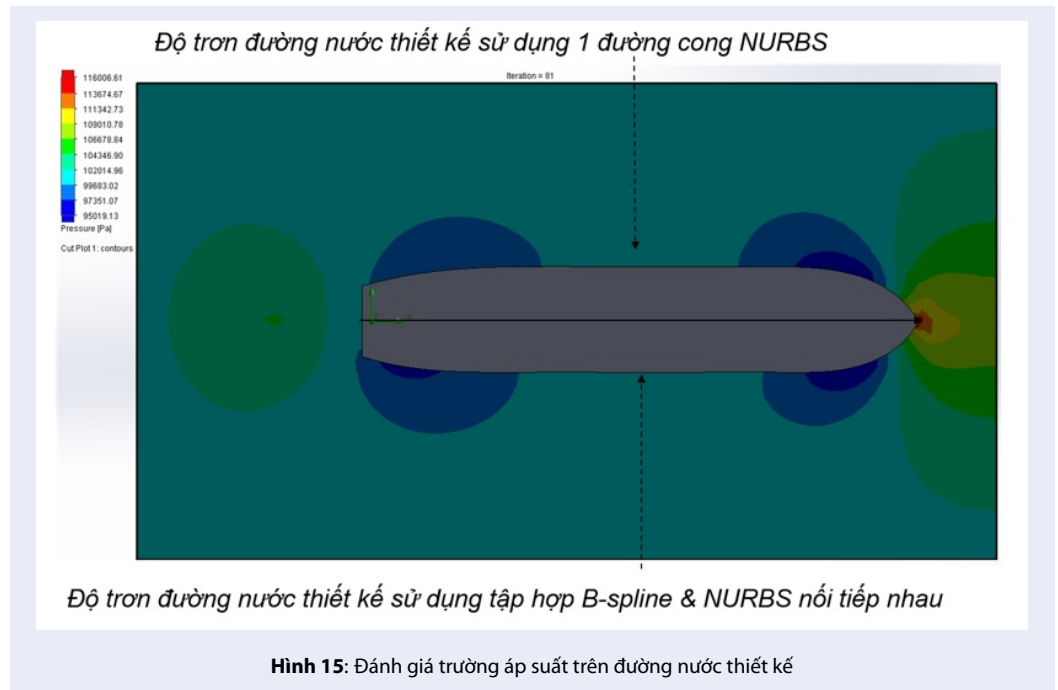
	Tàu mẫu	Đề xuất		Hiệu chỉnh [%]
V	3048	3005.5	m ³	-1.4
C_P	0.866	0.860		-0.7
C_B	0.837	0.826		-1.3
C_M	0.967	0.960		-0.7
LCB_{ms}	-0.013	-1.2	%	-1.187
R_f	50.135	47.236	kN	-5.8
R_w	28.466	22.104	kN	-22.3

Bảng 3: Thành Phần Lực Cản Trong Mặt Phẳng Đường Nước Thiết Kế

Thành phần sức cản	Đơn vị	Trước làm trơn	Sau làm trơn	Chênh lệch [%]
Lực cản toàn bộ	N	44352	45352	+2.2 %
Lực cản theo tiếp tuyến	N	44351	45351	+2.2 %
Lực cản pháp tuyến	N	252	26.4	-89 %







Nurbs modeling for design waterline based on the variation of sectional area curve

Nguyen Thi Ngoc Hoa¹, Vu Ngoc Bich¹, Tat-Hien Le^{2,3,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Ho Chi Minh City University of Transport

²Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, Ward 14, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Tat-Hien Le, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, Ward 14, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: hienlt@hcmut.edu.vn

History

- Received: 02-8-2019
- Accepted: 28-12-2020
- Published: 11-02-2021

DOI : 10.32508/stdjet.v3iS12.529



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Hull form design from parent ships transforms the ship's parameters based on the variation of the theoretical sectional area curve of the Lackenby method. The correction and modification of the theoretical sectional area curve is essentially the change of ship displacement, hull form coefficients, and the longitudinal center of buoyancy from the parent ships. In the preliminary design stage, the hull form design approach from parent ships minimizes the risks compared to the new design while still retaining hydrostatic and hydrodynamics' advantages. However, the Lackenby method of ship hull form variation uses a linear or quadratic function to shift the sectional area curves, regardless of the ship's hull form fairing, especially the curvature's discontinuity the bow, stern, and midship. Therefore, the computer graphic algorithm based on the B-spline function is studied and applied; simultaneously, the mathematical model for the designed waterline is built in the form of a continuous curve instead of the B-spline segments. In this study, the mathematical model for the coastal container ship's design water line is constructed, ensuring continuity and fairing throughout the continuous B-spline curve. The geometry continuity evaluation results are expressed through the parameter curve's curvature and resistance component calculations' performance by computational analysis.

Key words: sectional area curve, B-spline, designed waterline, continuity, fairing

Cite this article : Hoa NT N, Bich VN, Le T. Nurbs modeling for design waterline based on the variation of sectional area curve. *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 3(S12):SI37-SI46.