

XÂY DỰNG, PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA MÔ HÌNH TÀU CONTAINER 3D 6 BẬC TỰ DO DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG VÀ GIÓ

BUILDING AND ANALYSIS THE DYNAMIC OF CONTAINER SHIP 3D MODEL WITH 6-DOF UNDER THE ACTION OF WAVES AND WIND

ĐOÀN HỮU KHÁNH*, ĐINH ANH TUẤN, HOÀNG ĐỨC TUẤN

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: khanhdh.ddt@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo đề xuất một mô hình toán 6 bậc tự do (6 DoF) đầy đủ để xây dựng mô hình động học 3D có thể áp dụng cho các con tàu như tàu chở hàng, tàu chở container. Các phương trình động lực học của con tàu xét đến cả các thành phần lực giảm chấn phi tuyến, các lực và mô men do các yếu tố nhiễu loạn từ môi trường tác động vào con tàu như sóng, gió, dòng chảy mà hầu như các công trình nghiên cứu trước đây đều bỏ qua hoặc đề cập không đầy đủ các thành phần này. Con tàu 3D ảo được xây dựng và lập trình nhằm mục đích sử dụng nó để thử nghiệm các thuật toán điều khiển chuyển động tàu thủy hiện đại trong tương lai.

Từ khóa: 6 DoF, mô hình động học, điều khiển chuyển động.

Abstract

This paper presents the construction of a full mathematical model of 6 degrees of freedom (6 DoF) to build a 3D dynamic model that can be applied to ships such as cargo ships, container ships. The systems of ship dynamics equations take into account the nonlinear damping force components, forces and moments due to environmental disturbances acting on the ship such as waves, wind, currents, which most of previous studies have omitted or inadequately mentioned these components. The virtual 3D ship was built and programmed for the purpose of using it to test future modern ship motion control algorithms.

Keywords: 6 DoF, dynamic model, motion control.

1. Mở đầu

Việt Nam là đất nước có đường bờ biển dài nên các hoạt động giao thông đường thủy chiếm một tỉ trọng khá lớn. Hiện nay, ở nước ta các công ty vận tải biển ngày càng phát triển về chất lượng dịch vụ, số

lượng đội tàu cũng như đội ngũ thuyền viên. Vì vậy, việc nghiên cứu các phương pháp để điều khiển các con tàu ngày càng tốt hơn, tiết kiệm nhiên liệu hơn đang là một nhiệm vụ quan trọng đặt ra cho các nhà khoa học trong lĩnh vực này.

Việc nghiên cứu, thử nghiệm các bộ điều khiển cho tàu thủy nếu thử nghiệm trên tàu thật gặp rất nhiều khó khăn do chi phí vận hành một con tàu thực là rất tốn kém, chưa kể đến vấn đề an toàn cũng như mất nhiều thời gian để thử nghiệm. Để giải quyết điều đó, nhóm tác giả đề xuất việc nghiên cứu, xây dựng mô hình toán 6 DoF để xây dựng mô hình 3D mô phỏng các con tàu trên thực tế thành một đối tượng 3D trong môi trường ảo. Việc này nhằm mục đích để thử nghiệm các thuật toán điều khiển chuyển động tàu hiện đại cho con tàu theo thời gian thực với đầy đủ các nhiễu loạn từ môi trường mà phần lớn các công trình nghiên cứu về điều khiển chuyển động cho con tàu trước đây thường bỏ qua.

2. Các công trình liên quan

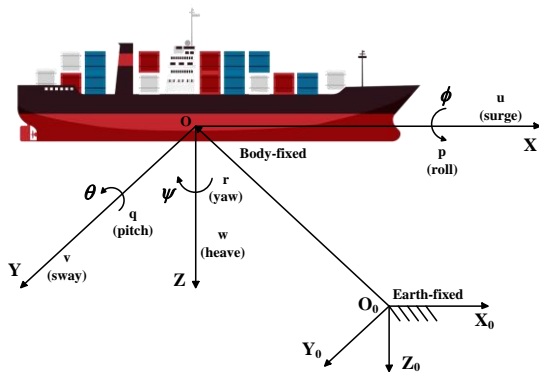
Việc xây dựng mô hình toán cho con tàu đã được nghiên cứu trong khá nhiều những công trình trước đây. Tuy nhiên, những phương trình toán đề xuất thường bỏ qua một số thành phần lực và mô men tác động vào con tàu. Trong công trình [1] và [2] Fossen đã đưa ra tương đối đầy đủ và chi tiết các phương trình động lực học cho tàu thủy nói chung, tuy nhiên các phương trình lực và mô men của chân vịt và bánh lái cho một con tàu cụ thể thì không đề cập tới. Với các công trình [3], [4], [5] các tác giả chỉ đề xuất mô hình toán cho con tàu trong mặt phẳng nằm ngang với 3 bậc tự do gồm các chuyển động trượt dọc, trượt ngang và quay trở. Trong công trình [6], nhóm tác giả tập trung vào việc tính toán các thành phần lực đẩy và mô men do chân vịt và bánh lái tác động lên con tàu. Ngoài ra, trong công trình [7] một mô hình toán 6 bậc tự do cho con tàu được đề xuất, tuy nhiên tác giả cũng bỏ qua các thành phần nhiễu loạn từ môi trường. Tuy nhiên những nhiễu loạn này lại vô cùng quan trọng trong một số bài toán như bài toán điều khiển con tàu nhằm tối ưu lượng nhiên liệu tiêu thụ. Trong công

trình [12] tác giả đưa ra mô hình toán cho con tàu nhưng cũng không đi sâu vào cụ thể một loại tàu nào. Hơn nữa, trong công trình [13] và rất nhiều các công trình khác nữa các tác giả đều không đưa ra mô hình toán của cơ cấu chấp hành mà cụ thể ở đây là chân vịt và bánh lái mà tín hiệu điều khiển là đưa trực tiếp tín hiệu lực và mô men tác động lên con tàu.

Từ các vấn đề còn tồn đọng trên, đóng góp mới của bài báo được thể hiện ở những điểm sau: Thứ nhất là tác giả đề xuất được một mô hình toán đầy đủ có thể áp dụng vào một loại tàu cụ thể. Thứ hai là tác giả đã đề xuất được mô hình toán cho cơ cấu chấp hành mà các công trình trước hầu hết đã bỏ qua. Cuối cùng, từ mô hình toán đã đề xuất, nhóm tác giả đã lập trình được mô hình 3D phản ánh chính xác động lực học của các con tàu thực. Nó rất có ý nghĩa để thay cho đối tượng thật khi muốn thử nghiệm các bộ điều khiển cho con tàu nhằm tiết kiệm thời gian và chi phí.

3. Xây dựng mô hình toán cho con tàu

3.1. Các phương trình động học và động lực học



Hình 1. Khung tọa độ quy chiếu quán tính gắn với Trái Đất và khung tọa độ gắn thân tàu [1]

Để thực hiện mô phỏng 3D quá trình động học của con tàu giống với thực tế thì trước tiên đòi hỏi phải có đầy đủ các phương trình toán mô hình hóa đối tượng con tàu. Theo tài liệu [1] với cách chọn tọa độ như Hình 1 và chọn tọa độ trọng tâm O thích hợp ta có hệ phương trình 6 bậc tự do mô tả động lực học của con tàu như phương trình (1) sau đây:

$$\begin{aligned} \dot{\eta} &= J(\eta)v \\ M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v &= \tau_{RB} \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó: $\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T$ là véc tơ vị trí và hướng; $J(\eta)$ là ma trận chuyển đổi, $v = [u, v, w, p, q, r]^T$ là véc tơ vận tốc dài và vận tốc góc trong hệ trục tọa độ gắn với thân tàu, M_{RB} là ma trận quán tính, C_{RB} là ma trận Coriolis và lực hướng tâm, $\tau_{RB} = [X, Y, Z, K, M, N]^T$ là các lực và mô men

từ nhiều môi trường. Nếu ta chọn gốc O của hệ trục trục quy chiếu gắn với thân tàu trùng với hệ trục quán tính của tàu sẽ giúp cho ma trận quán tính I_o trở thành ma trận đường chéo, từ đó các thành phần mô-men quán tính tích ngoài đường chéo chính là I_{xy}, I_{yz}, I_{zx} có thể bỏ qua. Vì vậy dạng chi tiết của phương trình (1) có thể được viết lại như hệ phương trình sau:

$$\begin{aligned} m[\dot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q})] &= X \\ m[\dot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] &= Y \\ m[\dot{w} - uq + vp - x_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p})] &= Z \\ I_x\dot{p} + (I_z - I_y)qr + m[y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] &= K \\ I_y\dot{q} + (I_x - I_z)rp + m[z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp)] &= M \\ I_z\dot{r} + (I_y - I_x)pq + m[x_G(\dot{v} - wp + ur) - y_G(\dot{u} - vr + wq)] &= N \end{aligned} \quad (2)$$

Với m là khối lượng của con tàu, $r_G = [x_G, y_G, z_G]^T$ là trọng tâm của tàu, I_x, I_y, I_z là mô men quán tính trên các trục X, Y và Z . Trong hệ phương trình (2), ba phương trình đầu tiên đặc trưng cho các chuyển động tịnh tiến trong khi đó ba phương trình còn lại đại diện cho các chuyển động quay quanh các trục. Các véc tơ ở vế phải của (1) và (2) đặc trưng cho các lực và mô men tác động lên con tàu. Các lực và mô men này có thể được phân tích làm 3 thành phần gồm: các thành phần lực và mô men thủy động lực học τ_H (gồm τ_R và τ_D); các lực và mô men từ nhiều môi trường τ_E ; các lực và mô men từ chân vịt và bánh lái τ . Do đó, thành phần τ_{RB} trong (1) có thể được viết thành [1]:

$$\tau_{RB} = \tau_H + \tau_E + \tau \quad (3)$$

Các lực và mô men thủy động lực học τ_H có thể được viết chi tiết như phương trình dưới đây:

$$\tau_H = -M_A\dot{v} - C_A(v)v - D(v)v - g(\eta) \quad (4)$$

Trong đó M_A là véc tơ khối lượng thêm vào do quán tính của chất lỏng xung quanh thân tàu, $C_A(v)$ là ma trận Coriolis và lực hướng tâm thủy động lực học, $D(v)$ là ma trận giảm chấn, $g(\eta)$ là ma trận lực và mô men do trọng lực tàu gây ra.

Ma trận giảm chấn $D(v)$ do nhiều thành phần tạo nên gồm thành phần ma trận tắt dần do bức xạ và ma trận tắt dần nhớt, ma trận này thường được tính bằng tổng của 2 thành phần tuyến tính D và phi tuyến $D_n(v)$ như phương trình dưới đây:

$$D(v) = D + D_n(v) \quad (5)$$

Như vậy, kết hợp các phương trình từ (1) đến (5) ta thu được phương trình chuyển động 6 DoF cho tàu như sau:

$$\dot{\eta} = J(\eta)v$$

$$M\dot{v} + C(v)v + Dv + D_n v + g(\eta) = \tau_E + \tau \quad (6)$$

Với $M = M_{RB} + M_A$; $C(v) = C_{RB}(v) + C_A(v)$

Hầu hết các con tàu đều được thiết kế đối xứng nhau qua mặt phẳng XOZ , 2 mặt phẳng còn lại XOY và YOZ không nhất thiết yêu cầu phải đối xứng với chuyển động theo mặt phẳng nằm ngang. Do đó, các phần tử ngoài đường chéo chính của trận quán tính và ma trận giảm chấn sẽ là những số khác 0, tuy nhiên giá trị của chúng rất nhỏ khi so sánh nó với các thành phần trên đường chéo chính.

Trong thực tế, khi nghiên cứu các bài toán điều khiển chuyển động tàu trên mặt biển nằm ngang, các chuyển động trượt dọc (surge), trượt ngang (sway) và quay trở (yaw) thường được xét tới, các chuyển động trượt đứng (heave), lắc ngang (roll) và lắc dọc (pitch) như trên Hình 1 thường bị bỏ qua. Tuy nhiên để mô hình 3D ảo có thể tương tác được với môi trường xung quanh nó một cách chính xác, gần với thực tế nhất thì nhóm tác giả sẽ triển khai và phân tích phương trình (6) với đầy đủ 6 DoF để lập trình cho đối tượng 3D ảo.

Để đơn giản cho việc tính toán, nhóm tác giả đưa ra các giả định sau: Bỏ qua các thành phần bên ngoài đường chéo chính của ma trận M và D ; các thành phần phi tuyến của lực giảm chấn chỉ bao gồm các thành phần bậc 2 và lực phục hồi $g(\eta)$ được thay thế bởi một phép toán xấp xỉ theo phương trình (11). Từ các giả định trên, phương trình (6) được viết lại như sau:

$$\dot{\eta} = J(\eta)v$$

$$M\dot{v} + C(v)v + (D + D_n)v + G\eta = \tau_E + \tau \quad (7)$$

Với ma trận $J(\eta)$ được đặt gồm 2 thành phần con như phương trình dưới đây [8]:

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Với 2 ma trận chuyển đổi $J_1(\eta_2)$, $J_2(\eta_2)$ được thể hiện cụ thể trong tài liệu [8] trang 44, 45.

Ma trận quán tính M và ma trận giảm chấn D được tính toán như sau [2]:

$$M = \text{diag}\{m_{11}, m_{22}, m_{33}, m_{44}, m_{55}, m_{66}\} \quad (9)$$

$$D(v) = -\text{diag}\{X_u, Y_v, Z_w, K_p, M_q, N_r\}$$

$$-\text{diag}\{X_{|u|u} |u|, Y_{|v|v} |v|, Z_{|w|w} |w|,$$

$$K_{|p|p} |p|, M_{|q|q} |q|, N_{|r|r} |r|\} \quad (10)$$

Với ma trận Coriolis và lực hướng tâm $C(v)$ và các hệ số trong phương trình (9) được tính toán cụ thể trong tài liệu [8] trang 58. Các hệ số trong phương trình (10) được định nghĩa theo Hiệp hội kiến trúc hải quân và hàng hải SNAME 1950 cho tàu biển. Ngoài ra các lực phục hồi có thể được xấp xỉ theo phương trình (11) như trong tài liệu tham khảo [2]:

$$g(\eta) \approx G\eta = \text{diag}\{0, 0, \rho g A_{wp}(0)z, \rho g \nabla \overline{GM}_T \phi,$$

$$\rho g \nabla \overline{GM}_L \theta, 0\} \quad (11)$$

Với ρ là mật độ nước, $A_{wp}(0)$ là diện tích mặt nước theo vị trí tàu theo trục thẳng đứng, nó có thể được giả định là một hằng số nếu con tàu dao động theo phương này không quá lớn, ∇ là lượng choán nước của tàu, \overline{GM}_T và \overline{GM}_L lần lượt là chiều cao tâm quay ngang và dọc.

3.2. Các lực và mômen từ môi trường

Trong phương trình (7) các lực và mô men nhiễu môi trường τ_E bao gồm các thành phần: Dòng chảy, gió và sóng, vậy nên nó có thể được viết lại như sau:

$$\tau_E = \tau_{currents} + \tau_{wind} + \tau_{waves} \quad (12)$$

Các nhiễu này là nhiễu cộng và nhiễu nhân phương trình động học của chuyển động. Tuy nhiên trong phần này chúng ta giả thiết rằng áp dụng nguyên tắc xếp chồng. Đây là một phép xấp xỉ khá tốt với đại đa số các ứng dụng điều khiển hàng hải.

Trước tiên, giả thiết rằng véc tơ dòng chảy $v_c = [u_c, v_c, w_c, 0, 0, 0]$ với 3 thành phần cuối cùng bằng không (bỏ qua chuyển động quay của dòng chảy). Các lực và mô men từ dòng chảy tác động vào con tàu theo tài liệu [8] được thể hiện như trong phương trình sau:

$$\tau_{current} = (M_{RB} + M_A)\dot{v} + C(v)v + Dv \quad (13)$$

Do đó, phương trình (7) được viết lại như phương trình dưới đây để xét đến sự ảnh hưởng của dòng chảy ảnh hưởng đến vận tốc của tàu.

$$M\dot{v}_r + C(v_r)v_r + D(v_r)v_r + G\eta =$$

$$\tau_{wind} + \tau_{waves} + \tau \quad (14)$$

Với $v_r = v - v_c$ là véc tơ vận tốc tương đối.

Thành phần nhiễu thứ hai là các lực và mô men từ sóng biển, theo tài liệu [8] thì τ_{waves} được tính như phương trình (15).

$$\tau_{waves} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N \rho g B L T \cos(\beta) s_i(t) \\ \sum_{i=1}^N -\rho g B L T \sin(\beta) s_i(t) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \sum_{i=1}^N \frac{\rho g B L (L^2 - B^2) \sin(2\beta) s_i^2(t)}{24} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Với β là góc đối đầu giữa mũi tàu và hướng của sóng, L và B là chiều dài và chiều rộng của tàu, T là mớn nước của tàu, $s_i(t)$ là độ dốc của thành phần sóng thứ i được tính theo biểu thức sau:

$$s_i(t) = A_i \frac{2\pi}{\lambda_i} \sin(\omega_{ei} t + \phi_i) \quad (16)$$

Với A_i là biên độ sóng, λ_i là chiều dài sóng, ω_{ei} là tần số đối đầu, ϕ_i là góc pha ngẫu nhiên của thành phần sóng thứ i .

$$\tau_{wind} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} C_x(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_T \\ C_y(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_L \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ C_N(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_L L \end{bmatrix} \quad (17)$$

Cuối cùng, thành phần nhiễu bởi gió tác động lên con tàu có các lực và mô men thường được mô hình với 3 bậc tự do gồm 2 thành phần lực trượt dọc, trượt ngang tác động vào con tàu và một mô men quay trở, các thành phần này được tính theo phương trình (17).

Với C_x, C_y, C_N là các hệ số lực và mô men, chúng phụ thuộc vào giá trị của góc tương đối giữa hướng gió và mũi tàu, ρ_a là mật độ của không khí, V_r là vận tốc gió tương đối (được tính chi tiết trong tài liệu [2] trang 117), L là chiều dài của tàu, A_T và A_L là diện tích mà gió thổi vào mặt trước và mặt bên của tàu.

3.3. Các lực và mô men của bánh lái và chân vịt

Trên thực tế các loại tàu khác nhau có thể rất khác nhau về cấu tạo, số lượng của chân vịt, bánh lái. Với trọng tâm nghiên cứu về các con tàu chở hàng và chở container thường chỉ có một chân vịt và một bánh lái, nhóm tác giả đề xuất xây dựng một vector lực và mô men đưa vào mô hình toán để áp dụng cho các con tàu loại này. Tổng hợp từ các tài liệu [6], [9], [10] nhóm tác giả đề xuất véc tơ lực và mô men τ sẽ gồm các thành phần như công thức sau:

$$\tau = [\tau_U, \tau_V, 0, 0, 0, \tau_R]^T \quad (18)$$

Trong công thức trên, τ_U là véc tơ lực tác động vào tàu theo trục dọc bao gồm 2 thành phần là lực đẩy của chân vịt và lực gây ra bởi bánh lái:

$$\tau_U = \tau_P + \tau_{UR} \quad (19)$$

Trong đó:

$$\tau_P = (1 - t_p) \rho n_p^2 D_p^4 K_T \quad (20)$$

$$\tau_{UR} = -(1 - t_R) F_N \sin \delta \quad (21)$$

Với t_p là hệ số giảm trừ lực đẩy chân vịt, n_p là tốc độ quay của chân vịt, D_p là đường kính chân vịt, K_T là hệ số đẩy chân vịt, τ_R hệ số giảm trừ lực cản bánh lái, F_N là lực tác dụng vào bánh lái và δ là góc bẻ lái.

Lực tác dụng vào bánh lái sẽ tác dụng một lực lên con tàu theo trục ngang tính theo biểu thức sau:

$$\tau_V = -(1 + a_H) F_N \cos \delta \quad (22)$$

Với a_H là hệ số tăng lực bánh lái.

Cuối cùng, lực tác động vào bánh lái sẽ tạo mô men quay trở quay con tàu được tính theo biểu thức sau:

$$\tau_R = -(x_R + a_H x_H) F_N \cos \delta \quad (23)$$

Với x_H là tọa độ điểm tác dụng của lực theo chiều dọc và x_R là tọa độ của bánh lái theo chiều dọc tàu.

4. Mô phỏng động lực học 3D tàu thủy



Hình 2. Hình ảnh 3D con tàu đã được xây dựng

Từ mô hình toán 6 DoF cho con tàu được xây dựng trong phần 3, nhóm tác giả tiến hành xây dựng mô hình động lực học cho một con tàu container bằng phần mềm Unity3D, đây là một phần mềm Game Engine đa nền tảng và trực tiếp theo thời gian thực.

Để tiến hành lập trình mô phỏng động lực học con tàu từ các phương trình ở các mục 2 và 3 nhóm tác giả lựa chọn đối tượng con tàu để điều khiển là 1 tàu chở container là FORTUNE FREIGHTER với các thông số chính tải trọng 8937.8 tấn, chiều dài 123.5m, chiều rộng 18.5m, mớn nước 7m, công suất máy chính 5979 kW, góc bẻ bánh lái +/-35°.

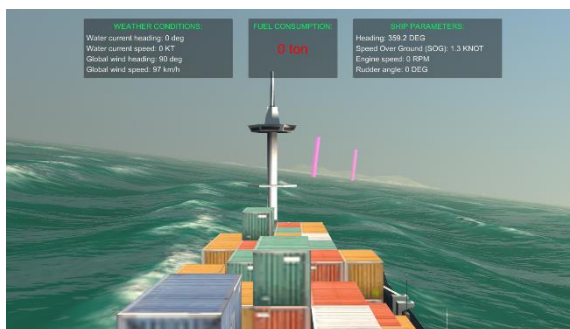
Với ngôn ngữ lập trình C#, nhóm tác giả xây dựng các mô đun phần mềm mô phỏng động lực học 3D cho con tàu gồm các mô đun như mô đun động lực học

BoatPhysics.cs được lập trình theo phương trình (7); mô đun các lực và mômen từ nhiễu động môi trường ModifyBoatMesh.cs tác động lên tàu (bao gồm sóng, gió và dòng chảy) từ phương trình (13, 15, 17), mô đun BoatEngine.cs, BoatController.cs gồm lực và mômen của chân vịt và bánh lái tác động lên con tàu từ phương trình (từ 18 đến 23),...

Các mô đun phần mềm này sẽ được gán vào các đối tượng ảo tương ứng trong phần mềm Unity. Hình 2 là hình ảnh con tàu 3D đã được nhóm nghiên cứu thiết kế và lập trình.

Bảng 1. Ba kịch bản thử nghiệm

Lần	Kịch bản 1	Kịch bản 2	Kịch bản 3
Lần 1	Hướng gió: 0° Cấp gió: 3	Hướng gió: 45° Cấp gió: 3	Hướng gió: 90° Cấp gió: 3
Lần 2	Hướng gió: 0° Cấp gió: 7	Hướng gió: 45° Cấp gió: 7	Hướng gió: 90° Cấp gió: 7
Lần 3	Hướng gió: 0° Cấp gió: 9	Hướng gió: 45° Cấp gió: 9	Hướng gió: 90° Cấp gió: 9



Hình 3. Thử nghiệm mô hình 3D với EAST WIND

5. Thử nghiệm mô hình 3D ảo

Với một mô hình ảo thì sự tương tác của con tàu với mặt biển cũng như những ảnh hưởng từ các nhiễu loạn môi trường đến con tàu là một trong những yếu tố cần thử nghiệm để đảm bảo tính chính xác và tin cậy của mô hình toán.

Để thử nghiệm mô hình động học 3D đã xây dựng trong nội dung bài báo, nhóm tác giả thử nghiệm với trường hợp con tàu đứng yên, hướng mũi tàu là 0 độ. Có 3 kịch bản sẽ được thử nghiệm được tóm tắt như Bảng 1.

Cả 3 kịch bản thử nghiệm đều được thực hiện 3 lần với các cấp gió khác nhau, sự khác biệt giữa 3 kịch bản là hướng gió trong kịch bản 1 thổi vào mặt trước của tàu (NORTH WIND), còn trong kịch bản 2, gió thổi vào tàu từ góc 45° (NORTH-EAST WIND) và

cuối cùng là kịch bản 3 với hướng gió thổi ngang vào thân tàu (EAST WIND). Ngoài ra trong cả 3 kịch bản đều được thực hiện 3 lần với 3 cấp gió khác nhau để đánh giá ảnh hưởng của từng cấp gió tới mô hình. Các cấp gió được định nghĩa và lập trình đúng như thang Beaufort của tổ chức khí tượng quốc tế (WMO) được định nghĩa cụ thể trong tài liệu [11].

Hình 3 là trường hợp nhóm nghiên cứu đang thử nghiệm mô hình với EAST WIND, gió cấp 9.

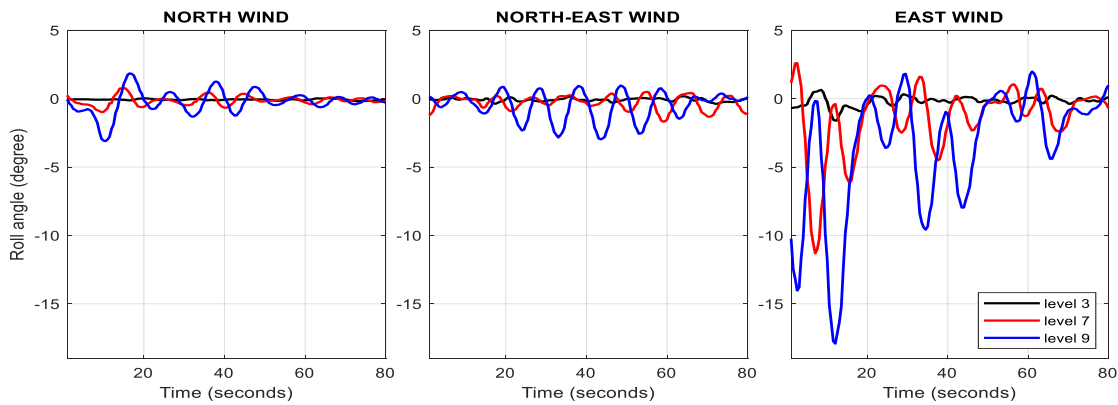
Các thông số sẽ được thu thập và đánh giá động học của mô hình trong quá trình thử nghiệm là 3 thông số gồm: Lắc ngang (roll), lắc dọc (pitch) và vận tốc trượt đứng (rate of heave). Sau khi chạy phần mềm với các kịch bản cụ thể như trong Bảng 1, các dữ liệu về 3 thông số này trong các kịch bản khác nhau được thể hiện như trong Hình 4, 5 và 6 dưới đây.

Trên Hình 4 là góc lắc ngang của con tàu trong cả 3 kịch bản thử nghiệm. Ta có thể thấy khi cấp gió tăng lên thì góc lắc ngang cũng đều tăng lên theo trong cả 3 kịch bản. Tuy nhiên ở kịch bản 1 với NORTH WIND thì chuyển động lắc ngang của con tàu là khá nhỏ khi so sánh nó với cùng các cấp gió và sóng (sóng tạo nên bởi gió) trong trường hợp ở kịch bản 2 và 3. Ta thấy rằng khi gió thổi ngang thân tàu (EAST WIND) trong kịch bản 3 thì con tàu bị dao động lắc mạnh nhất theo phương ngang.

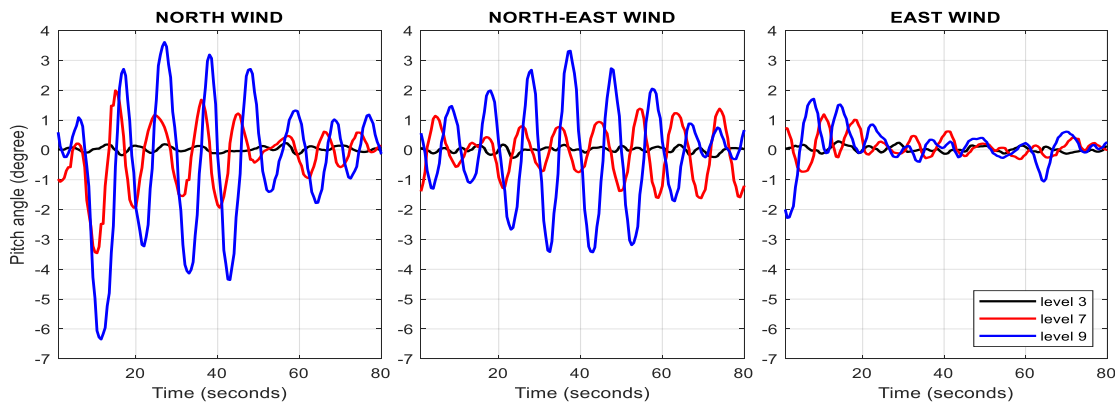
Trên Hình 5 là góc lắc dọc của con tàu trong cả 3 kịch bản thử nghiệm. Ta có thể thấy khi cấp gió tăng lên thì góc lắc dọc cũng đều tăng lên theo trong cả 3 kịch bản. Tuy nhiên ở kịch bản 3 với EAST WIND thì chuyển động lắc dọc của con tàu là khá nhỏ khi so sánh nó với cùng các cấp gió trong trường hợp gió NORTH WIND thổi theo hướng vào mặt trước của tàu. Như vậy, khi hướng gió là NORTH WIND, con tàu bị dao động lắc dọc mạnh nhất.

Trong Hình 6 là tốc độ trượt đứng của con tàu trong 3 kịch bản thử nghiệm. Tương tự như 2 thông số trên, tốc độ trượt đứng của con tàu cũng lớn khi cấp gió mạnh hơn. Tuy rằng không có sự khác biệt quá lớn với 3 hướng gió khác nhau, nhưng ta có thể thấy rằng khi hướng gió là EAST WIND thì chuyển động trượt đứng của con tàu là lớn hơn so với 2 kịch bản còn lại.

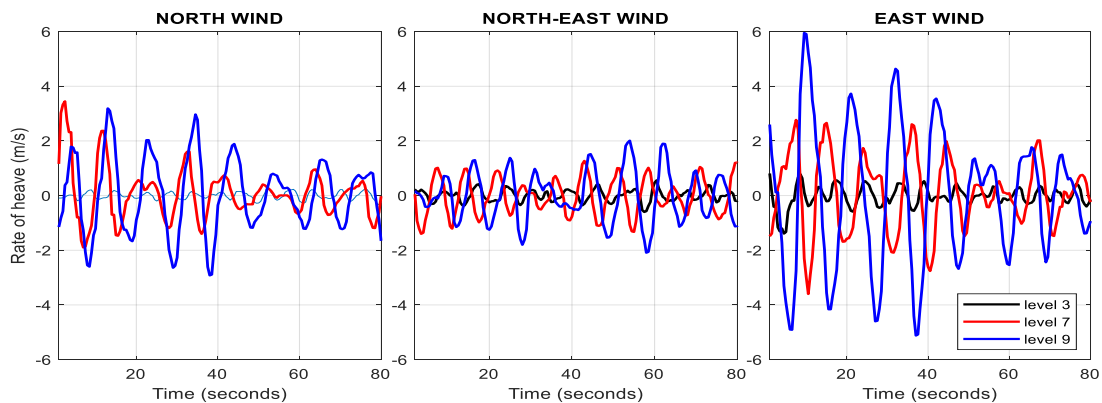
Như vậy, qua 3 kịch bản thử nghiệm và lấy các chuyển động lắc ngang, lắc dọc và trượt đứng của con tàu. Các đặc tính cho thấy các chuyển động vật lý của con tàu về biên độ rung lắc và tần số lắc đều rất sát với thực tế khi so sánh với các dữ liệu thu thập từ các con tàu thật khi chịu ảnh hưởng của sóng và gió ở những cường độ và hướng tác động tương tự.



Hình 4. Góc lức ngang (roll) trong cả 3 kịch bản thử nghiệm



Hình 5. Góc lức dọc (pitch) trong cả 3 kịch bản thử nghiệm



Hình 6. Vận tốc trượt đứng của con tàu (rate of heave) trong cả 3 kịch bản thử nghiệm

6. Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã đưa ra được một mô hình toán 6 DoF có thể áp dụng cho các con tàu chở hàng hoặc tàu chở container. Mô hình toán này đã được sử dụng để xây dựng một mô hình động học 3D bằng phần mềm Unity3D, kết quả thử nghiệm cho thấy mô hình phản ứng chính xác và tin cậy với các nhiễu loạn từ môi trường. Đây sẽ là một mô hình 3D rất trực quan và tiện lợi để thử nghiệm các thuật toán

điều khiển chuyển động cho con tàu trong tương lai của nhóm tác giả cũng như nhà nghiên cứu quan tâm.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT22-23.66.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] T.I. Fossen (1994), *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. New York: JOHN WILEY & SONS.

- [2] T.I. Fossen (2002), *Marine Control Systems*, Vol.3.
- [3] H. Q. Nguyen, A. D. Tran, and T. T. Nguyen (2019), *The bilinear model predictive method-based motion control system of an underactuated ship with an uncertain model in the disturbance*, Processes, Vol.7, No.7.
doi: 10.3390/pr7070445.
- [4] K. D. Do, Z. P. Jiang, and J. Pan (2002), *Underactuated ship global tracking under relaxed conditions*, IEEE Trans. Automat. Contr., Vol.47, No.9, pp.1529-1536.
doi: 10.1109/TAC.2002.802755.
- [5] K. D. Do, Z. P. Jiang, and J. Pan (2002), *Universal controllers for stabilization and tracking of underactuated ships*, Syst. Control Lett., Vol.47, No.4, pp.299-317.
doi: 10.1016/S0167-6911(02)00214-1.
- [6] J. Liu, F. Quadvlieg, and R. Hekkenberg (2016), *Impacts of the rudder profile on manoeuvring performance of ships*, Ocean Eng., Vol.124, pp.226-240.
doi: 10.1016/j.oceaneng.2016.07.064.
- [7] G. Taimuri, J. Matusiak, T. Mikkola, P. Kujala, and S. Hirdaris (2020), *A 6-DoF maneuvering model for the rapid estimation of hydrodynamic actions in deep and shallow waters*, Ocean Eng., Vol.218, p.108103.
doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.108103.
- [8] J. Do, K. D.;Pan (2009), *Control of Ships and Underwater Vehicles*.
- [9] T. Perez and M. Blanke (2002), *Mathematical Ship Modeling for Control*, Tech. Univ. Denmark, pp.1-22.
[Online]Available:
<http://www.iau.dtu.dk/secretary/pdf/TP-MB-shipmod.pdf>
- [10]H. Yasukawa and Y. Yoshimura (2015), *Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions*, J. Mar. Sci. Technol., Vol.20, No.1, pp.37-52.
- [11]W. M. Organization (1998), *Guide to Wave Analysis and Forecasting*, Vol.1998, No.702.
- [12] Võ Hồng Hải (2020), *Nghiên cứu ứng dụng bộ điều khiển PID dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo thích nghi cho hệ thống điều khiển tàu thủy*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
- [13] Nguyễn Hữu Quyền (2019), *Nghiên cứu giải pháp điều khiển bám quỹ đạo tàu thủy có ràng buộc tín hiệu và bất định hàm ở đầu vào*, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Ngày nhận bài:	30/10/2022
Ngày nhận bản sửa:	07/11/2022
Ngày duyệt đăng:	20/11/2022