

---

# HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN ĐỊNH VỊ ĐỘNG TÀU THỦY (PHẦN 1: NGUYÊN LÝ)

## DYNAMIC POSITIONING SYSTEM FOR SHIPS (PART 1: PRINCIPLES)

TS. NGUYỄN PHÙNG HƯNG; TS. NGUYỄN VIỆT THÀNH  
*Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*

### **Tóm tắt:**

*Bài báo trình bày nguyên lý hệ thống điều khiển định vị động cho tàu thủy. Hệ thống điều khiển này có hai chức năng chính là điều khiển định vị và dịch chuyển vị trí tàu ở tốc độ thấp, được ứng dụng chủ yếu cho loại tàu trang bị hệ thống động lực nhiều trục, làm các nhiệm vụ đặc biệt như rải cáp hay đường ống ngầm, phục vụ các công trình nổi trên biển như giàn khoan, v.v... Sau phần nguyên lý chung, bài báo trình bày cơ sở lý thuyết của hai chức năng chính của hệ thống. Cuối cùng là phần kết luận.*

**Từ khóa:** *Hệ thống điều khiển định vị động, điều khiển định vị, điều khiển dịch chuyển ở tốc độ thấp.*

### **Abstract:**

*This paper presents principles of a dynamic positioning (DP) system for ships. The DP system has two main functions: dynamic positioning control and low-speed maneuvering control which are mainly applied to ships equipped with multi-axis propulsion system for special tasks, such as submarine cable or pipeline laying, supplying floating or ocean constructions like oil rigs, etc... The general principles are presented followed by the theory of the system's two main functions. The conclusions are finally outlined.*

**Keywords:** *Dynamic positioning system, Dynamic positioning control, Low-speed maneuvering control.*

## **1. Giới thiệu**

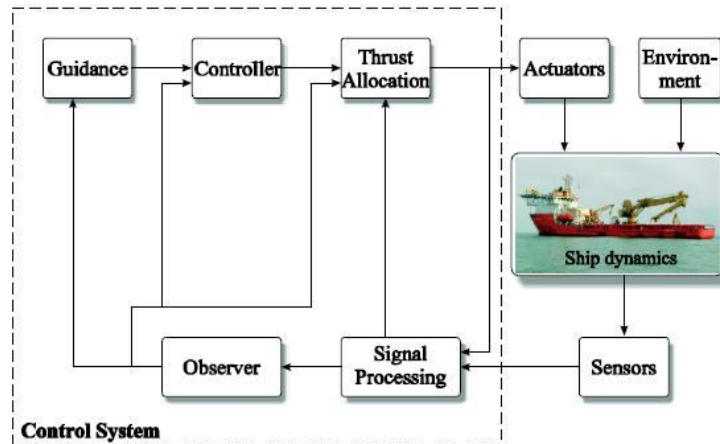
Hệ thống điều khiển định vị động (dynamic positioning, viết tắt là DP) cho tàu thủy là hệ thống điều khiển thường có hai chức năng chính: điều khiển định vị động và điều khiển dịch chuyển vị trí tàu ở tốc độ thấp [1]. Tàu được điều khiển theo ba bậc tự do (tiến-lùi, dịch ngang và quay) bằng hệ động lực gồm chân vịt chính, chân vịt mũi, chân vịt lái, ống đạo lưu xoay. Trong điều khiển định vị động, bánh lái thường không được sử dụng vì nó có ít tác dụng khi tốc độ tàu nhỏ.

Từ những năm 1960, các hệ thống DP đã được phát triển với các bộ điều khiển PID nối tiếp với các bộ lọc tín hiệu, hoặc bộ điều khiển dựa vào mô hình sử dụng lý thuyết điều khiển tối ưu và các bộ lọc Kalman. Các hệ thống DP truyền thống thường được thiết kế bằng cách tuyến tính hóa các phương trình động học của chuyển động quanh một tập hợp các giá trị định nghĩa trước, sao cho lý thuyết điều khiển tối ưu tuyến tính hoặc *gain-scheduling* có thể áp dụng được. Xuất hiện sau này có thể kể đến các hệ thống DP như: hệ thống sử dụng bộ điều khiển (BĐK) Linear Quadratic Gaussian (LQG) phản hồi, BĐK trực tiếp có mô hình, BĐK phản hồi tín hiệu ra và các BĐK dựa trên lý thuyết phi tuyến [1]. Gần đây một số hệ thống DP ứng dụng các BĐK Logic mờ [2], BĐK nơron nhân tạo [3], [4] cũng được giới thiệu.

Bài báo này trình bày phần 1: nguyên lý và hai chức năng chính của hệ thống DP cho tàu thủy, được ứng dụng chủ yếu cho loại tàu trang bị hệ thống động lực nhiều trục, làm các nhiệm vụ đặc biệt như rải cáp hay đường ống ngầm, phục vụ các công trình nổi trên biển như giàn khoan, v.v... Hệ thống này sử dụng BĐK nơron hỗn hợp (sẽ được trình bày kỹ trong phần 2 của bài báo) đã được giới thiệu trong [3], [4]. Sau phần nguyên lý chung, bài báo trình bày cơ sở lý thuyết của hai chức năng chính của hệ thống. Cuối cùng là phần kết luận. Trong phần 2 sẽ được giới thiệu ở bài báo tiếp theo, chúng tôi sẽ trình bày về BĐK áp dụng cho hệ thống để thực hiện hai chức năng nói trên và các kết quả mô phỏng hoạt động của hệ thống bằng máy tính để minh họa cho phần lý thuyết trong bài báo này.

## **2. Nguyên lý cấu tạo hệ thống DP**

Như đã được trình bày trong [1], [5], hệ thống DP gồm các phần chính như sau (hình 1):



Hình 1: Sơ đồ khối hệ thống DP (tham khảo từ [5])

Đối tượng điều khiển là con tàu với các đặc tính động học khác nhau (ship dynamics); môi trường bên ngoài tác động lên con tàu (environment); hệ thống động lực tác dụng lên con tàu (actuators); các cảm biến (sensors) tốc độ, hướng, vị trí, ....

- Hệ thống điều khiển (control system) gồm: khối xử lý tín hiệu (signal processing); khối quan sát (observer); khối dẫn đường (guidance); khối điều khiển (controller); và khối phân phối tín hiệu điều khiển (thrust allocation).

Trong đó chức năng của các khối chính của hệ thống có thể được tóm tắt như sau [5]:

- **Khối dẫn đường (Guidance system):** có chức năng thiết lập đường đi của tàu từ một vị trí ban đầu cho tới điểm đích. Các hệ thống DP tiên tiến thường có chức năng hành trình theo các điểm chuyển hướng định trước kết hợp với khả năng giao tiếp với các hệ thống hiển thị hải đồ hay bản đồ. Khối dẫn đường sẽ tạo ra tín hiệu dẫn đường phù hợp cho tàu từ điểm đầu tới các điểm tiếp theo.
- **Khối xử lý tín hiệu (Signal processing):** có chức năng xử lý những tín hiệu đo được. Các tín hiệu sai được loại bỏ. Các giá trị bù cho sai số vị trí gây ra do lắc ngang và lắc dọc cũng được thực hiện tại đây. Một hệ thống DP thường có hai hay ba la bàn con quay và hệ thống các thiết bị xác định vị trí tương đối. Các giá trị đo đặc vị trí tương đối được quy về một điểm chung, ví dụ như trọng tâm tàu. Vì vậy thông số về chuyển động của tàu theo phương thẳng đứng cũng cần phải có do lắc ngang và lắc dọc có ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của vị trí tương đối. Để thu được thông số đó, người ta trang bị một cảm biến quán tính để đo chuyển động lên xuống, lắc ngang và dọc của tàu.
- **Khối quan sát (Observer):** có chức năng tính toán, ước lượng gần đúng các thay đổi có tần số thấp của vị trí tàu, hướng mũi tàu và các gia tốc của tàu. Các dao động tần số cao gây ra bởi sóng được lọc bỏ, vì các giá trị đó có thể gây ra quá tải, làm giảm tuổi thọ của các hệ thống động lực. Khối này cũng có chức năng dự đoán chuyển động của tàu trong trường hợp vị trí tàu và hướng đi không thể đo đạc được.
- **Khối điều khiển (Controller):** có chức năng tạo ra ba tín hiệu điều khiển: lực tiến-lùi theo phương mũi lái, lực dịch ngang theo phương trục ngang và mô men quay theo yêu cầu điều khiển. Tùy thuộc vào tình trạng hoạt động và chế độ được chọn, khối điều khiển xử lý tín hiệu trạng thái tàu, quỹ đạo mong muốn, điều kiện ngoại cảnh để tính toán ra các tín hiệu điều khiển. Khối điều khiển cũng thực thi việc chuyển đổi giữa các chế độ hoạt động, ngoài ra còn có chức năng cảnh báo và báo động. Các tín hiệu điều khiển thường được tổng hợp từ một BĐK phản hồi và các thành phần bù trực tiếp. BĐK phản hồi truyền thống thường là loại tỷ lệ - vi phân (PD) sử dụng các tín hiệu vị trí và vận tốc tần số thấp lấy từ khối quan sát. Tín hiệu tích phân cũng được sử dụng để bù những tác động gây lệch liên tục từ môi trường. BĐK bù trực tiếp thường gồm tín hiệu bù sai lệch trong vị trí dự đoán và tín hiệu bù tác động ngoại

cảnh. Tín hiệu bù sai lệch trong vị trí dự đoán làm tăng khả năng điều khiển bám sát giá trị mong muốn, còn tín hiệu bù tác động ngoại cảnh làm tăng khả năng đáp ứng của hệ thống đối với các tác động của môi trường bên ngoài.

- **Khối phân phối tín hiệu điều khiển (Thrust allocation):** có chức năng phân phối các lực và mô men điều khiển từ khối điều khiển thành các lệnh điều khiển trực tiếp cho từng thiết bị cụ thể của hệ thống động lực, ví dụ như tốc độ quay chân vịt, tỷ số của chân vịt biến bước, góc của ống đạo lưu xoay, góc bánh lái, v.v... Một yêu cầu hết sức quan trọng đối với khối này là các lệnh điều khiển trực tiếp cho từng thiết bị cụ thể của hệ thống động lực phải khiến hệ thống động lực sinh ra các giá trị lực và mô men điều khiển một cách tối ưu (có nghĩa là mức tiêu hao năng lượng, góc xoay hay góc bề lái phải nhỏ nhất). Ngoài ra khối này còn đảm bảo cho hệ thống động lực không hoạt động quá mức có thể dẫn đến sự cố cho hệ thống cung cấp năng lượng.

Để mô tả các chức năng chính của hệ thống DP, trước hết ta xem xét mô hình toán học biểu diễn hệ thống. Nhìn chung, để mô tả chuyển động của một phương tiện trên biển người ta sử dụng mô hình động học 6 bậc tự do (6 DOF), bạn đọc muốn tìm hiểu sâu thêm có thể tham khảo trong [1]. Từ mô hình động học 6 bậc tự do đó ta có thể thu được mô hình 3 bậc tự do dùng cho trường hợp mô tả hệ thống DP. Vị trí tàu và hướng đi trong hệ trục tọa độ tuyệt đối  $X_E Y_E Z_E$  (gắn với trái đất, hình 2) là  $(x, y)$  và  $\psi$  được biểu diễn dưới dạng vectơ  $\eta = [x, y, \psi]^T$ ; tốc độ theo trục dọc, trục ngang và tốc độ quay quanh trục thẳng đứng được biểu diễn bằng vectơ  $v = [u, v, r]^T$ ; tâm của hệ trục tọa độ tương đối  $XYZ$  (gắn với tàu) đặt ở mặt phẳng trục dọc của tàu, cách trọng tâm tàu một khoảng  $x_G$ . Mô hình biểu diễn hệ thống DP được mô tả như sau:

$$M\dot{v} + Dv = \tau + J^T(\eta)b + E_v\omega_v, \quad (1)$$

$$\dot{\eta} = J(\eta)v. \quad (2)$$

Trong đó  $E_v\omega_v$  mô tả các yếu tố bất định trong tính năng động học tàu, với  $\omega_v$  là vectơ tín hiệu nhiễu trắng ngẫu nhiên Gaussian,  $E_v$  là vectơ chéo chứa các hằng số tỷ lệ cường độ của vectơ  $\omega_v$ ;  $\tau$  là vectơ lực và mô men điều khiển;  $M$  là ma trận quán tính bao gồm khối lượng quán tính thủy tĩnh của tàu;  $D$  là ma trận tắt dần có dạng sau:

$$\tau = [\tau_1, \tau_2, \tau_3]^T \quad (3)$$

$$M = \begin{bmatrix} m - X_{\dot{u}} & 0 & 0 \\ 0 & m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ 0 & mx_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$D = \begin{bmatrix} -X_u & 0 & 0 \\ 0 & -Y_v & mu_0 - Y_r \\ 0 & -N_v & mx_G u_0 - N_r \end{bmatrix} \quad (5)$$

với  $m$  là khối lượng tàu,  $I_z$  là mô men của tàu quanh trục thẳng đứng  $O_z$ ,  $X_{\dot{u}}, Y_{\dot{v}}, Y_{\dot{r}}, N_{\dot{v}}, N_{\dot{r}}$  là các lực và mô men quán tính,  $X_u, Y_v, N_v, N_r$  là các lực và mô men tắt dần,  $u_0$  là tốc độ thiết kế theo phương trục dọc tàu. Các ngoại lực do sóng, gió, dòng chảy bất định gây ra được bao gồm trong đại lượng  $b$ ,  $J(\eta)$  là ma trận chuyển đổi giữa hệ tọa độ  $X_E Y_E Z_E$  và hệ tọa độ  $XYZ$  có dạng:

$$J(\eta) = J(\psi) = \begin{bmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

với  $J^1(\psi) = J^T(\psi)$ . Vectơ biểu diễn tác động của ngoại cảnh lên con tàu theo phương tiến-lùi, phương trục ngang và quay quanh trục thẳng đứng có dạng:

$$\dot{b} = -T^{-1}b + \Psi n, \quad (7)$$

trong đó  $n$  là vectơ tín hiệu nhiễu trắng ngẫu nhiên Gaussian,  $T$  là vectơ chéo gồm các hằng số thời gian dương,  $\Psi \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$  là vectơ chéo chứa các hằng số tỷ lệ cường độ của vectơ  $n$ . Phương trình (7) có thể dùng để mô tả tác động chậm của môi trường gây ra bởi sóng, gió, dòng và các yếu tố động học bất định dạng bậc 2.

### 3. Chức năng điều khiển định vị (Positioning control)

Dựa vào phương trình (1), BĐK tỷ lệ - vi phân cho hệ thống PD có thể mô tả như sau [1]:

$$\tau = -J^T(\psi)K_p e - K_d v - J^T(\psi)b \quad (8)$$

$$e = \eta - \eta_d \quad (9)$$

Trong đó  $K_p$  và  $K_d$  lần lượt là vectơ các hằng số tỷ lệ và vi phân của BĐK;  $\eta_d$  là vectơ vị trí và hướng mũi tàu mong muốn,  $\dot{\eta}_d = 0$ ;  $e = \eta - \eta_d$  là vectơ độ sai lệch giữa vị trí, hướng mũi tàu thực tế với vị trí, hướng mũi tàu mong muốn. Luật điều khiển (8), (9) dựa trên giả thiết rằng  $b$  đã biết (được bù hoàn toàn). Tuy nhiên trong thực tế không thể đo được  $b$  nên [1] đề xuất dùng khối quan sát để ước lượng  $\eta$ ,  $v$  và  $b$  đồng thời đóng vai trò bộ lọc tín hiệu. Các giá trị gần đúng mà khối quan sát cung cấp là  $\hat{\eta}$ ,  $\hat{v}$ , và  $\hat{b}$ . Tín hiệu điều khiển khi đó trở thành:

$$\tau = -J^T(\psi)K_p \hat{e} - K_d \hat{v} - J^T(\psi)\hat{b} \quad (10)$$

$$\hat{e} = \hat{\eta} - \eta_d \quad (11)$$

Như vậy khi chúng ta chọn vectơ vị trí và hướng đi mong muốn của tàu, ví dụ  $\eta_d = [0, 0, 0, 90^\circ]^T$  thì luật điều khiển (10) sẽ giữ cho vị trí và hướng tàu ổn định tại vectơ mong muốn đó. Đây chính là nguyên lý cơ bản của chức năng điều khiển định vị của hệ thống DP.

### 4. Chức năng điều khiển dịch chuyển ở tốc độ thấp (Low-speed maneuvering control)

Chức năng điều khiển dịch chuyển ở tốc độ thấp có tác dụng điều khiển tàu theo một quỹ đạo mong muốn đồng thời giữ hướng mũi tàu theo một giá trị định trước, ví dụ hướng mũi tàu được chọn sao cho tác động của sóng, gió và dòng chảy lên con tàu là nhỏ nhất, hoặc đơn giản là hướng từ vị trí tàu hiện tại đến điểm tiếp theo. Để thực hiện chức năng này, phương pháp *điểm tham khảo (reference point)* được sử dụng [2], [4]. Tại mỗi chu trình điều khiển, con tàu được điều khiển đến điểm  $R(x_d, y_d)$  (hình 2) với hướng mũi tàu  $\psi_d$ . Lúc này vectơ vị trí và hướng mũi tàu mong muốn là  $\eta_d = [x_d, y_d, \psi_d]^T$ . Giả sử chúng ta muốn một điểm H của tàu có tọa độ  $(x_H, y_H)$  trên hệ trục  $X_E Y_E Z_E$  dịch chuyển theo điểm R. Trên hệ trục  $XYZ$  điểm H có tọa độ  $(\Delta x, \Delta y)$ . Vectơ vị trí và hướng mũi tàu tại H có dạng  $\eta_H = [x_H, y_H, \psi]^T$ . Ta có vectơ sai số giữa vị trí tàu với giá trị mong muốn là:

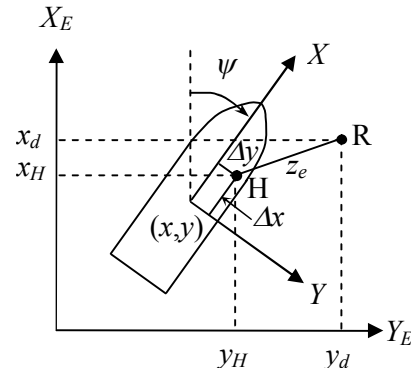
$$e = \eta_H - \eta_d \quad (12)$$

Vậy vectơ vị trí và hướng mũi tàu trên hệ tọa độ  $X_E Y_E Z_E$  được tính như sau:

$$\eta_H = \hat{\eta} + J(\psi) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ 0 \end{bmatrix} = \hat{\eta} + J(\psi)d_H \quad (13)$$

Trong đó  $d_H = [\Delta x, \Delta y, 0]^T$ . Vậy (12) trở thành:

$$\hat{e} = \hat{\eta} + J(\psi)d_H - \eta_d \quad (14)$$



Hình 2: Sơ đồ nguyên lý điều khiển dịch chuyển ở tốc độ thấp

Kết hợp (10) và (14) ta có luật điều khiển (bất cứ điểm nào của tàu) dịch chuyển theo điểm  $R(x_d, y_d)$ . Để con tàu dịch chuyển theo một quỹ đạo mong muốn, trong [3] tác giả đề xuất một thuật toán dịch chuyển điểm tham khảo  $R(x_d, y_d)$  dọc theo quỹ đạo đó. Khoảng cách HR là  $z_e$  có dạng:

$$z_e = \sqrt{(x_H - x_d)^2 + (y_H - y_d)^2} \quad (15)$$

Tốc độ dịch chuyển  $u$  của điểm R được chọn như sau:

$$u(Z_{ep}, z_e, \Delta\psi) = u^* (1 - \chi_1 e^{-\chi_2 Z_{ep}}) e^{-\chi_3 z_e} e^{-\chi_4 |\Delta\psi|} \quad (16)$$

với  $u^* \neq 0$ , các hằng số  $\chi_i > 0, i = 1, \dots, 4, \chi_1 < 1$ , và  $\Delta\psi = \psi - \psi_d$ ;  $Z_{ep}$  là khoảng cách từ R đến vị trí mong muốn. Theo cách chọn này, tốc độ dịch chuyển của điểm R sẽ có những đặc tính thuận lợi sau: khi một trong hai hoặc cả hai giá trị  $z_e$  và  $\Delta\psi$  lớn, điểm R sẽ chờ vị trí tàu và hướng mũi tàu đạt giá trị mong muốn  $\eta_d$ ; khi  $z_e$  và  $\Delta\psi$  nhỏ, R sẽ dịch chuyển dọc theo quỹ đạo mong muốn với tốc độ được chọn là  $u^*$  và tàu dịch chuyển theo R ở một khoảng cách nhất định phía trước và hướng mũi tàu giữ ở giá trị mong muốn.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày nguyên lý cấu tạo và hai chức năng cơ bản của hệ thống điều khiển định vị động tàu thủy. Dựa vào mô hình toán học mô tả hệ thống, chúng ta có thể thiết kế BDK định vị cho tàu. Để thực hiện chức năng điều khiển dịch chuyển ở tốc độ thấp, phương pháp điểm tham khảo được áp dụng với một thuật toán di chuyển điểm tham khảo đó một cách phù hợp với mục tiêu điều khiển. Trong phần 2 chúng tôi sẽ trình bày kỹ về BDK hỗn hợp tỷ lệ - tích phân và nơron nhân tạo áp dụng cho hệ thống cùng với các kết quả mô phỏng trên máy tính để minh họa cho phân lý thuyết trong bài này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] T.I. Fossen, "Marine Control Systems – Guidance, Navigation and Control of Ship, Rigs and Underwater Vehicles", Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, ISBN 82-92356-00-2, 2002.
- [2] C.V. Nguyen, L. Morawski, and A. Rak, "Track Keeping Autopilot with Fuzzy Logic Controller", Proc. of the 6th Asian Conference on Marine Simulator and Simulation Research, Hai Phong, Vietnam, Mar. 2006, pp. 137-144.
- [3] Nguyễn Phùng Hưng, "A Study on the Automatic Ship Control Based on Adaptive Neural Networks", Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, ĐHHH Hàn Quốc, Feb. 2007.
- [4] P.H. Nguyen and Y.C. Jung, "Design and Application of an Adaptive Neural Network to Dynamic Positioning Control of Ship", Proceedings of International Symposium on GPS/GNSS (12<sup>th</sup> IAIN World Congress), Jeju, Korea, Oct. 2006, Vol.1, pp. 285-290.
- [5] K.P. W. Lindegaard, "Acceleration Feedback in Dynamic Positioning", PhD. Dissertation, Dept. of Engineering Cybernetics, Norwegian University of Science and Technology, NO-7491, Trondheim, Norway, Sep. 2003.

**Người phản biện: TS. Nguyễn Công Vịnh**