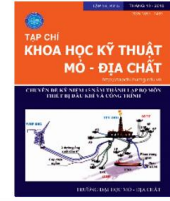




## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



# Mô hình hoá cấu trúc bộ điều khiển phối hợp các chân vịt của hệ thống định vị tự động bằng ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất thời gian thực và Hybrid Automata

Nguyễn Sơn Tùng<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Thanh Tuấn<sup>2</sup>, Đặng Quang Hưng<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Khoa Cơ - Điện, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

<sup>2</sup> Khoa Dầu khí, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

<sup>3</sup> Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

### TÓM TẮT

#### Quá trình:

Nhận bài 25/11/2018

Chấp nhận 26/01/2019

Đăng online 28/02/2019

#### Từ khóa:

Hệ thống định vị tự động

DPS

Chân vịt bầu xoay

Khoan vùng nước sâu

*Hệ thống định vị tự động (Dynamic Positioning System) dành cho các phương tiện biển được nghiên cứu, phát triển từ giữa thế kỷ XX và công nghệ này nhanh chóng được áp dụng trên các tàu khoan thăm dò, khai thác dầu khí vùng nước sâu. Trong bối cảnh sản lượng dầu khí tại các vùng mỏ truyền thống như Bạch Hổ, Nam Rồng - Đồi Mồi, Nam Côn Sơn đang có xu hướng suy giảm. Để đáp ứng nhu cầu năng lượng hiện nay, các công ty, xí nghiệp khai thác dầu khí tại Việt Nam cần phải vươn ra các mỏ tiềm năng ở vùng nước sâu hơn. Do đó, việc nghiên cứu, tìm hiểu hệ thống định vị tự động trên các tàu khoan và giàn khoan nổi đóng một vai trò thiết yếu đối với các doanh nghiệp dầu khí. Bài báo trình bày mô hình hoá cấu trúc bộ điều khiển phối hợp các chân vịt của thiết bị định vị tự động dựa trên cơ sở các kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học đã được công bố thuộc lĩnh vực điều khiển phương tiện biển tự hành và hệ thống định vị tự động. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất sử dụng ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất trong thời gian thực và Hybrid Automata trong quá trình phân tích, đặc tả và mô hình hoá hệ thống. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để thiết kế bộ điều khiển của hệ thống định vị tự động dành cho tàu khoan nổi.*

© 2019 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

### 1.1. Giới thiệu

Với đặc thù hoạt động trên vùng biển rộng lớn, ngày nay các phương tiện biển dần dần sử dụng hệ thống dẫn đường và định vị tự động thay

thế sự quan sát, phán đoán của các thủy thủ giàu kinh nghiệm. Đặc biệt, với các yêu cầu điều khiển phương tiện biển bám theo một lộ trình đã được thiết kế trước hoặc duy trì vị trí cố định trên mặt nước trong điều kiện sóng, gió và các dòng hải lưu hoạt động mạnh mẽ. Công nghệ này được nghiên cứu và đưa vào áp dụng trên các phương tiện phục vụ thăm dò, khai thác dầu khí ngoài khơi như tàu khoan, giàn khoan nổi, tàu rải ống ngầm, tàu rải cáp ngầm, tàu thăm dò địa chấn, tàu dịch vụ...

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [nguyensontung@humg.edu.vn](mailto:nguyensontung@humg.edu.vn)

Ở vùng nước nông, các tàu khoan, giàn khoan bán chìm, kho chứa nổi (*công trình nổi*) có thể sử dụng cáp neo để định vị. Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là tốn nhiều thời gian cho việc định vị hoặc thay đổi hướng khi cần thiết. Ở vùng nước sâu, phương pháp này trở lên kém hiệu quả do sự biến dạng đàn hồi của dây cáp neo dẫn tới công trình nổi vẫn có dịch chuyển không mong muốn, những dịch chuyển này gây ra những ứng suất dư có hại tác động lên cột ống chống, ống cách nước, cần khoan, ống nổi. Ngoài ra, việc neo đặt này cũng làm giảm tính linh động của tàu khoan. Ví dụ: các tàu khoan khó di chuyển để tránh bão hoặc thời tiết xấu và việc neo đặt trở lại cũng gây tốn kém thời gian và chi phí. Như vậy, để đảm bảo hiệu quả khi khoan ở vùng nước sâu cần sử dụng công nghệ định vị tự động. Hệ thống định vị tự động ngày nay được trang bị các chân vịt bao gồm chân vịt trong ống đạo lưu (*tunnel thruster*), chân vịt bầu xoay (*azimuth thruster*) và chân vịt thông thường. Các chân vịt này hoạt động phối hợp với nhau nhằm giữ cố định vị trí của tàu khoan, đồng thời hệ thống này còn có chức năng điều khiển tàu khoan di chuyển tới vị trí mới hoặc tới các căn cứ/cảng một cách an toàn, nhanh chóng.

Hiện nay, các bộ điều khiển và chương trình điều khiển của hệ thống định vị tự động thường được thiết kế theo nguyên lý hộp đen, các cụm chức năng được đóng gói hoặc mô đun hoá. Việc này cho phép nhà thiết kế dễ dàng nâng cấp hệ thống và tùy biến hệ thống một cách dễ dàng. Tuy nhiên, điều này lại khiến người sử dụng bị động, phụ thuộc vào công nghệ của nhà cung cấp.

## **1.2. Hệ thống định vị tự động và chân vịt bầu xoay**

### **1.2.1. Hệ thống định vị tự động**

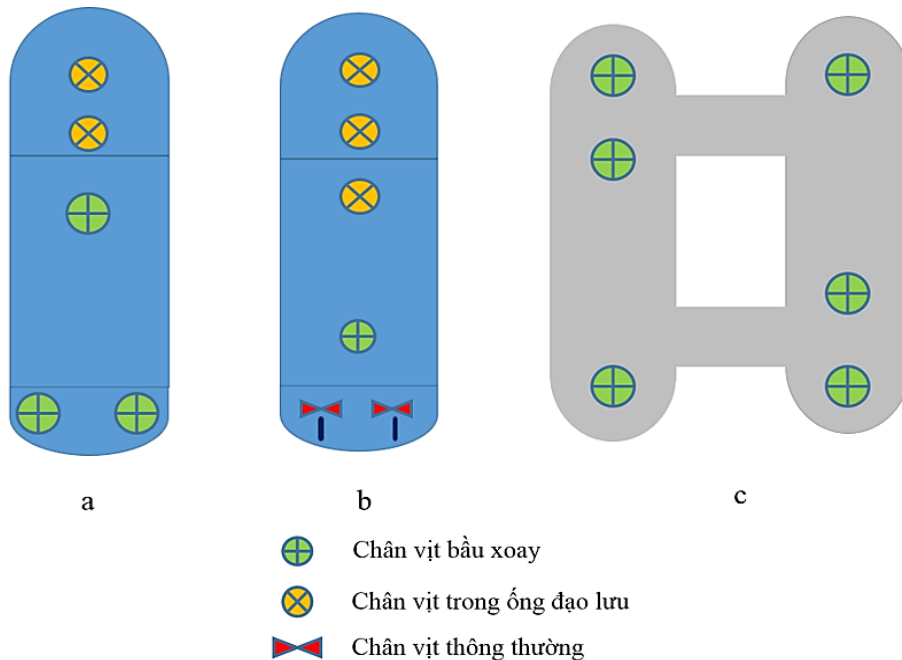
Trên thế giới, hệ thống định vị tự động được nghiên cứu áp dụng cho tàu biển vào giữa thế kỷ XX. Đặc biệt, hệ thống này được phát triển, ứng dụng trên các tàu khoan hoạt động trong lĩnh vực thăm dò và khai thác dầu khí ngoài khơi từ những năm 60 và 70 của thế kỷ XX. Năm 1961, hệ thống định vị thô sơ đầu tiên bao gồm hệ thống điều khiển tương tự số (*analogue control system*) kết hợp với các dây căng được trang bị cho tàu khoan. Vị trí tương đối giữa tàu khoan và miệng giếng khoan được tính toán thông qua góc lệch của các dây căng. Sau đó 10 năm, năm 1971, hệ thống định

vị tự động hiện đại đầu tiên được áp dụng trên các tàu khoan thăm dò dầu khí ở vùng nước sâu. Tới năm 1985 với sự phát triển của ứng dụng định vị toàn cầu thông qua vệ tinh do Mỹ nghiên cứu, phát triển áp dụng cho lĩnh vực dân sự (*ban đầu chỉ sử dụng cho mục đích quân sự của Mỹ*) đã tạo điều kiện thuận lợi khi vận hành hệ thống định vị tự động và mở rộng phạm vi hoạt động của các tàu khoan vùng nước sâu, cũng như các phương tiện biển, công trình nổi phục vụ thăm dò, khai thác dầu khí ngoài khơi nói chung. Trên *website* <http://www.ge.com>, Tomas Kellner giới thiệu một tàu khoan khai thác dầu khí hoạt động tại khu vực Vịnh Walvis, Namibia được trang bị hệ thống định vị tự động bao gồm bộ điều khiển (*phần cứng và phần mềm*) và 6 chân vịt bầu xoay. Trong khi khoan, tàu có thể giữ được vị trí với sai số trong phạm vi bán kính 5 m (15ft) dưới tác dụng của tải trọng dòng chảy, sóng và gió ngay cả trong điều kiện có bão (Hình 1).

Hình 2 giới thiệu sơ đồ bố trí các chân vịt trên một số loại phương tiện biển/giàn khoan nổi sử dụng trong khai thác dầu khí ngoài khơi (Chas and Ferreiro, 2008). Với các tàu dịch vụ, việc cung cấp trao đổi hàng hoá, vật tư với các giàn khoan, tàu khoan, tàu chứa... được thực hiện bằng các cần trục. Do đó, yêu cầu đảm bảo giữ cố định khoảng cách và hướng của tàu so với các công trình này là yếu tố hàng đầu để đảm bảo việc vận chuyển hàng hoá an toàn. Các chân vịt của hệ thống định vị tự động dành cho tàu dịch vụ (Hình 2.a) bao gồm: hai chân vịt trong ống đạo lưu được bố trí ở phía trước của tàu, các chân vịt này thường được gắn cố định hướng và sinh lực đẩy ngang từ mạn tàu bên này sang mạn tàu bên kia, một chân vịt bầu xoay đặt ở giữa thân tàu và hai chân vịt bầu xoay ở cuối tàu (có thể sử dụng chân vịt biến bước). Hai chân vịt bầu xoay ở cuối tàu còn dùng để tạo lực đẩy và lái khi tàu di chuyển. Tàu rải ống hoặc cáp ngầm (Hình 2.b) có đặc điểm di chuyển chậm theo một quỹ đạo đã xác định để rải cáp ngầm hoặc vừa yêu cầu duy trì vị trí cố định trong khi chuẩn bị ống vừa yêu cầu di chuyển chậm bám theo một quỹ đạo định sẵn khi rải ống. Các chân vịt của tàu được bố trí như trên hình vẽ 2.b. Giàn khoan bán chìm có thể bị trôi dạt do tác dụng của gió lên phần kết cấu nổi, do sóng và dòng hải lưu tác dụng lên phần phao và trụ đỡ bên dưới. Sử dụng 6 chân vịt bầu xoay có khả năng xoay tròn 360° để thay đổi



Hình 1. Tàu khoan được lắp các chân vịt bầu xoay (Tomas Kellner, 2014).



Hình 2. Sơ đồ bố trí các động cơ đẩy/chân vịt.

hướng của lực đẩy nhằm chống lại các ngoại lực gây trôi dạt từ môi trường xung quanh.

### 1.2.2. Chân vịt bầu xoay

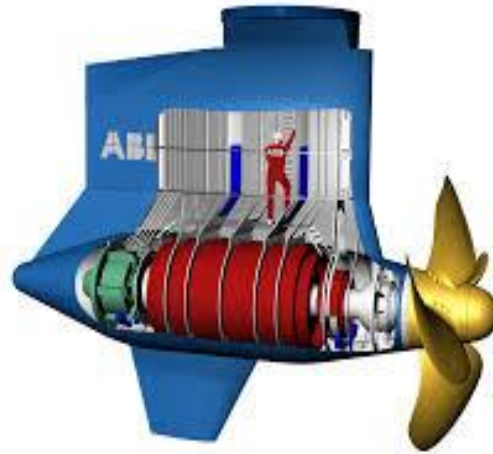
Chân vịt bầu xoay (*Azimuth Thruster*) là thiết bị đẩy dành cho phương tiện biển. Khác với chân vịt truyền thống, trục của chân vịt bầu xoay không gắn cố định với vỏ tàu mà có thể xoay đổi hướng. Nhờ kết cấu này hướng tác dụng của lực đẩy có thể thay đổi so với phương dọc trục cầu tàu. Hướng của trục chân vịt được điều khiển bởi động cơ

servo thông qua bộ truyền bánh răng. Với kết cấu này việc lái chuyển hướng có thể được thực hiện một cách hiệu quả mà không cần tới bánh lái hoặc trong trường hợp tốc độ di chuyển của tàu thấp (*trường hợp định vị tàu khoan*) thì việc sử dụng bánh lái là không có tác dụng.

Hiện nay, các nhà sản xuất cung cấp hai mẫu chân vịt bầu xoay phổ biến trên thị trường là chân vịt bầu xoay dẫn động bởi động cơ diesel và chân vịt bầu xoay dẫn động trực tiếp bởi động cơ điện (Hình 3, Hình 4).



Hình 3. Chân vịt bầu xoay dẫn động cơ khí (động cơ đốt trong).



Hình 4. Chân vịt bầu xoay truyền động điện (động cơ điện).

### 1.3. Ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất thời gian thực và Hybrid Automata

Ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất (*unified modeling language*) đã được tiêu chuẩn hoá bởi tổ chức Quản trị hướng đối tượng OMG (*Object Management Group*) như một ngôn ngữ đồ hoạ dùng để trực quan hoá, đặc tả, xây dựng và lập dữ liệu cho các ứng dụng phần mềm chuyên nghiệp (OMG, 2011). Ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất thời gian thực (*Real-time unified modeling language*) được phát triển dựa trên ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất (Lavagno et al., 2003). Ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất thời gian thực được dùng để đặc tả cấu trúc, ứng xử của hệ thống điều khiển trong hệ thống thời gian thực và hệ thống nhúng (Nguyen Son Tung, Ngo Van Hien, 2018). Ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất thời gian thực bao gồm tất cả các ký hiệu mô hình hoá của ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất, ngoài ra nó còn đưa ra các ký hiệu mô hình hoá: gói (*Capsule*), cổng và giao thức nhằm mô hình hoá các hệ thống điều khiển công nghiệp.

Hệ thống động lực lai công nghiệp (*Hybrid dynamic system*) là hệ thống điều khiển có kể tới các phần rời rạc, các ứng xử liên tục và mối liên hệ tác động giữa những thành phần này. Hơn nữa, hệ thống điều khiển có thể có ứng xử không giống

nhau tại mỗi thời điểm. Hệ thống động lực lai công nghiệp được mô hình hoá bởi một *Hybrid Automata* (Nguyễn Sơn Tùng và nnk, 2018). Một *Hybrid Automata* được định nghĩa bởi (Hien et al., 2006) (1).

$$H = \{Q, X, \Sigma, A, Inv, F, q_0, x_0\} \quad (1)$$

Trong đó:  $Q$  - tổ hợp các vị trí mô tả các chế độ hoạt động của hệ thống;  $X$  - không gian trạng thái liên tục của *Hybrid Automata*  $X \in R^n$ ;  $\Sigma$  - tập hợp hữu hạn các sự kiện;  $A$  - tập hợp các chuyển đổi được xác định bởi các ràng buộc và bước nhảy;  $Inv$  - đại lượng bất biến dùng để theo dõi trạng thái liên tục phải được duy trì (cụ thể là khi ở vị trí  $q$  thì trạng thái liên tục phải xác định theo  $x = Inv(q)$ );  $F$  - hàm liên tục tổng thể (dòng liên tục) được xác định theo từng vị trí của hệ thống, nó là tổng hợp của các phần tử liên tục của hệ thống theo một sơ đồ điều khiển xác định trước, tiến trình của trạng thái liên tục được xuất hiện khi trạng thái làm việc,  $F$  thường được biểu diễn bởi hệ phương trình vi phân, hệ phương trình trạng thái hoặc hàm truyền đạt;  $q_0$  - trạng thái ban đầu;  $x_0$  - trạng thái ban đầu liên tục của *automate*.

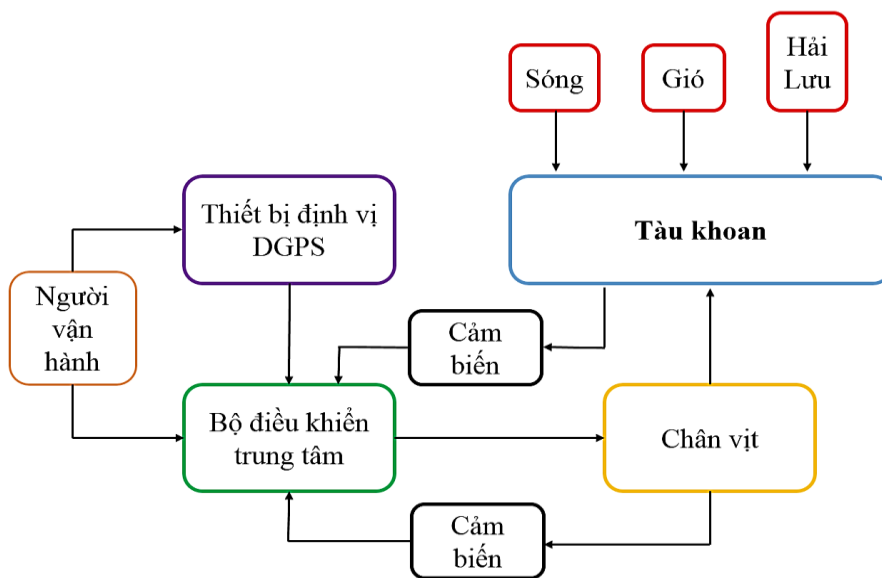
## 2. Mô hình cấu trúc hệ thống định vị tự động dành cho tàu khoan

Mô hình cấu trúc hệ thống điều khiển cung cấp những thông tin hữu ích, cần thiết về cấu tạo, các thành phần chính và mối liên hệ giữa các thành phần trong hệ thống dưới góc nhìn của người vận hành, người thiết kế, người bảo trì. Nói cách khác, mô hình cấu trúc hệ thống cho chúng ta biết phương thức hoạt động của hệ thống một cách tổng quát nhất. Cũng như một hệ thống điều khiển công nghiệp khác, hệ thống định vị tự động của tàu khoan bao gồm phần cứng và phần mềm. Các bộ phận phần cứng bao gồm các động cơ đẩy, hệ truyền động và động cơ phát lực, các chân vịt và các cảm biến đo tốc độ động cơ, thiết bị định vị và hướng của tàu khoan, phần cứng của bộ vi xử lý, giao thức và cổng nối. Trong đó, các chân vịt được dẫn động bởi động cơ là bộ phận trực tiếp tạo ra lực đẩy cần thiết nhằm chống lại các tác động không mong muốn từ môi trường bên ngoài. Phần mềm của hệ thống bao gồm các chương trình điều khiển, chương trình con, thuật toán điều khiển.

Hình 5 giới thiệu sơ đồ khối nguyên lý làm việc của một hệ thống định vị tự động sử dụng công nghệ định vị toàn cầu vi sai DGPS (*Differential global position system*), các chân vịt không biến bước và được dẫn động bởi động cơ điện. Thiết bị định vị gồm các bộ thu và phát sóng điện từ và máy tính để đo khoảng cách từ tàu khoan (*noi để máy thu phát sóng*) tới một trạm tham chiếu được đặt ở một vị trí đã được xác định rõ trên trái đất và tới các vệ tinh của hệ thống định vị toàn cầu. Thiết bị định vị này có thời gian

lấy mẫu theo chu kỳ bằng một giây và gửi dữ liệu vị trí của tàu khoan cho bộ điều khiển. Ngoài ra, để tăng độ chính xác và mang tính chất dự phòng, hệ thống còn được trang bị thêm hệ thống thủy âm (*transducer và transponder*). Bộ điều khiển chính là máy tính và chương trình phần mềm điều khiển. Giải thuật toán điều khiển được sử dụng có thể là tích phân hồi tiếp. Máy tính nhận tín hiệu điều khiển từ người vận hành (*cài đặt tham số vị trí và hướng*) và so sánh với dữ liệu từ thiết bị định vị cung cấp, các tín hiệu gửi về từ các cảm biến. Sau đó, bộ điều khiển sẽ so sánh sự sai khác giữa trạng thái (vị trí) hiện tại với trạng thái mong muốn rồi phát các tín hiệu điều khiển thay đổi tần số và điện áp của nguồn tới từng động cơ dẫn động chân vịt và điều khiển số vòng quay của các động cơ servo điều khiển hướng của trục chân vịt để triệt tiêu sai số.

Theo các nghiên cứu về phương tiện tự hành dưới nước, hệ thống định vị tự động của tàu khoan được xem như một hệ thống động lực lai công nghiệp và ứng xử của hệ thống được mô hình hoá bởi *hybrid automata*. Bởi vì, trong hệ thống này có xét tới phần liên tục, phần rời rạc và mối tác động qua lại giữa chúng. Chỉ có duy nhất một ứng xử liên tục tại một thời điểm được xác định trong *hybrid automata*. Có đại lượng bất biến  $Inv$  để kiểm tra lại tiến trình của các dòng liên tục  $F_i$ . *Hybrid automata* được bắt nguồn từ *automate* nên mô hình ứng xử động của hệ thống tương thích với các mô hình của nhóm thiết bị cùng loại nên có thể



Hình 5. Sơ đồ khối cấu trúc hệ thống định vị tự động.



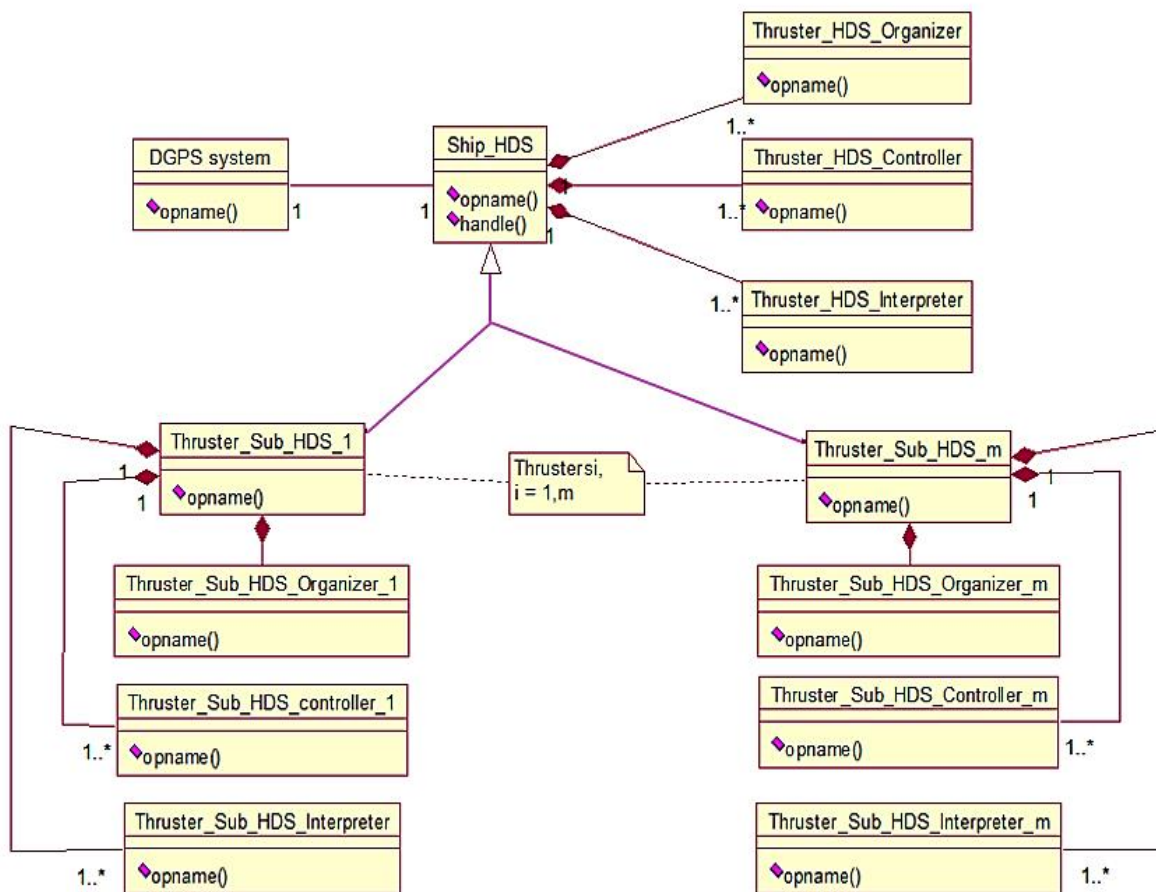
sử dụng hoặc sao chép một số mô đun có sẵn. Với hệ thống định vị tàu khoan:  $Q$  được xác định bởi các chế độ định vị tàu khoan tại chỗ, di chuyển tàu khoan tới vị trí khoan mới hoặc di chuyển tàu khoan về căn cứ dịch vụ, cảng neo đậu tránh bão, điều khiển hướng và vận tốc khi di chuyển.  $X$  là mô hình động lực học ba bậc tự do của tàu khoan, các phương trình vi phân mô tả động học của động cơ dẫn động.  $\Sigma$  là các sự kiện ra lệnh định vị tại chỗ hoặc di chuyển tới vị trí khoan mới, di chuyển về căn cứ dịch vụ, cảng neo đậu tránh bão, các sai lệch giữa trạng thái hiện thời và trạng thái mong muốn.  $A$  là các bước nhảy chuyển trạng thái.  $F$  được thành lập dựa theo sơ đồ khối chức năng.

Hình 6 mô tả cấu trúc hệ thống điều khiển phối hợp 6 chân vịt (*Thruster*) được mô hình hoá bởi ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất trong thời gian thực. Hệ thống bao gồm một bộ điều khiển trung tâm (*Thruster\_HDS\_Organizer*) và các bộ điều khiển con phân nhánh trên mỗi động cơ dẫn động các chân vịt, bánh răng xoay hướng

(*Thruster\_Sub\_HDS\_Organizer*), một bộ điều khiển trung tâm gồm bộ điều khiển tổng thể 6 chân vịt (*Thruster\_HDS\_Controller*) và các bộ điều khiển con dành riêng cho từng động cơ dẫn động (*Thruster\_Sub\_HDS\_Controller*), lớp chuyển đổi tín hiệu và trao đổi thông tin tổng thể (*Thruster\_HDS\_Interpreter*) và các lớp chuyển đổi, trao đổi thông tin từ mỗi động cơ tới bộ điều khiển chung (*Thruster\_Sub\_HDS\_Interpreter*). Như vậy, cấu trúc của hệ thống được mô hình hoá bởi các lớp/cấp, mỗi lớp/cấp điều khiển riêng biệt của từng động cơ dẫn động chân vịt.

### 3. Kết luận

Qua nghiên cứu cho thấy hệ thống định vị tự động tàu khoan thuộc nhóm hệ động lực lai có cấu tạo và ứng xử của hệ thống khá phức tạp. Việc sử dụng ngôn ngữ mô hình hoá hợp nhất thời gian thực kết hợp với mô tả ứng xử của hệ thống bởi *hybrid automata* đã đạt được kết quả bước đầu



Hình 6. Mô hình cấu trúc điều khiển các chân vịt của hệ thống định vị tự động.

trong quá trình phân tích, mô hình hoá, mô phỏng và thiết kế bộ điều khiển phối hợp các chân vịt của hệ thống định vị tự động. Đồng thời, kết quả nghiên cứu góp phần giảm thiểu sự bị động, phụ thuộc vào công nghệ của nhà cung cấp khi mua sắm các tàu khoan, tàu dịch vụ, tàu rải ống... được trang bị hệ thống định vị tự động phục vụ khai thác dầu khí ngoài khơi.

### Tài liệu tham khảo

- Chas, C. S., and Ferreiro, R., 2008. Introduction to ship dynamic positioning systems. *Journal of Maritime Research* 5 (1).
- Lavagno, L., Martin, G., Selic, B., 2003. UML for Real: Design of Embedded Real - Time Systems. *Kluwer Academic Publisher*.
- Ngô Văn Hiền, Hồ Tường Vinh, Soriano T., 2006. Using Model - Driven Architecture to Develop Industrial Control System. IEEE - RIVF 2006, Vietnam.
- Nguyen Son Tung, Ngo Van Hien, 2018. A Hierarchical Implementation Model to Realize Cooperative Controllers of AUS - MAUVs. *Proceeding of ICFMAS 2018*.
- OMG, 2011. UML Profile for MARTE: Modeling and Analysis of Real - Time Embedded Systems. OMG Formal Version. <http://www.omg.org/spec/MARTE/>
- Tomas, K., 2014. Keep Calm and Carry on: This Software Helps Hold Ships Steady in Heavy Seas, <http://www.ge.com>.

## ABSTRACT

### Using the real - time unified modeling language and hybrid automata to model the controller of combining thrusters of dynamic positioning system

Tung Son Nguyen <sup>1,\*</sup>, Tuan Thanh Nguyen <sup>2</sup>, Hung Quang Dang <sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Elichtro-Mechanics, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

<sup>2</sup>*Faculty of Oil and Gas, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

<sup>3</sup>*Faculty of Mining, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

Dynamic positioning systems (DPS) and its applications were researched in 60s of the previous century. In the world, oil and gas industry has a large number of this application. In Vietnam, oil and gas industry was developed in the later half of the 20<sup>th</sup> century. In 1981, the first oilwells were completed then they have been exploited for several decades. So, the production trends to decrease in the traditional reservoirs such as Bach Ho, Nam Rong - Doi Moi and Nam Con Son etc. To catch up with power requirement, the oil and gas enterprises must extend to deep water areas. In deep water, it is believed that DPS plays an important role on drilling ships and other vessels used for oil exploration. Based on the published research in ship maneuvering and dynamic positioning, this paper shares the architecture model of controller of dynamic positioning system. This paper also proposes to use real - time unified modeling language and hybrid automata for analysis, specification and modeling the dynamic positioning system. This result can be used for developing a real dynamic positioning system carried out on drilling ship.