

Tính toán và khảo sát tham số chuyển động góc của ăng ten trang bị trên tàu biển trong bài toán bám sát vệ tinh

Lê Văn Phúc*

Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, 89B Lý Nam Đế, Cửa Đông, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam.

*Email: levanphuccapiti@gmail.com

Nhận bài: 05/01/2024; Hoàn thiện: 08/3/2024; Chấp nhận đăng: 14/3/2024; Xuất bản: 01/4/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.CAPITI.2024.56-61>

TÓM TẮT

Để trao đổi thông tin với vệ tinh chúng ta cần tới một hệ thống ăng ten truyền và nhận tín hiệu với vệ tinh đã được đăng ký dịch vụ từ trước. Việc truyền nhận tín hiệu giữa ăng ten và vệ tinh phụ thuộc rất nhiều yếu tố như công suất phát, độ nhạy máy thu, môi trường. Để đạt được mức tín hiệu tốt nhất hướng của ăng ten cần luôn hướng đến hướng của vệ tinh cần liên lạc. Trong quá trình chuyển động của tàu trên biển, tư thế của tàu luôn bị ảnh hưởng bởi các tác động như sóng, gió, ... do đó, góc đường ngắm của ăng ten luôn bị ảnh hưởng. Bài báo sẽ trình bày cách xác định các góc ăng ten khi bị tác động bởi các yếu tố bên ngoài như sóng, gió và khảo sát tốc độ góc của nó để làm cơ sở cho việc thiết kế chế tạo bộ ăng ten phục vụ cho bài toán bám sát vệ tinh. Bài báo mô phỏng đánh giá thuật toán và đưa ra tham số góc và tốc độ góc của bộ ăng ten trong điều kiện tư thế phương tiện thay đổi trong một phạm vi xác định.

Từ khóa: Góc đường ngắm; Động hình học; Hệ bám anten; Phương tiện cơ động.

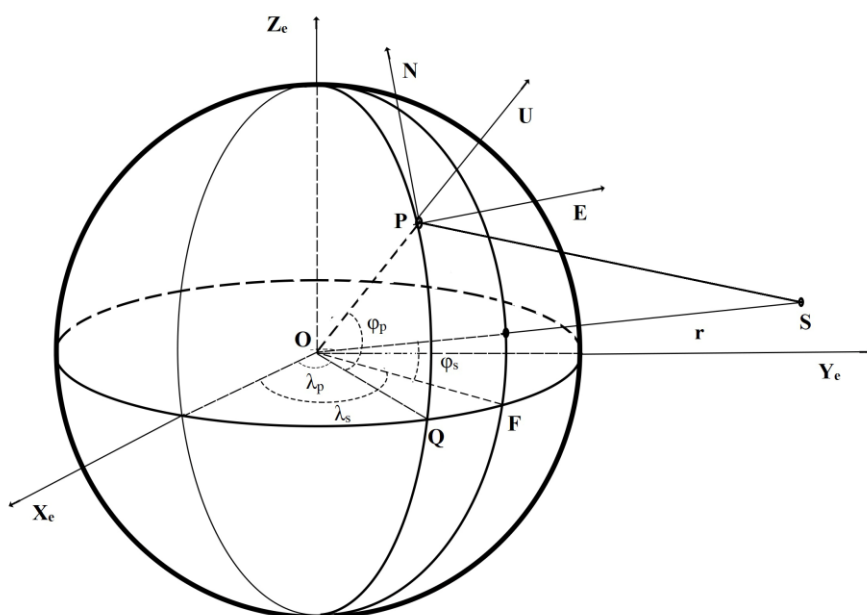
1. MỞ ĐẦU

Nhu cầu sử dụng các thiết bị thông tin truyền hình, phát thanh bằng tín hiệu vệ tinh tại nước ta là rất lớn, do đặc thù có bờ biển dài chạy dọc đất nước với nhiều cảng biển và có số lượng rất lớn các phương tiện tàu thuyền vận tải, đánh bắt thủy hải sản, cảnh sát biển, kiểm ngư, ... đang hoạt động trên biển. Các nghiên cứu về thiết kế, chế tạo hệ thống thu vệ tinh đặc biệt là ăng ten liên lạc vệ tinh di động ứng dụng trên các phương tiện tàu biển, tàu hỏa, ô tô, ... đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu và công bố trên các tạp chí khoa học kỹ thuật điển hình như các công trình [7-10]. Ở trong nước hiện tại đã có một số đơn vị nghiên cứu, trường đại học đã và đang nghiên cứu các giải pháp cho thông tin vệ tinh [1-3], các nghiên cứu tập trung vào giải pháp thu nhận, xử lý tín hiệu từ nhận về từ vệ tinh, xác định được góc đường ngắm cho ăng ten thu đặt cố định trên mặt đất. Chưa có nghiên cứu, đánh giá, khảo sát bộ ăng ten di động được đặt trên tàu biển.

Trong quá trình chuyển động của tàu trên biển, tư thế của tàu luôn bị ảnh hưởng bởi các tác động như sóng biển, gió, và sự thay đổi hướng của tàu, ... do đó, đường cân bằng tín hiệu của ăng ten luôn bị thay đổi. Vì vậy, để ăng ten luôn hướng tới vệ tinh chúng ta cần phải luôn luôn điều chỉnh góc tầm và góc phương vị của ăng ten sao cho đường cân bằng tín hiệu của nó luôn trùng với đường ngắm của ăng ten tới vệ tinh.

Bộ ăng ten liên lạc vệ tinh là một cơ hệ có thể bao gồm 2, 3 hoặc đến 4 bậc tự do [5, 6, 11]. Bài báo nghiên cứu về bộ ăng ten là một cơ hệ có 2 bậc tự do, có thể quay theo góc tầm và góc hướng và đồng thời giới hạn chỉ xem xét các tính toán, khảo sát cho ăng ten liên lạc với vệ tinh thông tin ở quỹ đạo địa tĩnh. Các cảm biến đặt trên bộ ăng ten bao gồm: 01 GPS để xác định vị trí của ăng ten, 01 IMU để xác định các góc nghiêng của sàn tàu nơi đặt ăng ten. Để thiết kế cho hệ truyền động bám ăng ten chúng ta cần phải xác định được các tham số góc của bộ ăng ten. Khi bộ ăng ten hoạt động cần phải cung cấp góc và vận tốc góc cho hệ bám thực hiện việc bám theo vệ tinh, mặt khác nó cũng là cơ sở để thiết kế, lựa chọn các phần tử cấu thành bộ ăng ten như tốc độ động cơ, tỉ số truyền của hộp số. Do đó, trong bài báo này sẽ trình bày phương pháp xác định các tham số góc làm cơ sở cho việc thiết kế chế tạo hệ truyền động bám ăng ten.

2. XÁC ĐỊNH GÓC VÀ TỐC ĐỘ GÓC ANTEN



Hình 1. Quan hệ vị trí của tàu biển và vệ tinh.

Trong bài báo sử dụng các hệ tọa độ để tính toán là hệ tọa độ địa tâm, hệ tọa độ tiếp tuyến, hệ tọa độ liên kết. Hệ tọa độ địa tâm là hệ tọa độ gốc O trùng với tâm trái đất, trục OX_e Có chiều dương quay về phía giao điểm của đường kinh tuyến gốc và đường xích đạo, trục OZ_e trùng với trục quay của trái đất và trục còn lại OY_e hướng về phía đông hợp với hai trục kia thành một tam diện thuận. Hệ tọa độ tiếp tuyến có gốc P đặt ở tâm bệ ăng ten, trục E là tiếp tuyến với đường vĩ tuyến về hướng đông, trục N tiếp tuyến với đường vĩ tuyến về hướng bắc, trục U trùng với đường thẳng đứng địa phương. Hệ tọa độ liên kết có gốc trùng với vị trí đặt tâm bệ ăng ăng ten P, trục PY_b nằm trên mặt phẳng sàn gắn ăng ten, chiều dương hướng lên mũi tàu, trục PX_b nằm trên mặt phẳng sàn gắn ăng ten chiều dương hướng sang phải, trục PZ_b hướng lên trên vuông góc với mặt phẳng PX_bY_b .

Bằng việc sử dụng cảm biến GPS đặt tại ăng ten chúng ta có thể xác định được tọa độ ăng ten. Giả sử ăng ten thu tín hiệu vệ tinh có vị trí là P ($\lambda_p, \varphi_p, R+h_p$) trong hệ tọa độ địa tâm. Trong đó, λ_p là kinh độ φ_p là vĩ độ, R là bán kính của trái đất, h_p độ cao của ăng ten thu P so với bề mặt trái đất tại một thời điểm xác định. Vị trí của vệ tinh cần liên lạc ta có thể biết trước. Hình 1 vệ tinh liên lạc S có vị trí trong tọa độ địa tâm là S(λ_s, φ_s, r) và λ_s là kinh độ, φ_s là vĩ độ, r là khoảng cách từ tâm trái đất đến vệ tinh S, h_s là độ cao của vệ tinh (khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt trái đất theo đường ngắn nhất), R là bán kính của trái đất.

Tọa độ véc tơ \overrightarrow{OP} trong hệ tọa độ địa tâm:

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R + h_p) \cos \lambda_p \cos \varphi_p \\ (R + h_p) \sin \lambda_p \cos \varphi_p \\ (R + h_p) \sin \varphi_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

Véc tơ \overrightarrow{OS} trong hệ tọa độ địa tâm:

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \lambda_s \cos \varphi_s \\ r \sin \lambda_s \cos \varphi_s \\ r \sin \varphi_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R + h_s) \cos \lambda_s \cos \varphi_s \\ (R + h_s) \sin \lambda_s \cos \varphi_s \\ (R + h_s) \sin \varphi_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

Véc tơ \overrightarrow{OS} trong hệ tọa độ địa tâm: $\overrightarrow{PS} = \overrightarrow{OS} - \overrightarrow{OP}$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R + hs) \cos \lambda_s \cos \varphi_s \\ (R + hs) \sin \lambda_s \cos \varphi_s \\ (R + hs) \sin \varphi_s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (R + hp) \cos \lambda_p \cos \varphi_p \\ (R + hp) \sin \lambda_p \cos \varphi_p \\ (R + hp) \sin \varphi_p \end{bmatrix} \quad (3)$$

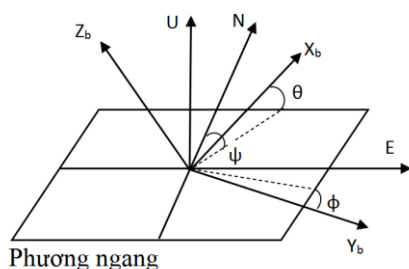
Theo [4], Ma trận C_N^E là ma trận chuyển từ hệ tọa độ tiếp tuyến sang hệ tọa độ địa tâm được xác định nhờ biểu thức:

$$C_N^E = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_p & -\sin \varphi_p \cos \lambda_p & \cos \varphi_p \cos \lambda_p \\ \cos \lambda_p & -\sin \varphi_p \sin \lambda_p & \cos \varphi_p \sin \lambda_p \\ 0 & \cos \varphi_p & \sin \varphi_p \end{bmatrix} \quad (4)$$

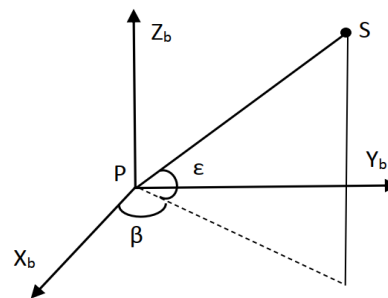
Do đó, tọa độ véc tơ \overrightarrow{PS} trong hệ tọa độ tiếp tuyến có thể xác định theo biểu thức:

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ U \end{bmatrix} = C_N^{E-1} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

Để trục anten hướng vào vệ tinh thì ta phải điều khiển sao cho đường ngắm anten – vệ tinh trùng với hướng của véc tơ \overrightarrow{PS} . Để thực hiện bài toán này trên tàu sử dụng hệ truyền động bám góc sử dụng hai động cơ để điều khiển các góc định hướng anten (góc β , α) so với hệ tọa độ liên kết gắn với tàu hình 2b.



Hình 2a. Hệ tọa độ liên kết và tiếp tuyến.



Hình 2b. Vệ tinh trong hệ tọa độ liên kết.

Tọa độ véc tơ \overrightarrow{PS} trong hệ tọa độ liên kết được tính theo biểu thức:

$$\begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = C_N^B * \begin{bmatrix} N \\ E \\ U \end{bmatrix} \quad (6)$$

Trong đó: $C_N^B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

Với ψ là các góc hướng hợp bởi hình chiếu của trục dọc phương tiên lên mặt phẳng nằm ngang với hướng bắc, θ là góc gập hợp bởi trục dọc phương tiên với hình chiếu của nó xuống mặt phẳng nằm ngang, góc ϕ là góc nghiêng hợp bởi trục nằm ngang và hình chiếu của nó xuống mặt phẳng nằm ngang thể hiện trong hình 2a. Việc đo các góc này có thể được thực hiện bằng la bàn và cảm biến đo độ nghiêng (Inclinometer Sensors).

Theo hình 2b tọa độ véc tơ \overrightarrow{PS} trong hệ tọa độ liên kết được có thể xác định bằng công thức:

$$\begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = PS * \begin{bmatrix} \cos \epsilon \cos \beta \\ \cos \epsilon \sin \beta \\ \sin \epsilon \end{bmatrix} \quad (7)$$

Do đó, các góc β , ϵ có thể được xác định như sau:

$$\beta = \begin{cases} \arctan \frac{y_b}{x_b}, & x_b > 0 \\ \arctan \frac{y_b}{x_b} + \pi, & y_b \geq 0, x_b < 0 \\ \arctan \frac{y_b}{x_b} - \pi, & y_b < 0, x_b < 0 \\ \frac{\pi}{2}, & y_b > 0, x_b = 0 \\ -\frac{\pi}{2}, & y_b < 0, x_b = 0 \\ \text{Không xác định} & x_b = 0, y_b = 0 \end{cases} \quad (8)$$

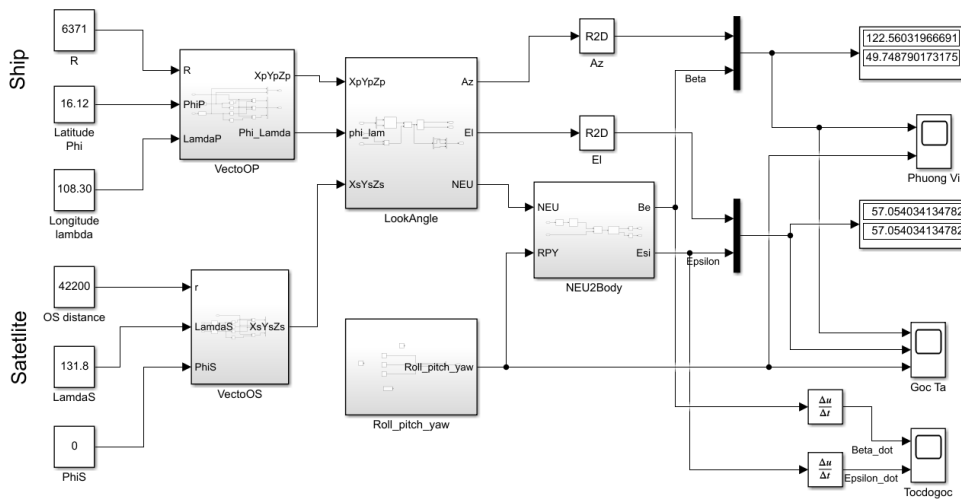
$$\varepsilon = \arctan \frac{Z_b}{\sqrt{X_b^2 + Y_b^2}} \quad (9)$$

Để thuận tiện cho việc tính toán và điều khiển, góc β sẽ được quy ước là luôn dương và nằm trong phạm vi $360^\circ \geq \beta \geq 0$. β sẽ được tính:

$$\beta = \begin{cases} \beta, & \beta \geq 0 \\ \beta + 2\pi, & \beta < 0 \end{cases} \quad (10)$$

Như vậy, để cho góc đài quan sát luôn luôn bám được theo vệ tinh cần liên lạc thì các góc trục của anten trong hệ tọa độ liên kết là β , ε và phải thay đổi theo công thức (8) (9) (10). Căn cứ vào việc tính toán được được góc phương vị và góc tầm của ăng ten, tốc độ góc của bộ ăng ten $\dot{\beta}$ và $\dot{\varepsilon}$ nhận được bằng cách lấy vi phân góc phương vị và góc tầm theo thời gian.

3. MÔ PHỎNG, TÍNH TOÁN



Hình 3. Chương trình mô phỏng kiểm tra kết quả tính toán.

Kết quả tính toán bài báo xây dựng chương trình mô phỏng trên Matlab – Simulink. Các khối mô phỏng bao gồm: khối tạo vị trí của anten, khối tạo giả vị trí của vệ tinh, khối tính toán các vec tơ $\vec{OP}, \vec{OS}, \vec{PS}$, khối chuyển đổi \vec{PS} sang hệ tọa độ tiếp tuyến, và khối chuyển đổi sang hệ tọa độ liên kết và tính toán các góc trục của anten, khối tạo giả tín hiệu tư thế của phương tiện roll(ϕ), pitch (θ) và yaw(ψ). Khối gồm các tham số vị trí của anten ($\lambda_p, \phi_p, R+h_p$). Bán kính trái đất là $R \approx 6371$ km. Do $h_p \ll R$ do vậy $OP = R+h_p \approx R$. Tọa độ của vệ tinh là (λ_s, ϕ_s, r) và khoảng cách từ tâm trái đất đến vệ tinh liên lạc là $r \approx 42200$ km.

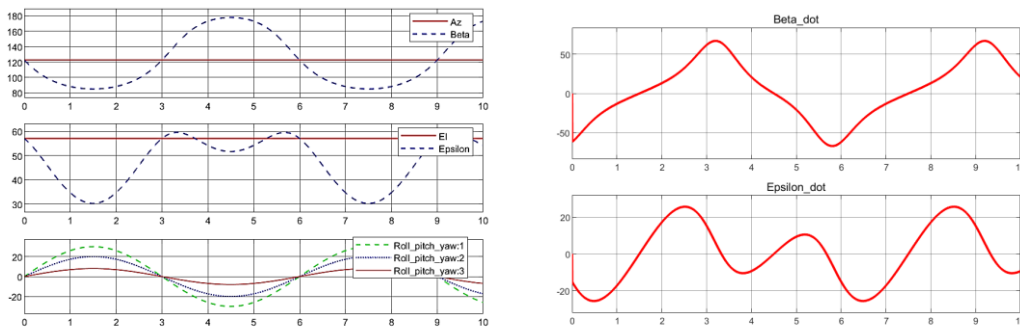
Để khảo sát sự phụ thuộc đường ngắm vào sự di chuyển ngang của phương tiện chúng ta sẽ so sánh góc đường ngắm của phương tiện tại 2 vị trí khác nhau và cùng ngắm vào một vệ tinh, ta sẽ cố định vị trí ban đầu của phương tiện và thay đổi vị trí lúc sau để đánh giá đường ngắm. Giả sử vị trí ban đầu của phương tiện là phương tiện: $\lambda_p = 16.1191^\circ$, $\varphi_p = 108.3360^\circ$ (Sơn Trà – Việt Nam): Vệ tinh thông tin (Vinasat 1): ở kinh độ $\lambda_s = 131.8^\circ$ đông, và vĩ độ $\varphi_s = 0.02^\circ$ với chu kỳ là 23,93 giờ. Góc phương vị và góc tầm của ăng ten tính toán được ở vị trí này là lần lượt là: 122.6022° và 57.0871° .

Bảng 1. Bảng so sánh góc đường ngắm ở các vị trí khác nhau.

STT	Vị trí lúc sau				Khoảng cách (m)	Sai lệch (độ)	
	Tọa độ		Góc phương vị (°)	Góc tầm (°)		Góc phương vị	Góc tầm
	Vĩ độ	Kinh độ					
1	16.1191	108.3364	122.6401	57.0883	4010	0.0379	0.0012
2	16.123	108.2123	122.4564	56.9707	13100	-0.1458	-0.1164
3	16.1195	108.337	122.6054	57.0886	23320	0.0032	0.0015

Để khảo sát đánh giá sự phụ thuộc của góc đường ngắm vào tư thế và hướng của phương tiện mang ta cố định vị trí của phương tiện và mô phỏng cho tư thế phương tiện thay đổi.

Theo số liệu của [5, 6] biên độ và tần số của các góc tư thế phương tiện mang thay đổi trong phạm vi: Roll: $\pm 30^\circ$ trong khoảng 6 s, Pitch: $\pm 20^\circ$ trong khoảng 6 s, Yaw: $\pm 8^\circ$ trong khoảng 6 s.



Hình 4. Góc và tốc độ góc đường ngắm ăng ten khi tư thế phương tiện thay đổi.

Từ kết quả bảng 1 và mô phỏng trong hình 4 nhận thấy: trong khoảng thời gian hữu hạn góc đường ngắm của ăng ten bị thay đổi rất ít theo các vị trí mà thay đổi theo góc tư thế phương tiện. Trong trường hợp khi tư thế phương tiện không thay đổi, góc ăng ten sẽ trùng với góc đường ngắm và tốc độ góc của ăng ten bằng không. Khi tư thế phương tiện thay đổi theo tần số và biên độ nhất định góc ăng ten chuyển động theo quy luật sao cho nó luôn giữ được đường cân bằng tín hiệu trùng với đường ngắm từ ăng ten đến vệ tinh, và khi đó tốc độ góc của ăng ten cũng luôn thay đổi, từ sự thay đổi đó chúng ta có thể xác định được tốc độ thay đổi góc lớn nhất của ăng ten để đưa ra yêu cầu thiết kế về tốc độ góc cho bộ ăng ten để ăng ten có thể luôn bám được vệ tinh trong suốt quá trình hoạt động.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra phương pháp tính toán các tham số chuyển động góc và tốc độ góc cho bộ ăng ten di động trong cho bài toán bám sát vệ tinh. Bằng kết quả tính toán của bài báo có thể tính toán xác định được các tham số yêu cầu đối với góc, tốc độ góc của bộ ăng ten để ăng ten có thể luôn bám sát được vệ tinh cần liên lạc khi vị trí và tư thế của phương tiện thay đổi trong phạm vi nhất định, làm cơ sở cho việc thiết kế, chế tạo, lựa chọn các phần tử kết cấu của bộ ăng ten di động đặt trên tàu biển. Bài báo mới xét đến việc tính toán đến động hình học của bộ ăng ten, chưa xét đến bài toán tính toán động lực học cho bộ ăng ten.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phan Anh. “Nghiên cứu, chế tạo phần tử thụ động, cấu kiện và anten siêu cao tần dùng công nghệ mạch dài”. Báo cáo đề tài mã số QC-03-01, (2005).
- [2]. Bạch Gia Dương. “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống phát, thu và xử lý tín hiệu dài rộng nhận biết chủ quyền quốc gia”. Báo cáo đề tài mã số KC.01.12/06-10, (2010).
- [3]. Phùng Văn Vận. “Nghiên cứu cấu trúc hệ thống viễn thông mặt đất để sử dụng hiệu quả vệ tinh VINASAT”. Báo cáo đề tài mã số KC.01.19, (2005).
- [4]. Salychev, O. “*Inertial System in Navigation and Geophysics*”. Moscow, (1998).
- [5]. EPAK GmbH. “*S6 Evo Catalog*”. Leizig, Germany, (2018).
- [6]. KNS Company. “*The new of standard of satellite communication*”. Daejeon, South Korea, (2018).
- [7]. Jinsoo Kim, MyeongKyun Kim, Oh Yang. “*Precise Attitude Control System Design for the Tracking of Parabolic Satellite Antenna*”. International Journal of Smart Home, Vol 7, No 5, pp. 275-290, (2013).
- [8]. Junlin Song, Haoquan Hu. “*L band low noise amplifier*”. International Conference on Computational Problem-Solving, (2012).
- [9]. Jium-Ming Lin, Po-Kuang Chang. “*Intelligent PD-Type Fuzzy Controller Design for Mobile Satellite Antenna Tracking System with Parameter Variations Effect*”. IEEE Symposium on Computational Intelligence in Control and Automation (CICA), (2011).
- [10]. Jium-Ming Lin, Po-Kuang Chang. “*Intelligent Ziegler-Nichols-Based Fuzzy Controller Design for Mobile Satellite Antenna Tracking System with Parameter Variations Effect*”. WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Vol. 11 (7), pp. 224-236, (2012).
- [11]. S. D. Ilcev, “*Shipborne Satellite Antenna Mount and Tracking Systems*,” International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Volume 6, (2012).

ABSTRACT

Calculation and survey of angular motion parameters of ship-mounted antennas in satellite tracking

To communicate with satellites, a system of antennas is required to transmit and receive signals to and from registered satellites. The transmission and reception of signals between the antenna and the satellite depends on many factors, such as transmit power, receiver sensitivity, and environment. To achieve the best signal level, the antenna must always be pointed toward the satellite it needs to communicate with. However, the attitude of a ship at sea is constantly affected by factors such as waves and wind, which can affect the antenna's line of sight. This paper presents a method for determining the antenna angles when affected by external factors such as waves and wind, and investigates its angular velocity to provide a basis for the design and manufacture of an antenna platform for satellite tracking. The paper simulates and evaluates the algorithm and presents the antenna platform's angle and angular velocity parameters under conditions where the vehicle's attitude changes within a defined range.

Keywords: Look angle; Marine antenna; Antenna pointing; Satellite tracking; Wave and wind effect; Antenna platform; Satellite communication.