

Giải pháp thiết lập nhanh kính ngắm TZK cải tiến tích hợp trong hệ thống điều khiển hỏa lực phòng không cơ động

Phạm Chí Thành, Lê Đức Anh, Vũ Quốc Huy*

Viện Tự động hóa Kỹ thuật quân sự, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự, 17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam.

*Tác giả liên hệ: maihuyvu@gmail.com

Nhận bài: 08/8/2024; Hoàn thiện: 08/11/2024; Chấp nhận đăng: 15/11/2024; Xuất bản: 06/12/2024.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2024.35-42>

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất giải pháp bổ sung cảm biến đo nghiêng và la bàn điện tử cho kính ngắm TZK, tích hợp vào hệ thu thập và xử lý dữ liệu của kính ngắm. Bài báo cũng đề xuất giải pháp mới, theo đó chỉ sử dụng góc nghiêng tại thời điểm thiết lập để đảm bảo an toàn dữ liệu. Việc xử lý dữ liệu góc nghiêng trực tuyến chỉ nhằm giám sát sự thay đổi tư thế, làm điều kiện thiết lập lại kính ngắm trong hệ tọa độ cố định mặt đất. Với giả thiết mục tiêu được gắn chặt vào điểm cuối của véc tơ đường ngắm, bằng hình học giải tích và các phép quay góc O-le, thuật toán thiết lập nhanh và thuật toán thiết lập lại được xây dựng. Góc mục tiêu trong hệ tọa độ cố định mặt đất được xác định, cung cấp đầu vào cho hệ thống điều khiển hỏa lực phòng không cơ động. Kết quả nghiên cứu được đảm bảo toán học chặt chẽ và mô phỏng trực quan trên Matlab.

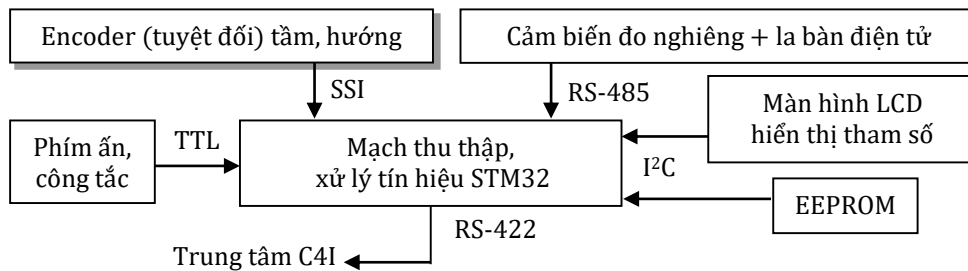
Từ khóa: Kính ngắm TZK cải tiến; Thuật toán thiết lập; Góc nghiêng; Góc O-le; Hệ tọa độ; Phòng không cơ động.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kính ngắm TZK là một loại kính chỉ huy được ra đời từ lâu, song hiện nay vẫn còn nhiều quốc gia tiếp tục nghiên cứu cải tiến và đưa vào trang bị trong các lực lượng vũ trang. Mục tiêu cải tiến ban đầu tập trung vào kính ngắm quang học nhằm nâng cao phạm vi quan sát và có thể quan sát được cả ngày và đêm. Cải tiến thêm một bước nữa, TZK được gắn các cảm biến đo góc trực quay, số hóa các thông số đo góc; bổ sung các phím, nút chức năng để tích hợp vào các hệ thống điều khiển hỏa lực phòng không C4I [1]. Kính chỉ huy TZK khi được tích hợp vào hệ thống C4I sẽ có khả năng dẫn sơ bộ hệ thống điều khiển bám phần tử bắn, thay thế cho đài quan sát quang điện tử [2, 3]. Thông qua hệ thống truyền thông, số liệu các góc tầm, góc hướng và kiểu loại tốp máy bay được đưa về màn hình hiển thị tại sở chỉ huy, giúp cho việc kiểm tra và đánh giá thường xuyên. Nghiên cứu khảo sát cho thấy các cải tiến trong [1, 2] mới đảm bảo về mặt số hóa và bổ sung chức năng kết nối dữ liệu vì kính ngắm vẫn cần phải cân chỉnh cân bằng trước khi đồng bộ với hệ thống điều khiển hỏa lực. Cảm biến đo góc trực quay đang sử dụng loại encoder tương đối nên cần phải tìm điểm zero (xung Z) khi thiết lập [3-5]. Vì vậy, yêu cầu thiết lập nhanh TZK để phục vụ tác chiến trong điều kiện cơ động chưa được giải quyết. Nếu phát triển được một thuật toán thiết lập nhanh cho kính ngắm thì sẽ không mất thời gian cân bằng, chỉ cần đặt TZK chắc chắn trên nền đất là có thể tác chiến. Một số nghiên cứu [3-5, 8] xác định góc mục tiêu bằng đài quan sát quang điện tử song chưa đặt vấn đề xây dựng thuật toán thiết lập nhanh. Vì có chức năng phát hiện và cung cấp phần tử bắn cho hệ C4I như đài quan sát quang điện tử nên TZK và hệ điều khiển bám phần tử bắn phải được thiết lập trong cùng một hệ tọa độ. Do vậy, cần thiết bổ sung thêm 1 cảm biến đo nghiêng 2 trục, 1 cảm biến đo góc hướng (la bàn điện tử), kết hợp với thuật toán thiết lập nhanh để giải quyết vấn đề trên. Tuy nhiên, trong [2, 5], vì sử dụng trực tiếp các góc nghiêng từ cảm biến nên khi dữ liệu có sự suy biến hoặc mất kết nối truyền thông sẽ dẫn đến sai số. Nghiên cứu này đề xuất một giải pháp mới, chỉ sử dụng cảm biến đo nghiêng ở thời điểm thiết lập, sau đó dữ liệu góc nghiêng được tự động tính toán theo vị trí của kênh hướng TZK nhằm nâng cao độ an toàn về dữ liệu cho hệ thống. Dữ liệu góc nghiêng đo lường trực tuyến chỉ được dùng vào việc giám sát tư thế của kính ngắm.

2. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP THỰC HIỆN PHẦN CỨNG

Nghiên cứu đề xuất lắp một cảm biến đo nghiêng 2 trục [6, 7] và một la bàn điện tử trên bộ quay khối hướng. Trên hình 1, TZK cải tiến sử dụng 02 encoder đo góc tuyệt đối để đo góc tầm ε và góc hướng β . Ngoài ra, 02 nút gạt và 01 nút bấm được sử dụng làm các nút chức năng; 01 màn hình LCD để hiển thị giá trị các tham số. So với hệ TZK đã được cải tiến trong [1, 2], nghiên cứu này đã sử dụng cảm biến đo nghiêng, la bàn điện tử và encoder tuyệt đối thay cho encoder tương đối, làm đơn giản hóa thao tác đồng bộ TZK với trung tâm chỉ huy. Thêm nữa, tùy điều kiện chiến đấu mà có thể chỉ cần trắc thủ số 1; không cần trắc thủ số 2 vì giá trị tham số mục tiêu đã được truyền về trung tâm chỉ huy nhờ đường truyền thông RS-422.

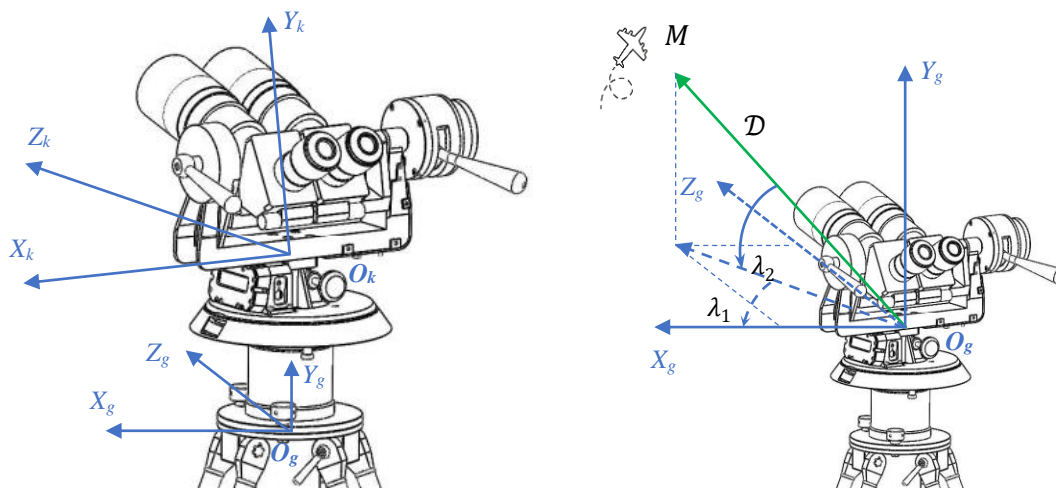


Hình 1. Sơ cấu trúc hệ thống thu thập, xử lý tín hiệu TZK cải tiến.

Do mạch thu thập xử lý tín hiệu cần phải tính toán các phương trình lượng giác phức tạp với phép tính số thực nên chúng tôi đề xuất chọn lựa dòng chip ARM Cortex-M4 STM32F407 của hãng STMicroelectronics. Cấu trúc kết nối bao gồm 01 đường truyền RS-485 để giao tiếp với cảm biến đo nghiêng [7] và la bàn điện tử, 02 đường SSI để giao tiếp và đọc giá trị của 02 encoder tầm và hướng, 01 đường truyền thông RS-422 giao tiếp giữa TZK và trung tâm chỉ huy, các giao thức I²C để kết nối với màn hình LCD và EEPROM.

3. THUẬT TOÁN THIẾT LẬP NHANH KÍNH NGẮM TZK CẢI TIẾN

3.1. Xác định các góc O-le của hệ tọa độ cố định mặt đất TZK từ các cảm biến



a) HTĐ cố định mặt đất và HTĐ để TZK. b) Góc mục tiêu trong HTĐ cố định mặt đất.

Hình 2. Gắn các hệ tọa độ cho cơ hệ kính ngắm TZK cải tiến.

Hệ tọa độ (HTĐ) cố định mặt đất TZK có tâm O_g là tâm của đế TZK, trục $O_g X_g$ hướng về phía tây, trục $O_g Z_g$ hướng về phía bắc, trục $O_g Y_g$ vuông góc với mặt phẳng $O_g X_g Z_g$ và cùng với trục $O_g X_g$ và $O_g Z_g$ tạo thành một tam diện thuận (hình 2a).

HTĐ để TZK có tâm O_k cũng là tâm quay của TZK, trục O_kX_k là trục ngang của đế TZK, trục O_kY_k hướng lên trên và vuông góc với mặt phẳng đế TZK, trục O_kZ_k vuông góc với mặt phẳng $O_kX_kZ_k$ và cùng với các trục O_kX_k và O_kY_k tạo thành một tam diện thuận. Để cho trực quan, hình 2a biểu diễn tách rời 2 HTĐ. Tuy nhiên, về bản chất, hai HTĐ này có cùng gốc tọa độ, có nghĩa là $O_k \equiv O_g$. HTĐ để TZK nhận được bằng cách quay HTĐ mặt đất TZK theo ba góc liên tiếp: Quay quanh trục O_gY_g một góc θ_1 được HTĐ thứ nhất $O_gX_1Y_1Z_1$; sau đó quay theo trục O_gZ_1 một góc θ_2 được HTĐ thứ hai $O_gX_2Y_2Z_2$; cuối cùng quay quanh trục O_gX_2 một góc θ_3 được hệ tọa độ thứ ba $O_kX_kY_kZ_k$. Ký hiệu: $\cos\theta_i = c\theta_i$; $\sin\theta_i = s\theta_i$ với $i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$. Các phép quay quanh các trục theo thứ tự trên được biểu diễn như biểu thức (1):

$$T_{\theta_1} = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & s\theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_1 & 0 & c\theta_1 \end{bmatrix}; T_{\theta_2} = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; T_{\theta_3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta_3 & -s\theta_3 \\ 0 & s\theta_3 & c\theta_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Như vậy, ma trận chuyển đổi từ HTĐ $\{O_g\}$ sang HTĐ $\{O_k\}$ được xác định như (2):

$$T_{g/k} = T_{\theta_3}T_{\theta_2}T_{\theta_1} \quad (2)$$

$$\text{Do đó: } T_{g/k} = \begin{bmatrix} c\theta_1c\theta_2 & s\theta_2 & -s\theta_1c\theta_2 \\ -c\theta_1s\theta_2c\theta_3 + s\theta_1s\theta_3 & c\theta_2c\theta_3 & s\theta_1s\theta_2c\theta_3 + c\theta_1s\theta_3 \\ c\theta_1s\theta_2s\theta_3 + s\theta_1c\theta_3 & -c\theta_2s\theta_3 & -s\theta_1s\theta_2s\theta_3 + c\theta_1c\theta_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Một điểm có tọa độ $[x_k, y_k, z_k]^T$ nằm trong HTĐ $O_kX_kY_kZ_k$ sẽ có tọa độ $[x_o, y_o, z_o]^T$ trong HTĐ $O_gX_gY_gZ_g$ và được xác định như (4):

$$[x_o \ y_o \ z_o]^T = T_{g/k}^{-1}[x_k \ y_k \ z_k]^T \quad (4)$$

$$\text{Với: } T_{g/k}^{-1} = \begin{bmatrix} c\theta_1c\theta_2 & -c\theta_1s\theta_2c\theta_3 + s\theta_1s\theta_3 & c\theta_1s\theta_2s\theta_3 + s\theta_1c\theta_3 \\ s\theta_2 & c\theta_2c\theta_3 & -c\theta_2s\theta_3 \\ -s\theta_1c\theta_2 & s\theta_1s\theta_2c\theta_3 + c\theta_1s\theta_3 & -s\theta_1s\theta_2s\theta_3 + c\theta_1c\theta_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Lấy điểm A_{x_k} là điểm cuối của véc tơ đơn vị nằm trên trục O_kX_k thì tọa độ của A_{x_k} sẽ là $[1, 0, 0]^T$. Khi đó, tọa độ hình chiếu của nó lên các trục O_gX_g, O_gY_g, O_gZ_g lần lượt là:

$$x_{o_1} = c\theta_1c\theta_2; \ y_{o_1} = s\theta_2; \ z_{o_1} = -s\theta_1c\theta_2 \quad (6)$$

Góc tạo bởi hình chiếu của $O_kA_{x_k}$ lên mặt phẳng $O_gX_gZ_g$ và trục O_gX_g là góc hướng ξ của trục O_kX_k . Góc ξ được xác định bằng chỉ số của la bàn điện tử và được tính toán như sau:

$$\xi = \arctg(z_{o_1}/x_{o_1}) = \arctg(-s\theta_1/c\theta_1) \Rightarrow \theta_1 = -\xi \quad (7)$$

Như vậy, góc chỉ phương của la bàn ξ chính là góc $-\theta_1$

Góc của đường O_kX_k với mặt phẳng $O_gX_gZ_g$ chính là góc nghiêng φ_x theo trục O_kX_k của đế TZK và được xác định như sau:

$$\varphi_x = \arcsin\left(y_o/\sqrt{x_{o_1}^2 + y_{o_1}^2 + z_{o_1}^2}\right) = \arcsin(y_{o_1}) \Rightarrow \theta_2 = \varphi_x \quad (8)$$

Như vậy, góc của sensor đo nghiêng φ_x gắn trên trục O_kX_k chính là góc θ_2 .

Để xác định góc θ_3 , lấy điểm A_{z_k} là điểm cuối của véc tơ đơn vị nằm trên trục O_kZ_k có tọa độ là $[0, 0, 1]^T$. Khi đó, tọa độ $[x_{o_3}, y_{o_3}, z_{o_3}]^T$ của nó trong HTĐ $O_gX_gY_gZ_g$ là:

$$x_{o_3} = c\theta_1s\theta_2s\theta_3 + s\theta_1c\theta_3; \ y_{o_3} = -c\theta_2s\theta_3; \ z_{o_3} = -s\theta_1s\theta_2s\theta_3 + c\theta_1c\theta_3 \quad (9)$$

Góc giữa trục O_kZ_k với mặt phẳng $O_gX_gZ_g$ chính là góc nghiêng φ_z theo trục O_kZ_k của đế TZK và được xác định như sau:

$$\varphi_z = \arcsin\left(y_{o_3}/\sqrt{x_{o_3}^2 + y_{o_3}^2 + z_{o_3}^2}\right) = \arcsin(-c\theta_2s\theta_3) \quad (10)$$

Từ (9) xác định góc θ_3 như (11):

$$\sin\theta_3 = -\frac{\sin\varphi_z}{\cos\theta_2} = -\frac{\sin\varphi_z}{\cos\varphi_x} \Rightarrow \theta_3 = -\arcsin\left(\frac{\sin\varphi_z}{\cos\varphi_x}\right) \quad (11)$$

Ở đây, θ_3 là góc O-le thứ ba, phụ thuộc vào góc nghiêng đo được theo trục O_kX_k và theo trục O_kZ_k . Các công thức (7), (8) và (11) dùng để xác định các góc O-le giữa HTĐ cố định mặt đất $O_gX_gY_gZ_g$ với HTĐ đế của kính ngắm $O_kX_kY_kZ_k$. Góc O-le của HTĐ đế TZK là cơ sở để xác định các giá trị góc phương vị và góc tà của mục tiêu trong HTĐ cố định mặt đất.

3.2. Xác định các góc mục tiêu

a) *Xác định góc mục tiêu bằng phép biến đổi góc quay O-le*

Sau khi xác định các góc O-le của hệ tọa độ cố định mặt đất TZK từ các cảm biến (mục 3.1), theo [3, 5] ta tính được góc mục tiêu như (12), (13)-(15):

$$\lambda_1 = \begin{cases} \arctg(r_{22}/r_{12}): r_{12} \neq 0 \\ \pi/2: r_{12} = 0, r_{22} < 0; \\ -\pi/2: r_{12} = 0, r_{22} > 0 \end{cases} \quad \lambda_2 = \arcsin(r_{32}) \quad (12)$$

$$\text{Với: } r_{12} = -c_2c_3s_4c_5 + (s_1s_2c_3 - c_1s_3)c_4c_5 \quad (13)$$

$$r_{22} = -c_2s_3s_4c_5 + (s_1s_2s_3 + c_1c_3)c_4c_5 + (c_1s_2s_3 - s_1c_3)s_5 \quad (14)$$

$$r_{32} = s_2s_4c_5 + s_1c_2c_4c_5 + c_1c_2s_5 \quad (15)$$

b) *Giải pháp mới đảm bảo an toàn dữ liệu*

Với các góc O-le xác định theo (7), (8), (11) và các góc trục quay β, ε nhận được từ cảm biến đo góc encoder, góc mục tiêu trong HTĐ cố định mặt đất hoàn toàn xác định được theo (12), (13)-(15). Tuy nhiên, việc đưa trực tiếp dữ liệu thu nhận từ cảm biến góc nghiêng vào hệ thống tính toán gặp phải một số hạn chế. Những hạn chế đó liên quan đến sai số tính toán do độ chính xác của cảm biến hoặc hiện tượng mất dữ liệu do đường truyền hay đáp ứng của dữ liệu chậm trễ về so với chu kỳ lấy mẫu. Vì vậy, ở đây chúng tôi đề xuất một giải pháp mới, chỉ sử dụng giá trị đo góc nghiêng ở thời điểm thiết lập, sau đó góc nghiêng từ cảm biến được sử dụng để giám sát tư thế của TZK mà không phải sử dụng để tính toán góc mục tiêu trong hệ tọa độ cố định mặt đất.

Tại thời điểm thiết lập coi vị trí kênh hướng $\beta = \beta_0$, đặt $\varphi_{xTL} = \varphi_x, \varphi_{zTL} = \varphi_z$. Ta tính được các góc nghiêng tính toán $\varphi_{ztt}, \varphi_{xtt}$ như sau:

$$\sin\varphi_{ztt} = \sin\varphi_{zTL}\cos(\beta - \beta_0) - \sin\varphi_{xTL}\sin(\beta - \beta_0) \quad (16)$$

$$\sin\varphi_{xtt} = \sin\varphi_{zTL}\sin(\beta - \beta_0) + \sin\varphi_{xTL}\cos(\beta - \beta_0) \quad (17)$$

Thực tế, vì các góc nghiêng nhỏ (dưới 10 độ) nên có thể tính gần đúng $\varphi_{xtt}, \varphi_{ztt}$ như sau:

$$\varphi_{ztt} = \varphi_{zTL}\cos(\beta - \beta_0) - \varphi_{xTL}\sin(\beta - \beta_0) \quad (18)$$

$$\varphi_{xtt} = \varphi_{zTL}\sin(\beta - \beta_0) + \varphi_{xTL}\cos(\beta - \beta_0) \quad (19)$$

Công thức (18), (19) cho thấy tại từng vị trí góc phương vị khác nhau, góc nghiêng tính toán theo các trục O_kX_k và O_kZ_k phụ thuộc vào góc nghiêng thiết lập ban đầu. Các góc nghiêng tính toán (18), (19) sẽ được sử dụng để xác định tham số góc mục tiêu.

c) *Thuật toán thiết lập lại*

Vì chỉ sử dụng góc nghiêng ở thời điểm thiết lập ban đầu nên trong quá trình hoạt động, nếu TZK thay đổi độ nghiêng lớn hơn giới hạn cho phép thì cần phải xác định lại góc thiết lập của nó. Gọi giới hạn thay đổi góc nghiêng bệ cho phép là σ . Ký hiệu sự thay đổi góc nghiêng dọc là σ_z , sự thay đổi góc nghiêng ngang là σ_x .

$$\sigma_x = |\varphi_{xtt} - \varphi_x|; \sigma_z = |\varphi_{ztt} - \varphi_z| \quad (20)$$

Khi $\sigma_x > \sigma$ hoặc $\sigma_z > \sigma$ có nghĩa bệ TZK đã bị thay đổi độ nghiêng vượt quá sự thay đổi cho

phép so với vị trí đã được thiết lập trước đó. Góc nghiêng thiết lập cần phải được tính lại. Các tính toán góc sau đó sẽ dựa trên góc thiết lập mới (21), (22).

$$\varphi_{zTL} = \varphi_z \cos\beta + \varphi_x \sin\beta \quad (21)$$

$$\varphi_{xTL} = \varphi_x \cos\beta - \varphi_z \sin\beta \quad (22)$$

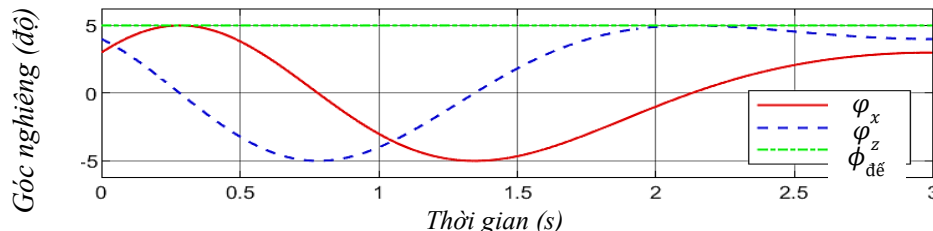
Các bước tính toán thiết lập nhanh:

- Bước 1: Đặt TZK ở vị trí chắc chắn, quay TZK về vị trí có góc phương vị β_0 .
- Bước 2: Thiết lập TZK theo (21), (22).
- Bước 3: Góc nghiêng tính toán được tính theo công thức (18), (19).
- Bước 4: Góc O-le được tính theo các công thức (7), (8) và (11).
- Bước 5: Góc mục tiêu quan sát được tính theo (12), (13)-(15).
- Bước 6: Ở mỗi vị trí phương vị, so sánh góc nghiêng tính toán với góc nghiêng đọc về từ cảm biến. Nếu sai lệch góc nghiêng vượt quá giới hạn cho phép thì cần thiết lập lại TZK theo bước 2.

4. MÔ PHỎNG VÀ BÀN LUẬN

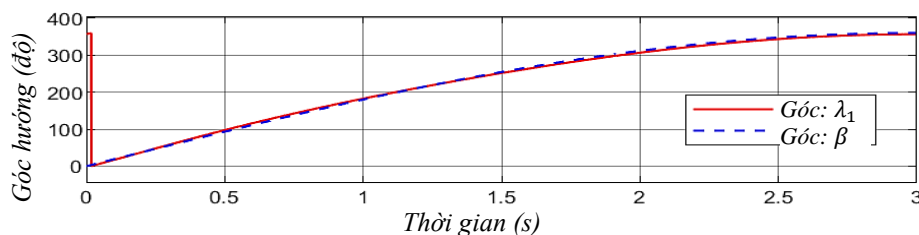
Giả sử quay một vòng kính ngắm với tốc độ 60^o/s ở góc tầm 45^o không đổi. Như vậy, thời gian quay một vòng khối hướng hết 3 giây. Về mặt hình học, ở góc tầm 45^o, sự biến thiên của góc hướng là lớn nhất. Mô phỏng được thực hiện với 2 trường hợp góc nghiêng bệ lớn hơn 5^o và góc nghiêng bệ nhỏ hơn 5^o. Các ký hiệu sau được sử dụng trong biểu diễn kết quả mô phỏng: $\varphi_{đế}$ là góc nghiêng của đế TZK; φ_x, φ_z là góc nghiêng của trục OX, OZ từ cảm biến đo nghiêng 2 trục; λ_1, λ_2 là góc của mục tiêu trong hệ tọa độ cố định mặt đất (đã được bù nghiêng); β, ε là góc trục quay các trục hướng, trục tầm của TZK.

4.1. Mô phỏng khi góc nghiêng của đế TZK nhỏ hơn 5^o: Trường hợp 1



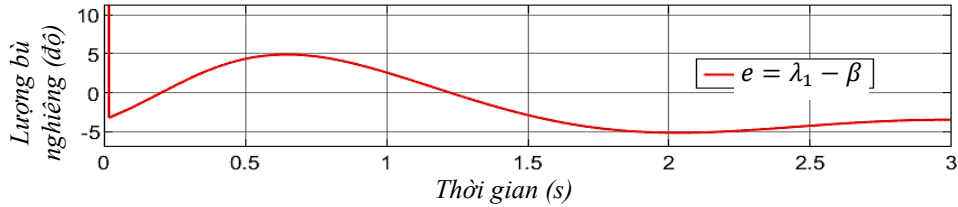
Hình 3. Góc nghiêng đế TZK và góc nghiêng trục ở trường hợp 1.

Kết quả mô phỏng trong trường hợp góc nghiêng đế TZK nhỏ hơn 5^o được thể hiện trên các hình từ hình 3 đến hình 6. Hình 3 biểu diễn góc nghiêng của đế TZK ở góc 5^o, là tổng trung bình bình phương của các góc nghiêng trục OX và OZ. Khi $|\varphi_x|$ lớn nhất thì φ_z bằng 0, và ngược lại. Bộ phương vị quay 1 vòng thì góc nghiêng của bộ phương vị không thay đổi, chỉ có góc nghiêng của các trục thay đổi, song không vượt quá góc nghiêng của đế TZK. Hình 4 thể hiện góc trục quay khối hướng và góc hướng đã được bù độ nghiêng bệ. Tín hiệu góc sau bù nghiêng là tín hiệu tròn. Trên hình 5, lượng góc bù nghiêng khối hướng nhiều nhất đúng bằng góc nghiêng bệ ở thời điểm khối phương vị quay đến vị trí $|\varphi_z|$ lớn nhất và $\varphi_x = 0$.

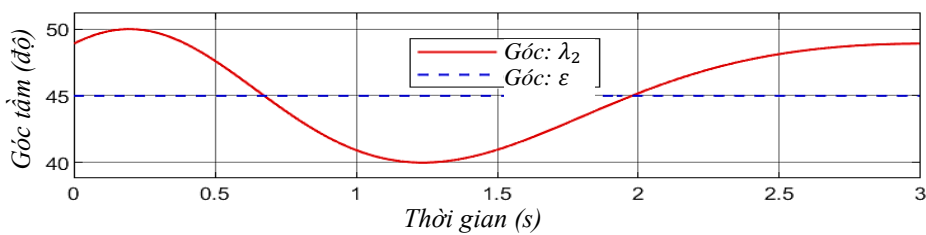


Hình 4. Góc trục hướng TZK và góc bù nghiêng kênh hướng ở trường hợp 1.

Hình 6 biểu diễn sự thay đổi của góc tầm được bù nghiêng trong phạm vi $\pm 5^{\circ}$. Kết quả mô phỏng cho thấy ở thời điểm góc hướng cần bù độ nghiêng nhiều nhất thì góc tầm không cần phải bù nghiêng. Tín hiệu góc tầm bù nghiêng cũng có đặc tính trơn.

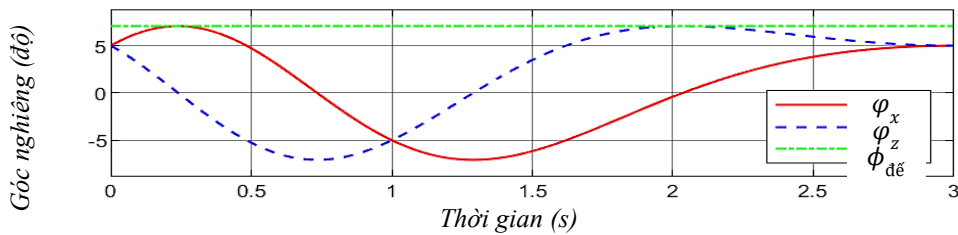


Hình 5. Lượng bù góc nghiêng kênh hướng ở trường hợp 1.

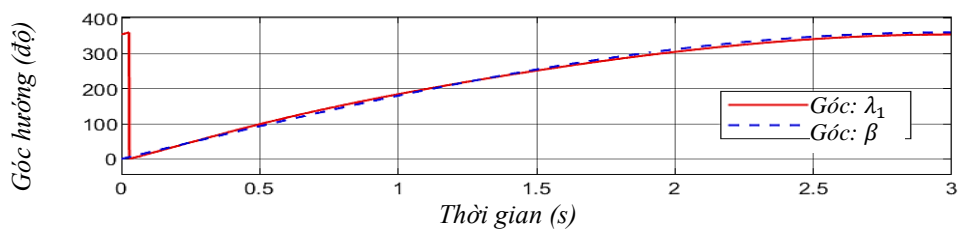


Hình 6. Góc trục tầm TZK và góc bù nghiêng kênh tầm ở trường hợp 1.

4.2. Mô phỏng khi góc nghiêng của đế TZK lớn hơn 5° : Trường hợp 2

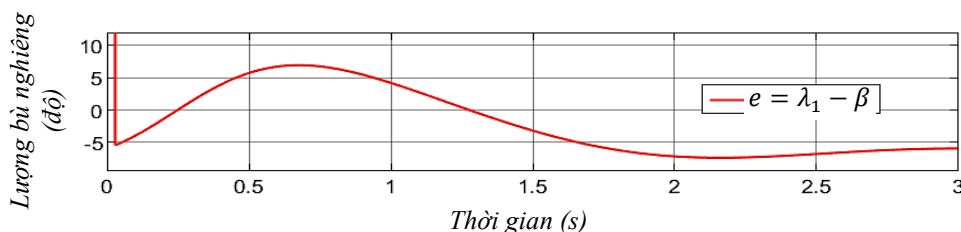


Hình 7. Góc nghiêng đế TZK và góc nghiêng trục ở trường hợp 2.

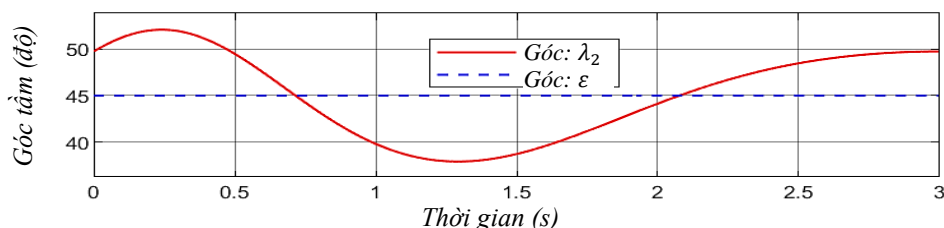


Hình 8. Góc trục hướng TZK và góc bù nghiêng kênh hướng ở trường hợp 2.

Kết quả mô phỏng với trường hợp góc nghiêng đế TZK lớn hơn 5° được thể hiện trên các hình từ hình 7 đến hình 10. Hình 7 biểu diễn góc nghiêng của đế TZK ở góc $7,07^{\circ}$. Tương tự như trường hợp 1, khi $|\varphi_x|$ lớn nhất thì φ_z bằng 0, và ngược lại. Góc nghiêng của các trục thay đổi, song không vượt quá góc nghiêng $7,07^{\circ}$ của đế TZK. Hình 8 và hình 9 biểu diễn sự thay đổi của góc trục hướng và góc hướng đã được bù nghiêng với dạng tín hiệu trơn. Lượng bù góc nghiêng kênh hướng ở trường hợp 2 (hình 9) không vượt quá độ nghiêng lớn nhất ($7,07^{\circ}$). Lượng bù góc hướng lớn nhất khi góc nghiêng trục OX lớn nhất và trục OZ không nghiêng. Ở thời điểm đó, góc tầm không cần bù độ nghiêng. Tín hiệu góc tầm sau bù nghiêng cũng có đặc tính trơn (hình 10).



Hình 9. Lượng bù góc nghiêng kênh hướng ở trường hợp 2.



Hình 10. Góc trục tâm TZK và góc bù nghiêng kênh tâm ở trường hợp 2.

Nhận xét chung: Vì kênh hướng luôn quay tròn do đó kính ngắm TZK không bị giới hạn về hành trình nếu có bị ảnh hưởng bởi độ nghiêng của đế. Tuy nhiên, đối với kênh tâm, vì được thiết kế chuyển động trong phạm vi -5° đến $+87^{\circ}$ nên ở những vị trí tâm quá cao hoặc quá thấp, tín hiệu góc tâm bù nghiêng cung cấp cho hệ điều khiển hỏa lực sẽ vượt ra ngoài phạm vi chuyển động cho phép của cơ hệ điều khiển hỏa lực. Tuy nhiên, những trường hợp này sẽ không xảy ra nếu ta đặt điều kiện giới hạn chuyển động cho vùng điều khiển hỏa lực.

5. KẾT LUẬN

Giải pháp bổ sung các sensor đo hướng và đo góc nghiêng cho đế TZK, cùng với việc xem xét các chuyển động của các khối trong cơ hệ TZK là các phép quay O-le quanh một trục của các hệ tọa độ trục giao, thuật toán thiết lập nhanh cho TZK đã được xây dựng. Từ đó, thuật toán xác định góc mục tiêu quan sát bằng kính ngắm TZK trong hệ tọa độ mặt đất cũng được thực hiện. Kết quả này cho phép triển khai hệ thống điều khiển hỏa lực phòng không cơ động một cách nhanh chóng, có thể bỏ qua khâu lấy thăng bằng cho TZK. Giải pháp sử dụng góc nghiêng ở thời điểm thiết lập đảm bảo độ chính xác tính toán tham số góc mục tiêu và độ an toàn dữ liệu được tốt hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Viện Tự động hóa KTQS, “Đại đội PPK 37^{mm} - 2N tác chiến ngày và đêm”, Tài liệu kỹ thuật tổng hợp, Hà Nội, (2005).
- [2]. Trần Ngọc Bình và cộng sự, “Nghiên cứu nâng cao khả năng cơ động cho đại đội pháo phòng không 37mm-2N phục vụ bắn trong hành quân”, Báo cáo tổng hợp, Đề tài Nhà nước, (2018).
- [3]. Vũ Quốc Huy, Trần Ngọc Bình, Đỗ Quảng Đại, “Thuật toán tính góc trục và góc bộ thiết lập cho đài quan sát phòng không cơ động”, TC. NC KH-CN quân sự, Đặc san KH-CNQS, tr. 217-224, (2015).
- [4]. Trần Ngọc Bình, Nguyễn Vũ, “Thuật toán xử lý số liệu phục vụ tích hợp hệ thống điều khiển hỏa lực cho cPPK 37mm-2N bắn trong hành quân”. Tạp chí Nghiên cứu KH-CN QS, Số 31, tr. 100-103, (2014).
- [5]. Vũ Quốc Huy, “Thuật toán xác định góc đường ngắm của đài quan sát cơ động trong hệ tọa độ chuẩn”, Tạp chí Nghiên cứu KH-CN QS, Số đặc san FEE, tr. 144-151, (2019).
- [6]. B. Andrei Battistel, Fernando Lizarralde, and Liu Hsu, “Inertially stabilized platforms using dual-axis gyros: sensitivity analysis to unmodeled motion and an extension to visual tracking”, American Control Conference, (2012).
- [7]. https://www.rion-tech.net/en/list_30.
- [8]. <https://www.qdnd.vn/phong-su-anh/dam-me-sang-tao-cai-tien-ky-thuat-484407>

ABSTRACT

Solution for quick setup of improved TZK viewfinder integrated into mobile anti-aircraft fire control system

The paper proposes a solution of supplementing tilt sensors and an electronic compass to the TZK viewfinder, integrated into the viewfinder's data collection and processing system. The paper also proposes a new solution, which only uses the tilt angle at the time of setting up to ensure data security. Online tilt angle data processing is only intended to monitor attitude changes, to make a condition for resetting the viewfinder in the ground-fixed coordinate system. Assuming the target is attached to the endpoint of the line of sight vector, using geometry and Euler rotations, a quick setup algorithm and a reset algorithm are built. The target angle in the ground-fixed coordinate system is determined, providing input to the mobile anti-aircraft fire control system. The research results are mathematically rigorous and visually simulated in Matlab.

Từ khoá: Improved TZK viewfinder; Setup algorithm; Tilt angle; Euler angle; Coordinate system; Mobile anti-aircraft.