

Ứng dụng con quay vi cơ vào tính toán, tổng hợp bộ điều khiển ổn định tầm, hướng cho mô hình nòng pháo

Gyro application in the calculation and synthesis of controllers, stabilizing altitude, direction the cannon model

Nguyễn Mạnh Cường*, Nguyễn Anh Văn

Học viện Kỹ thuật Quân sự

**Email: nguyencuongcdt42@gmail.com*

Mobile: 0975181112

Tóm tắt

Từ khóa:

Con quay vi cơ; Hệ ổn định tầm hướng; Điều khiển robot; Giảm rung.

Mục tiêu hướng tới việc nghiên cứu, phát triển các hệ thống chiến đấu linh hoạt, nhóm tác giả đã tiến hành các nghiên cứu khởi đầu với ý tưởng ứng dụng con quay vi cơ vào việc tính toán, tổng hợp bộ điều khiển ổn định cho mô hình nòng pháo (hoặc ống phóng tên lửa) đặt trên bệ đỡ hoặc thân xe di chuyển qua các địa hình phức tạp. Phương pháp nghiên cứu của nhóm là nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm trên mô hình thiết kế. Sử dụng tín hiệu nhận được từ con quay vi cơ (được gắn trên bệ đỡ hoặc thân xe), tác giả tiến hành tính toán sai số góc cần bù cho góc tầm và góc hướng của mô hình nòng pháo. Tiếp theo, với sai số góc cần bù tác giả thực hiện tổng hợp bộ điều khiển góc tầm và góc hướng cho mô hình. Sau đó, nhóm tiến hành thực nghiệm trên mô hình thiết kế và đánh giá khả năng đáp ứng của hệ thống trong các điều kiện di chuyển khác nhau.

Abstract

Keywords:

Gyro; Stable system wafer and direction; Robot control; Vibration reduction.

With the aim of developing flexible combat systems, the team has started researching with the idea of gyro application in the calculation and synthesis of controllers, stabilizing the cannon (or rocket launching pad) model, while the bearer or bodywork must travel through complex terrains. The research method is studying the theory in combination with experiment on the conception model. Used the signal received from the gyro (mounted on the bearer or bodywork), the team has calculated the error compensation angle for the angle of altitude and direction angle of the conception model. Next, with the error compensation angle, the author implements the angle of altitude and direction angle control design for the model. Then, the team conducts experiments on the designed model and assesses the system's responsiveness in various traveling conditions.

Ngày nhận bài: 05/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 14/9/2018

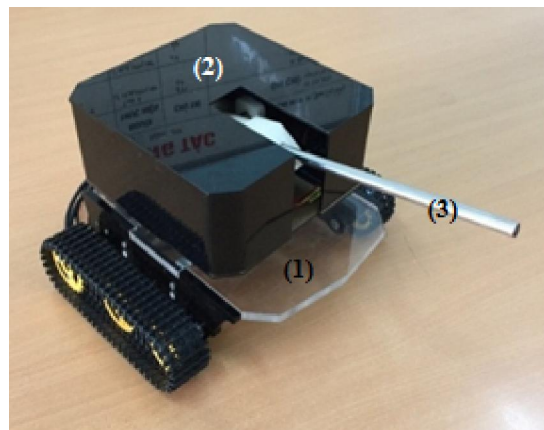
Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay trong quân sự, với mục đích tăng cường khả năng chiến đấu và giảm thiểu thương vong cho người và phương tiện, các nước trên thế giới đang đi sâu nghiên cứu chế tạo các phương tiện chiến đấu thông minh có khả năng tác chiến trong các điều kiện phức tạp. Một trong những hướng nghiên cứu đó là việc thiết kế các hệ ổn định cho ống phóng tên lửa tầm thấp, nòng pháo trên xe tăng, bộ pháo tàu trên các tàu chiến đấu,... giúp cho các phương tiện chiến đấu có khả năng tác chiến một cách linh hoạt và chính xác trên chiến trường. Với mục tiêu hướng tới việc nghiên cứu, phát triển các hệ thống chiến đấu linh hoạt, nhóm tác giả đã tiến hành các nghiên cứu khởi đầu với ý tưởng là ứng dụng con quay vi cơ vào việc tính toán, tổng hợp bộ điều khiển ổn định mô hình nòng pháo (hoặc ống phóng tên lửa), trong khi bộ đỡ hoặc thân xe phải di chuyển qua các địa hình phức tạp.

Bài toán cụ thể mà nhóm tác giả nghiên cứu là ứng dụng một con quay vi cơ được gắn thân xe để đo góc nghiêng của thân xe trong quá trình chuyển động. Mô hình nòng pháo (ống phóng) được gắn trên một bộ đỡ 2 bậc tự do có thể điều khiển góc tầm và góc hướng bằng 2 động cơ RC Servo. Trong quá trình di chuyển góc nghiêng của thân xe thay đổi sẽ được con quay vi cơ đo đạc và đưa vào bộ điều khiển. Chương trình điều khiển sẽ tính toán các góc lệch cần bù và gửi tín hiệu điều khiển tới mạch công suất để điều khiển 2 động cơ RC Servo thay đổi các góc tầm và hướng của mô hình nòng pháo bảo đảm cho nòng pháo luôn ổn định theo hướng mong muốn.

Trên hình 1 chính là mô hình robot mà nhóm tác giả đã xây dựng dùng để thực nghiệm thuật toán ổn định hướng nòng pháo trong quá trình chuyển động của thân xe. Mô hình được tạo thành từ 3 cụm chính: (1) - Cụm thân xe; (2) - Cụm ổn định; (3) - Mô hình nòng pháo. Cụm thân xe có nhiệm vụ nâng đỡ toàn bộ xe trong quá trình di chuyển, cụm ổn định có nhiệm vụ ổn định hướng cho nòng súng thông qua việc thay đổi góc tầm và góc hướng.



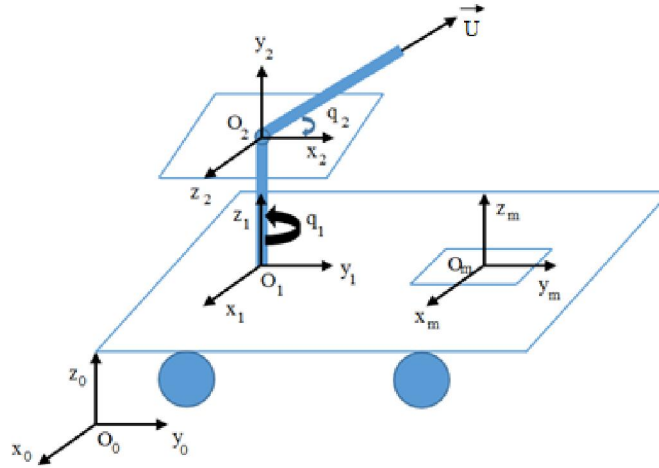
Hình 1. Mô hình nòng pháo gắn trên thân xe

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC GÓC LỆCH VÀ THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN

2.1. Giải pháp xác định góc lệch của nòng súng

Mô hình thiết kế hệ nòng pháo thân xe được gắn kết bởi phần thân đế (trên đó có gắn con quay vi cơ để đo vận tốc góc nghiêng của thân xe) và phần ổn định tầm hướng nòng pháo được xác định bởi các góc hướng q_1 và góc tầm q_2 (được điều khiển bởi 2 động cơ RC Servo). Dựa vào mô hình thiết kế ta thiết lập các hệ tọa độ như trong hình 2.

Hệ trục tọa độ cố định $R_0 = O_0X_0Y_0Z_0$; Hệ trục tọa độ của cảm biến MEMS (MPU6050) $R_m = O_mX_mY_mZ_m$ được gắn trên thân xe cho phép ta đo 3 góc quay quanh 3 trục X_m, Y_m, Z_m (3 góc Cardan) của thân xe trong quá trình di chuyển. Hệ tọa độ $R_1 = O_1X_1Y_1Z_1$ cũng gắn với thân xe tại vị trí tiếp xúc với trục quay của cơ cấu điều khiển hướng của hệ giá đỡ nòng pháo. Hệ tọa độ $R_1 = O_1X_1Y_1Z_1$ được bố trí sao cho $Z_m // Z_1, X_m // X_1, Y_m // Y_1$. Hệ tọa độ $R_2 = O_2X_2Y_2Z_2$ được bố trí trên khâu điều hướng của hệ giá đỡ nòng pháo.



Hình 2. Hệ tọa độ khâu khớp của mô hình nòng pháo thân xe

Trong giới hạn của vấn đề nghiên cứu, nhóm tác giả bước đầu nghiên cứu việc ổn định hướng cho mô hình nòng pháo (hướng của vectơ U), bài toán ổn định vị trí chúng ta không xét tới (vì trong thực tế các phương tiện chiến đấu luôn luôn di chuyển, bài toán đặt ra là cần ổn định về hướng bắn cho bộ phận dẫn đạn). Vậy nên, để đơn giản hơn trong quá trình tính toán ta có thể coi thân xe với mặt đường được liên kết với nhau bởi một khớp cầu 3 bậc tự do với 3 góc quay Cardan được xác định bởi cảm biến vi cơ MPU6050.

Vectơ đại số U được xác định trong hệ tọa độ tương đối R_2 :

$${}^2U = [\cos(q_2) \sin(q_2) 0]^T = [Cq_2 Sq_2 0]^T \quad (1)$$

Ma trận côsin chỉ hướng 1A_2 (ma trận quay cơ bản quanh trục Z với góc q_1) giữa hệ quy chiếu R_1 và R_2 :

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos(q_1) & -\sin(q_1) & 0 \\ \sin(q_1) & \cos(q_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cq_1 & -Sq_1 & 0 \\ Sq_1 & Cq_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Các góc quay quanh 3 trục (3 góc Cardan) được xác định thông qua giá trị của con quay vi cơ MPU6050 đưa về. Vì vậy, mối quan hệ về hướng giữa hệ tọa độ cố định R_0 với hệ tọa độ R_1 được xác định bởi ma trận côsin chỉ hướng từ các góc Cardan (các góc quay quanh các trục X_m, Y_m, Z_m lần lượt là α, β, γ). Khi đó, ma trận côsin chỉ hướng 0A_1 được xác định như sau [1]:

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C\beta.C\gamma & -C\beta.S\gamma & S\beta \\ C\alpha.S\beta + S\alpha.S\beta.S\gamma & C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma & -S\alpha.C\beta \\ S\alpha.S\gamma - C\alpha.S\beta.C\gamma & S\alpha.C\gamma + C\alpha.S\beta.S\gamma & C\alpha.C\beta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Từ đó ta có ma trận cosin chỉ hướng 0A_2 giữa hệ quy chiếu R_0 và R_2 :

$${}^0A_2 = {}^0A_1 A_2 = \begin{bmatrix} Cq_1 & -Sq_1 & 0 \\ Sq_1 & Cq_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\beta.C\gamma & -C\beta.S\gamma & S\beta \\ C\alpha.S\beta + S\alpha.S\beta.S\gamma & C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma & -S\alpha.C\beta \\ S\alpha.S\gamma - C\alpha.S\beta.C\gamma & S\alpha.C\gamma + C\alpha.S\beta.S\gamma & C\alpha.C\beta \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} Cq_1.C\gamma.S\beta - Sq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) & -Sq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) - Cq_1.C\beta.C\gamma & Cq_1.S\beta + Sq_1.C\beta.S\alpha \\ Cq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) + Sq_1.C\gamma.S\beta & Cq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) - Sq_1.C\beta.C\gamma & -Sq_1.S\beta - Cq_1.C\beta.S\alpha \\ S\alpha.S\gamma - C\alpha.C\gamma.S\beta & C\gamma.(S\alpha + S\beta.S\gamma) & C\beta.C\gamma \end{bmatrix} \quad (4)$$

Vecto U sẽ được xác định trong hệ tọa độ cố định R_0 như sau:

$${}^0U = {}^0A_2 {}^2U \quad (5)$$

$${}^0U = \begin{bmatrix} Cq_1.C\gamma.S\beta - Sq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) & -Sq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) - Cq_1.C\beta.C\gamma & Cq_1.S\beta + Sq_1.C\beta.S\alpha \\ Cq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) + Sq_1.C\gamma.S\beta & Cq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) - Sq_1.C\beta.C\gamma & -Sq_1.S\beta - Cq_1.C\beta.S\alpha \\ S\alpha.S\gamma - C\alpha.C\gamma.S\beta & C\gamma.(S\alpha + S\beta.S\gamma) & C\beta.C\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Cq_2 \\ Sq_2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Cq_2.(Sq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) - Cq_1.C\gamma.S\beta) - Sq_2.(Sq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) + Cq_1.C\beta.S\gamma) \\ Cq_2.(Cq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) + Sq_1.C\gamma.S\beta) + Sq_2.(Cq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) - Sq_1.C\beta.C\gamma) \\ Cq_2.(S\alpha.S\gamma - C\alpha.C\gamma.S\beta) + Sq_2.(C\gamma.(S\alpha + S\beta.S\gamma)) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Để vecto U luôn có hướng ổn định trong hệ tọa độ cố định R_0 ta coi tọa độ vecto U là các hằng số:

$${}^0U = [a \ b \ c]^T \quad (7)$$

Trong đó a, b, c là các hằng số cho trước. Khi đó từ phương trình (6) và (7) ta có hệ phương trình:

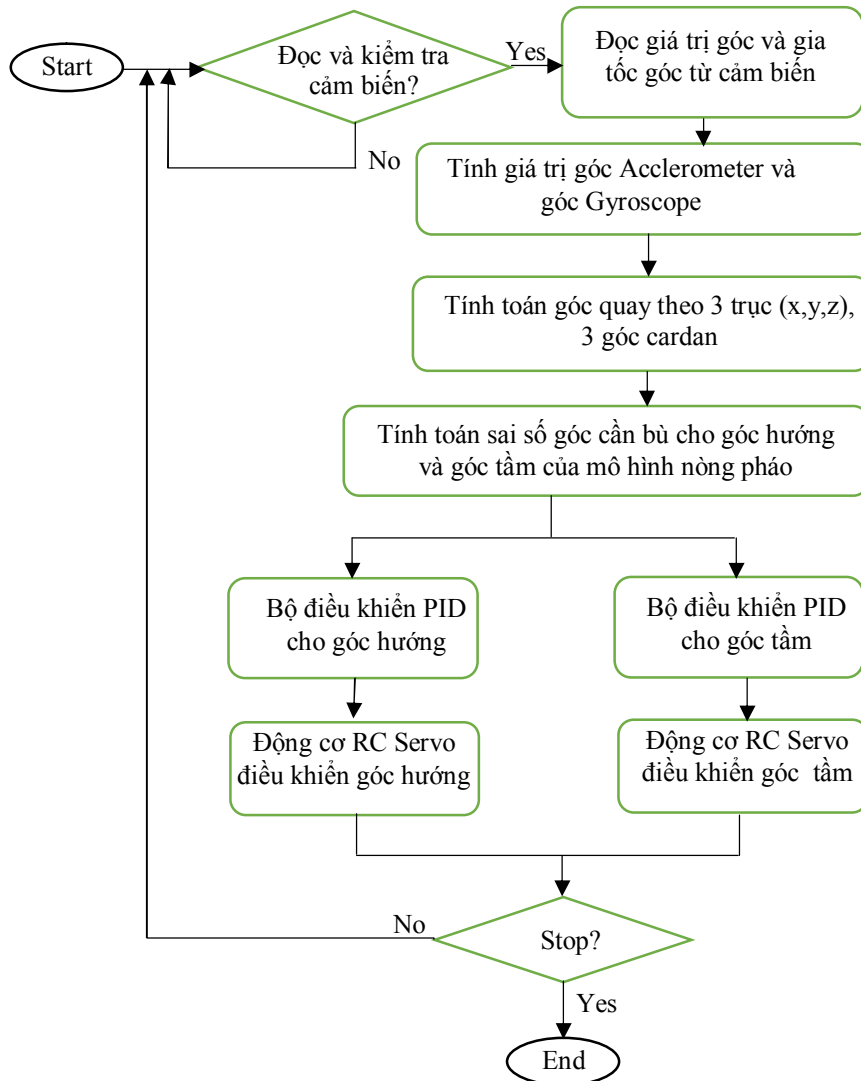
$$\begin{cases} Cq_2.(Sq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) - Cq_1.C\gamma.S\beta) - Sq_2.(Sq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) + Cq_1.C\beta.S\gamma) = a \\ Cq_2.(Cq_1.(C\alpha.S\beta + C\gamma.S\alpha.S\beta) + Sq_1.C\gamma.S\beta) + Sq_2.(Cq_1.(C\alpha.C\gamma - S\alpha.S\beta.S\gamma) - Sq_1.C\beta.C\gamma) = b \\ Cq_2.(S\alpha.S\gamma - C\alpha.C\gamma.S\beta) + Sq_2.(C\gamma.(S\alpha + S\beta.S\gamma)) = c \end{cases} \quad (8)$$

Dựa vào hệ phương trình (8) ta tính được giá trị của các góc q_1 và q_2 theo các giá trị góc α, β, γ từ MPU6050 đưa về.

2.2. Thuật toán điều khiển

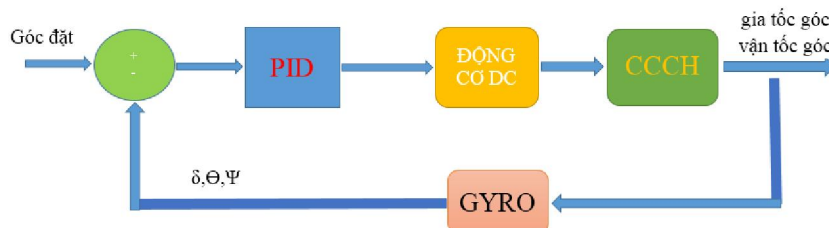
Để giải quyết bài toán ổn định cho mô hình nòng pháo, nhóm tác giả dùng module cảm biến gia tốc MPU-6050 GY-521 tích hợp cảm biến gia tốc 3 trục và con quay hồi chuyển (Gyro) 3 trục giúp chúng ta đo đạc các góc, vận tốc góc nghiêng của thân xe với độ chính xác cao [6]. Khối cảm biến gia tốc thực hiện chức năng đo góc lệnh giữa gia tốc trọng trường và lực tác động vào cảm biến để tính ra độ nghiêng. Giá trị từ Gyro được dùng để tăng độ chính xác cho cảm biến gia tốc khi đo trong điều kiện có lực quán tính tác động lên cảm biến gia tốc.

Dựa vào các thông số đo được của cảm biến gia tốc ta tính được ba góc Cardan, sau đó sử dụng mô hình toán (7) xác định các góc cần bù về hướng (góc q_1) và tầm (góc q_2) đưa vào bộ điều khiển hai động cơ điều chỉnh góc tầm và góc hướng của mô hình nòng pháo bảo đảm cho hướng của nòng pháo luôn được giữ ổn định. Thuật toán điều khiển được mô tả trên hình 3.



Hình 3. Lưu đồ thuật toán điều khiển

Trên thực tế, khi tổng hợp bộ điều khiển, để giảm thiểu sự mất ổn định của hệ thống nhóm tác giả đã sử dụng bộ điều khiển PID trong tổng hợp bộ điều khiển góc tầm và góc hướng của nòng pháo theo sai số góc cần bù [2]. Thuật toán PID được mô tả trên hình 4.

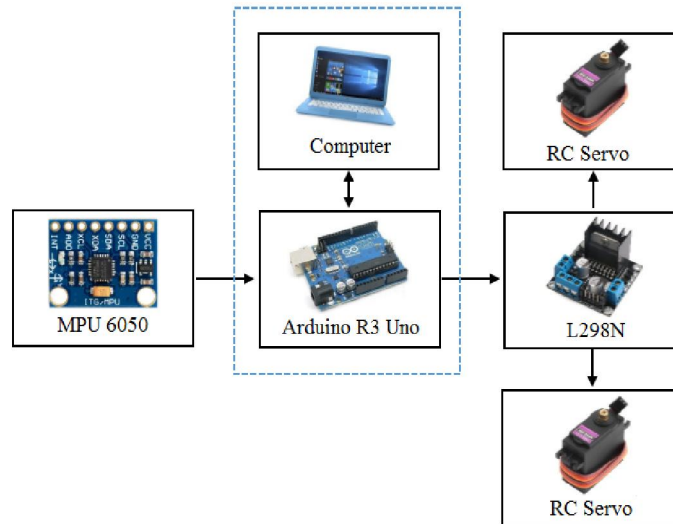


Hình 4. Thuật toán điều khiển PID góc tầm và góc hướng

3. THỰC NGHIỆM

3.1. Xây dựng mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm được xây dựng trên cơ sở là sự kết nối giữa module cảm biến gia tốc MPU6050 kết nối với mạch điều khiển. Nhóm tác giả sử dụng mạch nhúng Arduino Uno R3[4]. Mạch công suất (L298)[5] dùng điều khiển hai động cơ RC Servo MG995. Sơ đồ kết nối mạch được thể hiện trên hình 5.

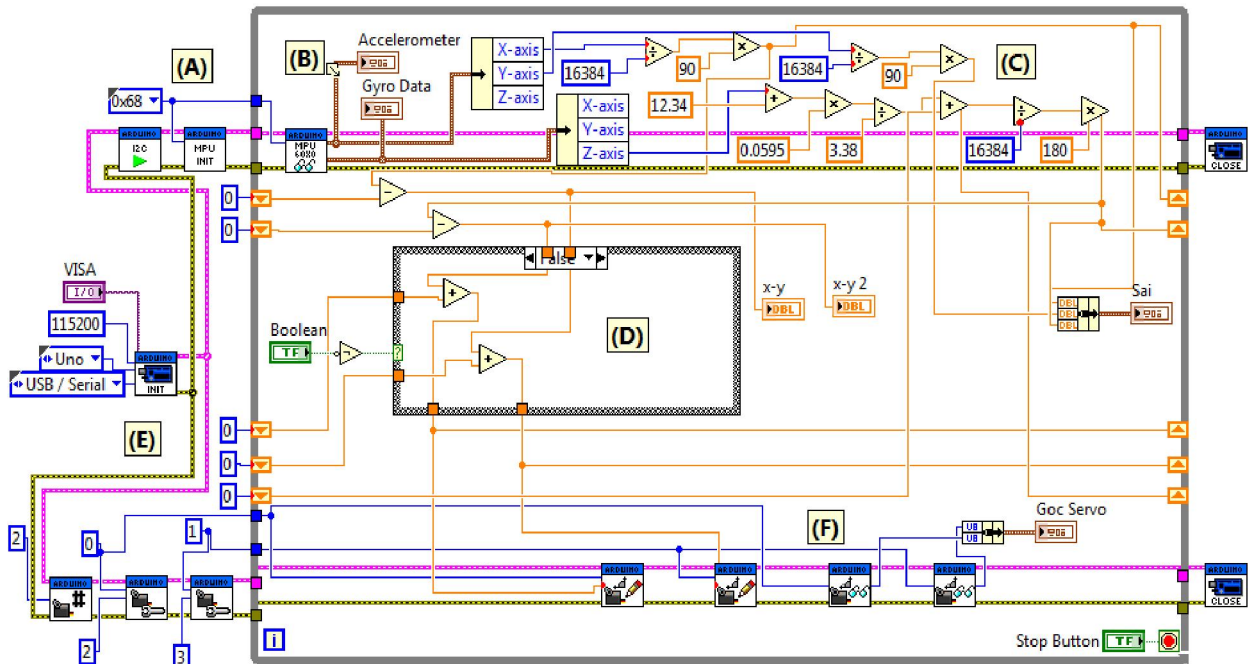


Hình 5. Sơ đồ kết nối mạch điện tử.

3.2. Chương trình điều khiển

Để xây dựng các chương trình điều khiển chúng ta có thể sử dụng nhiều công cụ phần mềm khác nhau. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, với sự lớn mạnh của một ngôn ngữ lập trình mới đó là LabVIEW (viết tắt của Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) đã tạo ra một môi trường lập trình hiệu quả trong việc giao tiếp đa kênh giữa các thiết bị. Đối với kỹ sư, nhà khoa học, hay giảng viên, LabVIEW dần dần trở thành một trong những công cụ phổ biến nhất để xây dựng các ứng dụng thu thập dữ liệu từ các cảm biến và phát triển các thuật toán. Labview được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như đo lường, tự động hóa, cơ điện tử, robot, vật lý, toán học, sinh học. Ngoài ra, với khả năng kết nối nhanh chóng và tin cậy với thiết bị ngoại vi hay các mạch điều khiển cũng làm nên một lợi thế không hề nhỏ khi dùng LabVIEW để xây dựng các chương trình điều khiển trong các hệ thống cơ điện tử. Dựa trên các ưu điểm đó, nhóm tác giả đã chọn phương án dùng phần mềm LabVIEW xây dựng chương trình điều khiển cho hệ thống.

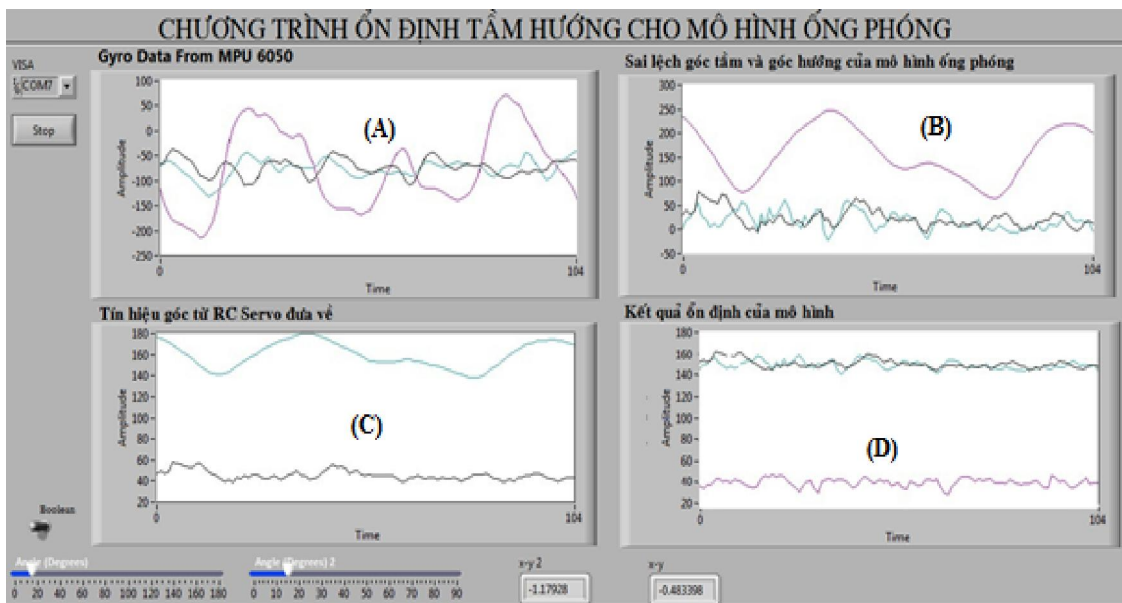
Chương trình điều khiển được mô tả trên hình 6: Khu vực (A) - Khu vực thiết lập các chuẩn giao tiếp với con quay vi cơ MPU6050; Khu vực (B) - Khu vực thiết lập chương trình đọc dữ liệu từ MPU6050 trả về; Khu vực (C) - Khu vực tính toán các vận tốc góc nghiêng và góc nghiêng của thân xe trong quá trình di chuyển; Khu vực (D) - Phân tích tổng hợp bộ điều khiển; Khu vực (E) - Thiết lập giao tiếp với mạch nhúng Arduino Uno R3; Khu vực (F) - Xuất tín hiệu điều khiển các động cơ RC Servo để điều khiển góc tầm và góc hướng của mô hình nòng súng.



Hình 6. Thuật toán điều khiển

3.3. Kết quả thực nghiệm

Để tiến hành thực nghiệm mô hình, nhóm tác giả cho toàn bộ thân xe dao động ngẫu nhiên và kiểm tra tính ổn định về hướng của nòng pháo. Trên hình 7 thể hiện kết quả của quá trình thực nghiệm, thân xe được tạo dao động ngẫu nhiên với tần số và biên độ không quá lớn sao cho góc nghiêng lớn nhất không quá 45 độ (một điều kiện khá giống trong thực tế khi các phương tiện chiến đấu di chuyển).



Hình 7. Kết quả thực nghiệm hệ ổn định nòng súng khí cho thân xe giao động ngẫu nhiên

Vùng (A) - thể hiện giá trị tốc độ góc nghiêng (Gyro) đo được từ cảm biến vi cơ MPU6050; Vùng (B) - Kết quả tính toán sai lệch góc quay (3 góc Cardan); Vùng (C) - Kết quả tính toán các góc cần bù cho hai động cơ RC Servo điều khiển góc tầm và góc hướng của nòng pháo; Vùng (D) - Thể hiện kết quả đo dao động của nòng pháo trong quá trình dao động của thân xe.

Dựa vào kết quả ta nhận thấy hệ ổn định nòng pháo hoạt động khá ổn định, trong quá trình dao động của thân xe, góc dao động của nòng pháo (vùng D) luôn nằm trong khoảng $\pm 5^\circ$.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề cập đến việc nghiên cứu ứng dụng con quay vi cơ vào tổng hợp bộ điều khiển ổn định cho nòng pháo trong khi bộ đỡ hoặc thân xe di chuyển qua các địa hình phức tạp. Nhóm tác giả đã thiết kế mô hình thực nghiệm, xây dựng mô hình toán, xây dựng chương trình thu nhận tín hiệu từ con quay vi cơ MPU6050, tiến hành tính toán thông số góc lệch cần bù cho góc tầm và góc hướng và tổng hợp bộ điều khiển hệ thống. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động tốt. Dao động của mô hình nòng pháo nằm trong khoảng $\pm 5^\circ$ khi cho toàn bộ thân xe dao động với biên độ góc tiệm cận 45° . Tuy nhiên, chất lượng hoạt động của hệ thống cũng cho thấy sự phụ thuộc khá nhiều vào các yếu tố khác như chất lượng tín hiệu thu được từ con quay vi cơ, sự ảnh hưởng của nhiễu, hay sự ảnh hưởng các kết cấu cơ khí trong mô hình thực nghiệm.

Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả là một tiền đề quan trọng trong việc phát triển các sản phẩm nghiên cứu sâu hơn sau này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Khang. Động lực học hệ nhiều vật. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
- [2]. Nguyễn Thị Phương Hà, Huỳnh Thái Hoàng. *Lý thuyết điều khiển tự động*. NXB Đại học Quốc gia Hồ Chí Minh, 2005.
- [3]. Rick Bitter, Taqi Mohiuddin, Matt Nawrocki. LabVIEW Advanced Programming Techniques
- [4]. <http://arduino.vn/bai-viet/42-arduino-uno-r3-la-gi>
- [5]. www.alldatasheet.com/L298
- [6]. www.alldatasheet.com/Mpu-6050.