

ỨNG DỤNG BỘ ĐIỀU KHIỂN PID TRÊN CƠ SỞ MẠNG NƠ-RON (PIDNN) TRONG THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THỦ NGHIỆM THÌA CHỐNG RUNG

APPLIED NEURAL NETWORK BASED PID CONTROLLER (PIDNN) IN DESIGN AND TEST ANTI-VIBRATION SPOON

Đặng Hải Ninh, Nguyễn Ngọc Linh*

TÓM TẮT

Ngày nay, run tay là một rối loạn vận động khá phổ biến. Có nhiều nguyên nhân có thể dẫn tới chứng run tay, song hiện tại vẫn chưa có phương pháp điều trị đặc hiệu. Tuy gây ảnh hưởng lớn đến cuộc sống của bệnh nhân song các công cụ hỗ trợ cho bệnh nhân mắc chứng run tay hiện tại chưa được quan tâm nhiều, nhất là ở Việt Nam [1]. Chính vì lý do đó, nhóm nghiên cứu đã nghiên cứu thiết kế thử nghiệm thìa chống rung với mục đích giảm thiểu tối đa các rung động từ tay truyền tới mặt thìa trong quá trình sinh hoạt của người bệnh. Thiết bị bao gồm 01 cảm biến gia tốc IMU (Inertial Measurement Unit) nhằm phát hiện các rung động, đồng thời sử dụng các động cơ đi chuyển mặt thìa ngược lại với chiều rung động. Quá trình đó được điều khiển bằng bộ điều khiển thích nghi PID trên cơ sở mạng nơ-ron (PIDNN). Kết quả nghiên cứu cho thấy tính khả thi của thiết bị và khả năng hoàn thiện nhân rộng trên bệnh nhân.

Từ khóa: Run tay, thìa chống rung, điều khiển thích nghi, PIDNN.

ABSTRACT

Today, hand tremors are a fairly common movement disorder. There are many possible causes of hand tremors, but there is currently no specific treatment. Although it has a great impact on the patient's life, support tools for patients with hand tremors have not been paid much attention, especially in Vietnam [1]. For that reason, we have studied the design of the anti-vibration spoon with the aim of minimizing the vibrations from hand to the spoon during the patient's life. Device includes an IMU accelerometer (Inertial Measurement Unit) to detect the vibrations, and at the same time uses the motors to move the spoon face against the direction of the vibration. The process is controlled by a Neural Network based PID adaptive controller (PIDNN). Research results show the feasibility of the device and the ability to complete the replication on the patient.

Keywords: Tremble hands, anti-vibration spoon, adaptive control, PIDNN.

Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Email: nnguyen@vnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 29/9/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/12/2020

Ngày chấp nhận đăng: 23/12/2020

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Một số nghiên cứu ước tính chỉ ra rằng chứng run tay chân có thể tác động đến khoảng 2,2% dân số với nhiều nguyên nhân khác nhau, từ bệnh Parkinson, một cơn tai

biến mạch máu não, một chấn thương dẫn đến tổn thương thần kinh hoặc do quá trình lão hóa ở người lớn tuổi [1, 2].

Chứng run tay hiện tại chưa có phương pháp điều trị đặc hiệu, tuy không nguy hiểm đến tính mạng, tuy nhiên chứng run tay gây nhiều ảnh hưởng lâu dài đến cuộc sống của người bệnh như giảm hoặc mất khả năng lao động, không tự thực hiện được các hoạt động cá nhân hàng ngày. Bệnh nhân nặng cần người chăm sóc dẫn đến gia tăng gánh nặng lên các hệ thống phúc lợi xã hội. Việc làm giảm tác động của chứng run tay, giúp bệnh nhân có thể tự chủ một phần các sinh hoạt cá nhân là chìa khóa giúp giảm gánh nặng xã hội cũng như nâng cao chất lượng cuộc sống cho các bệnh nhân.

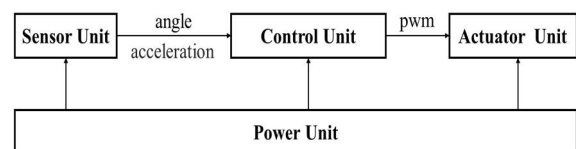
Một trong những công việc hàng ngày quan trọng nhất mà bệnh nhân run tay thường gặp nhiều khó khăn là quá trình ăn uống, do đó nhóm lựa chọn đề tài thiết kế thìa chống rung giúp người bệnh run tay có thể tự thực hiện việc ăn uống với rất ít sự trợ giúp của người chăm sóc.

2. CẤU TRÚC THÌA CHỐNG RUNG

2.1. Cấu tạo

Thìa gồm bốn khối chức năng chính:

- Khối điều khiển: chứa mạch điều khiển với chức năng kiểm soát toàn bộ hệ thống.
- Khối chấp hành: gồm hai động cơ RC servo được gắn vuông góc với nhau, có chức năng tạo ra chuyển động chủ động tại mặt thìa.
- Khối cảm biến: gồm hai cảm biến IMU (Inertial Measurement Unit), một gắn trên tay cầm và một gắn gần mặt thìa, giúp ghi nhận các thông số về góc nghiêng và gia tốc, phục vụ cho khối điều khiển.
- Khối nguồn: gồm pin, mạch sạc và mạch điều chỉnh điện áp, cung cấp năng lượng cho các khối khác.

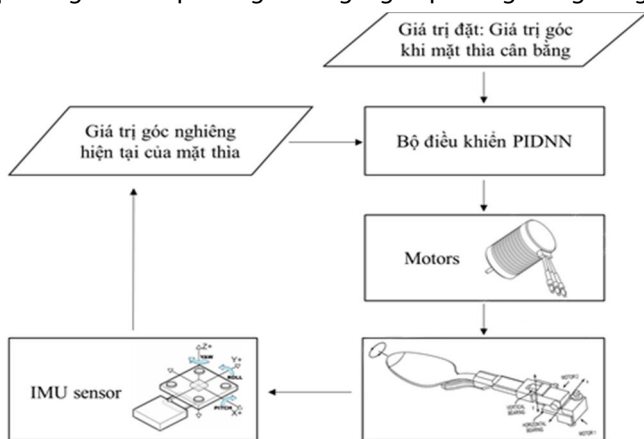


Hình 1. Sơ đồ các khối chức năng

2.2. Nguyên lý hoạt động

Nguyên tắc hoạt động chung của thìa là giữ cho mặt thìa cố định tại phương nằm ngang, nhờ đó giữ cho thức ăn không rơi ra khỏi mặt thìa. Bộ điều khiển PID neural network (PIDNN) được cài đặt để thực hiện nhiệm vụ này, với điểm đặt (setpoint) là giá trị góc cân bằng được xác định từ trước, bộ điều khiển liên tục điều chỉnh các động cơ gắn với mặt thìa nhằm giữ sai số giữa góc nghiêng thực tế và góc cân bằng là nhỏ nhất. Góc nghiêng của thìa được đo bằng cảm biến IMU BNO055 từ Bosch Sensortec.

Trong thực tế, khi người bệnh sử dụng thìa, thìa sẽ bị rung động theo tất cả các hướng. Tuy nhiên, trong khuôn khổ nghiên cứu sẽ chỉ khảo sát rung động của thìa theo hai phương chính là phương nằm ngang và phương thẳng đứng.



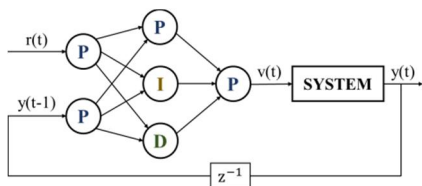
Hình 2. Nguyên lý hoạt động của thìa

Trên cơ sở đó, để triệt tiêu rung động theo phương này, hai động cơ servo sẽ được sử dụng để bù lại những rung động cho tay người bệnh gây ra nhằm giữ cho mặt thìa ổn định nhất có thể.

3. BỘ ĐIỀU KHIỂN PID TRÊN CƠ SỞ MẠNG NƠ-ON (PIDNN) [3]

PIDNN là một bộ điều khiển với cấu trúc mạng neuron, nó bao gồm các neuron tỷ lệ (P), neuron tích phân (I) và neuron vi phân (D). Các trọng số được điều chỉnh qua quá trình lan truyền ngược (back-propagation) do đó có thể dùng để điều khiển các hệ thống khác nhau.

PIDNN gồm 3 lớp, lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra, cấu trúc 2-3-1. Lớp đầu vào gồm hai neuron P, một neuron nhận điểm đặt (setpoint) và 1 neuron kết nối với đầu ra của hệ thống. Lớp ẩn gồm 3 neuron: neuron P, neuron I và neuron D. Lớp đầu ra chỉ gồm 1 neuron P hoàn thành đầu ra của hệ thống. Cấu trúc mạng và hệ thống điều khiển được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Cấu trúc bộ điều khiển PIDNN

Bộ điều khiển lấy giá trị đặt $r(t)$ và giá trị đáp ứng $y(t)$, hệ thống tính toán giá trị điều khiển $v(t)$, hệ thống đáp ứng với $y(t)$ mới, giá trị này tiếp tục được sử dụng như giá trị phản hồi. Ở đây, $r(t)$ là giá trị góc thiết lập cho mặt thìa (được đặt bằng 0), $y(t)$ là giá trị góc nghiêng tức thời của mặt thìa, $v(t)$ là giá trị góc quay thiết lập cho động cơ servo.

Công thức neuron P:

$$x(t) = \begin{cases} -1, & u(t) < -1 \\ u(t), & -1 \leq u(t) \leq 1 \\ 1, & u(t) > 1 \end{cases}$$

Công thức neuron I:

$$x(t) = \begin{cases} -1, & x(t) < -1 \\ x(t-1) + u(t), & -1 \leq x(t) \leq 1 \\ 1, & x(t) > 1 \end{cases}$$

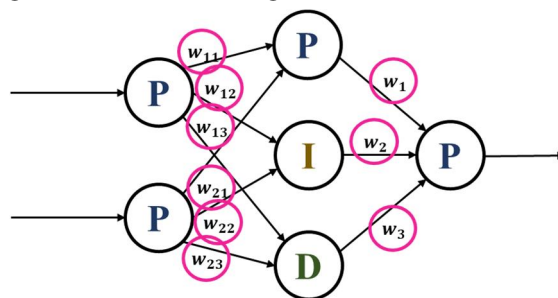
Công thức neuron D:

$$x(t) = \begin{cases} -1, & x(t) < -1 \\ u(t) - u(t-1), & -1 \leq x(t) \leq 1 \\ 1, & x(t) > 1 \end{cases}$$

Phiếm hàm mục tiêu:

$$J = \sum_{t=1}^N E_t = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (r(t) - y(t))^2$$

Bộ điều khiển PIDNN sử dụng thuật toán lan truyền ngược (back-propagation) nhằm huấn luyện mạng, với các trọng số được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Trọng số của PIDNN

Sau n bước huấn luyện và học tập, các trọng số kết nối lớp ẩn đến lớp đầu ra là:

$$w_i(n+1) = w_i(n) - \eta \frac{\partial J}{\partial w_i}$$

Với η là bước và:

$$\frac{\partial J}{\partial w_i} \approx -\frac{2}{N} \sum_{t=1}^N (r(t) - y(t)) \frac{y(t) - y(t-1)}{v(t) - v(t-1)} \dot{x}_i(t)$$

Trọng số kết nối lớp đầu vào với lớp ẩn là:

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) - \eta \frac{\partial J}{\partial w_{ij}}$$

Với η là bước và:

$$\frac{\partial J}{\partial w_{ij}} \approx -\sum_{t=1}^N \delta(t) \frac{\dot{x}_j(t) - \dot{x}_j(t-1)}{\dot{u}_j(t) - \dot{u}_j(t-1)} w_j x_i(t)$$

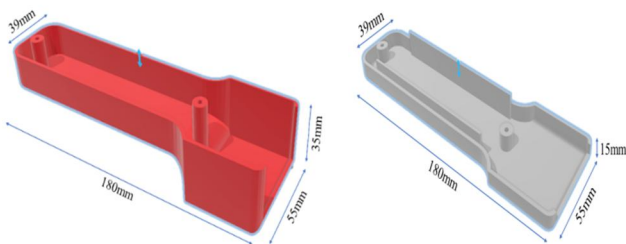
Số lượng mẫu N dùng để huấn luyện mạng được cập nhật và tăng dần trong quá trình huấn luyện mạng (giá trị tối đa của N là 65536). Bộ điều khiển PIDNN có khả năng thích nghi nhanh, có khả năng tự huấn luyện để tối ưu các tham số hệ thống. Do đó, trong nghiên cứu này, bộ điều khiển PIDNN được cài đặt cho thiết bị thìa chống rung.

4. THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THỬ NGHIỆM THÌA CHỐNG RUNG

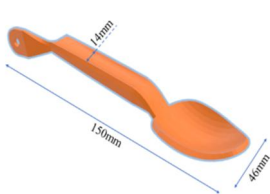
4.1. Thân vỏ

Thân vỏ được thiết kế trên phần mềm NX và hoàn thiện sử dụng công nghệ in 3D. Phần tay cầm được thiết kế sao cho có thể đặt vừa pin, mạch điều khiển và hệ thống hai động cơ (hình 5).

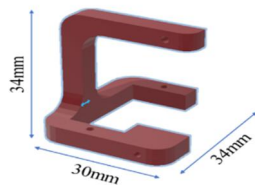
Khớp gắn 2 động cơ được thiết kế sao cho chuyển động của hai động cơ linh hoạt nhất. Mặt thìa có cấu trúc cơ bản như những chiếc thìa bình thường (hình 6 và 7).



Hình 5. Mô hình 3D tay cầm



Hình 6. Mô hình 3D thân thìa



Hình 7. Mô hình 3D khớp gắn hai động cơ

4.2. Động cơ

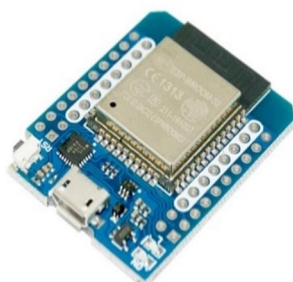
Cơ cấu chấp hành sử dụng hai động cơ RC Servo ES09MA cho lực kéo đủ lớn trong khi vẫn giữ được khối lượng nhẹ.

Bảng 1. Thông số động cơ ES09MA [8]

Điện áp	4,8 – 6,0V
Khối lượng	14,8g
Lực kéo	2,6 Kgf.cm
Tốc độ	0,08s/60°
Kích thước	23,0x12,0x24,5mm



Hình 8. Động cơ RC servo ES09MA



Hình 9. Bảng mạch ESP32

4.3. Mạch điều khiển

Mạch điều khiển sử dụng SoC ESP32, cho tốc độ xử lý nhanh, tích hợp sẵn kết nối Wifi và Bluetooth, sẵn sàng để phát triển thêm các ứng dụng kết nối sau này.

Bảng 2. Một số thông số kỹ thuật SoC ESP32 [9]

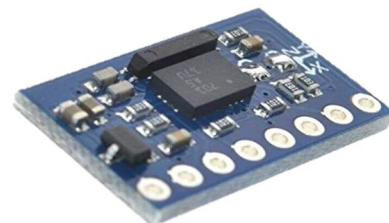
Vi xử lý	2 core Tensilica Xtensa 32-bit LX6
Xung nhịp	Tối đa 240MHz
Flash	4MiB
SRAM	2MiB
Wifi	802.11 b/g/n/e/i
Bluetooth	v4.2 BR/EDR & BLE

4.4. Cảm biến

Thìa sử dụng cảm biến IMU BNO055, tích hợp giải pháp tổng hợp dữ liệu BSX3.0 FusionLib từ Bosch Sensortec [4], tổng hợp dữ liệu từ thông số ba trục gia tốc (accelerometer), ba trục vận tốc quay (gyroscope) và ba trục từ trường (magnetic) cho ra giá trị góc nghiêng hiện tại của mặt thìa.

Bảng 3. Một số thông số cảm biến BNO055

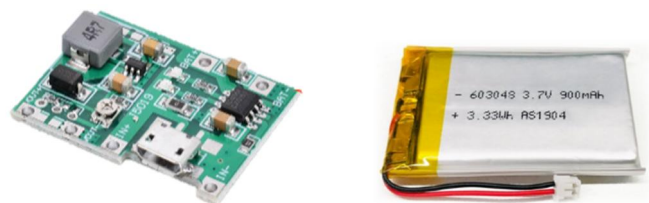
Tần số lấy mẫu	100Hz
Giao tiếp	I2C
Đơn vị đo	Euler Vector, Quaternion



Hình 10. Bảng mạch cảm biến

4.5. Khối nguồn

Khối nguồn của thiết bị sử dụng pin Li-ion cho dung lượng cao và trọng lượng nhẹ. Mạch điều chỉnh điện áp được sử dụng để nâng mức điện áp từ pin lên 5V/2A để cấp nguồn cho toàn hệ thống, bao gồm mạch điều khiển, cảm biến và các động cơ.



Hình 11. Mạch sạc pin, mạch điều chỉnh điện áp và pin li-ion dung lượng 900mAh

4.6. Cài đặt bộ điều khiển

Bộ điều khiển PIDNN được cài đặt trên vi điều khiển ESP32, với giá trị đặt $r(t)$ là giá trị góc đặt tại vị trí cân bằng và được thiết lập bằng 0, $y(t)$ là giá trị góc nghiêng tức thời của mặt thìa, tín hiệu $v(t)$ là giá trị góc quay đặt cho động

cơ servo, được quy đổi sang tín hiệu PPM (Pulse Position Modulation) điều khiển tương ứng cho động cơ.

Các trọng số ban đầu được chọn như sau, trong đó hw (tương ứng với tập w_{ij}) là mảng chứa các trọng số kết nối lớp đầu vào và lớp ẩn, ow (tương ứng với tập w_i) chứa các trọng số kết nối lớp ẩn và lớp đầu ra:

```
// Starting weights
float hw[2][3] = {{-1, -1, -1},{1, 1, 1}};
float ow[3] = {0.03, 0.1, 0.6};
```

Hàm tính toán giá trị điều khiển động cơ với hai tham số là giá trị góc nghiêng hiện tại và giá trị góc nghiêng mong muốn:

```
float PIDNN::predict( float measured, float expected )
{
    y[pos] = measured;
    if (pos > WINDOW_SIZE) {
        learn();
        pos = 0;
    }
    // Register values for expected
    pos++;
    r[pos] = expected;
    // Set the values for the Input Layer
    i_y[pos] = ptransfer(measured);
    i_r[pos] = ptransfer(expected);
    // Hidden P Neuron
    u_p[pos+1] = i_y[pos+1]*hw[0][0] + i_r[pos]*hw[1][0];
    x_p[pos+1] = ptransfer(u_p[pos+1]);
    // Hidden I Neuron
    u_i[pos] = i_y[pos]*hw[0][1] + i_r[pos]*hw[1][1];
    x_i[pos] = itransfer(u_i[pos], x_i[pos-1], ts);
    // Hidden D Neuron
    u_d[pos] = i_y[pos]*hw[0][2] + i_r[pos]*hw[1][2];
    x_d[pos] = dtransfer(u_d[pos], u_d[pos-1], ts);
    // Output Neuron
    v[pos] = x_p[pos]*ow[0] + x_i[pos]*ow[1] +
    x_d[pos]*ow[2];
    return v[pos];
}
```

Trong đó, các trọng số trong tập hw (w_{ij}) được giữ cố định, các trọng số trong tập ow (w_i) được cập nhật thay đổi liên tục thông qua quá trình huấn luyện mạng chạy trực tiếp trên vi điều khiển, song song với quá trình hoạt động của mạng.

Trong nghiên cứu này, thuật toán lan truyền ngược (back-propagation) được sử dụng để huấn luyện mạng. Chương trình huấn luyện mạng được thực hiện như sau:

```
void PIDNN::learn( void )
{
    // Do Back Propagation
    float d_ow[3] = {0, 0, 0};
    float d_hw[2][3] = {{0,0,0},{0,0,0}};
    float avg_error = 0;
    for (int i = 1; i <= WINDOW_SIZE; i++) {
        float dr = r[i+1] - y[i+1];
        avg_error += abs(dr)/WINDOW_SIZE;
        float dy = y[i+1] - y[i];
        BackProp(dr, dy, d_ow, d_hw, i);
    }
    // Update weights if average error is >= tol
    if (avg_error >= tol) {
        // Update Weights
        for (int j = 0; j < 3; j++) {
            // Update Output Weights
            if (abs(d_ow[j]) > d_tol) {
                d_ow[j] = ((d_ow[j] > 0) - (d_ow[j] < 0))*d_tol;
            }
            // printf("d_ow[%d]: %f\n", j, d_ow[j]);
            ow[j] = ow[j] - n*d_ow[j]/WINDOW_SIZE;
            // Keep between 0 and 1
            ow[j] = (float)min(max((double)ow[j], 0.0), 1.0);
        }
    }
    // Update the Input Layer Values
    i_y[0] = i_y[WINDOW_SIZE+1];
    i_r[0] = i_r[WINDOW_SIZE+1];
    // Update the Hidden Layer Values
    u_p[0] = u_p[WINDOW_SIZE+1];
    u_i[0] = u_i[WINDOW_SIZE+1];
    u_d[0] = u_d[WINDOW_SIZE+1];
    x_p[0] = x_p[WINDOW_SIZE+1];
    x_i[0] = x_i[WINDOW_SIZE+1];
    x_d[0] = x_d[WINDOW_SIZE+1];
    // Update the Output Layer Values
    v[0] = v[WINDOW_SIZE+1];
}
}
```

5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

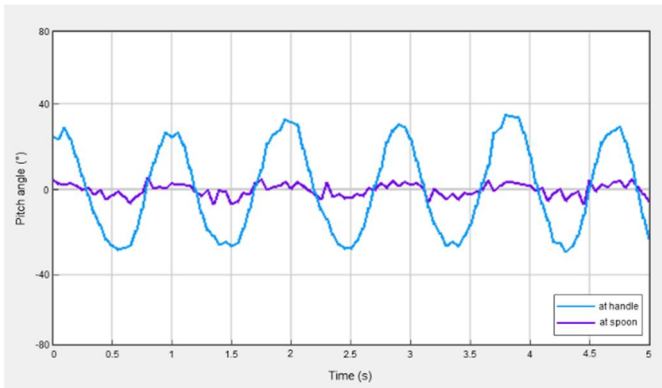
Sau quá trình nghiên cứu, nhóm nghiên cứu đã xây dựng thành công mô hình mẫu với đầy đủ các thành phần: nguồn, cảm biến, mạch điều khiển và cơ cấu chấp hành (hình 12).



Hình 12. Thìa chống rung lắp ráp hoàn thiện

Sau khi lắp ráp, thìa hoạt động đúng với yêu cầu đề ra, góc nghiêng trên hai trục đứng (pitch) và ngang (yaw) được giữ ổn định quanh vị trí cân bằng. Đây là hai trục có tác động lớn nhất tới độ ổn định của thức ăn trên thìa. Bổ sung trục quay (roll) có thể làm ra tăng trọng lượng của thìa, cũng như việc cân bằng trục roll sẽ dẫn đến khó khăn trong hoạt động xúc thức ăn tự nhiên của người sử dụng.

Trong khuôn khổ nghiên cứu, rung động theo hai phương được xem xét tương tự nhau. Khảo sát đáp ứng của hệ thống được xem xét trên một trục của thìa. Dữ liệu góc nghiêng thu được trực tiếp trên bề mặt thìa được lưu trữ trong thẻ nhớ microSD sau đó được so sánh với dữ liệu thu được từ một cảm biến khác được gắn trên tay cầm, cho thấy mức độ dao động góc nghiêng trên trục thử nghiệm giảm đi đáng kể tại tần số dao động thử nghiệm ~3Hz, cho thấy thuật toán điều khiển hoạt động có hiệu quả (hình 13).



Hình 13. Kết quả giảm thiểu dao động góc nghiêng khảo sát trên một trục của thìa

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chứng minh tính khả thi của thiết bị thìa chống rung. Từ đó mở ra các hướng nghiên cứu tiếp theo để hoàn thiện thìa, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp thử nghiệm trực tiếp trên bệnh nhân, cũng như thử nghiệm thêm các thuật toán điều khiển khác nhằm cải thiện hoạt động của thìa tốt hơn nữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <https://suckhoedoisoing.vn/truyen-hinh-truc-tuyen-run-tay-chan-va-cach-dieu-tri-n163655.html>
- [2]. Louis ED., Ottman R, 2014. *How many people in the USA have essential tremor? Deriving a population estimate based on epidemiological data.* Tremor Other Hyperkinet Mov (NY).
- [3]. H. Shu, Y. Pi, 2000. *PID neural networks for time-delay systems.* Computers Chemical Engineering, vol. 24, pp. 859-862.
- [4]. <https://www.bosch-sensortec.com/products/smart-sensors/bno055.html>.
- [5]. F. Shahrakia, M. A. Fanaeib, A. R. Arjomandzadeha, 2009. *Adaptive System Control with PID Neural Networks.* Chemical Engineering Transactions, 17, 1395-1400.
- [6]. Huailin Shu, Youguo Pi, 2005. *Decoupled Temperature Control System Based on PID Neural Network.* ACSE 05 Conference, CICC, Cairo, Egypt.
- [7]. Q. Liang, Yu.A. Litvinenko, 2018. *Adaptive algorithm for processing data of an AHRS with two units of micromechanical gyroscopes.* 25th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS).
- [8]. <https://emaxmodel.com/es09ma-dual-bearing-specific-swash-servo-for-450-helicopters.html>.
- [9]. <http://esp32.net>.

AUTHORS INFORMATION

Dang Hai Ninh, Nguyen Ngoc Linh

VNU University of Engineering and Technology