



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0004023

(51) **G06F 30/00; G06N 3/02**
2024.01

(13) **Y**

(21) 2-2024-00300

(22) 28/10/2021

(67) 1-2021-06853

(45) 25/03/2025 444

(43) 27/12/2021 405A

(71) **TẬP ĐOÀN CÔNG NGHIỆP - VIỆN THÔNG QUÂN ĐỘI (VN)**

Lô D26 Khu đô thị mới Cầu Giấy, phường Yên Hòa, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

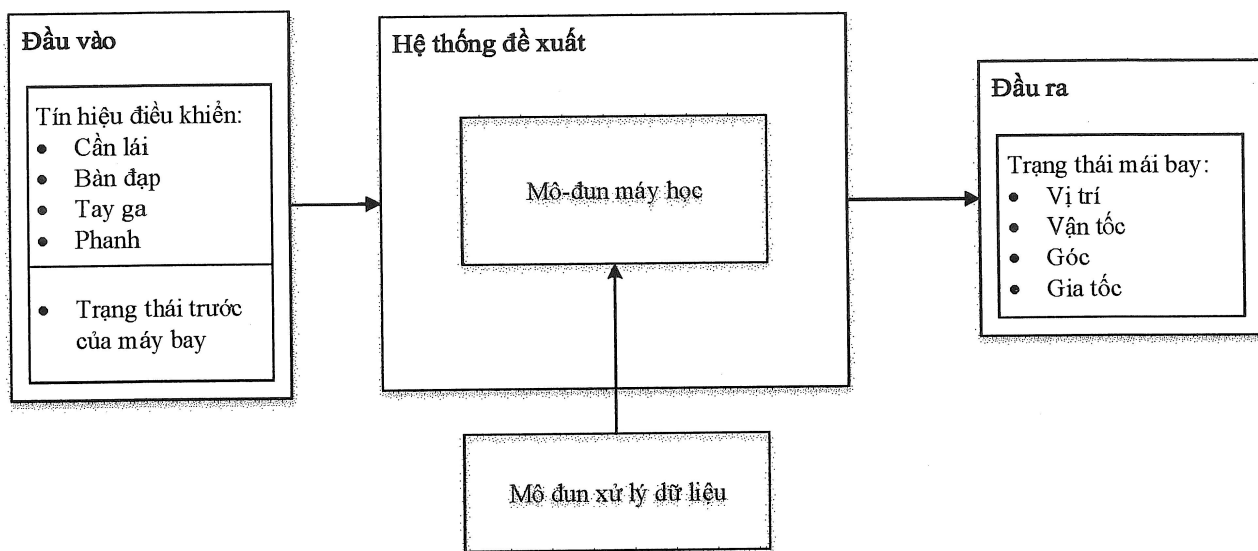
(72) **ĐÀO HUY THƯƠNG (VN); NGUYỄN TIẾN ĐẠT (VN); NGUYỄN THỊ ANH (VN).**

(74) Công ty TNHH NACILAW (NACILAW)

(54) **HỆ THỐNG VÀ PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG QUỸ ĐẠO CHUYỂN ĐỘNG CỦA
MÁY BAY SỬ DỤNG MÔ HÌNH HỌC MÁY**

(21) 2-2022-00300

(57) Giải pháp hữu ích đề cập đến hệ thống và phương pháp mô phỏng quỹ đạo chuyển động của máy bay sử dụng mô hình học máy thay thế phương pháp mô hình hóa và điều khiển truyền thống. Hệ thống và phương pháp đề xuất cho phép mô phỏng chuyển động của máy bay thông qua mô hình học máy được huấn luyện từ dữ liệu được thu thập được xử lý và hệ thống dữ liệu ước lượng. Hệ thống gồm hai mô-đun chính gồm: mô-đun học máy, mô-đun xử lý dữ liệu. Trong đó, mô-đun học máy gồm hai khối chính: khối mạng nơ-ron tuần hoàn, khối mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp. Mô-đun xử lý dữ liệu gồm hai khối chính: khối xử lý dữ liệu thô, khối ước lượng dữ liệu. Trong khi đó, phương pháp thực hiện mô phỏng chuyển động của máy bay sẽ gồm 4 bước chính: bước 1: thu thập và xử lý dữ liệu huấn luyện, bước 2: thiết kế và xây dựng mạng nơ-ron tuần hoàn, bước 3: huấn luyện mạng học máy và bước 4: kiểm thử mô hình.



Hình 2

Lĩnh vực được đề cập

Giải pháp hữu ích đề cập đến hệ thống và phương pháp mô phỏng quỹ đạo của máy bay sử dụng mô hình học máy dựa vào hệ thống dữ liệu thực tế thu thập được và các dữ liệu được ước lượng. Cụ thể hệ thống và phương pháp được ứng dụng trong lĩnh vực mô phỏng.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Phương pháp mô phỏng quá trình chuyển động máy bay truyền thống xây dựng các mô hình động lực học điều khiển của máy bay thông qua hệ thống các phương trình phi tuyến và sử dụng phương pháp số để giải phương trình xác định các trạng thái của máy bay. Trong đó, mô hình động lực học của máy bay được chia thành các thành phần chính như mô hình khí động, mô hình động cơ, mô hình càn, mô hình điều khiển, mô hình phương pháp số. Các thông số và đặc tính đối với từng loại máy bay sẽ được thu thập làm giá trị khởi tạo và tham số cho từng mô hình tương ứng.

Hai thách thức lớn mà phương pháp này phải đối mặt bao gồm: dữ liệu đối với từng loại máy bay; độ chính xác của phương pháp. Nhược điểm đầu tiên là dữ liệu, việc thu thập đầy đủ dữ liệu trong thực tế của mỗi loại máy bay là rất khó khăn, tốn kém chi phí, đặc biệt là đối với những dữ liệu đặc thù như hệ số khí động, hệ số điều khiển, hệ số động cơ của máy bay. Một ví dụ cụ thể là đối với dữ liệu khí động, các công ty trong lĩnh vực mô phỏng cũng như sản xuất đều phải có được thiết kế chi tiết của máy bay, sau đó tiến hành mô phỏng bằng buồng khí động đối với mô hình có tỷ lệ 1:1 hoặc tiến hành mô phỏng bằng các phần mềm thương mại như Ansys Fluent, Ansys CFX. Việc này khiến phát sinh chi phí và thời gian rất lớn. Bên cạnh đó, việc xấp xỉ các chuyển động của máy bay và sử dụng các phương pháp số như Euler hay Runge-kutta để giải cũng làm giảm độ chính xác của việc mô phỏng trong thực tế, do sai số được tích lũy và cộng dồn trong quá trình giải của phương pháp.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích thứ nhất của giải pháp hữu ích là đề xuất hệ thống để tiến hành mô phỏng và ước lượng quỹ đạo chuyển động của máy bay tương ứng với các tham số tín hiệu điều khiển từ phi công, sử dụng các dữ liệu đầu vào gồm tập hợp thao tác điều khiển các bộ thông số

quá trình điều khiển của phi công và các trạng thái máy bay tương ứng. Để đạt được mục đích nêu trên, hệ thống sử dụng các mô-đun chính sau:

Mô-đun xử lý dữ liệu: có chức năng thu thập và xử lý tín hiệu bao gồm các tín hiệu điều khiển đầu vào trong một khoảng thời gian xác định và các trạng thái của máy bay tương ứng. Các dữ liệu được đánh giá, xử lý thông qua các bộ lọc, kết hợp với việc ước lượng để đảm bảo sự đầy đủ và thống nhất của các trường thông tin.

Mô-đun học máy: có chức năng xây dựng, tái tạo các mối liên kết giữa các tín hiệu điều khiển của máy bay và các trạng thái của máy bay ở bước thời gian trước (t_0) với các trạng thái của máy bay ở bước thời gian sau (t_0+1).

Mục đích thứ hai của giải pháp hữu ích là đề xuất phương pháp xây dựng mạng học máy sinh quỹ đạo cho máy bay theo các bước như sau:

Bước 1: thu thập và xử lý dữ liệu huấn luyện. Mục đích của bước này gồm ba phần chính: thứ nhất là thu thập và xác định các tín hiệu vào, ra cần thiết từ hộp đen máy bay; thứ hai là xử lý tín hiệu, khử nhiễu của tín hiệu lấy từ hộp đen máy bay thông qua các bộ lọc xác định; thứ ba là chuẩn hóa dữ liệu, tổng hợp dữ liệu từ nhiều mẫu nhỏ và phân chia thành hai bộ dữ liệu chính là bộ dữ liệu huấn luyện và kiểm tra.

Bước 2: thiết kế và xây dựng mạng nơ-ron tuần hoàn (RNN – Recurrent Neural network). Mục đích của bước này là tìm và thiết kế cấu trúc mạng nơ-ron tuần hoàn phù hợp với yêu cầu bài toán với nhiều giá trị đầu vào và ước lượng các giá trị đầu ra. Giá trị đầu ra của bước trước sẽ có vai trò là giá trị đầu vào của bước sau và mạng nơ-ron truyền thẳng (MLP – Multi-Layer Perceptron) được dùng để xác định giá trị khởi tạo cho mạng tuần hoàn.

Bước 3: huấn luyện mạng học máy. Mục đích của bước này là sử dụng các dữ liệu được thu thập tại bước 1 và cấu trúc mạng ở bước 2 để tiến hành huấn luyện và sinh mô hình học máy, xác định các trọng số cho mô hình mạng nơ-ron tuần hoàn, đặc tả mối quan hệ giữa các giá trị điều khiển và trạng thái của máy bay.

Bước 4: kiểm thử mô hình. Mục đích của bước này là kiểm định tính đúng đắn của mô hình, đảm bảo mô hình học máy được sinh ra mô tả được đầy đủ quá trình chuyển động của máy bay đối với tập dữ liệu xác định.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình vẽ mô tả hệ thống mô hình hóa động lực học máy bay theo phương pháp truyền thống;

Hình 2 là hình vẽ mô tả hệ thống mô hình hóa động lực học máy bay theo phương pháp mới sử dụng học máy;

Hình 3 là hình vẽ mô tả quá trình chuẩn bị dữ liệu huấn luyện và kiểm tra;

Hình 4 là hình vẽ mô tả mô tả cấu trúc của mạng học máy dùng RNN và MLP;

Hình 5 là hình vẽ mô tả phương pháp xây dựng mạng học máy sinh quỹ đạo cho máy bay.

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Tham chiếu Hình 1 và Hình 2, giải pháp hữu ích đề cập đến hệ thống và phương pháp mới nhằm mô phỏng chuyển động của máy bay sử dụng mô hình học máy dạng nơ-ron tuần hoàn, thay vì việc sử dụng hệ phương trình vi phân mô tả động lực học trên máy bay và dùng phương pháp giải xấp xỉ để xác định chuyển động của máy. Phương pháp sử dụng đầu vào gồm các trạng thái máy bay ở bước thời gian trước (t_0) và các trạng thái điều khiển của máy bay để ước lượng các trạng thái của máy bay bước thời gian sau (t_0+1) nhằm tăng thời gian tính toán, giảm độ phức tạp và yêu cầu về cấu hình hệ thống cũng như giảm sự phụ thuộc vào các tham số trực tiếp của từng loại máy bay.

Trong phần mô tả chi tiết giải pháp kỹ thuật đề xuất, một số thuật ngữ được hiểu theo cách diễn giải như sau:

Mô hình mạng nơ-ron tuần hoàn (RNN – Recurrent Neural network) là một mô hình mô phỏng lại hoạt động của bộ não cơ thể dưới dạng các trọng số và lớp. Mô hình mạng nơ-ron tuần hoàn cho phép sử dụng các đầu ra ở bước trước làm thông tin đầu vào cho các bước sau và được thể hiện dưới dạng tổng quát như sau:

$$a^{<t>} = g_1(W_{aa}a^{<t-1>} + W_{ax}x^{<t>} + b_a) \text{ và } y^{<t>} = g_2(W_{ya}a^{<t>} + b_y)$$

Trong đó: $W_{ax}, W_{aa}, W_{ya}, b_a, b_y$ là các hệ số được chia sẻ tạm thời và g_1, g_2 là các hàm kích hoạt.

Mô hình mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp (MLP – Multi-Layer Perceptron) là mô hình huấn luyện mà dữ liệu được huấn luyện ở lớp đầu vào được truyền liên tục qua lớp ẩn và đến lớp đầu ra với kết nối là các ma trận trọng số. Dạng tổng quát để tính kết quả sau mỗi lớp:

$$y^{(l)} = g(W^{(l)T} y^{(l-1)} + b^{(l)})$$

Trong đó g, W, b lần lượt là hàm kích hoạt, ma trận trọng số và các giá trị độ lệch (bias).

Tín hiệu điều khiển của máy bay: là các tín hiệu điều khiển của máy bay do phi công thực hiện bao gồm: tay ga, bàn đạp lái hướng, phanh và cần lái.

Thông số vị trí của máy bay: là giá trị xác định tọa độ hiện tại của máy bay tại một mốc thời gian t , tính theo hệ quy chiếu trái đất (kinh độ, vĩ độ và độ cao), với điểm bắt đầu được tính từ vị trí xuất phát của máy bay.

Thông số vận tốc của máy bay được chia thành hai loại: vận tốc thẳng, vận tốc góc. Vận tốc thẳng là giá trị của vận tốc của máy bay theo ba phương tương ứng với hệ tọa độ đề các (vận tốc theo kinh độ, vĩ độ và độ cao). Vận tốc góc là vận tốc chuyển động của máy bay theo góc nghiêng, góc chúc ngóc và góc hướng.

Thông số góc quay của máy bay: là giá trị của các góc xoay của máy bay quanh ba trục tương ứng với hệ tọa độ đề các: góc nghiêng, góc chúc ngóc và góc hướng.

Hộp đen của máy bay: là dụng cụ được gắn trên máy bay nhằm ghi lại các trạng thái trong quá trình bay dưới dạng mã hóa phục vụ cho công tác huấn luyện và khắc phục sự cố

Nút (node): đại diện cho một tín hiệu ở các lớp đầu vào, đầu ra, lớp ẩn.

Lớp đầu vào (input layer): tập hợp tín hiệu đầu vào của mạng, lớp đầu vào là duy nhất cho một mạng nơ-ron, số nút bằng số tín hiệu của tập dữ liệu huấn luyện.

Lớp đầu ra (output layer): tập hợp tín hiệu đầu ra của mạng, lớp đầu ra là duy nhất cho một mạng nơ-ron, số nút bằng số tín hiệu cần xác định cho hệ thống.

Lớp ẩn (hidden layer(s)): nằm giữa lớp đầu vào và lớp đầu ra, thể hiện suy luận logic của mạng qua số lớp và số nút của từng lớp, một mạng có thể có một hay nhiều lớp ẩn.

Hàm kích hoạt (activation function): là hàm ánh xạ đầu vào của một nút với đầu ra tương ứng của nó.

Hàm mất mát (loss function): là hàm mô tả sai số giữa kết quả tính được từ mạng nơ-ron và kết quả thực tế.

Trọng số (weight): thể hiện kết nối giữa các lớp (layer).

Giá trị độ lệch (bias): được thêm vào cùng với dữ liệu đầu ra tại mỗi lớp để tăng sự linh hoạt trong việc học dữ liệu.

Hình 2 thể hiện hệ thống đề xuất có sự khác biệt so với hệ thống cổ điển, dữ liệu đầu vào được sử dụng để xây dựng mô hình tính toán quỹ đạo chuyển động của máy bay là các dữ liệu được thu thập và xử lý, cụ thể như sau: dữ liệu đầu vào của hệ thống gồm tín hiệu điều khiển của máy bay kết hợp với mười hai trạng thái trước của máy bay gồm: ba

thông số vị trí, sáu thông số về vận tốc và ba thông số góc xoay của máy bay. Các bộ dữ liệu được thu thập và xử lý tại mô-đun xử lý dữ liệu. Những tín hiệu đầu vào này qua hệ thống mạng học máy tại mô-đun mạng nơ-ron tuần hoàn (RNN) sẽ tự động sinh ra các tín hiệu đầu ra. Những tín hiệu đầu ra này gồm mười hai thông số cơ bản của máy bay như trên tại bước thời gian tiếp theo.

Tham chiếu đến Hình 2, hệ thống mô phỏng quỹ đạo chuyển động của máy bay sử dụng mô hình học máy gồm hai mô-đun chính, cụ thể như sau:

mô-đun học máy: có chức năng nhiệm vụ xây dựng/tái tạo các mối liên kết giữa các tín hiệu điều khiển của máy bay và các trạng thái của máy bay ở bước thời gian trước (t_0) với các trạng thái của máy bay ở bước thời gian sau (t_0+1), mô-đun gồm hai khối chính:

khối mạng tuần hoàn (RNN): có nhiệm vụ xây dựng mối quan hệ tương ứng bằng cấu trúc lưu trữ các thông tin;

khối mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp (MLP) có nhiệm vụ xác định các giá trị khởi tạo về trạng thái của máy bay cho khối mạng tuần hoàn;

mô-đun xử lý dữ liệu: có nhiệm vụ tạo bộ dữ liệu bao gồm dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm thử, dữ liệu có đầy đủ các trường thông tin về 04 tín hiệu điều khiển và 12 trạng thái của máy bay, bộ dữ liệu được dùng làm bộ huấn luyện cho mô hình học máy, mô-đun gồm hai khối chính:

khối xử lý dữ liệu thô: có nhiệm vụ xử lý các dữ liệu thu được trực tiếp từ máy bay thông qua các bộ lọc;

khối ước lượng dữ liệu: có nhiệm vụ ước lượng và sinh các trường dữ liệu cần thiết mà không thu thập được trực tiếp qua các cảm biến và phương tiện đo.

trong đó bốn tín hiệu điều khiển bao gồm: tín hiệu từ cần lái, bàn đạp, tay ga, phanh;

trong đó mười hai trạng thái của máy bay bao gồm: 03 vị trí máy bay, 03 vận tốc của máy bay, 03 góc chuyển động của máy bay và 03 gia tốc của máy bay

Tham chiếu đến Hình 3, mô tả các bước và cách xử lý đối với dữ liệu có được trong mô-đun xử lý dữ liệu. Sau khi thực hiện các bài bay, dữ liệu được ghi trong hộp đen là dữ liệu dạng mã hóa vì vậy muốn sử dụng được dữ liệu này cần phải giải mã các dữ liệu dựa vào công cụ của nhà cung cấp. Dữ liệu huấn luyện ở đây bao gồm các cặp đầu vào và đầu ra trong cấu trúc của mạng, dữ liệu đầu vào gồm mười sáu tín hiệu trong đó có bốn tín hiệu điều khiển và mười hai tín hiệu mô tả trạng thái máy bay ở các bước tính toán trước. Dữ

liệu đầu ra gồm mười hai tín hiệu mô tả trạng thái của máy bay tại thời điểm tính toán. Các dữ liệu này được trích suất với bước thời gian bằng thời gian có tần số 100 Hz. Quá trình bay ngoài môi trường không thể tránh được các tín hiệu nhiễu lẫn vào giá trị các đại lượng trong quá trình ghi chép thông tin, hơn nữa còn có sai số từ thiết bị đo trực tiếp vì vậy cần loại bỏ các tín hiệu nhiễu bằng các bộ lọc thông thấp hay bộ lọc Kalman để làm mượt tín hiệu có được tránh gây hiểu nhầm trong quá trình huấn luyện mạng. Sau khi dữ liệu được xử lý nhiễu, tiến hành kiểm tra dữ liệu theo hai tiêu chí: chất lượng và số lượng. So sánh dữ liệu qua bộ lọc với dữ liệu thô theo phân bố chuẩn, và loại bỏ những dữ liệu trùng lặp, kì dị qua bộ lọc để đánh giá về mặt chất lượng của dữ liệu, độ phổ rộng của dữ liệu có bao quát hết toàn bộ quá trình bay hay không. Dữ liệu huấn luyện và kiểm tra phải bao gồm nhiều giai đoạn trong quá trình bay: cất cánh, hạ cánh, các động tác cơ động phức tạp, hay bằng, điều khiển dưới mặt đất... Dữ liệu thu thập lên tới 120000 data để phù hợp với một bài bay thực tế 20 – 25 phút với bước thời gian 0,01s. Dữ liệu này được chia thành hai loại: dữ liệu huấn luyện chiếm 2/3 tập dữ liệu phục vụ cho quá trình thiết kế mạng học máy và dữ liệu kiểm tra chiếm 1/3 dữ liệu còn lại phục vụ cho quá trình kiểm tra, đánh giá mạng nơ-ron có được sau khi huấn luyện.

Tham chiếu đến Hình 4, mô tả về mô-đun học máy dùng mạng nơ-ron tuần hoàn (RNN) kết hợp với mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp (MLP) dùng để thiết kế mạng học máy. Do đặc tính động lực học của máy bay là hệ thống phi tuyến bậc cao và có nhiều đầu vào, nhiều đầu ra nên mạng được chọn là mạng RNN kết hợp với mạng MLP. Mạng MLP để xác định giá trị khởi tạo cho mười hai tín hiệu đầu vào mô tả trạng thái máy bay, mạng RNN được huấn luyện dựa vào các trạng thái đầu ra của máy bay theo dữ liệu chuỗi đầu vào tương ứng của bộ dữ liệu huấn luyện. Cấu trúc của mạng RNN và MLP được trình bày như Hình 4. Mạng RNN: đầu vào dạng chuỗi gồm mười sáu nơ-ron: bốn tín hiệu điều khiển và mười hai trạng thái máy bay ở bước tính toán trước; đầu ra dạng chuỗi gồm mười hai nơ-ron mô tả mười hai trạng thái máy bay ở thời điểm tính toán. Mạng MLP: đầu vào gồm mười hai nơ-ron tương ứng là mười hai trạng thái máy bay tại thời điểm t ; đầu ra gồm mười hai trạng thái máy bay tại thời điểm t_k .

Tham chiếu Hình 5, phương pháp mô phỏng quỹ đạo chuyển động của máy bay sử dụng mô hình học máy bao gồm các bước:

bước 1: thu thập và xử lý dữ liệu huấn luyện;

dữ liệu sinh ra được dùng để phục vụ cho quá trình huấn luyện và kiểm thử mô hình mạng học máy; dữ liệu qua mô-đun xử lý dữ liệu cần đáp ứng hai yêu cầu: độ phổ rộng toàn toàn bộ các bài bay và số lượng dữ liệu đủ lớn; độ phổ rộng của dữ liệu được kiểm tra trong mô-đun phân tích dữ liệu chuyển đổi; dữ liệu cần được kiểm tra, phân chia theo toàn bộ từng động tác bay có thể thực hiện được của phi công khi đó sẽ đáp ứng yêu cầu về độ phổ rộng của dữ liệu; các bài bay thường kéo dài 20 – 25 phút cho ta lượng dữ liệu 120000 dữ liệu cũng đáp ứng yêu cầu về độ lớn của dữ liệu;

trong đó dữ liệu đầu vào cho bước thu thập và xử lý dữ liệu bao gồm: 04 tín hiệu điều khiển và 12 trạng thái của máy bay;

trong đó bốn tín hiệu điều khiển bao gồm tín hiệu từ cần lái, bàn đạp, tay ga, phanh;

trong đó mười hai trạng thái của máy bay bao gồm: 03 vị trí máy bay, 03 vận tốc của máy bay, 03 góc chuyển động của máy bay và 03 gia tốc của máy bay;

Bước 2: thiết kế và xây dựng mạng nơ-ron tuần hoàn;

tại bước này ta tiến hành xây dựng cấu trúc của mạng RNN và mạng MLP;

mạng RNN có mười sáu tín hiệu đầu vào dạng chuỗi, mười hai tín hiệu đầu ra dạng chuỗi với các trạng thái của máy bay, số bước lặp của các trạng thái trước đó $k = 5$, bước thời gian giữa hai lần tính toán liên tiếp là 0,01s; do đó mạng RNN có thể dự đoán giá trị đầu ra sau 0,05s thời điểm tính toán của các đầu vào; mỗi chuỗi của các dữ liệu đầu vào $u(k)$, mạng RNN tham gia giải quyết hai vấn đề chính sau:

+ Cập nhật các trạng thái mới của đối tượng:

$$x_k(\theta) = f(x_{k-1}(\theta), u_k)$$

+ Tạo ra các chuỗi đầu ra:

$$\tilde{y}_k(\theta) = g(x_k(\theta), u_k)$$

trong đó: $\tilde{y}_k(\theta)$ là các đầu ra dự đoán của mạng RNN; $x_k(\theta)$ là các giá trị trạng thái cập nhật của đối tượng của mạng RNN; véc-tơ $\theta \in R^q$ là các véc-tơ hệ số trọng số với kích thước q phụ thuộc vào cấu trúc các lớp ẩn của mạng RNN; các hàm $f(\cdot)$ và $g(\cdot)$ là các hàm bộ nhớ dài-ngắn hạn;

mạng MLP dùng để xây dựng các trạng thái ban đầu cho mạng RNN; mạng MLP có đặc điểm số lớp ẩn (>3); cấu hình của đầu vào/đầu ra (input/output): số đầu vào với mười hai tín hiệu trạng thái máy bay tại bước thời gian t trở đi; số đầu ra với mười hai tín

hiệu trạng thái máy bay tại thời gian t-k trở đi; công thức đặc trưng dùng để xác định đầu ra của mạng MLP:

$$h^0 = x$$

$$h^{(k)} = \sigma^{(k)}(W^{(k)T} h^{(k-1)} + b^k)$$

trong đó: x là véc-tơ giá trị đầu vào, $h^{(k)}$ là giá trị đầu ra của lớp $k \in [1, L]$ trong L lớp ẩn của mạng MLP, $\sigma^{(k)}$ là hàm kích hoạt của lớp ẩn k ; $h^L = f(x)$ là đầu ra của mạng MLP

bước 3: huấn luyện mạng học máy; bước này được thực hiện như sau:

chọn hệ số trọng số (weight) theo kinh nghiệm ban đầu cho tất cả các nút trong mô hình;

tính các đầu ra dự tính theo các dữ liệu đầu vào và các tham số của mạng;

tính hàm mất mát (loss function) (MSE): sai số giữa đầu ra dự tính với dữ liệu thật; công thức tính hàm MSE như sau:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2$$

trong đó:

y_i là các giá trị đầu ra lấy từ dữ liệu thực tế;

$\tilde{y}_i$ là các giá trị đầu ra được tính toán từ mô hình mạng học máy;

n là tổng số giá trị đầu ra của mô hình mạng học máy;

dùng thuật toán tối ưu adam thay đổi ma trận trọng số sao cho giá trị của hàm mất mát hội tụ nhỏ nhất trong một dải cho phép; thuật toán tối ưu adam sử dụng ước lượng tính khoảng thời gian thứ nhất và thứ hai của độ dốc để điều chỉnh tỉ lệ học cho từng trọng số của mạng nơ-ron; thuật toán adam được mô tả như sau:

$$m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t$$

$$v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2$$

trong đó: v_t và m_t là trung bình động bình phương và trung bình cộng của giá trị đạo hàm vô hướng (gradient) cho các tham số; β_1 và β_2 là tốc độ di của di chuyển; g_t là gradient của các tham số tại vòng lặp t ;

bước 4: kiểm thử mô hình;

sau khi huấn luyện để thiết kế được một mạng học máy với các trọng số thích hợp tại mỗi nơ-ron với dữ liệu huấn luyện ta tiến hành kiểm tra mô hình; mạng học máy được tiến hành kiểm tra với tập mẫu dữ liệu kiểm tra; các bước thực hiện trong quá trình kiểm tra mạng học máy:

b4.1: Cho dữ liệu đầu vào là 04 tín hiệu điều khiển được lấy từ cặp dữ liệu kiểm tra ban đầu (input/output) đi qua mô hình học máy để tính ra các dữ liệu đầu ra dự kiến;

b4.2: tính sai số của trung bình của tất các cặp đầu ra dự tính với đầu ra thực tế lấy từ dữ liệu kiểm tra; nếu sai số nhỏ hơn 10% thì mạng học máy đạt với dữ liệu này;

b4.3: thực hiện bước b4.1 và bước b4.2 cho tất cả các cặp dữ liệu kiểm tra còn lại trong bộ dữ liệu kiểm tra (40000 dữ liệu); nếu tỉ lệ thành công lớn hơn 85% cho toàn bộ dữ liệu kiểm tra thì mạng học máy này có thể áp dụng trong thực tế.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống mô phỏng quỹ đạo chuyển động của máy bay sử dụng mô hình học máy gồm hai mô-đun chính, cụ thể như sau:

mô-đun học máy: có chức năng nhiệm vụ xây dựng/tái tạo các mối liên kết giữa các tín hiệu điều khiển của máy bay và các trạng thái của máy bay ở bước thời gian trước (t_0) với các trạng thái của máy bay ở bước thời gian sau (t_0+1), mô-đun gồm hai khối chính:

khối mạng tuần hoàn (RNN): có nhiệm vụ xây dựng mối quan hệ tương ứng bằng cấu trúc lưu trữ các thông tin;

khối mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp (MLP) có nhiệm vụ xác định các giá trị khởi tạo về trạng thái của máy bay cho khối mạng tuần hoàn;

mô-đun xử lý dữ liệu: có nhiệm vụ tạo bộ dữ liệu bao gồm dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm thử, dữ liệu có đầy đủ các trường thông tin về 04 tín hiệu điều khiển và 12 trạng thái của máy bay, bộ dữ liệu được dùng làm bộ huấn luyện cho mô hình học máy, mô-đun gồm hai khối chính:

khối xử lý dữ liệu thô: có nhiệm vụ xử lý các dữ liệu thu được trực tiếp từ máy bay thông qua các bộ lọc;

khối ước lượng dữ liệu: có nhiệm vụ ước lượng và sinh các trường dữ liệu cần thiết mà không thu thập được trực tiếp qua các cảm biến và phương tiện đo.

trong đó bốn tín hiệu điều khiển bao gồm: tín hiệu từ cần lái, bàn đạp, tay ga, phanh;

trong đó mười hai trạng thái của máy bay bao gồm: 03 vị trí máy bay, 03 vận tốc của máy bay, 03 góc chuyển động của máy bay và 03 gia tốc của máy bay.

2. Phương pháp mô phỏng quỹ đạo chuyển động của máy bay sử dụng mô hình học máy bao gồm các bước:

bước 1: thu thập và xử lý dữ liệu huấn luyện;

dữ liệu sinh ra được dùng để phục vụ cho quá trình huấn luyện và kiểm thử mô hình mạng học máy; dữ liệu qua mô-đun xử lý dữ liệu cần đáp ứng hai yêu cầu: độ phổ rộng toàn toàn bộ các bài bay và số lượng dữ liệu đủ lớn; độ phổ rộng của dữ liệu được kiểm tra trong mô-đun phân tích dữ liệu chuyển đổi; dữ liệu cần được kiểm tra, phân chia theo toàn bộ từng động tác bay có thể thực hiện được của phi công khi đó sẽ đáp ứng yêu cầu về độ

phổ rộng của dữ liệu; các bài bay thường kéo dài 20 – 25 phút cho ta lượng dữ liệu 120000 dữ liệu cũng đáp ứng yêu cầu về độ lớn của dữ liệu;

trong đó dữ liệu đầu vào cho bước thu thập và xử lý dữ liệu bao gồm: 04 tín hiệu điều khiển và 12 trạng thái của máy bay;

trong đó bốn tín hiệu điều khiển bao gồm tín hiệu từ cần lái, bàn đạp, tay ga, phanh;

trong đó mười hai trạng thái của máy bay bao gồm: 03 vị trí máy bay, 03 vận tốc của máy bay, 03 góc chuyển động của máy bay và 03 gia tốc của máy bay;

Bước 2: thiết kế và xây dựng mạng nơ-ron tuần hoàn;

tại bước này ta tiến hành xây dựng cấu trúc của mạng RNN và mạng MLP;

mạng RNN có mười sáu tín hiệu đầu vào dạng chuỗi, mười hai tín hiệu đầu ra dạng chuỗi với các trạng thái của máy bay, số bước lặp của các trạng thái trước đó $k = 5$, bước thời gian giữa hai lần tính toán liên tiếp là 0,01s; do đó mạng RNN có thể dự đoán giá trị đầu ra sau 0,05s thời điểm tính toán của các đầu vào; mỗi chuỗi của các dữ liệu đầu vào $u(k)$, mạng RNN tham gia giải quyết hai vấn đề chính sau:

+ Cập nhật các trạng thái mới của đối tượng:

$$x_k(\theta) = f(x_{k-1}(\theta), u_k)$$

+ Tạo ra các chuỗi đầu ra:

$$\tilde{y}_k(\theta) = g(x_k(\theta), u_k)$$

trong đó: $\tilde{y}_k(\theta)$ là các đầu ra dự đoán của mạng RNN; $x_k(\theta)$ là các giá trị trạng thái cập nhật của đối tượng của mạng RNN; véc-tơ $\theta \in R^q$ là các véc-tơ hệ số trọng số với kích thước q phụ thuộc vào cấu trúc các lớp ẩn của mạng RNN; các hàm $f(\cdot)$ và $g(\cdot)$ là các hàm bộ nhớ dài-ngắn hạn;

mạng MLP dùng để xây dựng các trạng thái ban đầu cho mạng RNN; mạng MLP có đặc điểm số lớp ẩn (>3); cấu hình của đầu vào/đầu ra (input/output): số đầu vào với mười hai tín hiệu trạng thái máy bay tại bước thời gian t trở đi; số đầu ra với mười hai tín hiệu trạng thái máy bay tại thời gian $t-k$ trở đi; công thức đặc trưng dùng để xác định đầu ra của mạng MLP:

$$h^0 = x$$

$$h^{(k)} = \sigma^{(k)}(W^{(k)T} h^{(k-1)} + b^k)$$

trong đó: x là véc-tơ giá trị đầu vào, $h^{(k)}$ là giá trị đầu ra của lớp $k \in [1, L]$ trong L lớp ẩn của mạng MLP, $\sigma^{(k)}$ là hàm kích hoạt của lớp ẩn k ; $h^L = f(x)$ là đầu ra của mạng MLP

bước 3: huấn luyện mạng học máy; bước này được thực hiện như sau:

chọn hệ số trọng số (weight) theo kinh nghiệm ban đầu cho tất cả các nút trong mô hình;

tính các đầu ra dự tính theo các dữ liệu đầu vào và các tham số của mạng;

tính hàm mất mát (loss function) (MSE): sai số giữa đầu ra dự tính với dữ liệu thật; công thức tính hàm MSE như sau:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2$$

trong đó:

y_i là các giá trị đầu ra lấy từ dữ liệu thực tế;

$\tilde{y}_i$ là các giá trị đầu ra được tính toán từ mô hình mạng học máy;

n là tổng số giá trị đầu ra của mô hình mạng học máy;

dùng thuật toán tối ưu adam thay đổi ma trận trọng số sao cho giá trị của hàm mất mát hội tụ nhỏ nhất trong một dải cho phép; thuật toán tối ưu adam sử dụng ước lượng tính khoảng thời gian thứ nhất và thứ hai của độ dốc để điều chỉnh tỉ lệ học cho từng trọng số của mạng nơ-ron; thuật toán adam được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} m_t &= \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t \\ v_t &= \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2 \end{aligned}$$

trong đó: v_t và m_t là trung bình động bình phương và trung bình cộng của giá trị đạo hàm vô hướng (gradient) cho các tham số; β_1 và β_2 là tốc độ di của di chuyển; g_t là gradient của các tham số tại vòng lặp t ;

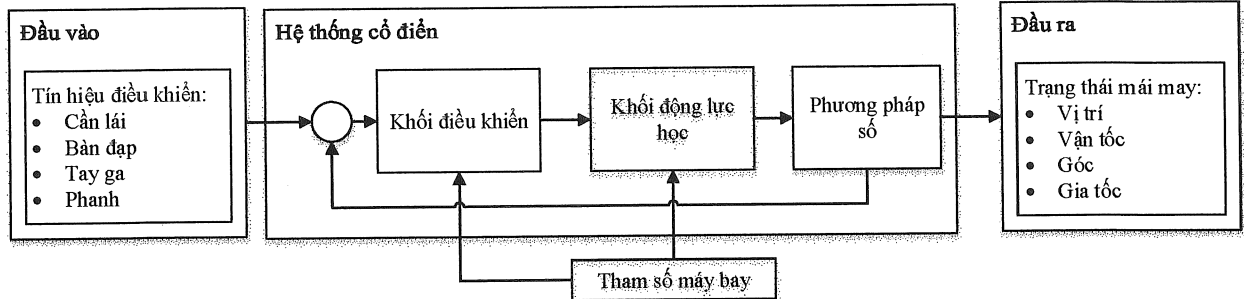
bước 4: kiểm thử mô hình;

sau khi huấn luyện để thiết kế được một mạng học máy với các trọng số thích hợp tại mỗi nơ-ron với dữ liệu huấn luyện ta tiến hành kiểm tra mô hình; mạng học máy được tiến hành kiểm tra với tập mẫu dữ liệu kiểm tra; các bước thực hiện trong quá trình kiểm tra mạng học máy:

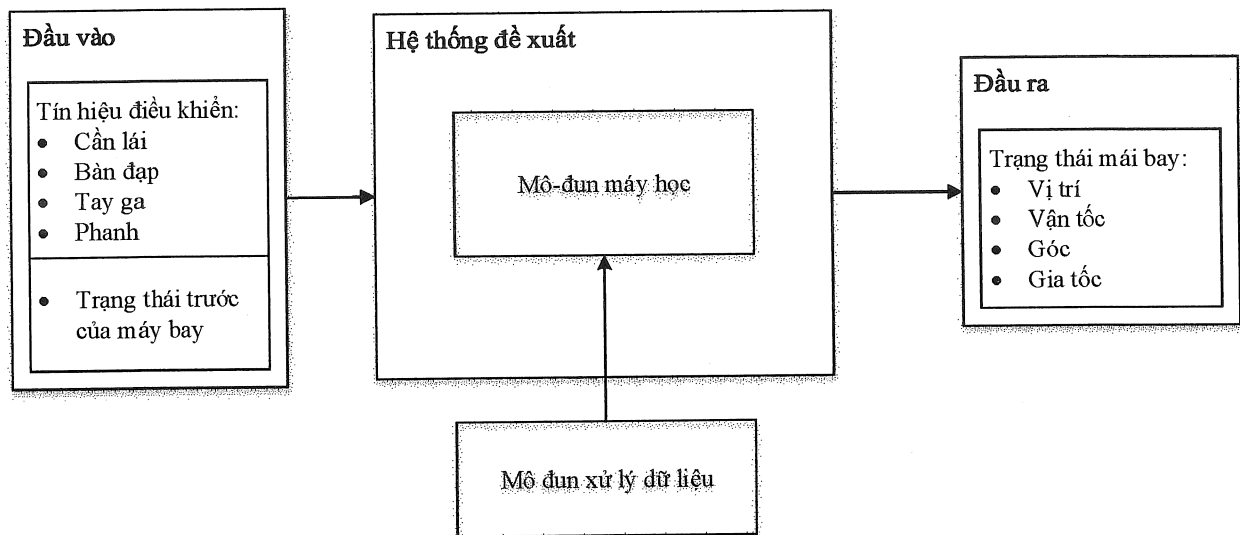
b4.1: Cho dữ liệu đầu vào là 04 tín hiệu điều khiển được lấy từ cặp dữ liệu kiểm tra ban đầu (input/output) đi qua mô hình học máy để tính ra các dữ liệu đầu ra dự kiến;

b4.2: tính sai số của trung bình của tất các cặp đầu ra dự tính với đầu ra thực tế lấy từ dữ liệu kiểm tra; nếu sai số nhỏ hơn 10% thì mạng học máy đạt với dữ liệu này;

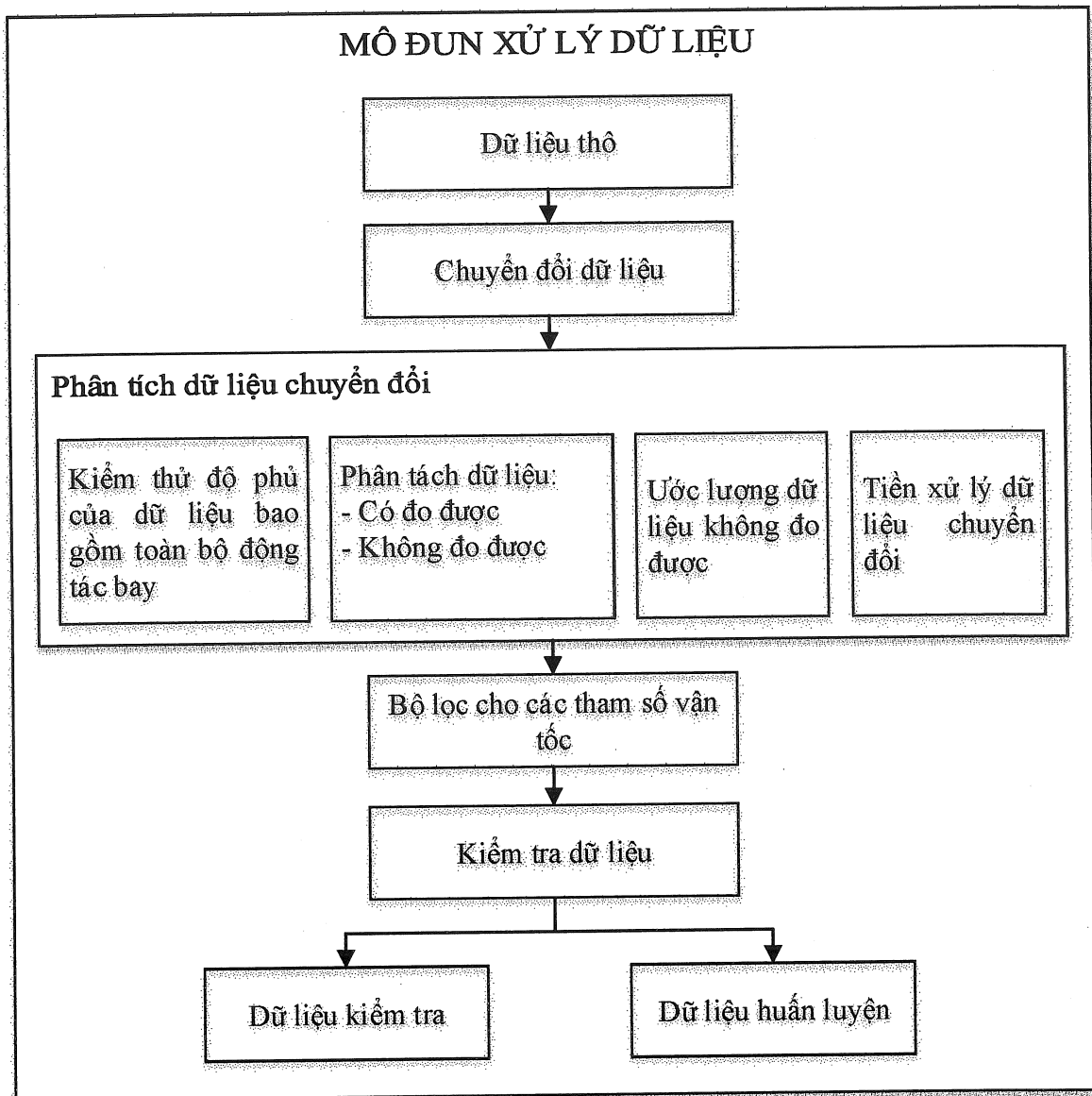
b4.3: thực hiện bước b4.1 và bước b4.2 cho tất cả các cặp dữ liệu kiểm tra còn lại trong bộ dữ liệu kiểm tra (40000 dữ liệu); nếu tỉ lệ thành công lớn hơn 85% cho toàn bộ dữ liệu kiểm tra thì mạng học máy này có thể áp dụng trong thực tế.



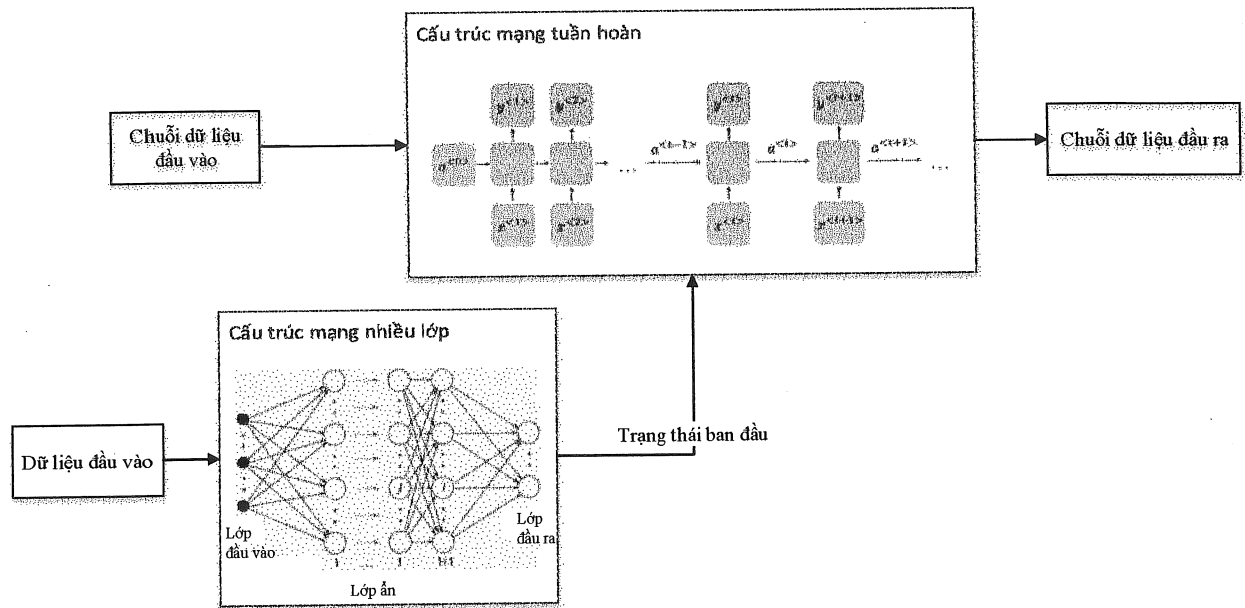
Hình 1



Hình 2

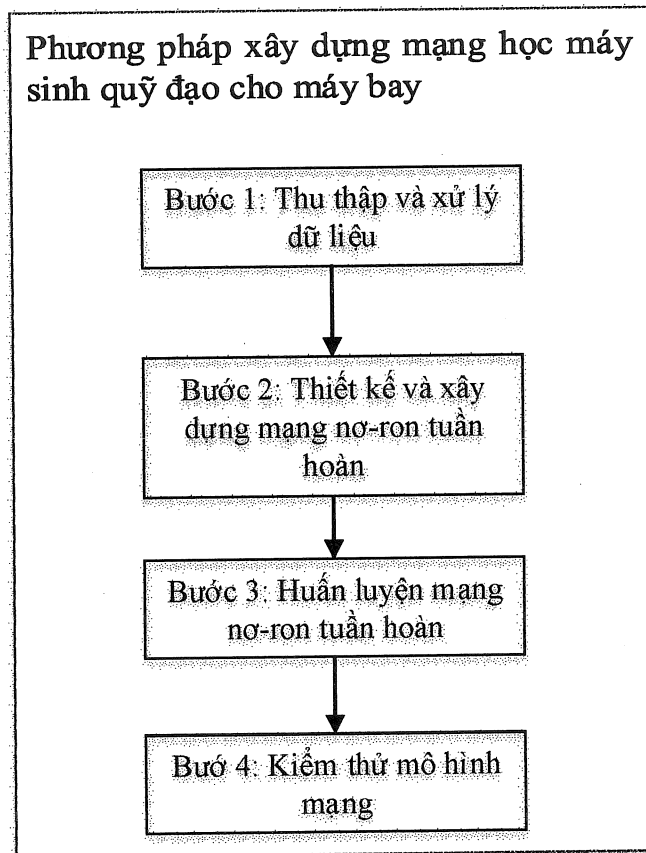


Hình 3



Hình 4

Phương pháp xây dựng mạng học máy sinh quỹ đạo cho máy bay



Hình 5