

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MẠNG NƠON NHÂN TẠO TRONG CHUẨN ĐOÁN MÒN DAO

AN APPLICATION RESEARCH ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IN TOOL WEAR PREDICTION

Phạm Vũ Dũng

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

Đến Tòa soạn ngày 29/03/2021, chấp nhận đăng ngày 16/05/2021

Tóm tắt: Để bảo đảm độ tin cậy và hiệu quả của quá trình gia công cắt gọt không thể thiếu các thông tin về trạng thái dao, cũng như trạng thái của cả quá trình cắt. Bài báo giới thiệu mô hình ứng dụng mạng nơon nhân tạo trong dự báo mòn dao khi tiện, nhằm nâng cao hiệu quả, độ tin cậy của quá trình gia công.

Từ khóa: mòn dao, mạng nơon nhân tạo (ANN)...

Abstract: To ensure the reliability and efficiency of the machining process, it is indispensable to inform the state of the tool, as well as the state of the whole cutting process. The paper introduces the model of artificial neural network application in tool wear prediction in turning to improve the efficiency and reliability of the machining process.

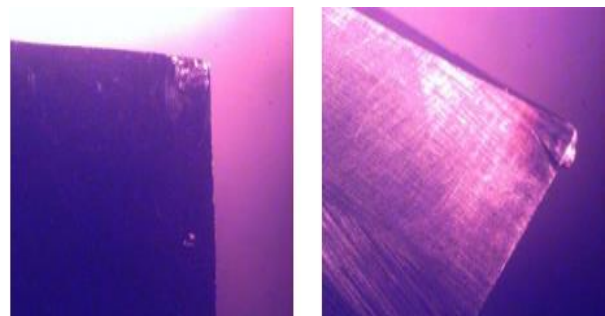
Keywords: tool wear, artificial neural network (ANN)...

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quyết định thay dụng cụ phù hợp và đúng lúc là yêu cầu cấp thiết, nhằm tránh hư hỏng chi tiết hoặc thay dụng cụ không cần thiết. Dự báo sự mòn dao trong quá trình gia công là một bài toán quan trọng trong việc giải quyết các vấn đề liên quan đến đảm bảo độ tin cậy, an toàn của máy và dao cắt, xác định trữ lượng của dao cắt, cũng như các vấn đề về liên quan đến đảm bảo độ chính xác và chất lượng gia công chi tiết trên các dây chuyền sản xuất tự động hóa nhằm tiến tới giám sát trực tuyến tình trạng của dụng cụ là cần thiết đối với các máy công cụ hiện đại.

Trong quá trình cắt, do không thể trực tiếp quan sát miền cắt (miền tiếp xúc giữa dao và phôi), nên thông thường cần phải xây dựng các mô hình, hoặc đo một vài thông số nào đó của quá trình cắt, như lực cắt, công suất cắt,

hiệu suất, các tín hiệu khí, rung động, tín hiệu điện... Cho dù đã đạt được các thành tựu to lớn trong lĩnh vực giám sát động trạng thái dao cắt, song vấn đề mô tả sự phát triển mòn dao dựa trên sự phân tích các nguyên nhân đầu tiên (nguyên nhân gốc) gây ra sự mòn dao vẫn còn là vấn đề cần thiết.



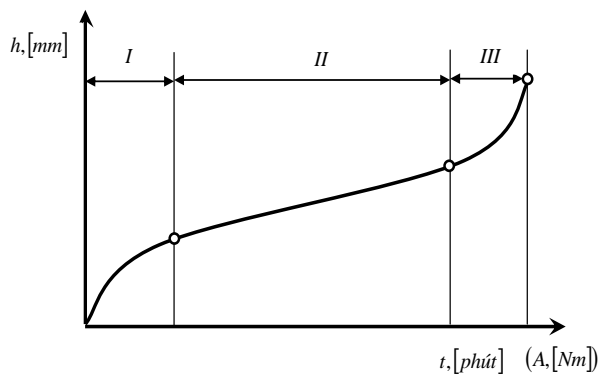
Hình 1. Hình ảnh mòn của dao

Ứng dụng mạng nơon nhân tạo vào hệ thống sản xuất tự động đem lại lợi ích và hiệu quả kinh tế, do mạng nơon có khả năng hiện thực

hóa bằng phần cứng và tốc độ tính toán phụ thuộc vào máy tính số. Bài báo này giới thiệu phương pháp nghiên cứu ứng dụng mạng nơron nhân tạo trong dự báo mòn dao khi tiện.

2. PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH MÒN DAO

Phân tích các kết quả nghiên cứu thực nghiệm mòn dao tiện trong [2] đã chỉ ra rằng, sự mòn dao được thiết lập bởi hai khuynh hướng đối lập. Khuynh hướng thứ nhất đặc trưng bởi sự thích nghi của các bề mặt tiếp xúc, được thể hiện trong sự thiết lập trạng thái dừng (quá trình cắt ổn định). Khuynh hướng thứ hai đặc trưng bởi sự phá hủy các tính chất của các bề mặt tiếp xúc, được thể hiện trong sự tích lũy các khuyết tật trên bề mặt tiếp xúc và đưa đến sự mài mòn khốc liệt. Như vậy, mòn dao có thể chia ra làm ba giai đoạn: giai đoạn bắt đầu mài mòn, giai đoạn mài mòn ổn định và giai đoạn mài mòn khốc liệt (hình 2).



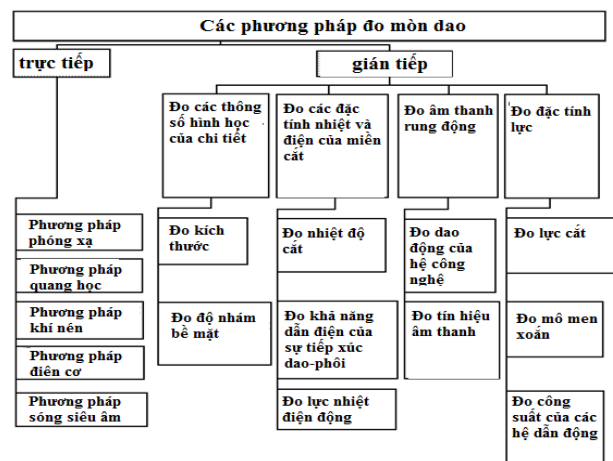
Hình 2. Quy luật mòn dao theo thời gian hoặc theo mức độ thực hiện công của lực cắt: I - Giai đoạn bắt đầu mài mòn; II - Giai đoạn mài mòn ổn định; III - Giai đoạn mài mòn khốc liệt

Trong bài báo này giới thiệu mô hình thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu mòn dao khi tiện. Qua thực nghiệm với các chế độ cắt khác nhau, các dữ liệu thực nghiệm đã chỉ ra rằng, mòn dao phụ thuộc lớn vào tốc độ cắt. Ngoài ra, các thành phần của lực cắt phụ thuộc khác nhau vào sự phát triển mòn dao.

3. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ MÒN DAO

Hình 3 giới thiệu các phương pháp nghiên cứu chuẩn đoán mòn dao, bao gồm các phương pháp đo trực tiếp và các phương pháp gián tiếp.

Các phương pháp trực tiếp cho phép đo trực tiếp các tham số của mòn dao (theo vết lõm được tạo thành trên mặt trước của dao). Khoảng cách từ lưỡi cắt đến tâm vết lõm, chiều sâu vết lõm, độ rộng của phần mòn theo mặt sau của dao, giảm thể tích và khối lượng dao, mòn kích thước của lưỡi cắt, thay đổi kích thước của chi tiết... [1]. Các tham số chỉ ra có thể được xác định bằng các phương pháp phóng xạ, quang - truyền hình, laser, cơ điện, khí nén hoặc siêu âm... Các phương pháp đo trực tiếp mòn dao không có độ tin cậy cao, khó thực hiện. Do sự phức tạp trong việc sử dụng các phương pháp đo trực tiếp mòn dao trong các điều kiện sản xuất, các nhà nghiên cứu tìm ra các phương pháp gián tiếp đánh giá trạng thái của dao thông qua các thông số đo được của các quá trình diễn ra khi cắt. Dựa trên sự thay đổi các đặc tính của các tín hiệu đo được trong quá trình gia công, ví dụ, lực cắt, nhiệt độ, rung động, công suất của trục chính, mômen..., nghĩa là xác định sự tương quan giữa phát triển mòn dao và sự thay đổi các đặc tính của tín hiệu đo.

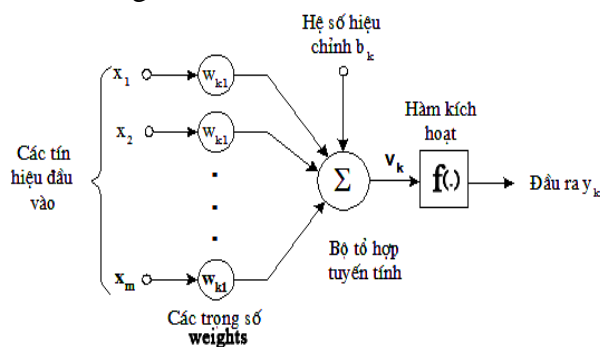


Hình 3. Các phương pháp đo mòn dao

4. ỨNG DỤNG MẠNG NƠON NHÂN TẠO TRONG SẢN XUẤT THÔNG MINH

4.1. Tổng quan mạng nơon nhân tạo

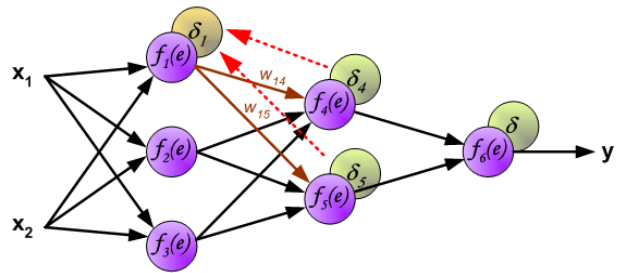
Mạng nơon nhân tạo (ANN) xuất phát từ sự bắt chước cấu trúc và cơ chế xử lý thông tin của não người. Cấu trúc của ANN do người được xác định (thiết kế) trước, nhưng các thông số của nó thay đổi trong quá trình học. ANN xử lý nhanh, không "ngại" dữ liệu rời rạc, phi tuyến, nhiều đầu vào, nhiều đầu ra... thường gặp trong nghiên cứu quá trình công nghệ. Đặc biệt ANN có khả năng học để tạo ra và bổ sung tri thức.



Hình 4. Mô hình của một nơon nhân tạo

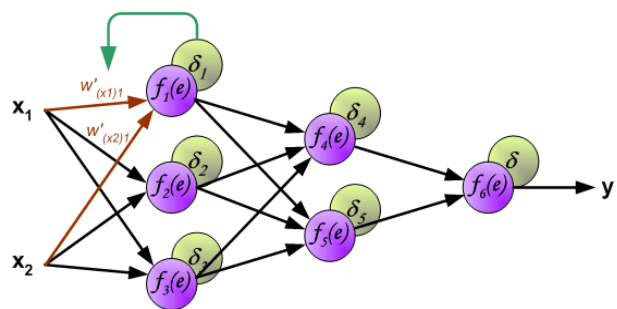
4.2. Ứng dụng giải thuật lan truyền ngược trong chuẩn đoán mòn dao

Học trong mạng nơon là quá trình thay đổi giá trị của trọng số *weights* (*w*), để mạng có thể đưa ra được kết quả mong muốn tối ưu. Sự khác nhau giữa giá trị thật của mẫu và kết quả dự đoán của mạng gọi là sai số. Quá trình học sẽ tìm các *w_i** để sai số nhỏ nhất. Lan truyền ngược (*backpropagation*) là giải thuật cốt lõi giúp cho các mô hình học sâu có thể dễ dàng thực thi tính toán được. Với các mạng ANN hiện đại, nhờ giải thuật này mà thuật toán tối ưu có thể nhanh hơn nhiều lần so với cách thực hiện truyền thống. Lan truyền ngược được sử dụng cho học sâu, nó là một kỹ thuật để nhanh chóng tính được đạo hàm.



Hình 5. Lan truyền ngược của tín hiệu trong nhiều lớp ẩn

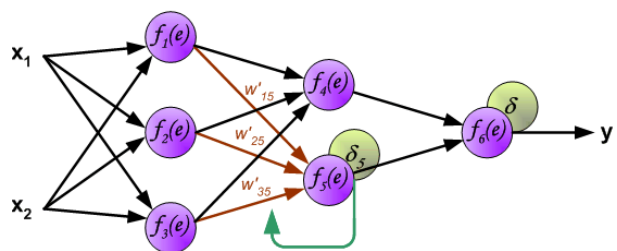
$$\delta_1 = w_{14}\delta_4 + w_{15}\delta_5$$



Hình 6. Sự thay đổi giá trị của các trọng số dựa vào tín hiệu lỗi

$$w'_{(x1)1} = w_{(x1)1} + \eta \delta_1 \frac{df_1(e)}{de} x_1$$

$$w'_{(x2)1} = w_{(x2)1} + \eta \delta_1 \frac{df_1(e)}{de} x_2$$



Hình 7. Quá trình học của mạng

$$w'_{15} = w_{15} + \eta \delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_1$$

$$w'_{25} = w_{25} + \eta \delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_2$$

$$w'_{35} = w_{35} + \eta \delta_5 \frac{df_5(e)}{de} y_3$$

5. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

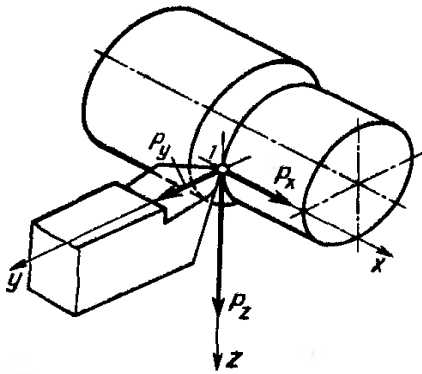
5.1. Mục đích

Nghiên cứu thực nghiệm mòn dao chúng ta

dựa trên cơ sở nghiên cứu sự thay đổi lực cắt, cũng như sự phát triển mòn dao trong quá trình gia công. Để làm điều này, trong quá trình thực nghiệm tiến hành ghi đồng bộ các tín hiệu mang thông tin về sự thay đổi 3 thành phần trực giao của lực cắt theo các tọa độ chuyển dịch máy tiện là thành phần lực cắt chính, thành phần lực pháp tuyến và thành phần lực tiếp tuyến trong thời gian gia công thực.

Trong giám sát tự động hệ thống công nghệ, có một số loại sensor hay được dùng, với mức độ khác nhau. Ta thấy, lực kế thường được sử dụng nhất, sau đó là AE.

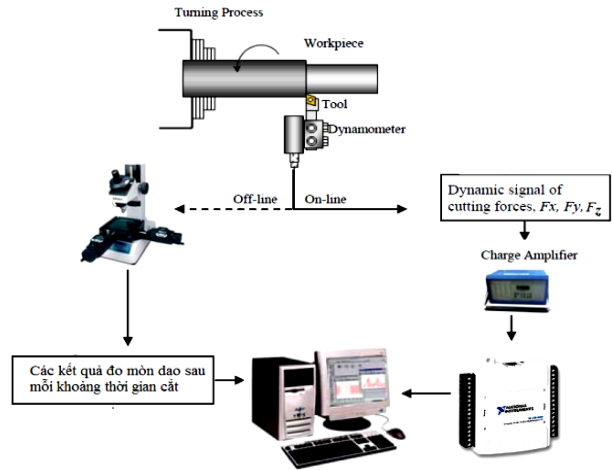
Để đo lực cắt theo 3 hướng trực giao, sử dụng thiết bị đo lực cắt 3 thành phần Kistler 9257-BA. Thiết bị đo lực Kistler bao gồm lực kế, bộ khuếch đại tín hiệu, bộ đồng bộ tín hiệu. Lực kế được lắp cố định trên bàn máy như hình 8.



Hình 8. Các thành phần của lực cắt

5.2. Điều kiện thí nghiệm

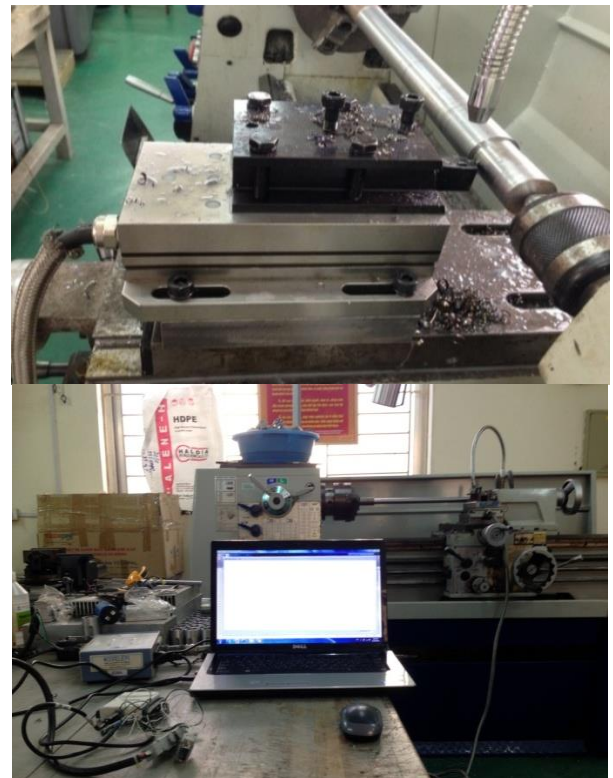
Mô hình thực nghiệm cơ bản như sau: Trên máy tiện bố trí phôi, hình dạng của phôi đã được xử lý sơ bộ để nghiên cứu sự thay đổi của lực cắt. Vật liệu: 9CrSi, dao cắt (cán dao Walter turn DCLNR, mảnh dao CNMG với các thông số hình học: góc nghiêng chính: 95° , góc nghiêng phụ: 5° , góc trước: -6° , góc sau: -6° , đường kính mũi dao: 0,4 mm).



Hình 9. Sơ đồ mô hình thực nghiệm

- Chế độ cắt: vận tốc cắt $V_c = [100,160]$ m/phút; lượng chạy dao dọc $f_c = 0.15$ mm/vòng; chiều sâu cắt $t_c = 2$ mm..

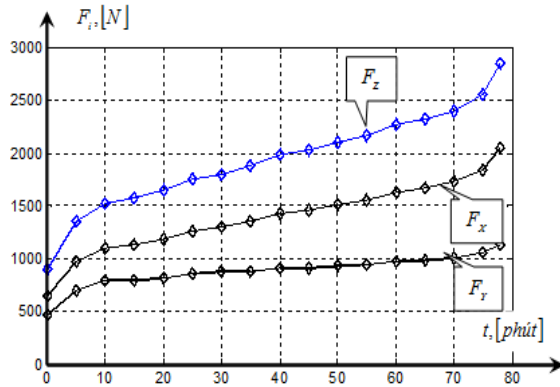
Trong quá trình thực nghiệm, đo lực cắt bằng sensor lực và tương ứng với nó là đo giá trị mòn dao (kết quả thí nghiệm bảng 1, 2 phần phụ lục). Xây dựng sơ đồ mô hình thực nghiệm hình 9.



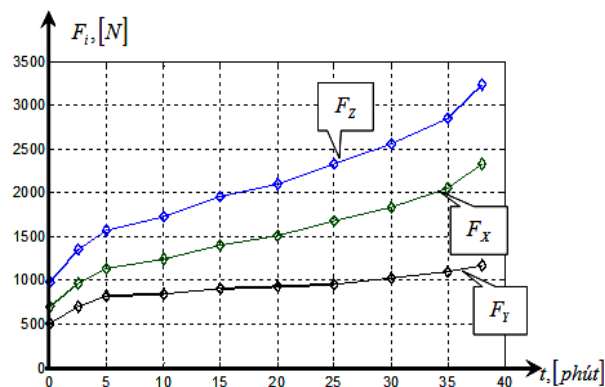
Hình 10. Sơ đồ cấu trúc và ảnh của mô hình thực nghiệm

6. CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Các thành phần lực được trung bình hóa trong mỗi khoảng thời gian được đưa ra trên hình 11, 12, tương ứng với các giá trị của vận tốc cắt $V_c = 100, \text{m/phút}$ và $V_c = 160, \text{m/phút}$.



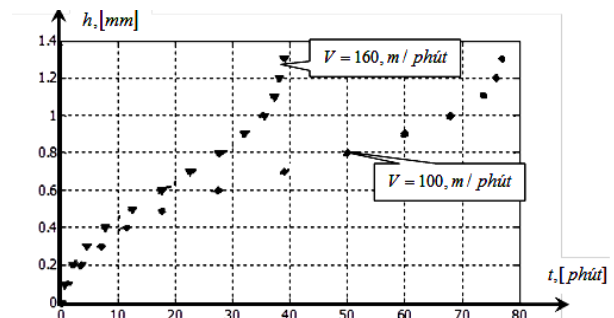
Hình 11. Sự thay đổi giá trị trung bình của các thành phần lực cắt nhận được bằng thực nghiệm dưới vận tốc cắt $V_c = 100 \text{ m/ph}$



Hình 12. Sự thay đổi giá trị trung bình của các thành phần lực cắt nhận được bằng thực nghiệm dưới vận tốc cắt $V_c = 160 \text{ m/ph}$

Từ đặc trưng thay đổi các thành phần lực cắt trên hình ta có thể thấy theo mức độ mòn dao và các thành phần của lực thay đổi khác nhau. Thành phần lực cắt chính F_z thay đổi lớn nhất, sau đó đến thành phần lực tiếp tuyến F_x , còn thành phần lực pháp tuyến F_y thay đổi không nhiều. Như vậy, hướng của lực bị thay đổi khi dao bị mòn. Điều này được giải thích bởi mòn dao ảnh hưởng đến góc hình học của dao, nó làm thay đổi góc hình học của dao, và vì vậy, làm thay đổi góc định hướng của lực.

Các thành phần lực được trung bình hóa trong mỗi khoảng thời gian hình 11, 12. Trên hình 13 là đường đặc trưng thay đổi giá trị mòn dao theo thời gian nhận được bằng thực nghiệm. Chúng ta thấy rằng, khi tăng vận tốc cắt dao sẽ bị mòn rất nhanh. Nghĩa là, mòn dao phụ thuộc lớn vào tốc độ cắt hình 13.

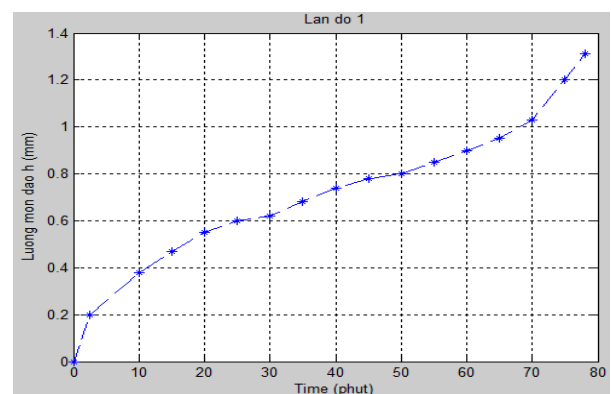


Hình 13. Sự thay đổi giá trị mòn dao theo thời gian nhận được bằng thực nghiệm dưới các giá trị vận tốc $V_c = 100 \text{ m/ph}$ $V_c = 160 \text{ m/ph}$

7. XÂY DỰNG MÔ HÌNH MẠNG NƠON NHÂN TẠO TRONG CHUẨN ĐOÁN MÒN DAO

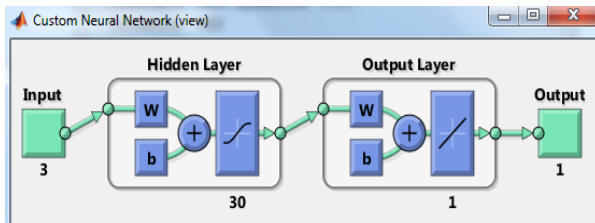
7.1. Xây dựng cơ sở dữ liệu huấn luyện mạng

Tương ứng với các giá trị của vận tốc cắt $V_c = 100 \text{ m/phút}$, tiến hành 10 lần thí nghiệm xây dựng cơ sở dữ liệu cho mạng nơron. Trong mỗi lần thí nghiệm tiến hành đo lực và lượng mòn dao h (mm) tại 17 thời điểm khác nhau của quá trình gia công cho đến khi độ mòn của dao lớn hơn 1.3 mm. Đồ thị mòn dao theo thời gian đối với dao mảnh dao CNMG (hình 14).



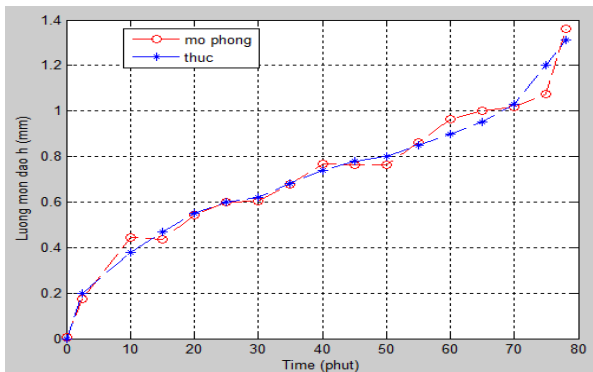
Hình 14. Đồ thị mòn dao

Tương tự, đối với chế độ công nghệ thứ hai, $v_c = 160 \text{ m/phút}$, tiến hành 10 lần thí nghiệm xây dựng cơ sở dữ liệu mạng nơron.



Hình 15. Cấu trúc mạng nơron với 30 nơron lớp ẩn

Trong mỗi lần thí nghiệm tiến hành đo lực và lượng mòn dao $h_s(\text{mm})$ tại 10 thời điểm khác nhau của quá trình gia công, đến khi độ mòn dao lớn hơn 1.3 mm. Tạo và chạy m.file trong Matlab được nhận được cấu trúc mạng với 3 input và 30 bộ dữ liệu, đầu ra là giá trị mòn dao (hình 15).



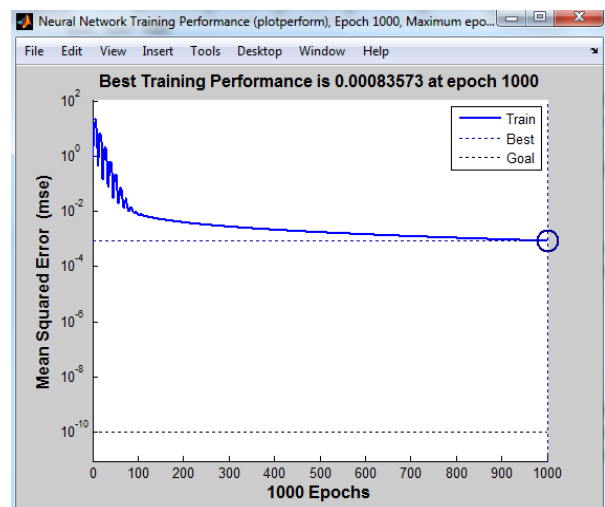
Hình 16. Kết quả mô phỏng mạng sau 1000 epochs

Phân tích hiệu suất mạng nơron sau khi huấn luyện và ứng dụng nó ta có thể kiểm tra việc thực hiện nhằm phát hiện những thay đổi cần thiết trong quá trình huấn luyện, cấu trúc mạng cũng như tập dữ liệu. Hiệu suất mạng nơron với cấu trúc đã xây dựng thu được như sau:

```
trainFcn: 'traingdm'
trainParam: [1x1 struct]
    performFcn: 'mse'
    performParam: [1x1 struct]
    derivFcn: 'defaultderiv'
    divideFcn: 'dividetrain'
    divideMode: 'sample'
    divideParam: [1x1 struct]
```

```
trainInd: [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
12 13 14 15 16 17]
valInd: []
testInd: []
stop: 'Maximumepochreached.'
num_epochs: 1000 trainMask: {[11 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]}
valMask: {[NaN NaN NaN NaN NaN NaN
NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN]}
testMask: {[NaN NaN NaN NaN NaN NaN
NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN]}
best_epoch: 1000
goal: 1.0000e-10
states: {'epoch' 'time' 'perf' 'vperf' 'tperf'
'gradient' 'val_fail'}
epoch: [1x1001 double]
time: [1x1001 double]
perf: [1x1001 double]
vperf: [1x1001 double]
tperf: [1x1001 double]
gradient: [1x1001 double]
val_fail: [1x1001 double]
best_perf: 8.3573e-04
best_vperf: NaN
best_tperf: NaN
```

▪ Với cấu trúc đã cho, có thể thấy mạng nơron đạt tốt nhất ở chu kỳ thứ 1000 ($\text{best_epoch: } 1000$) hình 17. Như vậy tăng số lượng epoch cho mạng nơron chúng ta sẽ thu được kết quả tốt hơn. Tuy nhiên, điều này sẽ ảnh hưởng đến thời gian thực hiện của mạng nơron.

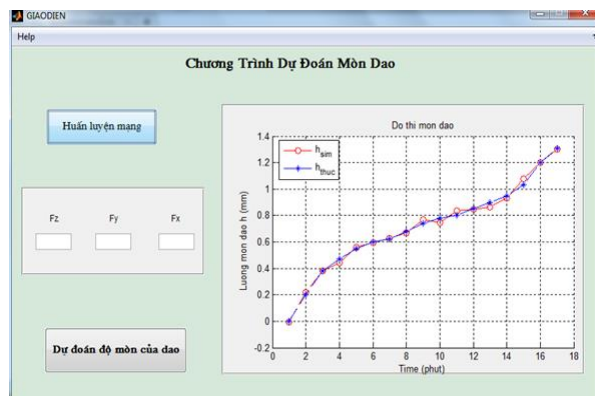


Hình 17. Đồ thị kết quả thực hiện của mạng nơron sau 1000 chu kỳ

Bảng 1. Xây dựng cơ sở dữ liệu huấn luyện mạng

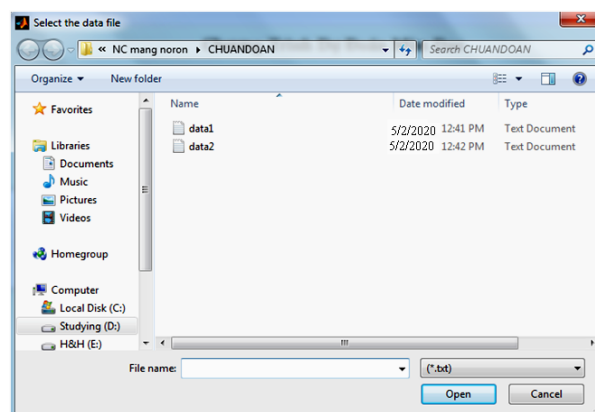
Thời gian (phút)	Vận tốc cắt v_c (m/phút)	Lượng chạy dao f_c (mm/vòng)	Chiều sâu cắt t_c (mm)	Thành phần lực cắt chính F_z (N)	Thành phần lực tiếp tuyến F_x (N)	Thành phần lực pháp tuyến F_y (N)	Lượng mòn dao h (mm)
0	100	0.15	2	800	550	494	0
2.5	100	0.15	2	1356	1001	700	0.20
10	100	0.15	2	1502	1094	800	0.38
15	100	0.15	2	1580	1153	802	0.47
20	100	0.15	2	1700	1200	810	0.55
25	100	0.15	2	1797	1250	870	0.60
30	100	0.15	2	1853	1342	890	0.62
35	100	0.15	2	1900	1402	902	0.68
40	100	0.15	2	2002	1454	910	0.74
45	100	0.15	2	2091	1493	957	0.78

7.2. Xây dựng giao diện chương trình chuẩn đoán mòn dao off-line



Hình 18. Giao diện chương trình

- Giao diện chương trình dự đoán mòn dao với đầu vào là 3 thành phần lực cắt hình 18. Quá trình huấn luyện mạng Chọn dữ liệu lưu dưới dạng file.txt trong thư mục cơ sở dữ liệu bằng cách kích vào nút huấn luyện mạng.

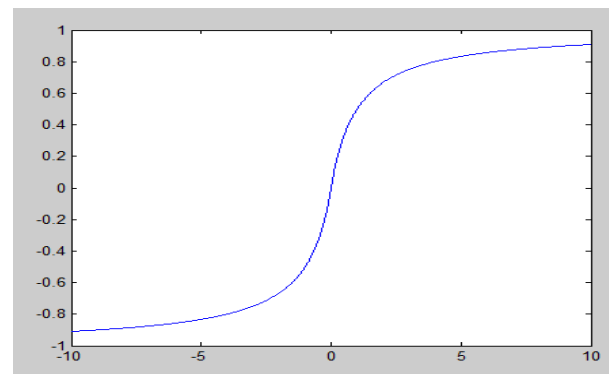


Hình 19. Chọn dữ liệu để huấn luyện mạng chuẩn đoán

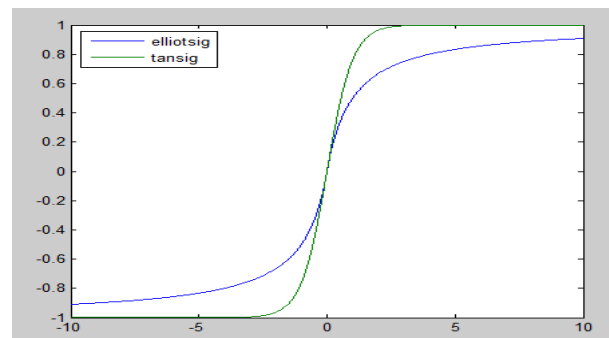
- Nhập dữ liệu về lực cắt vào các mục trong giao diện. Kích vào nút dự đoán độ mòn của dao mạng nơron có thể dự đoán mòn dao.

7.3. Tối ưu hóa cấu trúc mạng nơron

Hàm kích hoạt Fast Elliot Sigmoid: Một số phần cứng tính toán đơn giản không hỗ trợ hàm số mũ điều này làm cho phần mềm thực thi bị chậm khi chạy chương trình. Hàm *Elliot sigmoid* có vai trò như hàm *sigmoid tansig* đối xứng nhưng sẽ giúp chương trình mô phỏng mạng nơron tránh được các hàm số mũ khi gọi hàm kích hoạt của mạng nơron.



Hình 20. Đồ thị hàm Elliotsigmoid



Hình 21. Đồ thị hàm elliotsig và hàm tansig

Để huấn luyện mạng nơron thay vì sử dụng hàm *tansig* làm hàm kích hoạt ta có thể thay thế bằng hàm *elliotsig*.

Khi thực hiện huấn luyện mạng nơron bằng hàm *elliotsig* thời gian thực thi của nó nhanh hơn rất nhiều lần so với tính toán bằng *tansig*.

$n = \text{rand}(1000, 1000);$

```
tic, fori=1:100, a=tansig(n;end, tansig
Time=toc;
tic, fori=1:100, a=elliotsig(n);end, ell
iotTime=toc; speedup=tansigTime/elliotsig
Time
speedup = 4.1406
```

Ta có thể thấy tốc độ thực thi khi gọi hàm *elliotsig* nhanh hơn 4 lần so với hàm *tansig*. Tuy việc mô phỏng là nhanh hơn nhưng không đồng nghĩa với việc huấn luyện sẽ nhanh hơn nguyên nhân là do hình dạng của hai hàm kích hoạt là khác nhau. Tiến hành huấn luyện mạng nơron đối với hai trường hợp kết quả thu được về thời gian huấn luyện như bảng 2. Như vậy rõ ràng là đối với bài toán chuẩn đoán mòn dao chúng ta có thể sử dụng hàm *elliotsig* thay cho hàm *tansig* sẽ giúp cho quá trình huấn luyện mạng nhanh hơn.

Bảng 2. Thời gian huấn luyện mạng với 2 trường hợp

Hàm	Sử dụng hàm elliotsig	Sử dụng hàm tansig
Thời gian huấn luyện mạng	1.3409	1.4606

8. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

- Bài báo đã trình bày một cách hệ thống về

ý tưởng, phương pháp tạo lập mô hình thực nghiệm nghiên cứu sự thay đổi lực cắt theo các tọa độ trạng thái máy, và sự phát triển mòn dao trong quá trình gia công, làm cơ sở thu thập dữ liệu huấn luyện cho mạng nơron, có ứng dụng giải thuật lan truyền ngược cho bài toán chuẩn đoán mòn dao tiện.

- Xây dựng phương pháp bố trí thực nghiệm và tiến hành nghiên cứu thực nghiệm mòn dao cắt. Trong quá trình thực nghiệm tiến hành đo và đánh giá sự thay đổi của lực cắt theo mức độ phát triển mòn dao. Các kết quả nhận được làm cơ sở cho các bài toán nghiên cứu tiếp theo.
- Xây dựng được giao diện chương trình chuẩn đoán mòn dao tiện off-line.
- Các dữ liệu thực nghiệm đã chỉ ra rằng, mòn dao phụ thuộc lớn vào tốc độ cắt. Ngoài ra, các thành phần của lực cắt phụ thuộc khác nhau vào sự phát triển mòn dao trong quá trình gia công.
- Xây dựng được mô hình mạng nơron nhân tạo chuẩn đoán mòn dao và lựa chọn hàm kích hoạt tăng khả năng huấn luyện của mạng, điều này đặc biệt có ý nghĩa với quá trình xử lý online.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Loladze T.N. The strength and durability of the cutting tool.-M: Mechanical Engineering, 1982
- [2] Nadeinskaya E.P. study tool wear using radioactive isotopes.- M.: Mashgiz, 1956.3. Tool wear and failure monitoring techniques for turning-a review.- International journal of machine tools and manufacturing.- 1990 . -T.30. №4,
- [3] Podgorkov V.V. Theory cutting: Proc. allowance. Ivanovo: ISU. 1986.
- [4] Blum, T., and Inasaki, I., 1990, "A Study of Acoustic Emission from Orthogonal Cutting Process," ASME J. Eng. Ind., 112, pp. 203–211.
- [5] Gould, L., 1998, "Sensing Tool and Drive Element Condition in Machine Tools," Sensors, pp. 5–13.69

Thông tin liên hệ: **Phạm Vũ Dũng**

Điện thoại: 0912703855 - Email: pvdung@uneti.edu.vn

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp.

