NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG HỆ SUY LUẬN NƠRON - MỜ TRONG QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

Đào Văn Hiệp[1*], Phan Hùng Dũng[2], Phạm Cường[2]
[1]Học viện Kỹ thuật Quân sự, [2]Trường Cao đẳng Cơ khí - Luyện kim

TÓM TẮT

Bài báo trình bày ý tưởng về một công cụ DoE-ANFIS, áp dụng ANFIS vào quy hoạch thực nghiệm. Đó là kết hợp giữa mảng trực giao toàn phần truyền thống và kỹ thuật tính toán mềm. Một nghiên cứu thực nghiệm với nguyên công tiện thông thường đã chứng tỏ độ chính xác của DoE-ANFIS có phần khá hơn so với phương pháp bề mặt đáp ứng truyền thống. Tuy nhiên hiệu quả chính của phương pháp này mong đợi trong các trường hợp hệ phi tuyến, nhiều đầu vào, nhiều đầu ra với dữ liệu rời rạc, bị nhiễu.

Từ khóa: *quy hoạch thực nghiệm, hệ suy luận nơ ron mờ thích nghi, mảng trực giao.*

Bảng chữ viết tắt và thuật ngữ

Chữ tắt	Giải thích
ANFIS	Adaptive Neural Fuzzy Inference System - hệ suy luận nơ ron mờ thích nghi
ANN	Artificial Neural Network - mạng nơ ron nhân tạo
DoE	Design of Experiment - QHTN
FL	Fuzzy Logic - logic mờ
MR	Multiple Regression: hồi quy nhiều yếu tố (đa biến)
OA	Orthogonal Array - mảng trực giao
QHTN	Quy hoạch thực nghiệm
RSM	Response Surface Method - phương pháp mặt đáp ứng
TTNT	Trí tuệ nhân tạo

ĐẶT VẤN ĐỀ

Giám sát quá trình công nghệ (sau đây gọi tắt là "quá trình") bao gồm việc thu thập, phân tích thông tin về quá trình, ra quyết định về điều khiển quá trình (điều chỉnh các thông số công nghệ, kể cả dừng hay tiếp tục quá trình) đảm bảo quá trình xảy ra đúng với yêu cầu định trước. Công nghệ là một khoa học, dựa trên những quy luật tự nhiên và khách quan, đồng thời là một nghệ thuật, phụ thuộc vào kỹ năng, kinh nghiệm, bí quyết của các nhà công nghệ, cán bộ quản trị, người thợ gia công. Thực chất, hệ thống các bảng tra trong các sổ tay công nghệ, các công thức thực nghiệm, dựa vào đó người ta tính toán hay tối ưu hóa quá trình, các mô hình kiểm tra và đánh giá chất lượng,... đều dựa vào kinh nghiệm hay các nghiên cứu thực nghiệm. Điều đó lý giải, vì sao các phương pháp quy hoạch thực nghiệm (QHTN) truyền thống, trong tiếng Anh gọi là "Design of Experiments (DoE)", đều dựa trên lý thuyết thống kê.

Các phương pháp QHTN truyền thống có ưu điểm, là dựa trên nền tảng lý thuyết toán học chặt chẽ và đưa ra các mô hình toán học tường minh. Các phương pháp tính toán với các mô hình toán học được gọi là tính toán cứng (Hard Computing). Được dùng nhiều trong số đó là phương pháp Taguchi để tối ưu hóa quá trình công nghệ 0; phương pháp hồi quy nhiều yếu tố (Multiple Regression - MR), phương pháp mặt đáp ứng (Response Surface Method - RSM) để phân tích số liệu thực nghiệm,... Các phương pháp trên đều dựa trên mảng trực giao nhiều yếu tố (Factorial Orthogonal Array- OA) nên kế thừa được các ưu điểm cơ bản của nó, là cần số thí nghiệm ít mà vẫn đảm bảo được tính đại diện và tính khách quan của dữ liệu 0. Tuy nhiên QHTN truyền thống có những nhược điểm: (1) các mô hình toán học được thiết lập trên sở các số liệu thực nghiệm, không phản ánh đúng bản chất vật lý của quá trình, không chính xác và khách quan như mong đợi. (2) quá trình xử lý phức tạp, lượng tính toán nhiều, không thích hợp với hệ dữ liệu lớn, nhiều đầu vào, nhiều đầu ra, được mô tả bằng hệ nhiều phương trình phi tuyến, nhiều biến.

* *Tel: 0985 579552, Email: hdaovan@mta.edu.vn*

Các phương pháp trí tuệ nhân tạo (TTNT), còn gọi là tính toán mềm (Soft Computing), không dựa trên mô hình vật lý hay toán học giải tích, thống kê mà dựa trên bộ dữ liệu thu nhận từ quá trình, đặc biệt phù hợp với các hệ phi tuyến, rời rạc, nhiều đầu vào, nhiều đầu ra 0. Chúng được sử dụng rộng rãi trong giám sát và điều khiển quá trình 0, 0, 0. Tuy nhiên, từng phương pháp lại có nhược điểm. Ví dụ, mạng nơ ron nhân tạo (Artificial Neural Network - ANN) đòi hỏi bộ dữ liệu lớn để huấn luyện, logic mờ (Fuzzy Logic - FL) đòi hỏi hiểu biết nhất định về quá trình; cấu trúc và các thông số của mô hình ít nhiều mang tính chủ quan.

Trong các năm gần đây, chúng tôi đã dành sự quan tâm đặc biệt đến việc ứng dụng các phương pháp QHTN truyền thống và TTNT trong thiết kế, giám sát và điều khiển quá trình gia công 0, 0, 0. Từ đó, nảy ra ý tưởng kết hợp các phương pháp "truyền thống và hiện đại" để chúng bổ sung cho nhau. Một trong những thử nghiệm theo hướng đó là phối hợp QHTN với nơ ron mờ để tạo ra một công cụ, gọi là QHTN nơ ron mờ (DoE-ANFIS). Bài báo này nhằm trình bày và trao đổi những thử nghiệm ban đầu về công cụ nói trên.

GIỚI THIỆU VỀ PHƯƠNG PHÁP

Để làm rõ hơn bản chất của phương pháp, sau đây xin trình bày khái quát về các phương pháp liên quan.

Các phương pháp QHTN truyền thống

Mô hình thực nghiệm nhiều yếu tố (Factorial Model) do Fisher đề xuất vào năm 1926, được Plackett và Burman (1946) góp nhiều công phát triển 0. Trong mô hình này, ảnh hưởng của các biến (hay yếu tố - Factor) đến đầu ra được phân theo các mức.

Giả sử mô hình có k yếu tố (biến) độc lập. Giá trị của các biến được phân thành L mức (Level). Số thí nghiệm cần cho toàn bộ các giá trị trong tất cả các vùng sẽ là L^k. Mô hình đòi hỏi đủ L^k thí nghiệm được gọi là mô hình thực nghiệm toàn phần (Full Factorial Model).

Bảng 1 thể hiện mô hình 3 yếu tố (x_1, x_2, x_3), 2 mức (L=2). Mức cao được thể hiện bằng biến không thứ nguyên (+1), mức thấp bằng (-1). Số thí nghiệm cần thiết là $2^3 = 8$. Mô hình được gọi là "toàn phần", vì ngoài 3 yếu tác động độc lập (x_1, x_2, x_3), còn tính đến 3 tác động chéo của từng cặp biến (x_{12}, x_{13}, x_{23}) và 1 tác động chéo của 3 biến (x_{123}). Các hệ số trong bảng 1 hình thành một mảng, được gọi là mảng trực giao (Orthogonal Array - OA). Cột cuối cùng (y) là giá trị đo của đại lượng ra, còn được gọi là đích.

Bảng 1: *Mô hình thực nghiệm toàn phần 2^3*

Thí nghiệm	x_0	x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{23}	x_{13}	x_{123}	y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	5.075
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	4.787
3	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	4.700
4	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	2.996
5	+1	+1	-1	-1	-1	+1	-1	+1	4.094
6	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	3.912
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	1.946
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0.693

Dựa trên OA, có nhiều phương pháp QHTN được xây dựng, ví dụ phương pháp Taguchi tối ưu hóa quá trình công nghệ, phương pháp hồi quy nhiều yếu tố (MR) hay phương pháp mặt đáp ứng (RSM).

Phương pháp hồi quy được dùng để thiết lập các công thức thực nghiệm, dạng

$$y' = b_0 + \sum_{j=1}^{n} b_j x_j + \sum_{j=1}^{n} k_{iu} x_j x_u + ... + b_{12...n} x_1 x_2 ... x_n \quad (1)$$

Ký hiệu B là vector các hệ số: $B = [b_0, b_1,..., b_n]^T$; A - ma trận các hệ số của OA; Y- vector các kết quả đo $Y = [y_1,..., y_n]^T$, ta có công thức tính các hệ số

$$B = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (2)$$

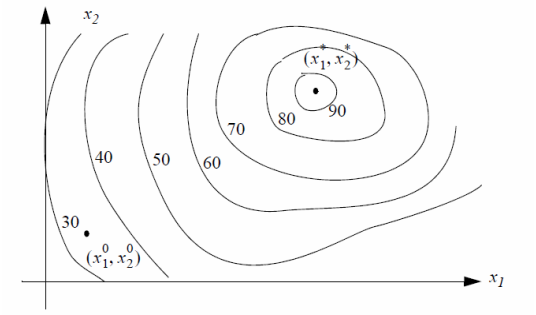
Nhiệm vụ là tìm ma trận hệ số B. Vì A là ma trận trực giao nên $A^T A$ là ma trận chéo, có các phần tử trên đường chéo chính là n, và $(A^T A)^{-1}$ cũng là ma trận chéo, có các phần tử trên đường chéo chính là $1/n$ (n là số thí nghiệm). Vậy (2) trở thành

$$B = \begin{bmatrix} 1/n & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1/n & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1/n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{n} a_{0i} y_i \\ \sum_{i=1}^{n} a_{1i} y_i \\ \cdots \\ \sum_{i=1}^{n} a_{ki} y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{0i} y_i}{n} \\ \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{1i} y_i}{n} \\ \cdots \\ \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{ki} y_i}{n} \end{bmatrix}$$

Phương pháp mặt đáp ứng *(RSM)* cũng nhằm xác định ma trận hệ số B như phương pháp hồi quy (2), nhưng cực tiểu hóa sai số giữa đáp ứng và đích bằng thuật toán mặt đáp ứng.

Mặt đáp ứng được minh họa trong H.1 Mỗi biến được phân thành các mức, hình thành mặt đáp ứng tương tự mặt đồng mức trên bản đồ địa hình. Tối ưu hóa là tìm đường dốc nhất từ mức ban đầu (x_1^0, x_2^0) đến đỉnh - nghiệm tối ưu (x_1^*, x_2^*). Tương ứng với đường dốc nhất, quãng đường (và thời gian) đi đến nghiệm tối ưu nhỏ nhất.

Sau rất nhiều thử nghiệm, chúng tôi thấy phương pháp hồi quy và phương pháp mặt đáp ứng luôn cho kết quả giống nhau.



Hình 1: *Khái niệm mặt đáp ứng (RS)*

Phương pháp suy luận nơ ron mờ

Mạng nơ ron nhân tạo *(Artificial Neural Network - ANN)* xuất phát từ sự *bắt chước cấu trúc và cơ chế xử lý thông tin* của não người. Cấu trúc của ANN 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 sắc của ANN là có khả năng học để tạo ra và bổ sung tri thức.

Khác với ANN, logic mờ không bắt chước cấu trúc và cơ chế xử lý thông tin mà *bắt chước cách tư duy* của người. Hệ mờ có các đặc tính cơ bản như sau:

- Không đòi hỏi thông tin vào chính xác (dạng mờ).

- Có thể nhận nhiều luồng thông tin (đầu vào) đồng thời.

- Suy luận linh hoạt, theo các mệnh đề logic "Nếu .... thì ..." *(If ... Then ...).*

- Ra quyết định tường minh.

Với FL, các dữ liệu đầu vào không rõ ràng được phân tích theo các quy tắc tư duy logic kiểu ngôn ngữ (không cần mô hình toán học), cho ra quyết định dứt khoát.

Hệ ANFIS kết hợp ANN với FL có khả năng học như ANN, đồng thời tư duy logic linh hoạt như FL. Trong quá trình học của ANFIS, ANN hiệu chỉnh thông số cho FL.

Phương pháp QHTN nơ ron mờ

Phối hợp OA với ANFIS nhằm phát huy ưu điểm, khắc phục nhược điểm của từng phương pháp:

- OA cho phép tính đến tác động đồng thời của các yếu tố đầu vào (Factor), kể cả tương tác chéo giữa chúng đến đáp ứng (đầu ra), nhưng yêu cầu số thí nghiệm ít.

- ANFIS có khả năng học, tự động xác định cấu trúc, tham số của hệ suy luận mờ, phù hợp đặc điểm phi tuyến, rời rạc của dữ liệu vào.

Tóm lại, DoE-ANFIS dùng QHTN kiểu OA, nhưng xử lý kiểu ANFIS, phù hợp với các hệ phi tuyến, rời rạc, nhiều đầu vào, nhiều đầu ra với số thí nghiệm ít nhất.

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

Nghiên cứu thực nghiệm nhằm đánh giá độ chính xác của phương pháp đề xuất (DoE-ANFIS) bằng cách so sánh sai số của nó với phương pháp DoE truyền thống (RSM). Các bước thực nghiệm như sau:

1. Lập QHTN: xác định số thí nghiệm cần thiết và bộ yếu tố đầu vào;

2. Làm thí nghiệm: đo giá trị đáp ứng dùng làm dữ liệu mẫu cho MR hoặc RSM và để huấn luyện cho ANFIS.

3. Tạo mô hình hồi quy: xác định các hệ số hồi quy trong (1) bằng phương pháp MR hoặc RSM, từ đó tính y' và sai số.

$$SS(\%) = 100\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\frac{|y-y'|}{y} \qquad (3)$$

4. Tạo và huấn luyện ANFIS, dùng ANFIS tính lại y' và sai số theo (3).

5. So sánh kết quả của bước 3 và 4.

Đặt bài toán thử nghiệm

Ta khảo sát bài toán điển hình trong công nghệ: ảnh hưởng của chế độ cắt, gồm tốc độ cắt v (m/ph), lượng chạy dao f (mm/v) và chiều sâu cắt d (mm) đến lực cắt (ở đây là lực dọc trục Fz) khi tiện. Bài toán có 3 yếu tố đầu vào: v, f, d và 1 đáp ứng: y = Fz.

Điều kiện thí nghiệm

- Máy: máy tiện CNC kiểu Concept Turn 250, hãng EMCO (CH Áo): D_{max} = 85mm; S = 60÷6300 v/ph; f_{max} = 15 m/ph.

- Thiết bị đo lực: 9257BA, Kistler (Thụy Sĩ): giới hạn đo Fx, Fy = -5÷5 kN; Fz = -5÷10 kN; độ nhạy: 5 mV/N; độ tuyến tính: <±1% FSO.

- Vật liệu gia công C45, dao thép gió.

Bảng 2: *Dữ liệu thí nghiệm*

Thí nghiệm	Chế độ cắt			Đo
	v(m/p)	f(mm/v)	d(mm)	Fz(N)
1	25	0,15	0,5	29,84
2	25	0,15	1	27,72
3	25	0,15	1,5	41,28
4	25	0,3	0,5	35,40
5	25	0,3	1	52,90
23	65	0,3	1	125,16
24	65	0,3	1,5	143,96
25	65	0,45	0,5	115,68
26	65	0,45	1	159,10
27	65	0,45	1,5	183,96

Các bước giải

Bước 1- Lập QHTN: Để tạo bộ dữ liệu thực nghiệm, tiến hành 27 thí nghiệm, mỗi thí nghiệm đo 3 lần Fz, lấy giá trị trung bình. Số liệu thu được trong bảng 2 (đã cắt một số hàng cho gọn).

ANN đòi hỏi bộ dữ liệu rất lớn (>30) để huấn luyện. Tuy nhiên, để xem với số thí nghiệm ít nhất, ANFIS có xử lý được chính xác không, ở đây chỉ dùng số thí nghiệm tối thiểu $OA2^3$ = 8 như bảng 1, trong đó +1 ứng với x_{max}; -1 ứng với x_{min}; x = (v,f,d).

Bước 2- Làm thí nghiệm: Làm 8 thí nghiệm, đo 3 lần Fz, lấy giá trị trung bình, được bộ dữ liệu như bảng 3.

Bảng 3: *Mô hình $OA2^3$*

Thí nghiệm	Chế độ cắt			Đo
	v(m/p)	f(mm/v)	d(mm)	Fz(N)
1	25	0,15	0,5	29,84
2	25	0,15	1,5	41,28
3	25	0,45	0,5	54,68
4	25	0,45	1,5	86,32
5	65	0,15	0,5	57,70
6	65	0,15	1,5	87,02
7	65	0,45	0,5	115,68
8	65	0,45	1,5	183,96

Chú ý rằng các cột tác động chéo (x_{12}, x_{13}, x_{23}) như trong bảng 1 chỉ cần cho DoE, không cần cho ANFIS.

Bước 3- Tạo mô hình hồi quy: Dùng RSM, lập m.file (Matlab), thực hiện các thao tác cơ bản sau:

- Tạo ma trận số đo (nhập trực tiếp hoặc đọc từ file dữ liệu ngoài) của các yếu tố đầu vào X và của đáp ứng Y (xem bảng 3):

```
X = 25    0.15    0.50
    25    0.15    1.50
    25    0.45    0.50
    25    0.45    1.50
    65    0.15    0.50
    65    0.15    1.50
    65    0.45    0.50
    65    0.45    1.50
Y = [29.84 41.28 54.68 86.32 ...
    57.70 87.02 115.68 183.96]'
```

- Khởi động RSM bằng lệnh

```
rstool(X,Y,'interaction')
```

Nhận được các hệ số

```
B = 33.4550 -0.2930 -70.7167
-25.0775 3.5433 0.6815 98.6000
```

Với các hệ số trên và dữ liệu thử nghiệm gốc (bảng 2), tính được F'z trong cột Fz tính/RSM của bảng 4. Sai số trung bình được tính theo (3): SS% = 6,442.

Bước 4- Xử lý với ANFIS: Với bộ dữ liệu vào X và ra Y như trong bước 3, lập m.file thực hiện các thao tác cơ bản sau:

- Tạo, huấn luyện ANFIS với tên `fisF`, huấn luyện (Train) theo dữ liệu `trFz` (bảng 3);

kiểm tra (Check) theo dữ liệu `chkFz`, (bảng 2); ghi ra sai số huấn luyện vào biến `error`, sai số kiểm tra vào biến `chkErr`:

```
[fisF,error,stepsize,chkFis,chkErr
]=anfis(trFz,numMF,[],[],chkFz,[])
```

Với FIS được tạo có tên `fisF`, dùng dữ liệu thử nghiệm (bảng 2), với tên `I_c`, tính F'z nhờ lệnh

```
out_F1=evalfis(I_c,fisF)
```

Kết quả được ghi trong cột Fz tính/ANFIS của bảng 4. Sai số trung bình theo (3) được tính SS% = chkErr = 6,322.

Bước 5- Đánh giá kết quả: So sánh kết quả tính toán theo RSM (bước 3) và theo ANFIS (bước 4), ta nhận thấy với cùng dữ liệu mẫu (bảng 3) và dữ liệu kiểm tra (bảng 2) ANFIS phạm phải sai số 6,322%, nhỏ hơn sai số của RSM (6,442%). Ngoài ra, nhìn hàng cuối của bảng 4 ta còn thấy sai số cực đại của ANFIS cũng nhỏ hơn của RSM (27,925% so với 28,283%).

Bảng 4: *Đánh giá RSM và ANFIS*

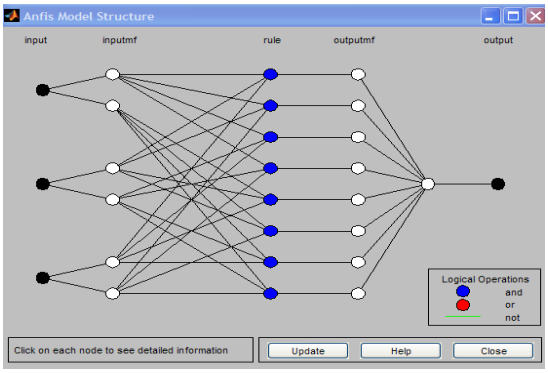
Th.ng	Chế độ cắt			Đo	Fz tính		Sai số (%)	
	v(m/p)	f(mm/v)	d(mm)	Fz(N)	RSM	ANFIS	RSM	ANFIS
1	25	0,15	0,5	29,84	32,19	29,84	7,859	0,000
2	25	0,15	1	27,72	35,56	35,46	28,283	27,925
3	25	0,15	1,5	41,28	38,94	41,28	5,681	0,000
4	25	0,3	0,5	35,40	42,26	42,78	19,379	20,860
5	25	0,3	1	52,90	53,03	53,58	0,246	1,288
23	65	0,3	1	125,16	111,09	112,35	11,242	10,232
24	65	0,3	1,5	143,96	135,49	137,54	5,884	4,457
25	65	0,45	0,5	115,68	118,03	115,68	2,027	0,000
26	65	0,45	1	159,10	149,82	149,30	5,833	6,159
27	65	0,45	1,5	183,96	181,62	183,96	1,275	0,000
b0	b1	b2	b3	b12	Hệ số	Tr. bình	6,422	6,322
33,46	-0,29	-70,72	-25,08	3,54	Fz	Max	28,283	27,925

Thảo luận bổ sung về ANFIS

Đến đây, các bước cơ bản của việc thử nghiệm ANFIS đã hoàn tất và đã có kết luận. Tuy nhiên, để giúp bạn đọc nào chưa quen với ANFIS hiểu thêm về nó, xin có vài bổ sung về chức năng và giao diện.

Trước hết, xin nhắc lại là ANFIS tạo ra hệ suy luận mờ (FIS) theo cấu trúc (các biến vào, ra và số hàm thuộc tương ứng) do người dùng xác định. Giá trị các hàm thuộc của FIS được ANN xác định (tối ưu hóa) trong quá trình học sao sai số giữa đáp ứng (ra), ở đây là giá trị tính (F'z) và giá trị đo (Fz) nhỏ nhất. Phương pháp học có thể là lan truyền ngược (Back-propagation) hoặc kết hợp lan truyền ngược với phương pháp bình phương tối thiểu (Hybrid).

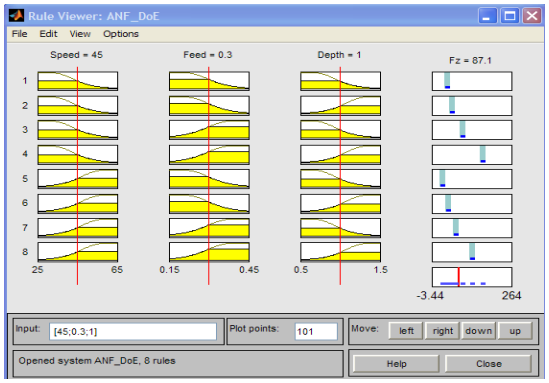
Cấu trúc của ANN như trong H.2: lớp vào (Input Layer) có 3 nơ ron ứng với 3 yếu tố vào (v, f, d); 2 lớp ẩn (Hidden Layer). Lớp vào có 6 nơ ron, ứng với 6 hàm thuộc đầu vào của FIS. Lớp ẩn có 8 nơ ron ứng với 8 hàm thuộc đầu ra. Lớp ra (Output Layer) có 1 nơ ron, ứng với đầu ra của FIS.



Hình 2: *Cấu trúc của ANN trong ANFIS*

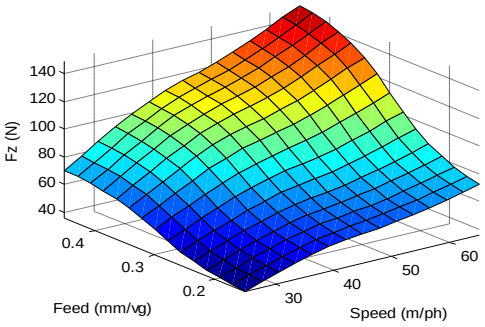
Cấu trúc của FIS (được tạo ra và tối ưu hóa tham số nhờ ANN) như trong H.3, thể hiện 3 đầu vào, 1 đầu ra, trong đó mỗi đầu vào có 2 hàm thuộc tương ứng với các mức (Level) của DoE. Đầu ra có 8 hàm thuộc tương ứng với 8 giá trị thực nghiệm. Bằng cách nhập trực tiếp giá trị vào cửa sổ hoặc dùng chuột di chuyển các vạch thẳng đứng, có thể đưa bộ giá trị v, f, d bất kỳ (nằm trong miền giới hạn) để nhận kết quả, là giá trị Fz tương ứng.

Ví dụ trong hình 3: với v = 45 (m/p), f = 0,3 (mm/v), d = 1 (mm), nhận được Fz = 87,1 (N).



Hình 3: *Cấu trúc của FIS*

H.4 là dạng hiển thị bề mặt 3D, cho phép quan sát tổng thể quan hệ giữa đầu ra (Fz) và từng cặp đầu vào (v, f, d).



Hình 4: *Biểu diễn bề mặt 3D*

KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một cách hệ thống về ý tưởng, phương pháp tạo lập và thử nghiệm công cụ QHTN nơ ron mờ DoE-ANFIS, hệ lai giữa QHTN truyền thống và hệ suy luận nơ ron mờ ANFIS. Kết quả thử nghiệm cho thấy DoE-ANFIS đạt được độ chính xác hơn phương pháp RSM và MR. Sự chênh lệch này không lớn nhưng ít ra cũng có thể yên tâm về độ chính xác và tin cậy của công cụ mới.

Căn cứ vào kết quả thử nghiệm, có tham khảo các kết luận công bố trong các tài liệu, có thể kết luận về DoE-ANFIS như sau:

- Chính xác không kém DoE truyền thống, nhưng lại "không ngại" dữ liệu rời rạc, phi tuyến, phức tạp, nhiều đầu vào, nhiều đầu ra như DoE truyền thống.

- Dùng số thí nghiệm nhỏ nhất, chỉ bằng DoE truyền thống, tránh được nhược điểm của ANN. Nhờ vậy, giảm số lượng, thời gian, chi phí cho thí nghiệm.

- Các thông số được tối ưu hóa nhờ ANN, tránh được tính chủ quan của FL.

Ngoài ra ANFIS được hỗ trợ bởi Matlab, dễ sử dụng, giao diện trực quan, dễ dàng nối ghép vào các hệ điều khiển. Điều này quan trọng nhưng không thuộc phạm vi bài viết này nên xin dành thảo luận vào dịp khác.

Xin nói thêm rằng, các phương pháp được đưa ra so sánh đều là phương pháp gần đúng, mỗi phương pháp có ưu thế trong điều kiện ứng dụng nhất định, nên không thể nói chung rằng phương pháp nào chính xác hơn hoặc tốt hơn. Ví dụ RSM và MR là các công cụ giải tích - thống kê nên sẽ chính xác khi dữ liệu ổn định, thể hiện rõ nét quy luật toán học nào đó và người dùng phải nhận dạng được đúng quy luật. Các công cụ tính toán mềm (ANN, FL, ANFIS) có ưu thế với các dữ liệu rời rạc, quy luật không rõ ràng, có nhiễu,... Việc chọn đúng công cụ phụ thuộc vào kinh nghiệm của người dùng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đào Văn Hiệp: *Nghiên cứu ứng dụng điều khiển thích nghi để nâng cao hiệu quả gia công trên máy công cụ điều khiển số,* Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Quốc phòng, năm 2003.

2. Đào Văn Hiệp: *Nghiên cứu ứng dụng lý thuyết tập mờ vào tự động hóa thiết kế quy trình công nghệ chế tạo chi tiết vũ khí*, Báo cáo tổng kết đề tài Học viện KTQS, năm 2006.

3. Đào Văn Hiệp, Phạm Vũ Dũng: Giám sát mòn của đá mài có ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo, *Kỷ yếu hội nghị toàn quốc lần thứ 2 về điều khiển (VCCA-2013).*

4. Nguyễn Minh Tuyển: *Quy hoạch thực nghiệm*, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội 2005.

5. L. Wang, R. X. Gao: *Condition Monitoring and Control for Intelligent Machining*, Springer, 2006.

6. W. H. Yang, Y. S. Tarng: Design Optimization of Cutting Parameters for Turning Operations Based on Taguchi Methode, *Journal of Materials Processing Technology* 84 (1998) p. 122-129.

7. R. Teti, et al: Advanced Monitoring of Machine Operations, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 59 (2010) 717-739.

8. Parakash M. Dixit, Uday S. Dixit: *Modeling of Metal Forming and Machining Process by Finite Element and Soft Computing Methods*, Springer, 2008.

SUMMARY

APPLICATION OF ANFIS IN DESIGN OF EXPERIMENTS

Dao Van Hiep[1*], Phan Hung Dung[2], Pham Cuong[2]

[1]Le Quy Don University, [2]College of Mechanics and Metallurgy

In this paper, the idea of a hybrid DoE-ANFIS tool based on the application of ANFIS in Design of Experiments is introduced. This is a combination between the traditional Full Factorial Orthogonal Array (OA) and a soft computing technique. An experiment carried out on a conventional turning operation shows that the accuracy of the proposed DoE-ANFIS tool is better than the traditional Response Surface Method. Nevertheless, the main effectiveness of this method is awaited to be revealed in the cases of non-linear MIMO systems with discrete, noisy data.

Key words: *Design of Experiment, ANFIS, Orthogonal Array.*

Ngày nhận bài:08/5/2014; Ngày phản biện:22/5/2014; Ngày duyệt đăng: 09/6/2014

Phản biện khoa học: *PGS.TS Trần Đức Tăng – Học viện Kỹ thuật Quân sự - ĐHTN*

[*] *Tel: 0985 579552, Email: hdaovan@mta.edu.vn*