

Nhận dạng hàm truyền kênh độ cao tên lửa sử dụng mạng Elman

Identification of Missile's Attitude Channel Transfer Function using Elman Network

Trương Đăng Khoa
 Học viện Kỹ thuật Quân sự
 e-Mail: khoahn@yahoo.com

Vũ Trung Thành
 Phòng Đo lường, Cục Kỹ thuật Phòng không Không quân
 e-Mail: trungthanh38@gmail.com

Tóm tắt

Trong các bài toán phân tích, tổng hợp các luật điều khiển khi nghiên cứu hệ thống điều khiển tên lửa, một yêu cầu quan trọng là phải xác định được hàm truyền các kênh điều khiển. Tuy nhiên, đây là một vấn đề khó khăn do các tham số của hàm truyền phụ thuộc vào rất nhiều điều kiện thay đổi trong quá trình bay cũng như sự thay đổi tham số của bản thân tên lửa. Bài báo này đề xuất sử dụng mạng Elman để nhận dạng hàm truyền của tên lửa theo kênh độ cao. Các kết quả luyện mạng và sử dụng mạng sau khi được luyện để nhận dạng đã chứng tỏ được khả năng của mạng trong việc xác định hàm truyền điều khiển tên lửa khi các tham số hệ thống chịu các tác động bất định do các nguyên nhân khác nhau.

Từ khóa: Nhận dạng hệ thống, tên lửa, hàm truyền, hệ thống điều khiển, mạng Elman

Abstract

The first step in the control design process is to develop an appropriate mathematical model of the systems, especially for anti-aircraft missile control systems. It is a difficult problem because missile's parameters, as well as working environment conditions are constantly changing in run-time process. This paper addresses the problem of identification of missile's attitude channel transfer function using Elman neural network. Our results show the well capability of Elman neural network in determining the transfer function when its parameters are undergone uncertain stimulus for different reasons.

Keywords: system identification, missile, transfer functions, control systems, Elman neural network

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
δ	rad	góc quay cánh lái
α	rad	góc tấn công
θ	rad	góc nghiêng quỹ đạo
ϑ	rad	góc gât
V	m/s	tốc độ tên lửa
G	N	trọng lực tên lửa

Y	N	lực nâng
P	N	lực đẩy động cơ
H	m	độ cao bay
Q	kg/ms^2	áp lực tốc độ
S	m^2	diện tích đặc trưng
l	m	khoảng cách tâm trọng – tâm áp
c^α	$1/rad$	hệ số lực nâng theo góc tấn công
c^δ	$1/rad$	hệ số lực nâng theo góc quay cánh lái
m^α	$1/rad$	hệ số momen ổn định
m^ν	$1/rad$	hệ số momen cân
m^δ	$1/rad$	hệ số momen điều khiển
J	$kg.m^2$	momen quán tính trục ngang
m_{sec}	kg/sec	tiêu hao khối lượng trong một giây

1. Đặt vấn đề

Trong phân tích và tổng hợp hệ thống điều khiển tên lửa dạng cánh đối xứng (dạng dấu “+” hoặc dấu “x”) thường thực hiện trên hai kênh điều khiển độc lập: kênh độ cao - điều khiển chuyển động tên lửa trong mặt phẳng đứng (thay đổi góc tấn công), và kênh hướng - điều khiển chuyển động tên lửa trong mặt phẳng ngang (thay đổi góc dạt) [1, 2]. Do tính chất phi tuyến của bản thân tên lửa và các yếu tố tác động (sự thay đổi độ cao, thay đổi tốc độ...) nên các hàm truyền này là các khâu phi tuyến. Để đơn giản trong tính toán và nghiên cứu, đã có rất nhiều tài liệu nghiên cứu về việc tuyến tính hóa và biểu diễn các hàm truyền này dạng tuyến tính [1, 3].

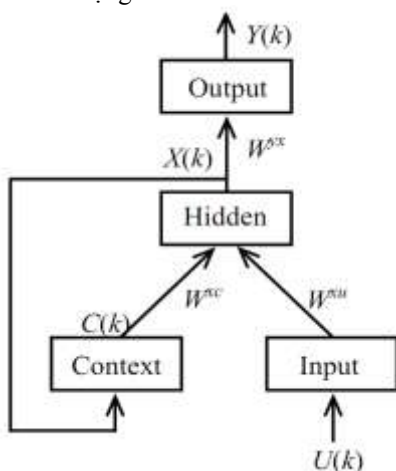
Một trong các ưu điểm nổi bật của mạng nơron là khả năng xấp xỉ hóa các dạng hàm phi tuyến với độ chính xác bất kỳ [4]. Chính nhờ khả năng này mà mạng nơron đã được sử dụng rất nhiều trong các bài toán nhận dạng. Các kiểu mạng thường hay sử dụng trong các bài toán nhận dạng là mạng nhiều lớp, mạng hồi quy, mạng xuyên tâm cơ sở (RBF)[5, 6, 7].

2. Cấu trúc mạng Elman

2.1 Cấu trúc mạng Elman

Mạng nơron Elman là một dạng mạng nơron hồi qui đơn giản, được đề xuất lần đầu bởi Elman [8]. Mạng Elman thông dụng là mạng hai lớp với các thông tin phản hồi từ đầu ra của lớp thứ nhất được giữ chậm quay trở lại đầu vào. Đường hồi tiếp này cho phép đầu ra mạng mang cả thông tin tại đầu vào hiện tại và các thông tin đầu ra trước đó, điều này đảm bảo cho mạng khả năng tái tạo tốt quá trình động học biểu diễn trong miền thời gian với độ chính xác cao. Nhược điểm đối với mạng Elman là lớp ẩn phải có số nơron bằng hoặc lớn hơn số tập mẫu đưa vào luyện mạng. Số nơron trong lớp ẩn càng nhiều thì mạng càng mô tả chính xác nhưng cũng phức tạp hơn [4, 11].

Sơ đồ cấu trúc mạng Elman như H.1



H.1 Cấu trúc mạng Elman

Trên H.1, ký hiệu $U(k)$, $Y(k)$ - đầu vào và đầu ra mạng Elman tại thời điểm k ; $C(k)$, $X(k)$ - đầu ra lớp Context và đầu ra lớp ẩn; W^{xc} , W^{xu} , W^{yx} - trọng số liên kết lớp ẩn- Context, lớp ẩn- đầu vào, lớp đầu ra - lớp ẩn, tương ứng.

Phương trình liên hệ biểu diễn hoạt động của mạng như sau:

$$X(k) = f[W^{xc}(k-1)C(k) + W^{xu}(k-1)U(k)] \quad (1a)$$

$$C(k) = X(k-1) \quad (1b)$$

$$Y(k) = W^{yx}(k-1)X(k) \quad (1c)$$

Trong đó W^{xu} , W^{xc} , W^{yx} là trọng số liên kết nơron lớp đầu vào - lớp ẩn, lớp Context - lớp ẩn và lớp ẩn - lớp đầu ra tương ứng của mạng; f là hàm kích hoạt nơron trong lớp ẩn (thường sử dụng dạng hàm liên tục như *logsigmoid* hoặc *tansigmoid*). Hàm kích hoạt nơron đầu ra là hàm tuyến tính.

2.2 Huấn luyện mạng Elman

Mạng Elman được huấn luyện theo thuật toán lan truyền ngược (Back Propagation).

Nếu gọi cặp giá trị $(U(k), Y^M(k))$ là cặp giá trị đầu vào - đầu ra mong muốn của mạng, còn cặp $(U(k), Y(k))$ là cặp giá trị đầu vào - đầu ra thực tế của mạng, sai số luyện mạng theo phương pháp trung bình bình phương tối thiểu được xác định theo công thức:

$$E(k) = \frac{1}{2}[(Y^M(k) - Y(k))^T (Y^M(k) - Y(k))] \quad (2)$$

Thuật toán luyện mạng Elman được trình bày trong khá nhiều tài liệu [12, 13], dưới đây sẽ chỉ đưa ra giá trị cập nhật tham số trọng lượng giữa các lớp của mạng qua mỗi epoch luyện mạng [14].

$$\Delta W^{yx} = -\eta(Y^M(k) - Y(k))X(k) \quad (3a)$$

$$\Delta W^{xu} = \eta(Y^M(k) - Y(k))W^{yx}(k-1)\dot{f}(\cdot)U(k) \quad (3b)$$

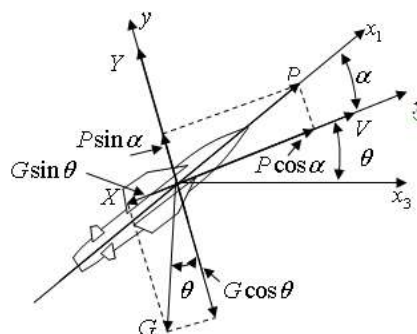
$$\Delta W^{xc} = \eta(Y^M(k) - Y(k))W^{yx}(k-1)\dot{f}(\cdot)X(k-1) \quad (3c)$$

Trong đó η là tốc độ học của mạng, $\dot{f}(\cdot)$ là đạo hàm của hàm kích hoạt của lớp ẩn (công thức (1a)).

3. Nhận dạng hàm truyền kênh độ cao sử dụng mạng Elman

3.1 Hàm truyền tên lửa theo kênh độ cao

Chuyển động của tên lửa theo kênh độ cao được thể hiện qua H.2 [1].



H.2 Vị trí tên lửa trong mặt phẳng đứng

Hệ phương trình chuyển động của tên lửa trong kênh độ cao [1] bao gồm các phương trình sau đây:

- Phương trình chuyển động trong mặt phẳng đứng khi không tính đến ảnh hưởng giữa kênh độ cao- kênh hướng:

$$mV\dot{\theta} = P \sin \alpha + Y - G \cos \theta \quad (4a)$$

$$\frac{dm}{dt} = -m_{sec} \quad (4b)$$

- Phương trình momen:

$$\dot{\omega} = \frac{M^\alpha}{J} \alpha + \frac{M^\omega}{JV} \omega + \frac{M^\delta}{J} \delta \quad (5)$$

- Mối quan hệ động hình học:

$$\begin{cases} \dot{\vartheta} = \omega \\ H = V \sin \theta \\ \theta = \vartheta - \alpha \end{cases} \quad (6)$$

Trong đó:

$$\begin{cases} Y = 57,3QS c^\alpha + c^\delta \\ M^\alpha = 57,3QSlm^\alpha \\ M^\omega = \frac{QSm^\omega}{V} \\ M^\delta = 57,3QSlm^\delta \end{cases}$$

Để điều khiển tên lửa trong kênh đứng, yêu cầu phải làm quay cánh lái điều khiển độ cao đi một góc δ , khi đó sẽ làm thay đổi góc tấn công α , dẫn tới sự thay đổi lực nâng Y , và xuất hiện momen làm quay tên lửa trong mặt phẳng đứng.

Hệ các phương trình (4a, 4b), (5) và (6) là hệ các phương trình phi tuyến, ngoài các hàm lượng giác (\sin , \cos), các tham số như trọng lượng tên lửa, lực nâng khí động các hệ số momen là những tham số biến thiên (không dùng) theo thời gian.

Giá trị hệ số lực nâng theo góc tấn công c^α phụ thuộc vào hình dạng phần mũi và phần thân của tên lửa, tốc độ bay (số M) và góc tấn công; Giá trị c^δ phụ thuộc vào dạng cánh lái điều khiển và góc quay cánh lái.

Hàm truyền tên lửa với đầu vào là góc quay cánh lái độ cao δ , đầu ra là tốc độ góc gât $\dot{\vartheta}$; tốc độ góc nghiêng quỹ đạo $\dot{\theta}$ và góc tấn công α được xác định theo phương pháp tuyến tính hóa từng đoạn được xác định như sau [1]:

$$W_\delta^\dot{\vartheta} = k \frac{T_1 s + 1}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1} \quad (8)$$

$$W_\delta^\dot{\theta} = k \frac{T_2 s + 1}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1} \quad (9)$$

$$W_\delta^\alpha = k \frac{T_4 s + 1}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1} \quad (10)$$

trong đó:

$$\begin{cases} k = \frac{a_{12}a_{43}^* - a_{13}a_{42}}{a_{12} - a_{11}a_{42}}; T = \frac{1}{\sqrt{a_{12} + a_{11}a_{42}}} \\ \xi = \frac{a_{11}a_{43} + a_{12}^*a_{43} - a_{13}^*a_{42}}{\sqrt{a_{12} + a_{11}a_{42}}} \\ T_1 = B + \sqrt{A + B^2} \\ T_2 = D + \sqrt{C + D^2} \\ T_3 = D - \sqrt{C + D^2} \\ T_4 = \frac{a_{43}}{a_{13} + a_{11}a_{43}} \\ A = \frac{a_{13}}{a_{12}a_{43} + a_{13}a_{42}} \\ B = \frac{-a_{13} - a_{13}^*a_{42} + a_{12}^*a_{43}}{a_{12}a_{43} + a_{13}a_{42}} \\ C = \frac{-a_{43}}{a_{12}a_{43} + a_{13}a_{42}} \\ D = \frac{a_{43} (a_{12} + a_{12}^*)}{a_{12}a_{43} + a_{13}a_{42}} \end{cases}$$

$$a_{11} = -\frac{M^\omega}{J} 1/s \quad a_{12} = -\frac{M^\alpha}{J} 1/s$$

$$a_{12}^* = -\frac{M^a}{J} [1/s^2]$$

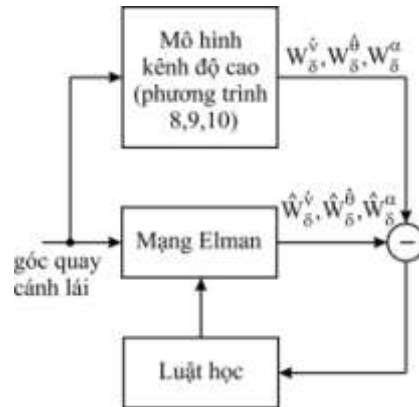
$$a_{13} = -\frac{M^\delta}{J} 1/s \quad a_{13}^* = -\frac{M^\delta}{J} [1/s^2]$$

$$a_{42} = \frac{P + Y^\alpha}{mV} 1/s \quad a_{43} = \frac{Y^\delta}{mV} 1/s$$

3.2 Xây dựng cấu trúc mạng và kết quả luyện mạng

Cấu trúc mạng Elman và bộ tham số huấn luyện

Cấu trúc mạng Elman thực hiện luyện mạng như sau (H.3):



H.3 Cấu trúc mạng Elman khi luyện mạng

- Hàm luyện mạng: *trainlm*;
- Số nơron trong lớp ẩn: 50;
- Số chu trình luyện mạng (epochs): 300;
- Số nơron lớp Context: 10;
- Số đầu vào: 1;
- Số lượng đầu ra: 3;
- Mô hình hàm truyền kênh đứng là hệ các phương trình (8), (9), (10);
- Bộ tham số phục vụ luyện mạng: [1]

$$a_{11} = 0,49; a_{12} = 2,98; a_{12}^* = 0,22; a_{13} = 2,32$$

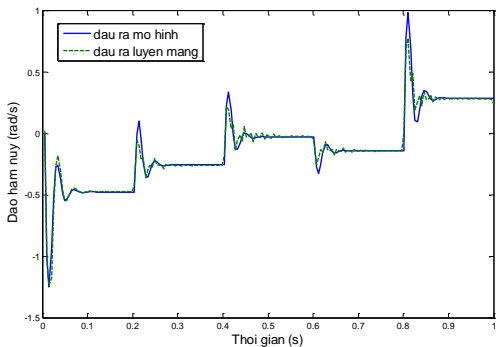
$$a_{13}^* = 0; a_{42} = 0,577; a_{43}^* = 0$$

- Tín hiệu đầu vào luyện mạng (góc quay cánh lái) được phát với chu kỳ 0,2[s], các giá trị ngẫu nhiên phân bố đều trong giới hạn: $\pm 20^0 (0.35 \text{ rad})$

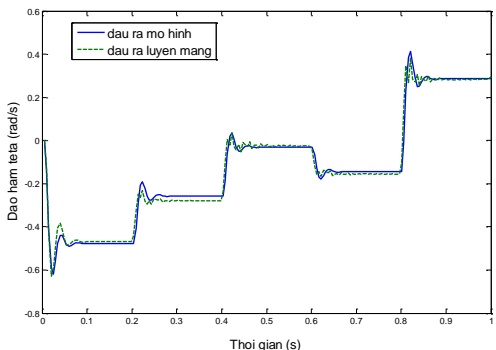
Kết quả luyện mạng

Sau khi tiến hành luyện mạng với bộ tham số đầu vào như đã cho, so sánh kết quả đầu ra mạng với đầu ra mô hình (H.4a,b,c) có thể nhận xét như sau:

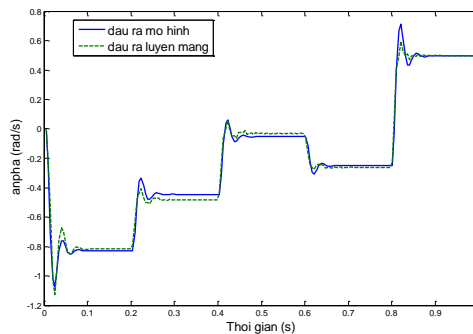
- Đầu ra mạng đã xấp xỉ được phản ứng của mô hình, sai lệch tương đối là khoảng 8% cho cả ba giá trị đầu ra mạng;
- Kết quả xấp xỉ của mạng tăng dần theo các chu kỳ; tại chu kỳ thứ 5, sai lệch tương đối là khoảng 5% cho cả ba giá trị đầu ra mạng.



H.4a Kết quả luyện mạng với hàm truyền W_{δ}^{ψ}



H.4b Kết quả luyện mạng với hàm truyền W_{δ}^{α}



H.4c Kết quả luyện mạng với hàm truyền W_{δ}^{α}

3.3 Sử dụng mạng sau khi luyện vào nhận dạng mô hình hàm truyền tên lửa khi tham số biến đổi

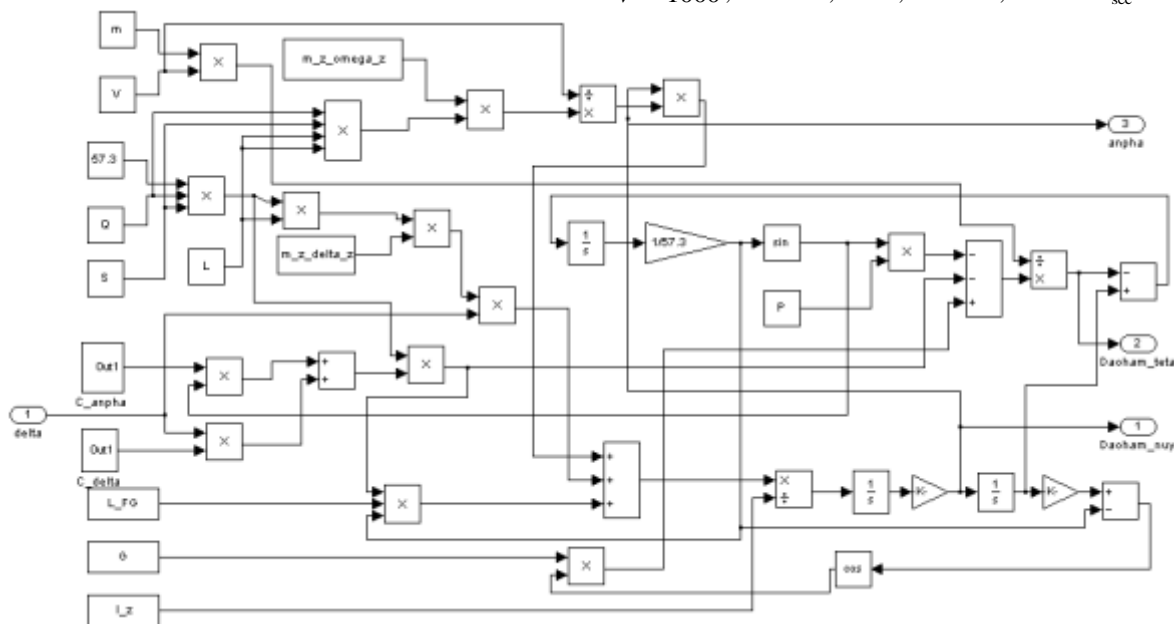
Để kiểm tra khả năng sử dụng mạng Elman sau khi đã được luyện vào nhận dạng hàm truyền tên lửa theo kênh độ cao, thực hiện mô phỏng và so sánh kết quả đầu ra của mạng với kết quả đầu ra mô hình hàm truyền thực tế khi giả định sự biến thiên hệ số lực nâng theo góc tấn công và hệ số lực nâng theo góc quay cánh lái. Mô hình hàm truyền khi này được xây dựng theo hệ phương trình (1,2,3) trong Simulink khi giả định các tham số c^{α} , c^{δ} - thay đổi ngẫu nhiên theo quy luật phân bố đều xung quanh các giá trị cho trước trong các lần chấp hành lệnh điều khiển (H.5).

Các tham số để xây dựng mô hình sử dụng theo [9] với các giá trị cụ thể như sau:

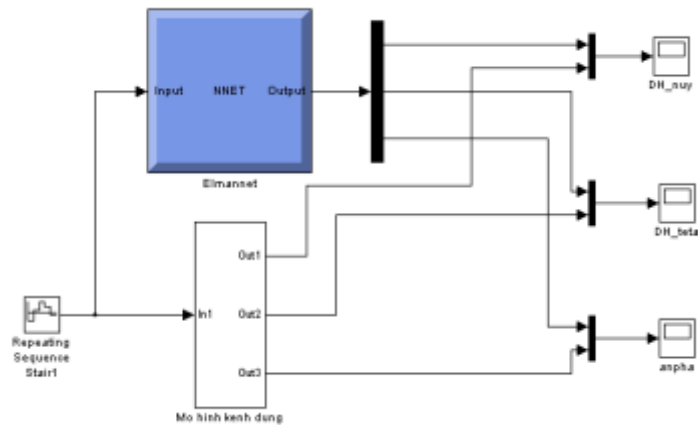
$$H = 10000 ; m_0 = 1800 ; S = 0,8 ;$$

$$m^{\delta} = 0,0017 ; m^{\omega} = 0,0006 ; P = 5500 ; J = 220 ;$$

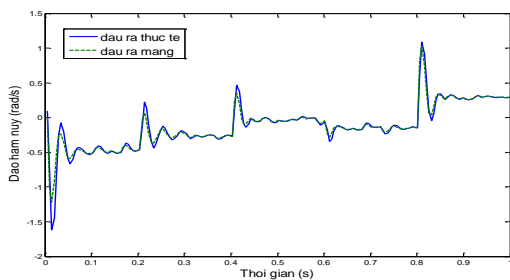
$$V = 1000 ; c^{\alpha} = 0,0012 ; c^{\delta} = 0,0002 ; m_{sec} = 18$$



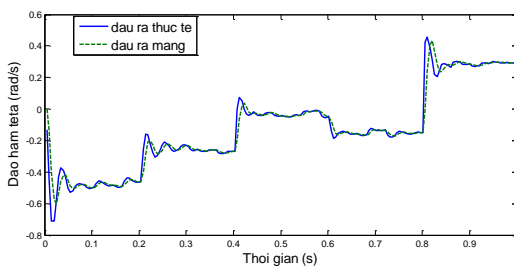
H.5 Mô phỏng xây dựng kênh độ cao tên lửa



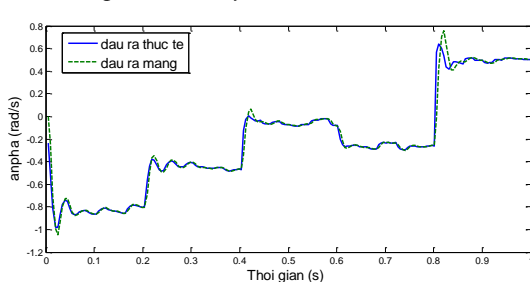
H.6 Mô hình kiểm tra mạng



H.7a Xấp xỉ hàm truyền W_{δ}^{θ}



H.7b Xấp xỉ hàm truyền W_{δ}^{β}



H.7c Xấp xỉ hàm truyền W_{δ}^{α}

Các kết quả kiểm tra mạng (H.7a, H.7b, H.7c) đã thể hiện được khả năng xấp xỉ của mạng Elman trong việc xây dựng các hàm truyền tên lửa theo kênh độ cao. Sai số tương đối giữa hàm truyền thực tế và hàm xấp xỉ theo mạng khoảng 10% trên thời gian khảo sát là 5 chu kỳ thực hiện góc quay cánh lái.

4. Kết luận

- Mạng Elman có khả năng tốt trong việc xấp xỉ các hàm phi tuyến có tác động của các yếu tố ngẫu nhiên;

- Chất lượng xấp xỉ của mạng phụ thuộc rất nhiều vào cấu trúc của mạng, đặc biệt là số bước giữ chậm trong mạch phản hồi;
- Tốc độ luyện mạng khá chậm, đặc biệt khi số nơron lớp ẩn và số bước giữ chậm lớn, do đó chỉ có thể được sử dụng trong chế độ *off-line*.
- Để tăng tốc độ luyện mạng có thể sử dụng mạng Elman cải tiến bằng cách bổ sung trọng số điều chỉnh trong mạng Context.

Tài liệu tham khảo

- [1] Лебедев А.А, Карabanov В.А. *Динамика систем управления беспилотными летательными аппаратами*. Машиностроение, Москва, 1973.
- [2] Бочкарева А.Ф. *Конструкция самолета*. Учебник для авиации вузов, Машиностроение, 1991.
- [3] Голубев И.С, Светлов В.Г. *Проектирование зенитных управляемых ракет*, Изд. МАИ, 2001.
- [4] Howard Demuth, Mark Beale, Martin Hagan. *Neural Network Toolbox™ 6, User's Guide*, 2009.
- [5] Jose A. R Vargas, Kevin R. M. Gularte, Elder M. Remerly. *An Improved on-line neuro-identification scheme*. UKACC International Conference on Control 2012 Cardiff, UK, 3-5 September 2012.
- [6] Khaled Nouw, Rached Dhaouadi, Naceux Benadj Braiek. *Identification of a nonlinear dynamic stems using recurrent multilayer neural networks*. Systems Man and Cybernetics (SMC), IEEE International Conference, 2002.
- [7] Tiago Simão, Miguel Barão, Jorge S. Marques. *Recursive bayesian identification of nonlinear autonomous systems*. 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED) Barcelona, Spain, 2012.
- [8] Elman J. L. *Finding structure in time*. Cognitive Science, 14, 179-211, 1990.
- [9] Vũ Hòa Tiển. *Cơ sở thiết kế hệ tự động ổn định tên lửa*. Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội, 2011.
- [10] Васильев В.И, Ильясов Б. Г, Кусимов С.Т. *Нейрокомпьютеры в авиации*. М.: Радиотехника, 2004.

[11] David Samek. *Elman neural networks in model predictive control*. Proceedings 23rd European Conference on Modelling and Simulation, Madrid, 2009

[12] Ling Li, Zhizong Deng, Bo Zhang, *A Fuzzy Elman Neural Network*, Journal of Information & Computational Science 8: 10 (2011) 1881–1888.

[13] Heyi Yang, Yi Gao, *Elman's Recurrent Neural Network Applied to Forecasting the Quality Of Water Diversion in the Water Source Of Lake Taihu*, International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE, IACSIT Press, Singapore, 2011

[14] Hong-Wei Ge, Yan-Chun Liang, Maurizio Marchese, *An Improved Particle Swarm Optimization-Based Dynamic Recurrent Neural Network for Identifying and Controlling Nonlinear Systems*, Computers & Structures, Volume 85, Issues 21–22, November 2007, Pages 1611–1622.



Trương Đăng Khoa sinh năm 1967. Anh tốt nghiệp Học viện Kỹ thuật Quân sự năm 1989, nhận bằng Tiến sỹ tại trường Đại học Kỹ thuật Tổng hợp mang tên N.E. Bauman, Cộng hòa liên bang Nga, năm 2004, hiện đang công tác tại khoa Kỹ thuật Điều khiển, Học viện Kỹ thuật Quân sự. Hướng nghiên cứu chính: Điều khiển và điều khiển tối ưu, nhận dạng động học các hệ thống dùng mạng nơron.



Vũ Trung Thành sinh năm 1980. Anh tốt nghiệp Đại học quốc gia Hà nội năm 2002, nhận bằng Thạc sỹ tại Học viện Kỹ thuật Quân sự, năm 2015, hiện đang công tác tại đến nay công tác tại Cục Kỹ thuật / Quân chủng Phòng không – Không quân. Hướng nghiên cứu chính: Hệ thống đo lường chính xác cao, mạng nơron nhân tạo.