

# BỘ NHỚ LIÊN KẾT SỬ DỤNG MẠNG NƠN TẾ BÀO TƯƠNG TÁC BẬC HAI

Nguyễn Tài Tuyên\*, Nguyễn Quang Hoan\*, Dương Đức Anh\*

\*Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

+Viện nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hoá

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày về hướng nghiên cứu mới ứng dụng mạng nơon tế bào tương tác bậc hai (Cellular order Cellular Neural Networks - SoCNN) làm bộ nhớ liên kết. Nhóm tác giả đã nghiên cứu phát triển cấu trúc mạng nơon tế bào tương tác bậc hai và chuyển đổi cấu trúc mạng CNN bậc nhất (Cellular Neural Networks – CNN) thành cấu trúc mạng mới chỉ chứa ma trận A dựa theo luật Hebb để xây dựng công thức tính tham số. Trong mô hình thiết kế được đề xuất ở đây có ma trận bộ tham số A là bộ nhớ liên kết (bộ nhớ liên kết sử dụng mạng nơon tế bào tương tác bậc hai - SoCBAM) và được tính toán (học) theo luật học không có tín hiệu chỉ đạo Hebb.

Để khẳng định tính đúng đắn của mô hình mạng được đề xuất, nhóm tác giả đã sử dụng ba mẫu được gán cho ba mẫu người (Men Pattern) gọi tắt là mẫu gồm Y1, Y2, Y3, mỗi mẫu với 81 đặc điểm để nhận dạng như: Mắt hai mí, mũi cao, tay dài, chân dài, giọng nói trong, mặt trái xoan, môi trái tím, tóc đen, da vàng ..., các mẫu được mã hóa bằng 1. Ngược lại (Ví dụ: Mũi không cao là -1, ..., và có 81 đặc trưng kiểu như vậy cho mạng nơon được đề xuất và kết quả thử nghiệm đã cho thấy khả năng chịu lỗi tốt và khả năng nhớ cao hơn nhiều so với các mô hình mạng trước đó.

**Từ khóa:** SoCNN, SCBAM, CNN

## I. MỞ ĐẦU

Một câu hỏi đặt ra là, mạng nơon nhân tạo có khả năng nhớ như người được không? Câu trả lời là có. Mạng truyền thẳng cũng có khả năng nhớ, nhưng thể hiện rõ nhất khả năng nhớ là mạng nơon hồi quy. Trong mạng nơon hồi quy tồn tại một loại bộ nhớ gọi là bộ nhớ liên kết [5, 6]. Bộ nhớ liên kết có thể nhớ các đặc trưng của những mẫu được học theo cách địa chỉ hoá nội dung; khác với bộ nhớ dùng trong máy tính số hiện nay là địa chỉ hoá theo địa chỉ. Khi một hệ thống có khả năng nhớ mẫu, nảy sinh vấn đề áp dụng khả năng nhớ của nó để nhận dạng (giống khả năng con người). Từ khả năng nhớ theo mô hình liên kết của CNN chuẩn [1], nhóm tác giả nghiên cứu khả năng nhớ và nhận dạng của SoCNN (đại diện cho mạng nơon tế bào tương tác bậc hai).

### A. Bộ nhớ liên kết của CNN chuẩn

Trong CNN, học là tìm bộ tham số của các mảng phản hồi A, mảng điều khiển B và mảng ngưỡng I. Bài toán tìm bộ tham số A, B, I khá phức tạp, hiện nay đã và đang có nhiều công trình nghiên cứu [4]. Trong phạm vi bài

báo, với mục đích mở rộng khả năng ứng dụng của SoCNN làm bộ nhớ liên kết, nhóm tác giả xác định A bằng luật học Hebb [3], luật học không có tín hiệu chỉ đạo. Hai ma trận điều khiển B và ma trận ngưỡng I được cho bằng 0. Với giả thiết trên thì mô hình của CNN trong [1] trở thành dạng như sau:

$$C \frac{dx_{ij}(t)}{dt} = -\frac{1}{R_x} x_{ij}(t) + \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) \quad (1)$$

Cho  $R_x = 1$  (một đơn vị nào đó). Khi  $x_{ij}(t)$  được xác định một giá trị, nó trở thành hằng số. Lúc này, đạo hàm của hằng số bằng 0, và phương trình (1) có dạng:

$$C \cdot 0 = -x_{ij}(t) + \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) \quad (2)$$

từ (2), có thể viết lại:

$$x_{ij}(t) = \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) \quad (3)$$

$$\begin{cases} x_{ij}(t) = \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) \\ y_{ij}(t) = f(x_{ij}(t)) \end{cases} \quad (4a)$$

Giả sử  $x_{ij}(t)$  ổn định, tức là  $x_{ij}(t)$  tiến tới giá trị nào đó, ví dụ:  $x_{ij}(t)$  tiến tới 0 thì  $y_{ij}(t)$  tiến tới 1. Lúc này, hàm tương tác đầu ra (quan hệ giữa  $x_{ij}(t)$  và  $y_{ij}(t)$ ) ở (2b) trong [1] trở thành hàm dấu. Khi CNN ổn định,  $y_{ij}$  chỉ nhận giá trị (+1 và -1), do đó có thể thay công thức (2b) trong [1] bằng công thức 4b:

$$y_{ij}(t) = f(x_{ij}(t)) = \text{sgn}(x_{ij}(t)) = \begin{cases} +1 & \text{ khi } x_{ij}(t) > 0 \\ -1 & \text{ khi } x_{ij}(t) \leq 0 \end{cases} \quad (4b)$$

## II. MẠNG NƠN TẾ BÀO TƯƠNG TÁC BẬC HAI

Cấu trúc của mạng nơon tế bào đa tương tác bậc hai [7] có thể được mô tả bằng phương trình sau:

- Phương trình trạng thái

$$C \frac{dx_{ij}(t)}{dt} = -\frac{1}{R_x} x_{ij}(t) + \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) + \sum_{(k,l)} B(i, j; k, l) u_{kl} + \sum_{(k,l)(m,n)} A(i, j; k, l; m, n) y_{kl}(t) y_{mn}(t) + \sum_{(k,l)(m,n)} B(i, j; k, l; m, n) u_{kl} u_{mn} \quad (5a)$$

trong đó: C là tụ điện, C > 0;  $R_x$  là điện trở,  $R_x > 0$ ; I là ngưỡng; C(k, l) là tế bào nơon ở vị trí (k, l); C(m, n)

Tác giả liên hệ: Nguyễn Tài Tuyên,

Email: tuyennt@ptit.edu.vn; nttuyenhn@gmail.com

Đến tòa soạn: 10/2022, chỉnh sửa: 11/2022, chấp nhận đăng: 12/2022.

là tế bào nơon ở vị trí  $(m, n)$ ;  $N_r(i, j)$  là láng giềng của  $C(k, l)$ ,  $C(m, n)$  với bán kính  $r$ ;  $x_{ij}(t)$  trạng thái của tế bào  $(i, j)$ ;  $A(i, j; k, l; m, n)$  và  $B(i, j; k, l; m, n)$  là các hệ số phản hồi và hệ số điều khiển một cách tương ứng, liên kết tế bào trung tâm  $(i, j)$  với các tế bào láng giềng ở vị trí  $(k, l)$ ,  $(m, n)$ ;  $y_{kl}(t)$ ,  $y_{mn}(t)$  và  $u_{kl}$ ,  $u_{mn}$  là các tín hiệu phản hồi và điều khiển (đầu vào ngoài) tương ứng ở vị trí  $(k, l)$ ;  $(m, n)$ .

- Phương trình đầu ra: như phương trình (2b) và (Hình 4) trong [1] có thể viết (2b) ở dạng khác:

$$y_{ij}(t) = \begin{cases} 1 & \text{khi } x_{ij}(t) \geq 1 \\ x & \text{khi } -1 \leq x_{ij}(t) \leq 1 \\ -1 & \text{khi } x_{ij}(t) \leq -1 \end{cases} \quad (5b)$$

- Phương trình đầu vào: giống phương trình (2c) [1]

$$u_{ij} = E_{ij} \quad (5c)$$

- Điều kiện ràng buộc

$$|x_{ij}(0)| \leq 1 \quad 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad \text{với } x_{ij}(0) \quad (5d)$$

$$|u_{ij}| \leq 1 \quad 1 \leq i \leq M; 1 \leq j \leq N \quad (5e)$$

(ở đây "1" được chọn với nghĩa chuẩn hóa về đơn vị).

- Tham số giả định (điều kiện để đảm bảo CNN bậc 2 ổn định): Điều kiện đối với các mảng phản hồi cần đảm bảo đối xứng:

$$A(i, j; k, l) = A(k, l; i, j)$$

$$\begin{aligned} A(k, l; i, j; m, n) &= A(k, l; m, n; i, j) = A(m, n; i, j; k, l) = \\ &= A(m, n; k, l; i, j) = A(i, j; k, l; m, n) = A(i, j; m, n; k, l); \\ &1 \leq i, k, m \leq M; 1 \leq j, l, n \leq N \quad (5f) \\ C > 0 \text{ và } R_x > 0 \quad (5g) \end{aligned}$$

### III. CẤU TRÚC CỦA BỘ NHỚ LIÊN KẾT BẬC HAI

#### A. Mô hình toán học cấu trúc bộ nhớ liên kết bậc hai

Từ (5a) và tính tham số  $A(i, j; k, l)$  được coi là học không có tín hiệu chỉ đạo (6).

$$A(i, j; k, l) = \sum_{s=1}^p \mathbf{Y}_{kl}^s (\mathbf{Y}_{ij}^s)^T \quad (6)$$

Ở đây,  $A(i, j; k, l)$  là trọng số,  $p$  là số lượng mẫu,  $s = 1, 2, 3, \dots, p$ ; vector  $\mathbf{Y}_{kl}^s$  là mẫu đầu ra thứ  $s$ ,  $T$  là chuyển vị.

$$\begin{aligned} A(i, j; k, l) &= [A_{11} + A_{12} + A_{13} + A_{21} + A_{22} + A_{23} + A_{31} + A_{32} + A_{33}] \\ x_{ij}(t) &= \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t), \text{ nhóm tác giả đề xuất} \end{aligned}$$

phương trình áp dụng CNN tương tác bậc hai cho bộ nhớ liên kết gồm hai thành phần như sau:

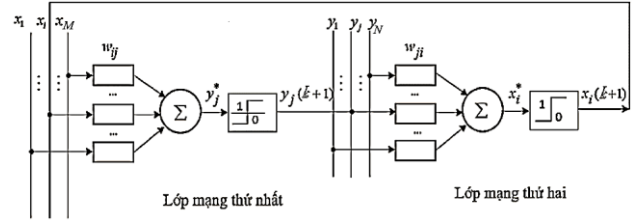
$$x_{ij}(t) = \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) + \sum_{(k,l)(m,n)} A(i, j; k, l; m, n) y_{kl}(t) y_{mn}(t) \quad (7)$$

Trong phương trình (7) có các thành phần:

- Bậc nhất  $x_{ij}(t) = \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t)$  và  $A(i, j; k, l)$  sử dụng làm bộ nhớ liên kết CNN chuẩn (6).
- Bậc hai sử dụng làm bộ nhớ liên kết cho SoCNN, từ (7) được viết lại như sau (8)

$$x_{ij}(t) = \sum_{(k,l)} A(i, j; k, l) y_{kl}(t) + \sum_{(k,l)(m,n)} A(i, j; k, l; m, n) y_{kl}(t) y_{mn}(t) \quad (8)$$

và mô hình hình học có dạng như hình 2, theo sơ đồ của CNN như hình 1, ta có:

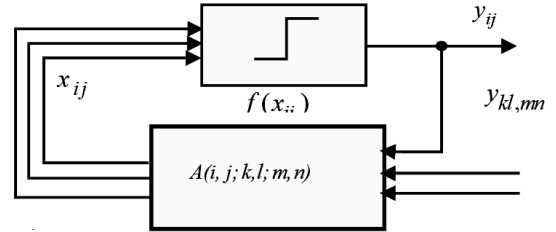


Hình 1. Minh họa cấu trúc mạng liên kết hai chiều

$$\begin{cases} x_{ij} = \sum_{(k,l)(m,n)} A(i, j; k, l; m, n) y_{kl}(t) y_{mn}(t) \\ y_{ij} = f(x_{ij}) \end{cases} \quad (9a)$$

ta có:

$$y_{ij} = f(x_{ij}) = \text{sgn}(x_{ij}) = \begin{cases} +1 & x_{ij} > 0 \\ -1 & x_{ij} \leq 0 \end{cases} \quad (9b)$$



Hình 2. Sơ đồ khối SoCNN sử dụng làm bộ nhớ liên kết

Giải sử  $x$  ổn định, tức là tiến tới giá trị nào đó, ví dụ: khi  $x \rightarrow 0$  thì  $y \rightarrow 1$  lúc này hàm tương tác đầu ra (quan hệ giữa  $x$  và  $y$ ) ở (2b) [1] trở thành hàm dấu và hoạt động của nơon tế bào  $C_{ij}$  được mô tả như trong (4b):

$$y_{ij}(t) = f(x_{ij}(t)) = \text{sgn}(x_{ij}(t)) = \begin{cases} +1 & \text{khi } x_{ij}(t) > 0 \\ -1 & \text{khi } x_{ij}(t) \leq 0 \end{cases} \quad (4b)$$

#### B. Mô hình bộ nhớ liên kết tương tác bậc hai

Để xây dựng bộ nhớ liên kết cho SoCNN, tác giả dựa theo luật Hebb [3] được trình bày trong (6) để xây dựng công thức tính tham số  $A(i, j; k, l; m, n)$ .

Ma trận bộ tham số  $A$ , là bộ nhớ liên kết và được tính toán (học) theo luật học không có tín hiệu chỉ đạo Hebb như (10).

$$A(i, j; k, l; m, n) = \sum_{s=1}^p \left[ \mathbf{Y}_{kl}^s \times (\mathbf{Y}_{mn}^s)^T \right] \left[ \mathbf{Y}_{ij}^s \times (\mathbf{Y}_{mn}^s)^T \right]^T \quad (10)$$

$A(i, j; k, l; m, n)$  là ma trận các phần tử nhớ,  $(\mathbf{Y}_{kl}^s)$  và  $(\mathbf{Y}_{mn}^s)$  là đầu ra,  $(\mathbf{Y}_{kl}^s)^T$  và  $(\mathbf{Y}_{mn}^s)^T$  được coi như là  $(\mathbf{Y}_{ij}^s)$ . Vì  $A(i, j; k, l; m, n)$  là ma trận kết nối giữa đầu vào  $ij$  và đầu ra  $kl; mn$ .

Từ (10), xây dựng mô hình toán chuyển  $A(i, j; k, l; m, n)$  hai chiều thành một chiều. Trong đó

$$A(i, j) = [A(i, j; k, l; m, n)] = \sum_{s=1}^p \left[ \mathbf{Y}_{kl}^s \times (\mathbf{Y}_{mn}^s)^T \right] \left[ \mathbf{Y}_{ij}^s \times (\mathbf{Y}_{mn}^s)^T \right]^T$$

với  $i, j; k, l; m, n = \overline{1, 3}$







hình bộ nhớ liên kết trước đó. Theo Michael Negnevitsky (trang 196) [2] dung lượng nhớ liên kết tối đa là:

$$M_{max}^{Hopf} = \frac{n}{4 \ln n}, \text{ trong đó } n \text{ là số phần tử noron.}$$

Với bộ nhớ liên kết CNN do sử dụng đầu vào là 2 chiều nên số bộ nhớ có thể đạt tới:

$$M_{max}^{CNNChua} = \left( \frac{n}{4 \ln n} \right)^2$$

Như vậy, số mẫu nhớ mạng liên kết tăng ở dạng hàm mũ. Nếu chúng ta sử dụng CNN bậc 2 số liên kết có thể đạt tới:

$$M_{max}^{CNNbac2} = \left( \left( \frac{n}{4 \ln n} \right)^2 \right)^2$$

### LỜI CẢM ƠN

Kết quả nghiên cứu được tài trợ từ nguồn kinh phí nghiên cứu khoa học của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã tạo điều kiện cho nhóm tác giả hoàn thành kết quả nghiên cứu. Tác giả xin chân thành cảm ơn lãnh đạo Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, viện nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hoá đã tạo điều kiện về tài chính và trang thiết bị trong quá trình nghiên cứu thử nghiệm. Tác giả mong muốn tiếp tục nhận được kinh phí tài trợ và tạo điều kiện trang thiết bị để nhóm nghiên cứu thử nghiệm và phát triển ứng dụng mạng noron tế bào trên các module phần cứng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chua L. O., Yang. (1988), "Cellular Neural Network Theory", *IEEE, Transactions on Circuits and Systems* (35), pp. 1259 - 1266.
- [2] Negnevitsky. M. (2005), "Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems". *Pearson Education Limited, Edinburgh Gate, Harlow, Essex CM20 2JE, England, Second edition published*, (196), 2005.
- [3] Jankovic. M., Martinez. P., Chen. Z., Cichocki. (2008), "Modified Modulated Hebb-Oja Learning Rule: A Method for Biologically Plausible Principal Component Analysis", *International Conference on Neural Information Processing*, pp. 527-536.
- [4] GuKzelis C., Karamamut. S., Genc. I. (1998), "A Recurrent Perceptron Learning Algorithm for Cellular Neural Networks", *An International Journal for Physical and Engineering Sciences volume* (51), pp. 296-309.
- [5] Itoh. M., Chua L. O. (2004), "Star Cellular Neural Networks for Associative and Dynamic Memories", *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 14(5), pp. 1725-1772.
- [6] Zeng. Z., Wang. J. (2009), "Analysis and Design of Associative Memories Based On Cellular Neural Networks with Space-invariant Cloning Templates" *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Atlanta, Georgia, USA, Jun*, pp. 14-19.
- [7] Nguyen Tai Tuyen (2016), On A Structure Of High Order Multi-Interaction Cellular Neural Network, *International Journal of Advanced Computational Engineering and Networking*, pp.24-26, Volume-4, Issue-2, Feb.-2016.
- [8] [https://www.vielina.com/Uploads/Researchs/LA-TUYEN-NOP-THU-VIEN-QG\\_23\\_7.pdf](https://www.vielina.com/Uploads/Researchs/LA-TUYEN-NOP-THU-VIEN-QG_23_7.pdf)

## ASSOCIATIVE MEMORY USING SECOND ORDER CELLULAR NEURAL NETWORKS

**Abstract:** This paper presents a new research direction that applies second-order interactive cellular neural networks (SoCNNs) as associative memory. The authors have researched and developed the structure of the second-order interactive cellular neural network and converted the CoCNN network structure into a new network structure that does not contain the A matrix. The author follows Hebb's law [3] to build the formula for parameter calculation. In the design model proposed here, the parameter set matrix A is associative memory and is computed (learned) according to the jurisprudence without the Hebb directing signal.

In order to confirm the correctness of the proposed network model, the author used three samples assigned to three human patterns (Men Pattern) for short, namely samples Y1, Y2, Y3, each with 81 characteristics to receive the forms such as: double eyelids, high nose, long arms, long legs, clear voice, oval face, heart lips, black hair, yellow skin ..., the samples are coded with 1. Otherwise (For example: The nose is not high is -1, ..., and there are 81 such type features for the proposed neural network, and the test results have shown good fault tolerance and much higher memory capacity than the previous network models.

**Keywords:** SoCNN; BAM; MiCNN, BSoCNN.



**Nguyễn Tài Tuyên**, hiện là giảng viên tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Ông bảo vệ luận văn thạc sĩ chuyên ngành khoa học máy tính tại học viện Kỹ thuật Quân sự năm 2005; Nhận học vị Tiến Sĩ Kỹ thuật năm 2022. Lĩnh vực nghiên cứu chính của ông là Mạng máy tính, Kiến trúc Máy tính, Xử lý xử lý, Xử lý tiếng nói, An toàn bảo mật thông tin, Mạng Noron nhân tạo, Hệ thống nhúng, Điều khiển Thông minh, IoT, Năng lượng tái tạo.



**Nguyen Quang Hoan**, sinh năm 1950, nhận học vị Tiến Sĩ năm 1997 và nhận học hàm PGS năm 2002. Lĩnh vực nghiên cứu chính của ông là Xử lý, Kiến trúc Máy tính, Xử lý ảnh, Học máy, Mạng Noron Nhân tạo, Học sâu, Lý thuyết Điều khiển, Điều khiển Tối ưu. Hiện nay, ông là giảng viên kiêm chuyên gia, cố vấn chiến lược phát triển và xây dựng các chương trình đào tạo đại học, thạc sĩ, tiến sĩ cho một số trường đại học, viện nghiên cứu ngành CNTT và Điều khiển, Tự động hóa. Ông là một trong 50 nhà khoa học tiêu biểu năm 2018 được UNESCO Việt Nam bình chọn để giới thiệu với bạn bè quốc tế, chủ đề "Cuộc hành trình "ngàn dặm" để trở thành chuyên gia của Mạng Noron Nhân tạo.



**Dương Đức Anh**, hiện là Giám đốc Trung tâm Công nghệ Cao, Viện Điện tử, Tin học, Tự động hóa, bộ Công Thương. Ông bảo vệ luận văn thạc sĩ ngành Tự động hóa và Điều khiển năm 2009 tại Đại học Bách Khoa Hà Nội. Hiện ông đang làm nghiên cứu sinh về mạng noron tế bào. Lĩnh vực nghiên cứu: Học máy, Mạng noron, Điều khiển Tự động hóa công nghiệp.