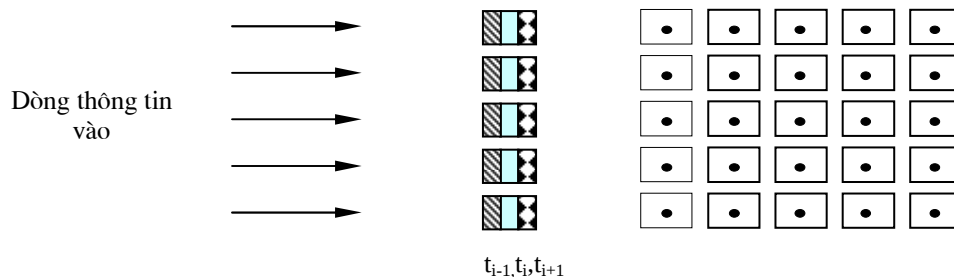


MẠNG NƠN TẾ BÀO - CNN VÀ MÁY TÍNH CNN-UM

Đỗ Thị Bắc - Vũ Đức Thái (Khoa Công nghệ thông tin - ĐH Thái Nguyên)
Phạm Thượng Cát (Viện Công nghệ thông tin – Viện KH&CN Việt Nam)

1. Đặt vấn đề

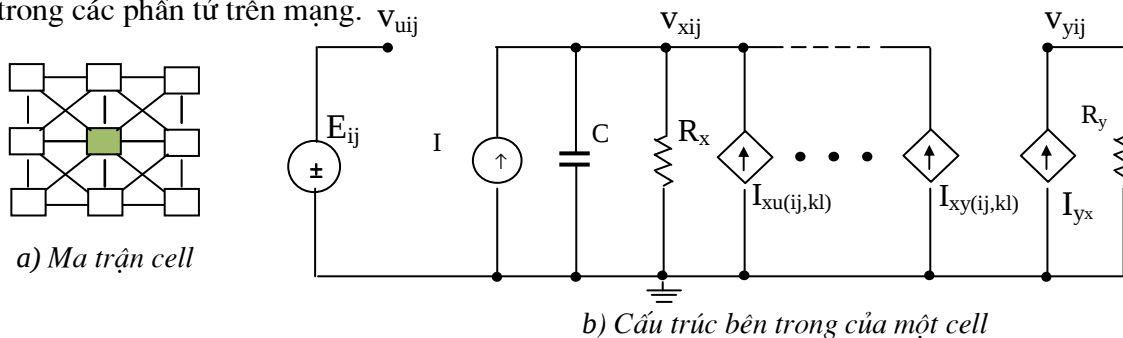
Cùng với sự phát triển của công nghệ và nhu cầu xã hội, việc xử lý thông tin ngày càng đa dạng phong phú. Chúng ta mong muốn máy tính có khả năng xử lý thông tin đa hình, đa chiều với tốc độ nhanh như khả năng xử lý của con người. Mặt khác, chúng ta cũng mong muốn máy tính biết tích lũy kinh nghiệm qua từng bước xử lý hay biết “học” từ đó có thể “tư duy” như con người. Với kiến trúc máy tính số hiện nay, người ta tìm nhiều thuật toán để cài đặt khả năng xử lý thông minh cho máy tính nhưng chưa có kết quả như mong muốn. Tốc độ xử lý của máy tính số đạt đến một tốc độ tới hạn về vật lý thì không thể tăng được. Cho đến nay, một số mô hình song song của các chip xử lý nhưng cấu trúc phức tạp và không ổn định về mặt năng lượng (có một số máy tính hai lõi đã được đưa ra thị trường nhưng cũng chỉ giải quyết những bài toán ứng dụng thông thường). Để đáp ứng được nhu cầu tính toán song song tốc độ cao, người ta cần có một hệ tính toán mạnh hơn nhiều. Như hình 1 mô tả dữ liệu vào là một dòng thông tin thay đổi theo thời gian. Để xử lý kịp thời các thông tin vào trong các bài toán thực tế, ta cần một có một mô hình xử lý đồng thời với một hệ các chip mà mỗi chip xử lý một nguồn vào nhất định. Mặt khác, các nguồn vào này còn có sự tương tác chi phối nhau nên các chip còn cần có liên kết với nhau về mạch điện.



Hình 1. Dòng thông tin vào hệ thống

2. Công nghệ mạng nơon tế bào (cellular neuron network – CNN)

L. Chua và L. Yang phát minh ra mạng nơon tế bào từ năm 1988 dựa trên tư tưởng chung là sử dụng một mảng đơn giản các tế bào kết nối cục bộ để xây dựng một hệ thống xử lý tín hiệu analog đồ sộ. Đặc điểm mấu chốt của mạng nơon là xử lý song song liên tục và lan truyền toàn cục trong các phần tử trên mạng.



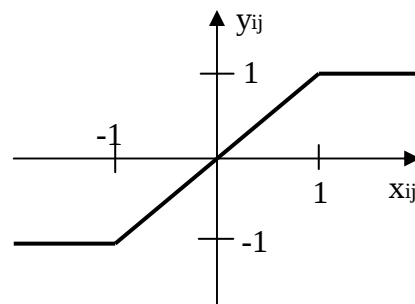
Hình 2. Cấu trúc của CNN

a) Ma trận cell; b) Cấu trúc bên trong của một cell

Khối mạch cơ bản của mạng CNN được gọi là tế bào (cell). Nó chứa các phần tử mạch tuyến tính và phi tuyến. Tiêu biểu là các tụ tuyến tính, các điện trở tuyến tính, các nguồn điều khiển tuyến tính, phi tuyến và các nguồn độc lập. Mỗi một tế bào trong CNN chỉ kết nối tới các tế bào láng giềng. Các tế bào liên kề có thể ảnh hưởng trực tiếp tới nhau. Các tế bào không có liên kết trực tiếp có thể tác động đến các tế bào khác gián tiếp bởi sự tác động do sự lan truyền của mạng CNN. Khi xử lý, những tín hiệu được đưa vào những lưới không gian hình học 2 chiều hoặc 3 chiều những tế bào xử lý (cell). Hệ CNN được xây dựng dựa trên các chip VLSI hiện có. Đến nay, các hệ CNN đã phát triển rộng rãi với nhiều ứng dụng quan trọng mà máy PC không giải quyết được. Ma trận CNN hiện nay có tới 256×256 cells. Cấu trúc của hệ CNN và một cell mô tả ở hình 2.

Một ví dụ điển hình của cell $C(i,j)$ của CNN được chỉ ra trong hình (2.b). Các thông số v_{xij} , v_{yij} , v_{uij} lần lượt là trạng thái, đầu ra, đầu vào của điện áp. Điện áp trạng thái v_{xij} được giả sử rằng có độ lớn nhỏ hơn hay bằng 1. Điện áp vào v_{uij} giả sử là hằng số với độ lớn nhỏ hơn hay bằng 1. Mỗi cell $C(i,j)$ chứa một điện áp nguồn độc lập E_{ij} , một nguồn dòng độc lập I , một tụ tuyến tính C , hai trở tuyến tính R_x và R_y và nhiều nhất là $2m$ nguồn điện áp điều khiển liên kết với các cell lân cận qua điện áp vào điều khiển v_{ukl} và điện áp hồi tiếp điều khiển từ đầu ra của các cell lân cận v_{ykl} với m bằng số cell lân cận của cell $C(i,j)$.

$I_{xy}(i,j;k,l)$ và $I_{xu}(i,j;k,l)$ là nguồn dòng điều khiển điện áp tuyến tính với đặc tính $I_{xy}(i,j;k,l) = A(i,j,kl) v_{ykl}$ và $I_{xu}(i,j;k,l) = B(i,j,kl) v_{ukl}$ đối với mọi $C(k,l) \in N_r(i,j)$. Phần tử phi tuyến duy nhất trong mỗi một cell là nguồn dòng điều khiển điện áp ngược. $I_{xy} = (1/R_y)f(v_{xij})$ với $f(.)$ là hàm piecewise tuyến tính có đặc tính như hình 3. Cặp hệ số $A_{ij,kl}$ và $B_{ij,kl}$ được gọi là hệ số hồi tiếp mẫu và hệ số điều khiển mẫu.



Hình 3. Hàm ra v_{yij} của CNN

Như vậy, với cấu trúc mảng các cell như trên tín hiệu đưa vào hệ CNN là một ma trận các giá trị ta gọi là các mẫu (template). Chúng ta không đi sâu vào kiến trúc của CNN mà quan tâm đến hoạt động của hệ: việc đưa dữ liệu vào, xử lý và lấy kết quả ra. Tín hiệu đưa vào hệ CNN giống như một bức ảnh $M \times N$ với mỗi pixel ứng với một cell, giá trị đưa vào coi như giá trị độ xám, màu của mỗi pixel. Kết quả ra cũng là một ma trận giá trị như một ảnh ra nhưng đã được biến đổi sau các thao tác xử lý. Khác với xử lý trên máy PC, vì CNN có nhiều đầu vào và các đầu vào này có sự tương tác với nhau nên trong quá trình xử lý các cells có các liên kết cục bộ với nhau thông qua các đường truyền lân cận.

Nguyên tắc xử lý trên CNN giống như mạng nơ ron ở một số khía cạnh như có sự lan truyền trong quá trình xử lý, mỗi cell có một giá trị ngưỡng để xác định các giá trị kích hoạt đầu vào, nếu giá trị vào vượt qua một giá trị ngưỡng thì mới được tiếp nhận và xử lý. Việc xây dựng giá trị ngưỡng được thực hiện qua các lần thực nghiệm (số lần lặp) sau đó hệ nhận được một giá trị thích hợp cho mỗi đầu vào nhất định. Với cơ chế này mạng CNN có khả năng biết “học” thông qua các tham số.

Việc đưa giá trị vào xử lý trong hệ CNN thông qua các template, có các mẫu A và B. Mẫu A là lấy tín hiệu từ đầu ra của cell $C(i,j)$ đưa hồi tiếp vào theo cấu trúc của CNN và:

$$I_{xy}(i,j;k,l) = A_{ij,kl} v_{ykl}$$

Mẫu B là tín hiệu đưa vào từ các cell lân cận đưa vào cell C(i,j) và:

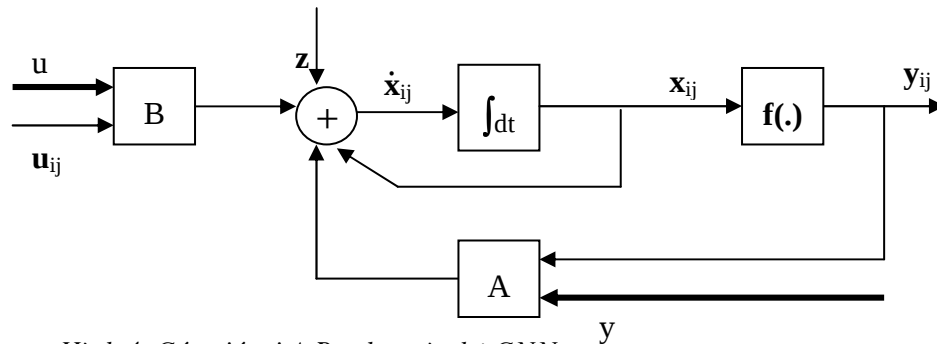
$$I_{xu}(i,j;k,l) = B(ij,kl) v_{ukl}$$

Về mặt tín hiệu, ta coi như A, B là điện dẫn từ các cell lân cận đưa vào cell đang xét C(i,j). I là dòng điện đưa vào hệ như mô tả trên (H.3). Vì hệ CNN có các cấu trúc ma trận (như hình 2.a) nên A,B cũng có dạng là một ma trận:

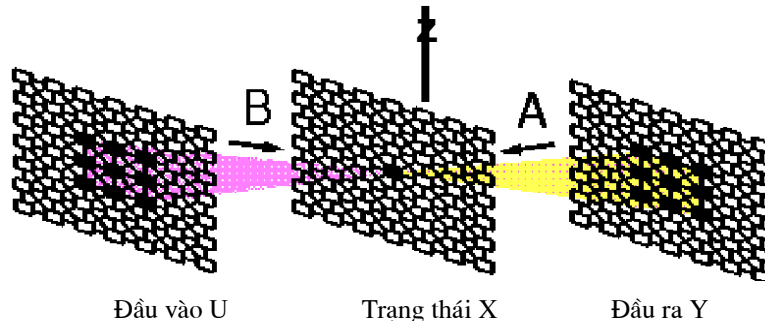
Ví dụ:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Hệ CNN ta thấy có bộ tham số quan trọng đó là A,B,z, với cấu trúc đưa vào như sau (H.4):



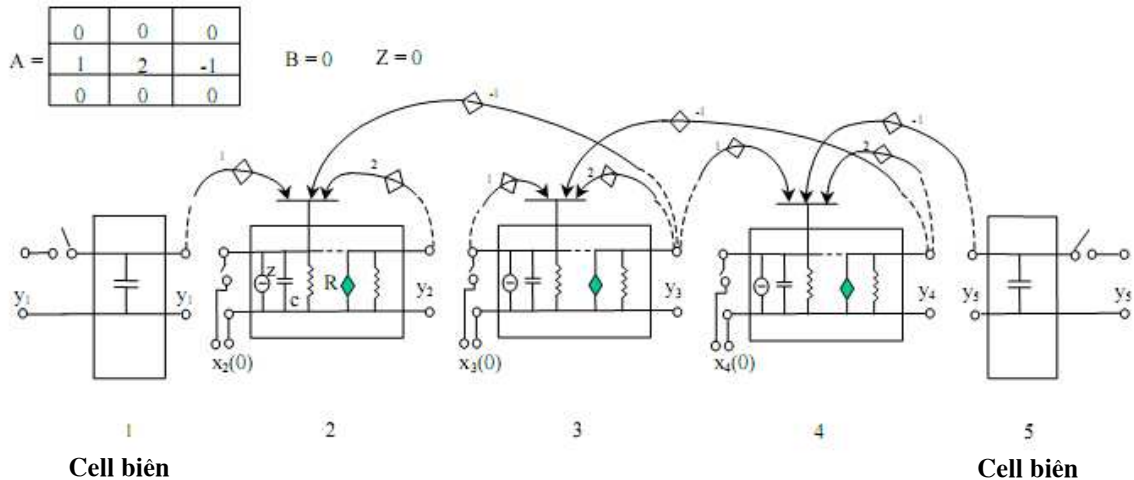
Hình 4. Các giá trị A,B,z đưa vào hệ CNN



Hình 5. Tương tác trong CNN với 3 lớp giềng

Đây có thể coi là các “lệnh” xử lý cơ bản của mỗi mạch CNN. Việc thiết kế cài đặt một bài toán là ta đi tìm các templates đặc trưng thích hợp cho các đầu vào và ra của bài toán. Việc tương tác cục bộ giữa các cell trong hệ CNN giống như tương tác giữa các nơ ron thần kinh trong cơ thể sinh học các tín hiệu lan truyền và được xử lý trong hệ. Các cell có vai trò vừa xử lý vừa lan truyền tương tác cùng giải quyết bài toán. Quá trình tương tác được thể hiện qua các bộ template (A,B,z) và cũng có các dạng khác nhau như (0,B,z); (A,0,z); (A,B,0)... Chúng ta có thể mô hình hóa tương tác giữa các cell thông qua các template A,B,z như hình 5.

Cấu trúc luồng tín hiệu của một CNN với 3x3 láng giềng (H.5), 2 bóng hình nón là biểu tượng của trọng số bổ sung của điện áp đầu vào và đầu ra của cell C(k,l) ∈ S₁(i,j) tới trạng thái điện áp của cell trung tâm C(i,j). Mô hình xử lý với các template A,B,z thực hiện trong hệ CNN có 5 cells như hình 6:



Hình 6. Hệ thống các cell và template tương ứng

3. Máy tính CNN - UM

Trên nguyên tắc lý thuyết, năm 1993 Giáo sư Roska Tamás (Viện nghiên cứu Máy tính và Tự động hóa- Hungary) và Giáo sư L.O. Chua (Đại học Berkeley - Mỹ) đã công bố nguyên lý cơ bản về phần cứng của máy tính CNN tại Viện hàn lâm khoa học Hungary [4]. Năm 1995, Giáo sư Angel Rodriquer (Đại học Seville Tây Ban nha) và nhóm nghiên cứu Budapest –Berkeley nghiên cứu cho ra đời chip CNN CP400 đầu tiên có kiến trúc mảng 22×20 cells có đầu vào quang học và đầu ra nhị phân dùng công nghệ CMOS 0.8 micron. Sau đó chip CNN ACE4k analog hoàn toàn với kiến trúc mảng 64×64 cells với công nghệ CMOS 0.5 micron có các công cụ lập trình cần thiết cho các nhà thiết kế xây dựng các thuật toán mà không cần hiểu rõ về kiến trúc cell.

Thế hệ thứ hai của CNN kết hợp hai khối CACE1k chip và ACE16k chip dựa trên vi xử lý thị giác có khả năng xử lý bán cấu trúc được sản xuất tại Budapest. Khối CACE1k là chip CNN thực hiện với lõi có hai lớp phức tạp. Chip ACE16k có cấu trúc 128×128 cells với nhiều tính năng vượt trội như cảm biến quang học, cảm biến xúc giác tín hiệu đưa ra dạng tín hiệu số hoàn toàn [3]

Thế hệ thứ ba là hệ thống tích hợp trên chip đơn cả phần giao diện vào, đầu ra động, cũng như xử lý số trong một khối GACU (Global Analogic Control Unit) có kiến trúc quang học với tốc độ ánh sáng, với kích thước 256×256 cells. Khối này có mẫu B có chỉ số kích thước đạt tới 32×32 . (xem <http://analogic.sztaki.hu>).

4. Phần mềm và thuật toán

Thư viện mẫu CNN đã và đang phát triển hình thành nên thư viện phần mềm CNN analogic (analog-logic), bao gồm các template cơ bản và các chương trình con đa năng ngày càng được bổ sung và sẽ được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác nhau. Đồng thời với việc xây dựng các template và các thủ tục mới, người ta tìm giải pháp tái sử dụng các template và thủ tục sẵn có trong thư viện được coi như là các template, thủ tục chuẩn (xem <http://lab.analogic.sztaki.hu>). Thư viện này cũng là dạng mở dành cho mọi người tham gia sử dụng và phát triển.

Thuật toán xử lý đa sóng (multi wave) và đa luồng (multi flow) đã phát triển với mức độ phức tạp cao có thể giải quyết các bài toán bức thiết trong thực tế. Một số phần mềm

(MATHLAB, HSPICE...) cho phép mô phỏng các thuật toán của CNN, mô hình hóa các tương tác giữa các chip CNN và các thanh ghi cấu hình chuyển mạch có thể lập trình được trong các tác vụ đặc biệt của CNN. CNN cũng cho phép những khả năng mở rộng về phần cứng tạo nên các cell phức tạp hai hoặc ba lớp. Các lưu đồ mô tả các thuật toán của CNN gọi là lưu đồ UMF (Universal Machine on Flows) cũng đang được chuẩn hóa.

5. Kết luận

Với những ưu thế của CNN, người ta đang nghiên cứu nhiều mô hình và thuật toán của nó để giải quyết những nhu cầu ứng dụng mà máy PC hiện nay không giải quyết được, hoặc giải quyết không hiệu quả. Chúng ta mong muốn xây dựng nên thế hệ máy tính có các giác quan như con người (thị giác, thính giác, xúc giác...) và khả năng xử lý thông minh, khả năng xử lý dữ liệu lớn với tốc độ cao trong môi trường thời gian thực. Những công nghệ vi mạch với các chip VLSI hiện nay hoàn toàn có thể giải quyết về kiến trúc phần cứng của CNN. Vấn đề cần nghiên cứu là các thuật toán và hệ thống các template liên quan đến mỗi bài toán cụ thể đảm bảo sự ổn định, độ chính xác, tốc độ cao trong các kết quả .

Tóm tắt

Hiện nay nhiều bài toán xử lý với luồng thông tin vào lớn, yêu cầu xử lý với môi trường thời gian thực đang gặp phải khó khăn khi giải quyết trên máy tính PC thông thường. Công nghệ mạng nơ ron tế bào CNN ra đời từ năm 1988 về thuật toán và đến nay đã có máy tính analog CNN-UM (CNN- Universal Machine) đang được đưa vào ứng dụng đáp ứng nhu cầu trên. Trên thế giới đã hình thành những phòng thí nghiệm và các hãng sản xuất các chip CNN –UM. (Hungary, Tây Ban Nha, Italia, Mỹ, Hàn Quốc, Việt Nam...). Tuy vậy, ở Việt Nam lĩnh vực này còn chưa phát triển. Bài báo này giới thiệu cụ thể những thao tác và nguyên tắc hoạt động cơ bản về công nghệ CNN và máy tính CNN-UM để người đọc hình dung về CNN, từ đó có thể tham gia nghiên cứu những vấn đề chuyên sâu hơn về công nghệ CNN và máy tính CNN-UM.

Summary

Recently, some processing problems with large amount of information in real time environment is hardly to solve on PC. We need other technology with abilities of parallel processing on hardware architecture. CNN technology and CNN-Universal Machine was developed in 1988 could solve this problem well. There are several researching centers in the world (Hungary, Italy, US, South Korea,, Vietnam...). However, in VN this technology has not been taken care of. This paper will introduce some basic knowledge of CNN technology and CNN-UM and the trend of developing in hardware and software and library tools.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Phạm Thượng Cát (2007), “*Máy tính vạn năng CNN- UM một hướng phát triển mới của công nghệ thông tin*” – Hội thảo Mạng nơ ron tế bào và tính toán nơ ron.
- [2]. Leon O. Chua, L. Yang (1998), “*Cellular neural networks: Theory*”, IEEE Trans. Circuits Syst. Vol.35.
- [3]. Leon O. Chua, L. Yang (1998), “*Cellular neural networks: Application*”, IEEE Trans. Circuits Syst. Vol.35.
- [4]. Tamás Roska, Leon O. Chua “The CNN Universal Machine: 10 years later” *Journal of Circuits, Systems and Computers* Vol. 12 No. 4 377-388 © World Scientific Publishing Company.