

## 신경계의 실험적 신경망 모델에 관한 예비연구

이화여자대학교 의과대학 신경과  
최 경 규 · 박 기 덕

= Abstract =

### Preliminary Study of Experimental Neural Network Model in the Nervous System

Kyoung Gyu Choi · Ki Duk Park

Department of Neurology, College of Medicine, Ewha Womans University

Present knowledge of brain mechanism is mainly based on anatomical and physiological studies. Such studies are however insufficient to understand the information processing of the brain. The present new focus on neural network studies is the most likely candidate to fill this gap. We made a simulation of striatum by neural network model, which is capable of limited generalization and completion and possesses characteristic property of brain such as termed graceful degradation.

## 서 론

현재의 신경계의 구조와 기능에 대한 지식은 주로 해부학적, 신경생리학적 연구에 바탕을 두고 있다고 할 수 있다. 그리고 신경원의 기능과 역할에 대해 생물학적 연구가 많이 진전이 되어 있지만 뇌의 정보처리과정을 이해하기 위해서는 아직 불완전한 측면이 많다고 할 수 있다. 사람의 신경계는 항상 변하고 있는 주위 환경으로부터 매우 많은 정보를 처리하고 있다. 이러한 점에서는 현재 발달되고 있는 디지털컴퓨터가 따라올 수 없을 정도로 매우 효과적인 처리과정을 가진다고 할 수 있겠다. 이러한 뇌의 능력은 오랜 세월에 걸친 진화에 의해 수십억이 넘는 신경세포들이 서로 연결되어 효과적인 신경망을 형성하고 이를 통하여 모든 정보를 병렬적으로 처리할 수 있고 또 신경세포의 성질과 신경세포 사이의 연결을 조정하여 스스로 학습을 통해 처리능력을 개선할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 대뇌의 선조체에서의 입력과 출력 그리고

주위 조직과의 관계를 신경망으로 표현해 보고자 한다.

## 연구 방법

뇌의 정보처리에 대한 신경망 모델을 만들기 위해서는 다음과 같은 기본적인 개념이 바탕되어야 한다<sup>1)</sup>.

1) 신경세포는 다양한 연결을 통해(10<sup>4</sup> 개 까지) 많은 다른 신경세포와 연결되어 있다.

2) 뇌의 정보처리는 고도로 병렬적이고 분산적이다. 그러므로 수치계산 등의 단 일 처리에서는 사람의 뇌가 현재 컴퓨터에서 사용하는 실리콘칩보다 반응시간 이 상당히 느리지만 복잡한 인식과 처리가 필요할 때는 훨씬 효과적이다.

3) 신경의 프로그램과 데이터는 신경연접의 특성에 저장된다. 신경계는 이 연접의 특성을 변화시킴으로써 스스로 프로그램하고 구성을 하며 또 프로그램과 데이터를 갱신한다.

4) 신경계는 매우 견고하여 상당한 퍼센트의 신경원이

손상을 받아도 그 기능이 약간만 저하될 뿐이다. 이에 비해 컴퓨터는 하나의 연결만 잘못 되어도 쓸모가 없어지게 된다.

5) 신경원은 신호/잡음 비율(signal/noise ratio)가 매우 낮다. 그래서 신경세포가 때로 정확하게 처리하지 못하는 경우가 있을 수 있다<sup>2)</sup>.

신경계의 신경망 모델은 Hopfield model을 기본으로 하여 구성한다<sup>3)</sup>. 이 시스템은 associative memory를 나타낼 수 있다(Fig. 1). 이 모델에서는 대칭적인 연결을 통하여 에너지함수(energy function)를 시스템으로 표현할 수 있고 에너지함수에서의 minima는 시스템에서의 attractor point로 간주할 수 있다. 이 시스템에 특정한 입력이 들어오면 시스템은 가장 가까운 곳에 있는 attractor point로 발전하게 되는 데 이렇게 하여 attractor point는 특정한 입력에 관계되며 신경망은 학습을 하게 된다. 에너지함수에서의 국소적인 minima(local minima)는 저장에 이용되는 데 만일 이 시스템이 어떤 국소적 minima 근처에서 시작하면 하고자 하는 행동은 그 minimum에 빠지게 된다. 이러한 방식으로 신경망에 의해 원래의 구조가 재구성될 수 있다.

## 결 과

선조체는 그 구조와 다른 부위와의 연결이 비교적 많이 알려진 편에 속한다. 가장 뚜렷한 것은 대뇌피질의 모든 부위로 부터 오는 구심성 신경섬유들이고 그 외에 substantia nigra pars compacta, 시상의 centromedian and parafascicular nuclei에서 오는 섬유들이 망을 구성한다. 선조체에 들어오는 대부분의 구심성섬유는 특정한 부위의 수상돌기에서 연결이 이루어진다<sup>4)</sup>. 대뇌피질에서

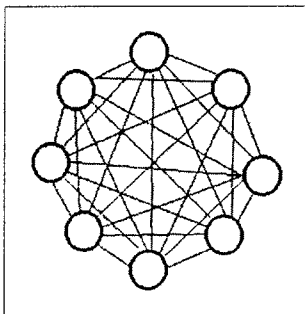


Fig. 1. Hopfield model. It uses Hebb's learning rule.

오는 섬유는 선조체에서 나가는 신경원의 heads of the dendritic spines에 연결하고 substantia nigra pars compacta에서 오는 dopaminergic fiber는 necks of the dendritic spines에 연결하여 대뇌피질에서 오는 입력을 조절할 수 있게 된다. 시상에서 오는 신경섬유가 어느 부위에서 연결하는지는 아직 정확히 밝혀져 있지는 않으나 necks of the dendritic spines일 가능성이 많을 것으로 생각된다. 이를 도시하면 그림과 같다(Fig. 2). Corticostriatal projection은 신경전달물질로서 glutamate를 사용하고<sup>5)</sup> 실제로 선조체에서 특히 NMDA 수용체가 고밀도로 존재하는 것을 관찰할 수 있다<sup>6,7)</sup>. 이러한 해부학적 그리고 약리학적 특성은 선조체의 병렬분산처리 모델을 구성하는 데에 이용될 수 있다.

Pattern associator는 분산된 기억에 관해 가장 널리 사용되고 있고 기본적인 신경망 구조의 하나이다. 서로 교차되는 요소들의 배열로 이루어지며 한 평면의 요소는 입력을 의미하고 다른 한 평면의 요소는 출력을 의미한다. 이 망구조는 단순하여 hidden unit이 없고 한 개의 층 만으로 서로 연결지을 수 있다. 각 출력의 활성도는 입력과 입력에 연결되는 강도의 상호작용에 의해 정해진다. 이 망의 일반적인 성격과 연관기억을 만드는 능력은 간단한 예로 쉽게 확인할 수 있다.

입력과 출력을 이진법의 벡터 1과 0으로 생각하면 모든 연결의 가중치는 0이 되고 학습을 하는 동안 공식 1)과 같은 Hebb learning rule에 의해 가중치가 점차 증가하며 총합은 역치를 넘어서는 부분을 합하면 된다(공식 2). 이때 활성화의 정도는 단순선형함수적으로 출력에 반영된다.  $W_{ij}$ 를 입력  $j$ 와 출력  $i$  사이의 가중치라하면  $\Delta W_{ij}$ 는 입력  $j$ 와 출력  $i$  사이의 강도의 변화라고 할 수 있다.

$$\text{공식 1) } \Delta W_{ij} = a_i \cdot o_j$$

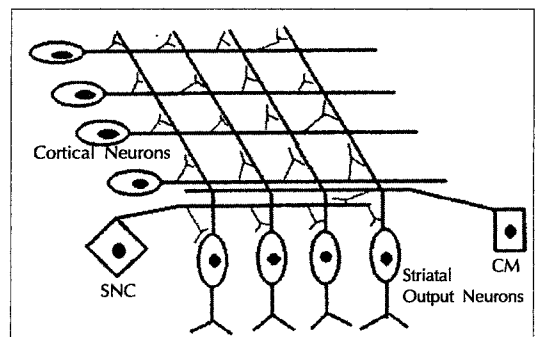


Fig. 2. Diagram illustrating the relative positions of terminals from different inputs on striatal dendrites.

여기서  $a_i$ 는 출력의 활성화 정도이며  $o_j$ 는 입력에 의해 생긴 출력에 해당된다.

$$\text{공식 2) } a_i = (\sum o_j * W_{ij}) - \theta,$$

여기서  $\theta$ 는 출력의 활성화를 위한 역치이다.

이러한 회로망은 상기의 규칙에 의해 입력과 출력 사이의 다양한 관계를 학습할 수 있다. 즉 이러한 회로망이 입력을 받으면 연결되는 가중치가 규칙에 맞게 조정되고, 가중치가 정해지면 그 유닛의 활성화도가 계산된다. 이 과정에 의하여 회로망은 많은 입력벡터와 출력 사이의 관계를 매우 빨리 학습하며 한 입력형태에 대하여 단 하나의 관계가 만들어지게 된다<sup>8)</sup>(Fig. 3).

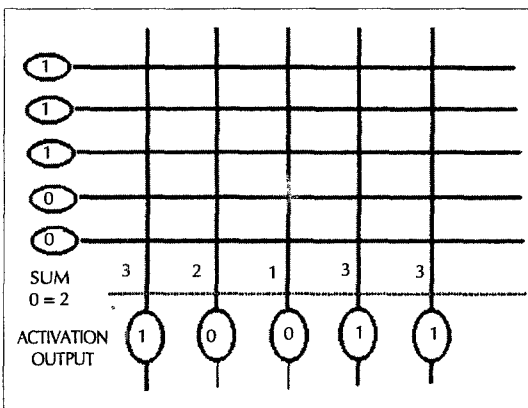


Fig. 3. Diagram of a simple pattern associator. The horizontal lines can be thought of as representing axons of processing elements in the input layer and the vertical lines as dendrites of output units. Each of the circles at intersections of input axons and output dendrites represents a connection weight.

## 고 찰

뇌의 구조와 기능을 신경망구조로 시뮬레이션하는 데에는 아직까지도 해결하기 쉽지 않은 많은 문제점들을 가지고 있다. 우선 뇌의 신경구조는 매우 복잡적으로 이루어져 형태와 이에 따르는 기능이 다양하여 일정한 단위로 구현하기가 어렵다. 그리고 사람을 비롯한 동물의 신경세포의 수는 너무 많은 데다가 연결되어 있는 수는 신경세포 수의 1,000배 이상이어서 이들 사이의 관계를 나타내는 것은 거의 불가능할 정도이다. 그리고 신경망에서는 학습에 있어서 supervised learning 기전을 주로 사용하는 데 이러한 supervisor는 생물학적으로는 아직 규명되어 있지 않아 이 학습규칙의 정확한 생물학적 의미에 대해

논란이 많은 실정이다. 따라서 사람의 뇌에 대한 시뮬레이션의 질과 정확도에 의존할만한 판단기준이 모호한 상태라고 할 수 있겠다<sup>9)</sup>.

그러나 사람의 뇌의 기능은 우리가 동물실험 등의 생물학적인 방법을 통해서 파악하기가 어려운 경우가 대부분이며 특히 운동장애와 고도의 인지능력에 관해서는 현재의 방법으로는 거의 불가능하다고 할 수 있다. 그러므로 위에서 언급한 어려움이 있고 아직은 취약한 점이 많음에도 불구하고 사람의 뇌의 연구에 관한 한 신경망 모델을 통한 새로운 개념의 정립과 컴퓨터를 통한 실험의 방향으로 나아가야 한다는 사실에는 많은 공감대가 형성되고 있고 꾸준한 연구가 이루어지고 있다. 그림 3에서 구현한 신경망에 학습이 이루어지면 뇌와 유사한 성질을 가지게 되는 데, 이 망구조에서는 일부에 고장이 생겨도 모든 기능이 마비되는 것이 아니라 뇌에서와 마찬가지로 점차적인 기능 저하를 가져오게 된다. 그러므로 상당한 수의 연결이 소실되어도 특정한 경우에 대해서는 적절한 출력을 나타낼 수 있게 된다. 그리고 약간 부정확한 입력에서도 기대하는 출력을 낼 수 있는데 예를 들면 정확한 입력이 (1, 0, 1, 0, 0) 이라고 할 때, 대신 (0.8, 0.1, 0.8, 0.1, 0.1) 을 입력하여도 같은 반응을 보일 수 있다. 또 망구조의 일부에 손상을 받아도 마찬가지로 현상이 나타나는 데 즉 입력 (01001)이 손상된 구조에 의해 (01011)로 받아들여져도 원하는 출력이 나오게 된다.

## 결 론

저자들은 뇌의 선조체의 운동기능에 있어서 뇌의 다른 부위와의 연결에 의한 입력과 출력을 병렬분산처리를 이용한 시뮬레이션을 통해 신경망모델을 구현하였다.

## References

- 1) Durban R, Miall C, Mitchison G : *The Computing Neuron. 1st eds. Addison-Wesley Publ. Comp., Wokingham a.o., 1989 : 417*
- 2) Laughlin S : *The reliability of single neurons and circuit design. In : The Computing Neurons. 1st eds. Addison-Wesley Publ. Comp., Wokingham, 1989 : 322-336*
- 3) Hopfield JJ : *neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities.*

- Proceedings of the National Academy of Sciences.* 1982 : 79 : 2554-2558
- 4) Freund TF, Powell JF, Smith AD : *Tyrosine hydroxylase-immunoreactive boutons in synaptic contact with identified striatonigral neurons, with particular reference to dendritic spines.* *Neuroscience*, 1984 : 13 : 1189-1215
  - 5) Fonnum F, Storm-Mathisen J, Divac I : *Biochemical evidence for glutamate as neurotransmitter in corticostriate and corticothalamic fibers in rat brain.* *Neuroscience*, 1981 : 6 : 863-873
  - 6) Collingridge GL, Lester RAJ : *Excitatory amino acid receptors in the vertebrates central nervous system.* *Pharmacol Rev*, 1989 : 40 : 143-210
  - 7) Cotman CW, Monaghan DT, Otterson OP, Storm-Mathisen J : *Anatomical organisation of excitatory amino acid receptors and their pathways.* *Trends Neurosci*, 1987 : 7 : 273-280
  - 8) Van Leeuwen JL : *Neural Network Simulations of the Nervous System.* *Europ J Morphol*, 1990 : 28(2-4) : 139-147