

신경회로망의 光學的 구현에 관한 小稿

白雲植

現代電子産業(株) 産業電子研究所

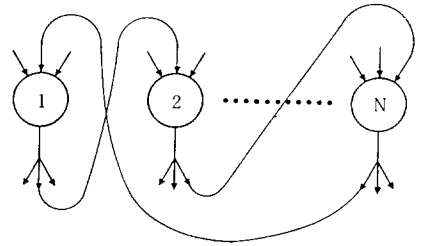
I. 序 論

수세기 후반에 급속도로 발달한 半導體 기술에 힘입어 디지털 컴퓨터의 응용기술은(비단 전자산업 분야에서뿐 아니라) 諸般 산업분야에서 인간의 知能을 대신해서 광범위하게 활용되고 있음은 주지의 사실이다. 그럼에도 불구하고 既存의 디지털 컴퓨터는 정보를 순차적으로 처리함으로써 패턴인식과 같은 일에 많은 시간이 소요될뿐 아니라 초대용량의 메모리가 필요하는등 대단히 비효율적인 단점을 노출하게 되었다. 반면, 인간은 수치계산에 있어서는 기존의 디지털 컴퓨터에 뒤지지만 사물을 認識하거나 기억하는데 효율적인 점에 착안하여 인간두뇌의 인식메카니즘을 규명하는 데에 관심이 모아지게 되었다.

인간의 두뇌는 정보를 분산처리, 기억하는 것으로 알려지고 있다. 즉, 어느 한 뉴런에 입력된 신호는 그 밖의 다른 뉴런으로 출력, 분산 저장된다. 또한 뉴런과 뉴런을 연결하고 있는 시냅스(synapse)라 불리는 연결조직 자체가 정보를 저장하는데 쓰인다!¹⁾ 실제로 시냅스 내부의 전기화학적 변화(가중치 연결로 모델링)가 인간의 聯想기억, 학습능력등을 가능케 하는 것으로 믿어지고 있다.

그림 1에 신경회로망의 공학적 모델을 도시하였다. 이 시스템은 N개의 뉴런과 각 뉴런의 출력이 시냅스를 통하여 그밖의 다른 모든 뉴런에 연결되어 있음을 보여주고 있다.

신경회로망의 구현을 위해 光學기술이 고려되어지는 이유는 광학 시스템의 3次元의 구성(3-dimensional topology) 가능성과 레이저 빔의 병렬성(parallelism) 즉, 자유공간에서 빔 서로간에 간섭을 일으키

그림 1. 신경회로망의 공학적 모델²⁾

지 않는 특성을 이용해서 신경 회로망에서 요구되는 초 고밀도의 상호 연결망(interconnections)을 실현 가능케 하기 때문이다.

본고에서는 II장에서 신경회로망 모델의 광학적 구현방법을 既 발표된 논문³⁾에 근거해서 記述하고, III장에서는 이러한 光學的 접근 방법의 한계성(혹은 장단점)을 論하고, 마지막으로 IV장에서 結論을 맺기로 한다.

II. 신경 회로망의 光學的 具現

신경회로망의 광학적 구현에는 크게 두가지의 접근 방법이 있는데 첫째로 2次元 공간 광변조기(spatial light modulator) 상의 각 화소의 투과도를 각 연결의 가중치로 응용하는 방법이 있고, 두번째로 비선형 광굴절 결정체(photorefractive crystal)를 매질로 해서 실시간 3次元 홀로그램을 형성함으로써 가중치연결을 구현하는 방법 등이 있다.

신경회로망 모델의 가장 두드러진 특징인 학습능력은 뉴런과 뉴런을 연결하고 있는 시냅스의 가중치를

가변적으로 조절함으로써 얻어질 수 있다.

그림 2는 이러한 신경회로망 모델의 가변적 연결조적을 공간 광변조기의 각 화소(pixel)의 투과도로써 실현하는 개념도를 나타낸다.

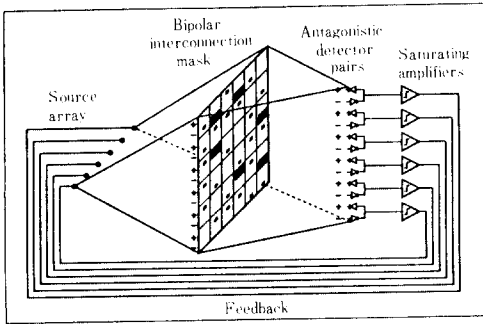


그림 2. 공간 광변조기에 의한 신경회로망의 가중치 연결(weighted interconnection)의 실현 예^[3]

신경회로망을 광학적으로 구현하는 두번째의 접근 방법으로서 광굴절 결정체 내에 저장된 부피 홀로그래램을 이용하는 방법이 있는데, 그림 3에 Psaltis^[3] 등이 제시한 부피 홀로그래램을 이용해 연상기억(associative memory)을 수행하는 개념도를 보이고 있다. 즉, A, B, C, D 등의 문자패턴을 광굴절 매질(photo-refractive medium) 내에 부피 홀로그래램의 형태로 순차적으로 저장하면 그림 3에 보인 바와같이 A라는 문자 패턴의 부분정보(혹은 불완전한 정보)만으로도 이미 저장된 A의 정보를 온전하게 연상(association)할 수 있는 것이다.

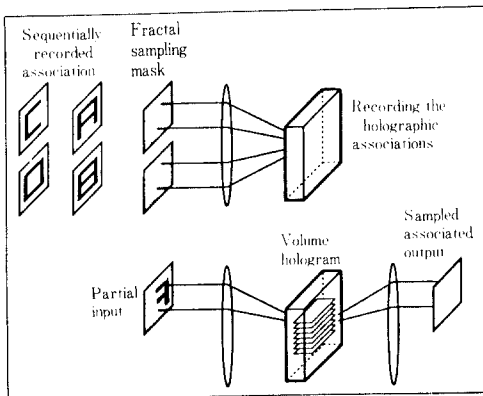


그림 3. 광굴절 결정체 내에 저장된 부피 홀로그래램으로 연상기억(associative memory)을 수행하는 개념도^[3]

그림 1에 도시한 바와 같이 신경회로망 모델은 두 종류의 구성요소 즉, 뉴런(혹은, processing element)과 시냅스(혹은, interconnection)로 이루어져 있는데, 이를 하드웨어 的으로 구현하기 위해서는 그림 4에 도시한 인식자(perceptron) 모델의 경우에서처럼, 각 뉴런은 합산(summation)과 비선형 문턱(threshold) 함수의 기능을 수행해야 하며 각 뉴런으로부터 출력을 그 밖의 모든 다른 뉴런에 가중치를 실어 전달할 수 있는 연결조적을 실현해야 한다.

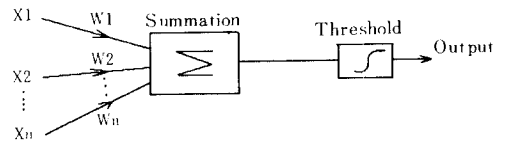


그림 4. 인식자(perceptron) 모델

각 뉴런의 기능은 신호를 탐지하고 비선형 처리한 후, 다음 단으로 전달하는 기능이므로 기존의 반도체 집적 기술을 利用하면 초고밀도의 뉴런의 실현이 가능하다. 그러나, 뉴런의 숫자가 증가할 수록 각 뉴런들의 상호 연결조적의 갯수는 기하급수적으로 늘어날 뿐 아니라 각 연결조적의 가중치가 적응적으로 변화 가능해야 하므로, 이러한 상호 연결망을 如何히 효율적으로 구현할 것인가가 關鍵이라 하겠다.

그림 5에서는 다층(multilayer) 신경망 모델의 한 예를 보였다. 이 모델은 3층으로 구성되어 있으며 내부층과 입력층, 그리고 출력층과 내부층이 가중치 연결망으로 각각 연결되어 있다.

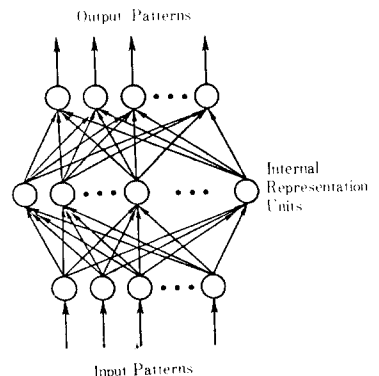


그림 5. 다층(multilayer) 신경망 모델^[4]

그림 5에서 i 개의 뉴런으로 구성되어 있는 입력층과 j 개의 뉴런으로 구성되어 있는 내부층을 연결하는 가중치 연결망을 광학적으로 구현하는 방법 중, 홀로그래피(holography)를 이용하는 방법을 살펴 보기로 한다.

그림 6에서 입력 마스크 면의 점 i 와 출력 마스크 면의 점 o' 에서 나온 빛은 간섭 무늬를 일으켜, 광굴절 결정체 내에서 회절격자(diffraction grating)를 형성하게 된다. 일단 이렇게 저장된 회절격자(혹은 홀로그래프)는 출력 마스크 면으로부터의 빛을 차단한 후, 입력 마스크 면의 기준 빔(reference beam)만으로도 회절 현상을 일으켜 출력 마스크 면의 점 o' 의 영상을 점 o 에 재현한다. 즉, 점 i 와 점 o 가 광굴절 매질 내의 회절 격자에 의해 광 연결되었음을 보여준다.

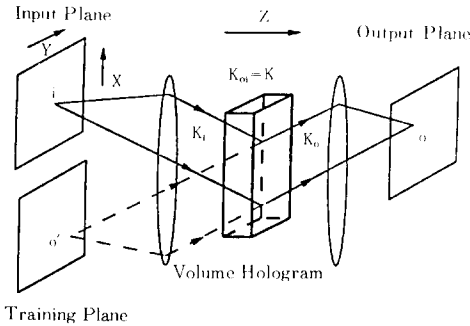


그림 6. 광굴절 매질 내에 홀로그래프를 저장함으로써 입력단의 i 점과 출력단의 o 점의 광 연결(optical interconnection)을 실현시킨 예⁵⁾

이상은 입력단과 출력단의 1對1 광연결의 구현 예이지만, 입출력 마스크 면상의 광점(optical spot)의 수를 증가시킴으로써 $i \times j$ 개의 연결조직을 실현시킬 수 있다. 또한, 광굴절 결정체 내에 저장된 회절격자(그림 6에서 벡터 K 로 표시)의 크기가 입사된 빔의 세기에 비례하는 특성이 밝혀짐으로써 가중치 연결의 실현은 물론 제어 가능성이 제시된 바 있다.⁵⁾

하지만, 대단히 많은 수의 회절격자(혹은, 홀로그래프)를 작은 부피의 매질 내에 기록할 경우 각 연결조직에 해당하는 회절격자 사이에 混信(crosstalk)이 일어날 가능성이 높다. 이러한 혼신을 최소화 하기 위한 입출력 마스크 쌍의 광점의 최적 配置(즉, non-degenerate sampling grids) 등도 보고된 바 있다.⁶⁾⁷⁾

Ⅲ. 광학적 구현의 한계성

이 후에서는 신경회로망을 광학적으로 구현할 때, 그 수행능력의 한계성(혹은 장단점)을 Nielsen²⁾의 고찰을 根幹으로 살펴보고자 한다.

1. 용량의 문제

신경회로망의 기본 요소인 뉴런과 시냅스(상호 연결 조직)를 하드웨어적으로 실현하는데 있어서, 특히 천문학적 숫자에 이르는 연결 조직의 갯수를 실현하기 위해서는 광학적 접근 방법이 유리한 것으로 사료된다. 예를 들면, II 후에서 소개한 광굴절 결정체를 이용해 3次元(부피) 홀로그래프로 연결 조직을 구현할 경우, $10^8 \sim 10^{11}$ 개 가량의 연결 조직을 실현할 수 있으며, 다만 광굴절 매질의 감도(sensitivity), 동적영역(dynamic range)등의 물리적 요소와 광학 시스템으로 부터의 제한요소 등에 의해 광 신경회로망(optical neural network)의 용량이 결정된다 하겠다.

광학적으로 구현할 수 있는 뉴런(혹은, processing element)의 갯수에 대해서는 논란의 여지가 있으나, 주로 뉴런에 해당하는 광점(optical spot)의 크기 및 그 광점들을 포괄하는 입출력 마스크면의 크기에 의해 뉴런의 갯수가 결정되며 수백만개의 뉴런이 구현 가능하다.

2. 적용 분야의 한계성

II 후에서 고찰한 바와 같이, 신경 회로망을 구현하였을 때, 광학소자의 유연성(flexibility) 결핍으로 인하여 연상기억 장치등과 같은 분야에 가장 효과적으로 적용될 것으로 예견되며, 상호 연결의 가중치를 반복적으로 업데이트(update) 해야 하는 余他の 신경 회로망 모델의 광학적 구현은 미래의 과제로 남아 있다.

3. 정보처리 속도의 문제

광 신경회로망의 정보처리 속도는 구성시스템에 따라 차이는 있으나, 일반적으로 다른 하드웨어 구현 방법과 비교했을때 월등히 빠르다. 그러므로 빠른 정보처리 속도를 要하는 적용분야(예를들면, 조기경보 시스템) 등에서 각광을 받을 것으로 예상된다.

4. 가격의 문제

신경 회로망을 광학적으로 구현하기 위해 소요되는 가격은 뉴런과 시냅스에 해당하는 광학 부품의 값

과 기구적 지지 및 정렬 (alignment)에 드는 비용, 그리고 외부 입출력 인터페이스에 드는 비용의 합계로 결정되며, 작은 매질 공간에 방대한 양의 연결 조직을 구현할 수 있는 광학 시스템의 장점을 충분히 활용하면 가격의 측면에서 여타의 시스템과 비교할 때 상대적으로 경쟁력이 있는 것으로 사료된다.

IV. 結 論

以上에서 인간의 두뇌 작용-사물을 인지하고 기억하며 판단하는-을 연구하면서 고안된 신경회로망 모델의 光學的 구현 방법에 대해 살펴 보았다. 신경회로망을 하드웨어적으로 具現하는데 필수적인 방대한 연결조직의 實現을 위해서는 光學的 접근 방법이 효율적이지만 Ⅲ章에서 고찰한 바와 같이 光學 시스템의 유연성 (flexibility) 결핍으로 응용범위의 한계성을 가지고 있다. 그러므로 光 신경회로망은 신경회로망의 여러 모델중 연상 기억 장치등과 같은 소위 fixed overall function을 수행하는데 응용이 기대되며 또한 빠른 정보 처리 속도를 요하는 분야에서 각광을 받을 것으로 기대된다.

參 考 文 獻

[1] Teuvo Kohonen, *Self-Organization and Associative Memory*, Springer-Verlag, New York, 1984.
 [2] Robert Hecht-Nielsen, "Performance limits of optical, electro-optical, and electronic

neurocomputers," *SPIE*, vol. 634, p. 277, 1986.
 [3] Kelvin Wagner et al., "Optical Computing Newsletter," *Laser Focus World*, vol. 26, p. 127, 1990.
 [4] David E. Rumelhart et al. (Eds.), "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition," MIT Press, 1986.
 [5] W. S. Baek, H. Lee, "Photorefractive intermode space-charge fields in volume holographic interconnections," *J. Appl. Phys.*, vol. 67, p. 1194, 1990.
 [6] H. Lee, X. Q. Gu, D. Psaltis, *J. Appl. Phys.*, vol. 68, p. 2191, 1989.
 [7] D. Psaltis et al., "Holography in artificial neural networks," *NATURE*, vol. 343, p. 325, 1990.
 [8] Henri H. Arsenault et al. (Eds.), "Optical processing and computing," Academic Press, 1989.
 [9] 오창석, "BaTiO₃의 광굴절 현상을 이용한 실시간 광연상 메모리에 관한 연구," 연세대학교 대학원 전자공학과 박사학위 논문, 1988.
 [10] Trudy E. Bell, "Optical computing: A field in flux," *IEEE Spectrum*, vol. 23, no. 8, 1986.
 [11] 장주석, 신상영, 이수영, "신경회로망의 2차 비선형 연상기억 모델의 광학적 구현," 대한전자공학회 논문집, vol. 26, no. 5, 1986.
 [12] 과종훈, 이일항, "광 신경회로 컴퓨터의 연구동향," 대한전자공학회지, vol. 17, no. 5, p. 23, 1990.



筆 者 紹 介



白 雲 植

1957年 3月 13日生
 1979年 2月 경희대학교 전자공학과(학사)
 1981年 2月 연세대학교 전자공학과(석사)
 1990年 미국 Polytechnic Institute of New York 전기공학과(박사)

1981年 7月~1984年 7月 해군사관학교 전자공학과 교관(전임강사)
 1990年~현재 현대전자산업주식회사 산업전자연구소 책임연구원