

회절격자를 이용한 광학적 단층 인식자의 구현

正會員 李 裁 明* 正會員 朴 成 鈞* 正會員 任 鐘 太* 正會員 朴 漢 奎*

Optical Implementation of Single Layer Neural Networks Using Diffraction Grating

Jae Myung LEE*, Seong Gyoon PARK*, Jong Tae IHM*, Han Kyu PARK* *Regular Members*

要 約 본 논문에서는 새로운 양자화 방법을 도입하여 학습을 수행하는 단층 신경망을 광학적으로 구현하였다. 본 논문의 시스템은 입력 마스크, 위상형 홀로그래프 회절격자, LCD, CCD 카메라 등으로 구성된다. 입력단의 뉴런과 출력단의 뉴런간의 연결은 홀로그래프 회절격자를 이용하여 2차원 연결을 이루었으며, 회절광들의 세기를 같게하기 위하여 정복형 회절격자를 위상형 회절격자로 변환시켰다. 뉴런간의 가중치는 2진 양자화되어 LCD를 이용하여 나타내었고, 출력값은 CCD를 통하여 컴퓨터에 입력되어 가중치를 보정하며, 이 과정을 학습이 완료될 때까지 반복 수행된다. 실험은 학습도 (learning rate) 0.5, 0.9에 대하여 실행하였으며, 제안된 방식으로 학습을 무리없이 수행할 수 있음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT A modified quantizing method is introduced to teach single layer learning algorithm, which is implemented optically. The proposed optical system consists of input masks, holographic diffraction grating, LCD and CCD camera. The 2 dimensional interconnections between input neurons and output neurons are realized using holographic phase grating, which is fabricated for equal intensity distribution of diffraction orders. The two gray levels of LCD act as binary weights for each interconnection. The weights are compensated according to the learning algorithm in which the amount of weights to be compensated is determined by comparing the output patterns with target patterns. The learning process is iterated until the predetermined conditions are satisfied. Optical experiments are performed for two learning rates, 0.5 and 0.9, and the experimental results show that the proposed system is useful for optical neural networks.

I. 서 론

1982년 J. J. Hopfield가 신경망 구성에 대한 간단한 이진화 모델을 제시한 후⁽²⁾, 1985년 D. Psaltis와 N. Fahrat는 Hopfield 모델을 광학적으로 구현하였다.⁽³⁾ 그 후 광학에서의 홀로그래프 특성을 이용한 신경망에 대한 연구가 활발히 진행되었으나^(4,5) 기존의 모델들은 신경망이 기본적으로 가져야 할 학습에 대한 능력이 없는 것으로, 손상된 입력에 대한 오차수정을 주된 목적으로 하는 모델들이다. 따라서, 학습의 개념이 도입되어 구현된 광학적 모델은 드물며, 구성된 시스

템은 전기광학적으로 이루어진 것이 대부분이다.^(6,7)

학습모델을 광학적으로 구현하는 것은 실험상에 여러 어려운 점이 있고 음수에 대한 처리가 요구되며 배질의 한계성으로 인하여 가중치 조절에 제한성이 존재한다.

이 중에서 음수에 대한 문제는 Kristina M. Johnson이 편광상태를 이용한 모델을 제안하여 해결책을 제시한 바 있으나⁽⁸⁾, 가중치 조절문제는 아직도 난제로 남아있다.

가중치 조절이 광학적으로 어려운 이유는 사용하는 공간 광 변조기(SLM : Spatial Light Modulator)의 표현할 수 있는 계조도의 제한성과 시스템의 특성상 가중치를 어느 한계값 이상으로는 크게 할 수 없다는 단점이 존재하기 때문

*延世大學校 電子工學科
Dept. of Electronic Eng. Yonsei Univ.
論文番號 : 91-87 (接受1991. 4. 26)

이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 새로운 양자화 기법을 도입하여 SLM의 한계성을 해결하는 시스템을 구성하였으며, 뉴런간의 효율적인 연결을 위하여 위상형 홀로그램 회절격자를 이용한 2차원 연결을 구현하였다.

II. 퍼셉트론 알고리즘

퍼셉트론에 관한 연구는 1960년대에 활발히 진행되었으며, Rosenblatt는 퍼셉트론 학습에 관한 이론을 정립하였다.⁹⁾

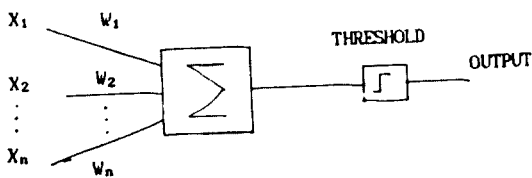


그림 1. 퍼셉트론 모델
Fig. 1. Perceptron model

퍼셉트론이란 어떤 입력에 대하여 원하는 출력이 나오도록 학습을 수행하는 시스템이다. 이때 학습은 입력단과 출력단 사이의 연결강도(weight)를 조절함으로써 이루어 진다.

신경망 학습은 입력 패턴에 대하여 출력값을 구한 후, 출력값이 목표값과 같은 경우는 가중치에 변화를 가하지 않으며, 목표값과 다른 경우는 입력과 대응되어 연결된 가중치에 오차를 감소시키는 방향으로 변화를 주어 학습을 수행한다.

본 논문에서는 출력단에서 오차가 발생하였을 경우 가중치 조절방식으로 delta rule을¹⁰⁾ 사용하였다. Delta rule은 목표값과 실제 출력값 사이에 오차가 발생하였을 경우 발생한 오차량에 비례하는 양을 가중치에 보상시키는 방식이다.

$$\delta = T - O \quad (1)$$

$$\Delta W = \eta \delta I \quad (2)$$

$$W_i(n+1) = W_i(n) + \Delta W_i \quad (3)$$

여기서 T는 목표값, O는 출력값, I는 입력, δ 는 오차량, η 은 학습도를 나타내며 $W_i(n)$ 는 n번 세에서의 가중치 W_i 를 나타낸다.

본 논문에서는 일반적인 퍼셉트론 개념을 확장하여 그림 2와 같은 다출력 퍼셉트론을 구현하였다.

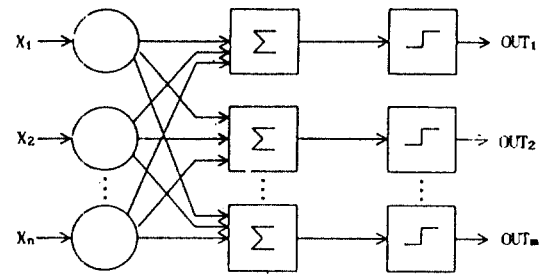
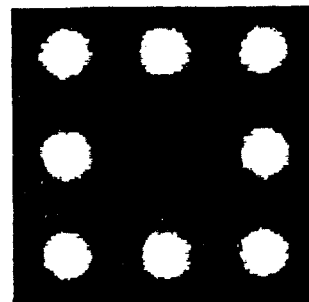


그림 2. 다출력 퍼셉트론
Fig. 2. Multioutput Perceptron

III. 실험 및 결과 고찰

단층 신경망의 학습은 양자화 방식을 도입하여 퍼셉트론 알고리즘으로 수행하였으며, 신경망의 입력단은 9개의 뉴런으로 구성되며 학습에 사용된 입력 패턴은 그림 3과 같다.



a) 패턴 A(O)

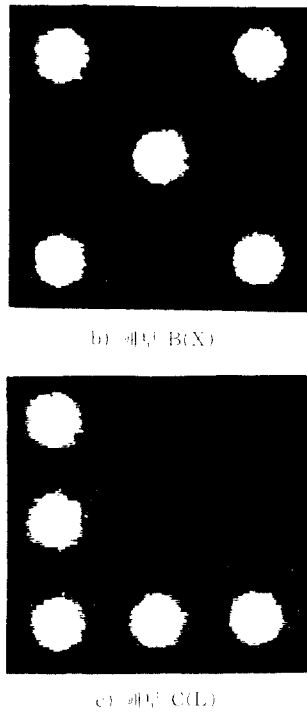


그림 3. 입력 패턴
Fig. 3. Input pattern

목표 패턴은 각 입력 패턴과 같은 패턴으로 정하였으며 양자화는 LCD의 특성을 고려하여 2 level(-1, +1)로 하여 계조도 '0'와 '255'를 이용하였다.

다음은 본 논문에서 구현한 양자화 방식을 도입한 단층 신경망의 학습방법이다.

- 1) 난수로 초기의 가중치를 설정한다. (W_{ij})
- 2) 가중치 W_{ij} 를 (-1, 1)로 양자화 한다. (W_{ij}^q)
- 3) 입력 마스크를 설치한다.
- 4) W_{ij}^q 를 LCD로 표시한다.
- 5) 출력을 구한다.
- 6) 보상량 $\Delta_p W_{ij}$ 를 구한다.
- 7) 모든 입력 패턴에 대하여 2)-6) 과정을 반복한다.
- 8) ΔW_{ij} 를 구한다.
- 9) ΔW_{ij} 를 W_{ij} 에 보상한다.
- 10) 학습이 완료될 때까지 2)~9) 과정을 반복한다.

다.

그림 4는 단층 퍼셉트론 구현을 위한 실험 구성도이다. 실험에서 사용한 레이저는 파장이 632.8nm인 NEC사의 He Ne 레이저이며 SLM으로는 Citizen사의 UB-350 LCD를 사용하였다. Collimating lens를 통하여 나오는 평행광은 입력 마스크를 통과한 후 입력 패턴의 형태를 나타내게 된다. 이 빛은 분록 렌즈에 의하여 상이 축소되며, 렌즈의 초점거리에서 벗어나 있는 3×3의 회절격자 (G)에 의하여 9×9의 패턴으로 확장된 다음 편광자를 거쳐 LCD의 입력으로 조사된다.

LCD에 조사된 빛은 조사된 영역의 LCD 상태에 따라 편광 상태가 바뀌게 되는데 편광 상태는 LCD에 표시된 가중치의 값에 따라 결정된다. LCD에 조사되는 빛의 영역에서의 LCD 상태는 Imaging Technology사의 ITEX PC-Plus를 사용하여 구동하였다.

LCD에 의하여 편광 상태가 바뀐 빛은 검광자를 통과하므로써 빛이 차단되거나 통과되어 '-1'과 '1'의 상태를 나타내게 된다. 검광자를 통과한 9×9의 패턴을 CCD 카메라에 입력시키기 위하여 분록렌즈를 통과시키며 3×3의 초점이 맺히는 곳에 CCD 카메라를 위치시켜 최종 출력을 얻는다. 이 출력값은 시스템 콘트롤러에 입력되어 앞에서 언급한 학습과정을 수행하게 된다.

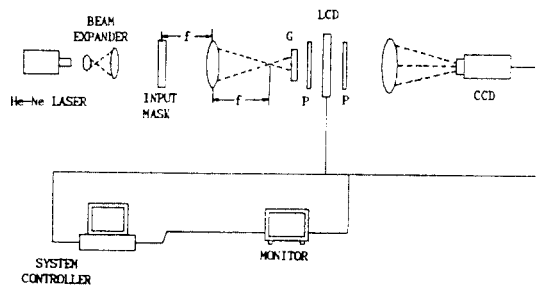


그림 4. 제안된 단층 신경망의 광학적 구성도
Fig. 4. System diagram for optical implementation of proposed single layer neural networks

그림 5는 입력단과 출력단의 뉴런을 연결시키기 위하여 제작된 위상형 홀로그래프 회절격자¹⁰⁾의 회절패턴이며, 표 1은 제작된 회절격자에서 각 order의 회절효율을 나타낸다.

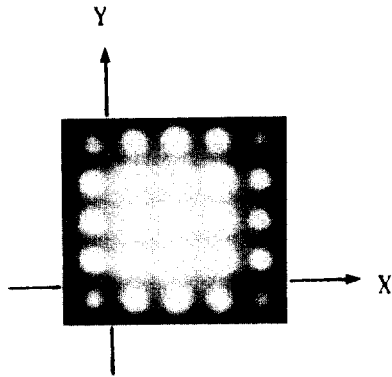


그림 5. 위상형 홀로그래프 회절격자의 회절패턴
Fig. 5. Diffraction pattern of holographic phase grating

표 1. 회절격자의 각 점에서의 광량
Table 1. Optical power of holographic phase grating

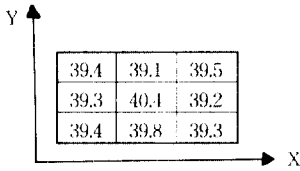


그림 6은 회절격자 통과 후의 9×9의 LCD 입력광의 패턴을 나타낸다. 다층 신경망의 학습이론에 따른 출력단에서의 임계분기는 회절격자의 각 order에 대한 회절효율과 LCD의 각 화소에서의 특성, 그리고 실험 구성상의 부정확성을 고려하여 출력단의 각 뉴런에 적절한 임계값을 설정하여 수행하였다.

학습도 0.5, 0.9에 대하여 학습을 수행할 때, 양자화 이전과 이후의 오차율에 대한 시뮬레이션 결과 및 실험 결과는 그림 7과 같다.

그림 8은 학습에 사용된 초기의 가중치 패턴을 나타내며, 그림 9은 학습도 0.9에서 학습을 완료한 후, 임계분기(thresholding) 이전과 이후의 출력 패턴 및 가중치 패턴을 나타낸다.

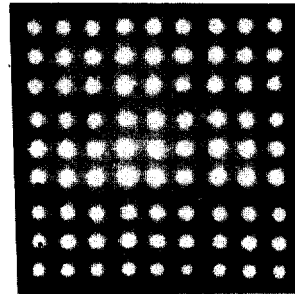
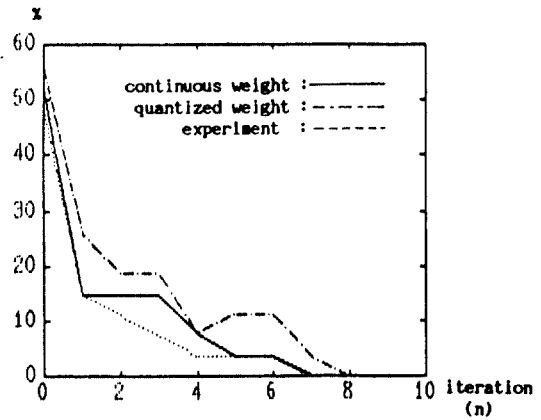
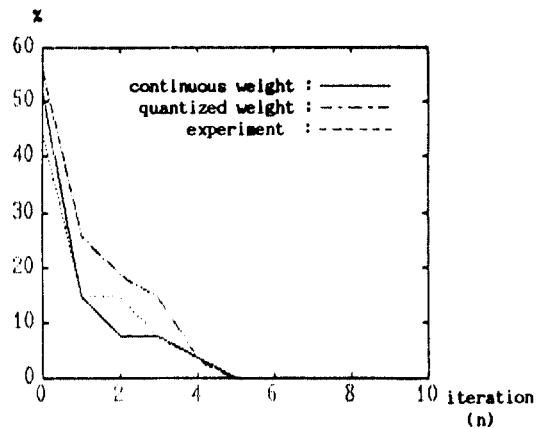


그림 6. 회절격자 통과 후의 9×9 LCD 입력 패턴
Fig. 6. Input pattern of LCD through phase grating



a) 학습도 : 0.5



c) 학습도 : 0.9

인수적인 가중치를 이용한 시뮬레이션의 결과 : ———
양자화된 가중치를 이용한 시뮬레이션의 결과 : - - - - -
실험결과 : ·····

그림 7. 오차율
Fig. 7. System error

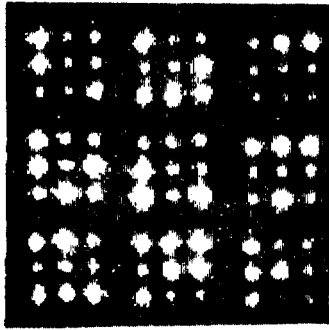


그림 8. 실험에 사용된 초기의 가중치 패턴
Fig. 8. Initial weight pattern used in experiment

학습도 0.5, 0.9일 때, 실험 결과는 시뮬레이션 결과와 대체적으로 일치하고 있음을 알 수 있으며, 시뮬레이션 결과와 실험 결과에서의 차이도 광검출기의 비선형적인 특성과 긴 지연시간 효과

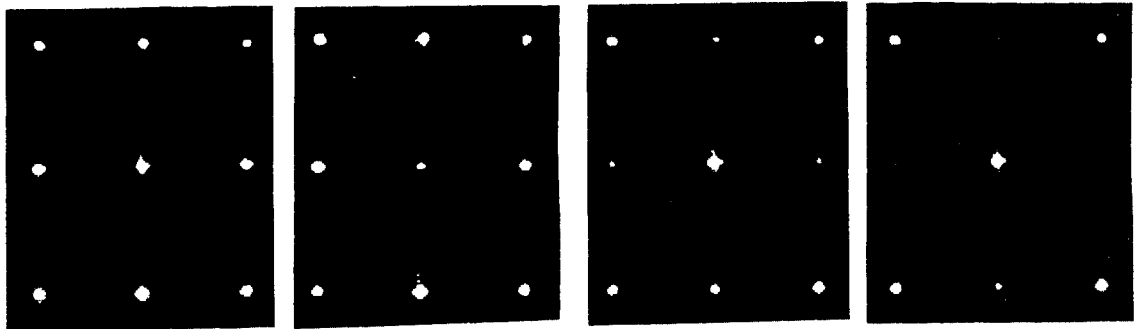
에 원인이 있는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

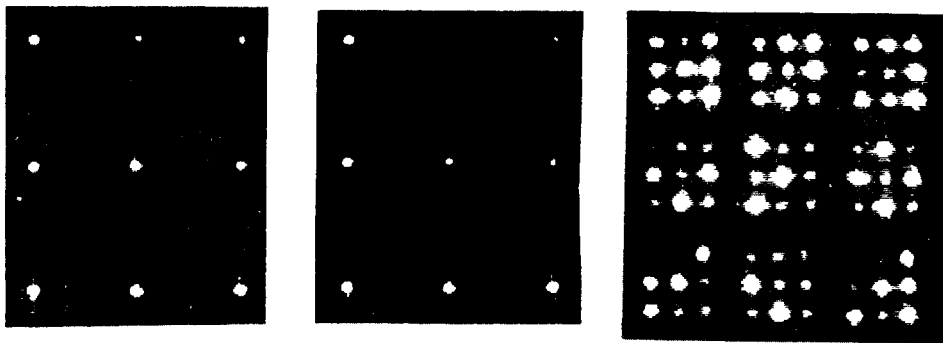
본 호 문에서는 학습 모델의 광학적 구현이 가능하도록 회절격자를 이용하여 뉴런간의 연결을 이루고, 2진 양자화 방식을 도입하여 다층 신경망을 광학적으로 구현하여 실험하였다.

실험결과 학습은 학습도 0.5, 0.9에 대하여 수행되었으며 실험상의 결과는 이론적인 결과와 유사한 결과를 나타내어 구성된 시스템이 다층인식자로 동작함을 확인하였다.

앞으로의 연구과제로는 실시간 처리 SLM에 대한 연구와, 더 많은 정보처리를 위하여 volume hologram을 이용한 뉴런간의 3차원 연결에 대한



a) 일계분기 이전의 패턴 A(O) b) 일계분기 이후의 패턴 A(O) c) 일계분기 이전의 패턴 B(X) d) 일계분기 이후의 패턴 B(X)



e) 일계분기 이전의 패턴 C(L) f) 일계분기 이후의 패턴 C(L) g) 학습 후의 가중치 패턴

그림 9. 학습도 0.9에서의 출력 패턴
Fig. 9. Output pattern of learning rate 0.9

연구, 그리고 하드웨어의 구현이 가능한 효율적인 학습 방식에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

이 논문은 90년도 연세대학교 학술연구비와 문교부 학술연구 조성비에 의한 자유공모 과제로 선정되어 연구되었음

참 고 문 헌

1. J.J. Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., Apr. 1982.
2. J.J. Hopfield, "Neurons with graded response have collective computational properties like those of two state memories", Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 81, May, 1984.
3. Nabil H. Farhat, Demetri Psaltis, Aluizio Prata, and Eunggi Paek, "Optical Implementation of the Hopfield model", Appl. Opt., Vol.24, pp 1469-1475, 1985.
4. H. J. Caulfield, "Scattered holography for associative memory", Opt. Lett., Vol. 55, 1985.
5. S.H. Song and S.S. Lee, "Properties of holographic associative memory prepared by the polarization encoding process", Appl. Opt., Vol. 27, No. 15, pp 3119-3154, Aug. 1988.
6. E. G. Paek, John R. Wullert, and J. S. Patel, "Holographic implementation of a learning machine based on a multicategory perceptron algorithm", Opt. Lett., Vol. 14, No. 23, pp 1303-1305, Dec., 1989.
7. Carsten Peterson, et al., "Optoelectronic implementation of multilayer neural networks in a single photorefractive crystal", Opt. Eng., Vol.29, No. 4, 359-368, Apr. 1990.
8. Mike Krantzdorf, Kristina M. Johnson, "Optical connectionist machine with polarization based bipolar weight values", Opt., Eng., Vol.28, No.8, pp 844-848, Aug. 1989.
9. Rosenblatt, Principles of Neurodynamics, Spartan Books, 1962.
10. Jong Tae Ihm, "A Study on the Optical Associative Memory Using Fourier Hologram", M.S.Thesis, Yonsei Univ., 1988.2.

李 裁 明(Jae Myung LEE) 正會員
 1989年 2月：延世大學校 電子工學科
 卒業(工學士)
 1991年 2月：延世大學校 大學院 電子工
 學科 卒業(工學碩士)
 1991年 8月：現在：碩士將校 服務中



任 鐘 太(Jong Tae IHM) 正會員
 1986年 2月：延世大學校 電子工學科
 卒業(工學士)
 1988年 2月：延世大學校 大學院 電子工
 學科 卒業(工學碩士)
 1989年 3月～1989年 12月：慶園大學校
 電子工學科 講師
 1990年 3月～1990年 12月：延世大學校
 醫用工學科 講師
 1991年 3月～1991年 8月：延世大學校 電子工學科 講師
 1988年 3月：現在：延世大學校 大學院 電子工學科 博士課程



朴 成 鈞(Seong Gyoon PARK) 正會員
 1985年 2月：延世大學校 電子工學科
 卒業(工學士)
 1987年 2月：延世大學校 大學院 電子工
 學科 卒業(工學碩士)
 1987年 4月～1987年 8月：三星電子 綜合
 研究所 研究員 勤務
 1987年 8月～1988年 2月：碩士將校 服務
 1988年 3月～1989年 2月：三星電子 綜合研究所 研究員 勤務
 1989年 3月～1989年 7月：三星電子 情報通信研究所 研究員 勤務
 1989年 9月：現在：延世大學校 大學院 電子工學科 博士課程



朴 漢 奎(Han Kyu PARK) 正會員
 1941年 6月 21日生
 1964年 2月：延世大學校 電氣工學科 卒
 業
 1968年 2月：延世大學校 大學院 電氣工學
 科 卒業(工學碩士)
 1973年：푸랑자 하리大學校(호남대학교) 大
 學校 博士課程修了(DEA)
 1975年：푸랑자 하리6 대학(ph.D)
 1976年：現在：延世大學校 電子工學科 教授