

다영상 분류를 위한 단층 적응 신경회로망의 광학적 구현

Optical Implementation of Single-Layer Adaptive Neural Network for Multicategory Classification.

이상훈*, 손만진, 신상길, 신상영
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

ABSTRACT

A single-layer neural network with 4x4 input neurons and 4 output neurons is optically implemented. Holographic lenslet arrays are used for the optical interconnection topology, a liquid crystal light valve(LCLV) is used for controlling optical interconnection weights. Using a Perceptron learning rule, it classifies input patterns into 4 different categories. It is shown that the performance of the adaptive neural network depends on the learning rate, the correlation of input patterns, and the non-linear characteristic properties of the liquid crystal light valve.

I. 서론

본 논문에서는 제한된 범위의 신경수를 가진 학습이 가능한 단층 인식자 신경회로망을 광학적으로 구현한다. 이때 신경 소자들 사이의 연결구조(connection topology)는 HLA를 이용하여 구현하고, 신경들 사이의 연결세기는 공간 광변조기(SLM)를 통과하는 빛의 세기를 변조함으로써 학습이 가능한 광 신경회로망 시스템을 구현할 수 있다[4].

학습가능한 신경회로망의 광학적 구현에서 사용하는 연산인 행렬 벡터곱셈은 광학적으로 처리하고, 신경회로망을 통과해서 나온 출력값과 학습값을 비교하여 오차를 계산해서 연결세기를 바꾸어 주는 과정은 컴퓨터 내에서 처리하는 전기 광학적 신경회로망을 구현하였다[2].

전체적인 논문 내용은 두번째 장에 적응 신경회로망의 학습법칙을 쓰고, 세번째 장에 적응 신경회로망을 광학적 구현하는데 연결세기를 이루는 LCLV와 연결구조를 이루는

HLA를 서술하고 전체적인 실험과정을 설명한다. 네번째 장에서는 실험 및 실험 결과에 대한 고찰을 하겠다. 다섯번째 장에서는 결론을 맺겠다.

II. 적응 신경회로망의 학습법칙[1][3]

실험에 사용한 알고리즘을 살펴보면 입력에는 0과 1값만 가지고 연결세기 T_{ij} 는 양과 음의 모든 값을 가지며, 출력은 1에서 -1사이의 값으로 그림 1와 같이 threshold 함수를 사용하였다. 학습법칙은

$$\begin{aligned} T_{ij}[n+1] &= T_{ij}[n] + \eta(r[n] - o[n]) \cdot I_{ij}[n] \\ &= T_{ij}[n] + \Delta T_{ij}[n] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\delta[n] = \sum_{ij} T_{ij}[n] I_{ij}[n] \quad (2)$$

$$o[n] = F(\delta[n])$$

이며 η 는 학습율이며 δ 은 실제출력, o 는 threshold 함수를 통과한 출력, $F(\cdot)$ 는 threshold 함수이다.

III. 적응 신경회로망의 광학적 구현

홀로그램 렌즈 배열을 이용한 상호연결의 원리[4]를 살펴보면 렌즈는 그림 2의 a)에서와 같이 기준광과 렌즈의 물체광의 간섭을 홀로그램 건판에 기록한다. 그 다음 X-Y translator을 이용하여 홀로그램 렌즈 배열을 기록할 수 있다.

HLA의 동작원리는 그림 2의 b)와 같다. 즉, 기준광이 HLA에 비추지면 각 홀로그램 렌즈는 1차 회절광에 의해 렌즈의 역할을 한다. 그리하여 그림 2의 c)에서와 같이 렌즈 L1과 함께 HLA는 각 홀로그램 앞에 놓여있는

패턴들을 겹치게 할 수 있다.

LCLV는 기본적으로 인코히런트 빛의 영상정보를 코히런트빛으로 영상정보를 시키는 영상변환기(image converter)라 말할 수 있다.

동작원리[5][6]는 그림 3의 a)에서 인코히런트한 영상 A가 LCLV의 감광기 부분에 비추어 주면 영상이 감지되는 곳은 LCLV가 on 상태가 되어 p편극의 입력 빛을 s편극 상태로 바꾸고, 감지가 되지 않는 곳은 off 상태가 되어 p편극의 입력 빛을 변화시키지 않고 그대로 반사 시킴으로 입력 빛을 비추는 영상에 따라 편극을 서로 다르게 함으로써 영상을 읽어 낼 수 있다.

그림 3의 b)에서와 같이 T_{ij} 는 LCLV에 나타나게 하고 코히런트 입력 빔은 T_{ij} 을 읽고 외부에서 보여준 입력패턴과 곱하여 HLA를 통과하게 된다. 통과된 빔을 렌즈로 합영상이 생기도록 하여 행렬 벡터곱셈을 처리하게 하였다. 그 영상을 카메라로 잡아서 DT2803 프레임 메모리에 저장하고 출력패턴의 밝은 정도를 측정하여 원하는 출력과 비교한 다음 오차를 구해서 다시 만들어진 T_{ij} 를 DT2803을 통해서 LCLV에 비추어 준다.

여기서 T_{ij} 는 양의 연결강도와 음의 연결강도로 구분한다음 양의 연결강도를 먼저 보여준다음 음의 연결강도를 2번째 보여주어서 나온 출력을 서로 뺄셈을 하는 방법을 사용하였다. 즉 시간을 나누어 양과 음을 모두 가지고 있는 T_{ij} 를 처리 하였다. 이렇게 하면 낮은 레벨에서의 출력잡음을 고려하지 않아도 되는 장점과 음과 양의 T_{ij} 와 출력영상을 사용함으로써 결과 수행능력이 좋은 장점이 있으나, 시간 나누기를 해야하는 단점이 있다. 전체적인 실험장치는 그림 4과 같다.

전체적인 학습과정은 아래와 같다.

- 1) 학습율과 threshold 함수와 나타내고자 하는 T_{ij} 의 초기값등 입력패턴과 지도 출력값을 프로그램에서 초기화를 한다.
- 2) 입력패턴을 보여준다.
- 3) 연결세기 중에서 양의 패턴을 보여준다음 threshold 함수로 부터 결과값을 읽는다.
- 4) 연결세기 중에서 음의 패턴을 보여준 다음 threshold 함수로 부터 결과값을 읽는다.
- 5) 양의 출력값에서 음의 출력값을 뺀 다음

실제 출력값을 만든다.

6) threshold된 출력값을 이용하여 식 (4)에 따라 $T_{ij}[n+1]$ 을 구한 다음 다음에 가르치고자 원하는 패턴으로 학습이 이루어질때까지 반복한다.

LCLV의 선형성 측정은 다음과 같이 하였다. 우선 컴퓨터에서 DT2803의 프레임 메모리를 0에서 60까지 변화시킴으로 LCLV에 비추는 인코히런트한 빛의 세기를 조정하여 LCLV를 읽고 나오는 코히런트한 빛의 세기를 포토 다이오드(photo diode)로 측정함으로써 LCLV의 선형성을 측정하였다. 그림 5와 같다.

4x4로 기록된 홀로그램을 갖고 입력 신경 16개로 기록된 홀로그램에 각 지점마다 출력 신경수 4개를 통과시켜 연결세기 T_{ij} 를 16x4로 하여 주어진 입력패턴에 대해 분류를 하였다. 입력패턴을 해밍거리(hamming distance)가 서로 4인 X, C, Bar, J를 가지고 실험을 하였다. 주어진 입력패턴을 4가지로 분류하는 실험을 하여 광학적 패턴의 분류 능력을 측정하였다.

학습 순서는 X, C, Bar, J로 하였고 원하는 목표값은 4개의 출력신경 중에서 2개가 반응하도록 하였다. 그 이유는 T_{ij} 에서 양과 음이 균형을 이루도록 하였다. 학습율 η 를 0.1로 하고 threshold 함수는 그림 6과 같이 실험하였다. η 값을 0.1로 한 이유는 4개의 패턴을 4가지로 분류 하므로 η 값을 0.3으로 정한 결과 학습이 빠르게 이루어져 소수의 연결세기만 강하게 반응 하고 LCLV의 비선형적인 성질때문에 제대로 학습하기도 전에 포화상태가 되며, 학습율이 너무 적으면 학습시간이 너무 오래 걸리므로 실험적으로 학습율 η 를 0.1로 정해주었다.

IV. 고찰

최종 출력영상은 그림 6에 최종 수렴결과는 그림 7에 나타내었다. 학습하는 입력패턴의 상관관계에서 연결세기가 크게되는 곳이 LCLV의 비선형적인 효과를 보게 됨으로 급격히 밝아진다. 그러므로 X 패턴은 원하는 출력신경이 서로 균등하면서 강하게 반응하므로 가장 먼저 학습이 되었다. C와 J는 서로 대칭이므로 두패턴의 반응은 서로 대칭적으로 나올 것이라 예상되지만 C가 더 일찍 원하는 목표값에 수렴한다. 그 이유는 HLA가 균일하게 기록되지 않아서 홀로그램의

회절효율이 균일하지 않기 때문이다. Bar 패턴은 출력신경들이 전자 친친이 반응하여 가장 늦게 수렴하였고 특히 원하는 두개의 출력신경 중에서 한쪽이 LCLV의 동작특성에 걸려 늦게 반응을 하였다.

학습이 가장먼저 이루어진 X패턴이 오차보정능력이 가장 좋아서 해밍거리가 큰 잘못된 패턴에 대해서도 목표값에 도달하는 것을 보였다. 그 다음 C가 오차보정능력을 가지나 학습시 출력값이 불균형하게 나온 것처럼 불균형 하였으나 원하는 값에 수렴하였다. J패턴의 오차보정을 한 출력신경중에서 하나만 반응하거나 또는 잘못된 패턴이 C와 겹치지는 부분에서 T_{ij} 가 강하게 반응하여 세개의 신경이 반응하는 것으로 나타났다. Bar패턴의 오차보정 능력은 한쪽 출력신경만 반응하거나 T_{ij} 가 강하게 기록 된 곳이 뿔린다면 원하지 않은 출력신경이 반응하는 것을 관찰 할 수있었고 그림 8에 결과를 보였다.

V. 결론

입력 신경수 16개와 출력 신경수 4개를 가지고 주어진 서로다른 입력패턴을 X, C, Bar, J 4분류로 나누었다. 이런 패턴의 학습과정 및 구별능력은 다음 두가지에 크게 의존함을 알 수있었다. 첫번째로 학습할 입력 패턴들 사이에 상관관계에 의존함을 실험적으로 관찰하였다. 이러한 상관관계는 학습과정에서 어느 입력패턴을 먼저 배우는가를 결정하는 중요한 요소로 작용한다.

다음은 LCLV의 선형적 특성이다. LCLV의 선형적 특성은 전체적인 입력패턴들의 학습 진행 속도를 결정한다. 실험에서 초기에는 아무런 출력 패턴이 보이지 않다가 학습 횟수가 증가하면서 급격히 오차가 줄어드는 현상은 LCLV의 비선형적인 특성 때문이다.

HLA의 회절효율도 주어진 레이저 출력에서 최종 출력패턴을 얻는데 매우 중요하다. 그러므로 회절효율이 높은 표백된 HLA를 사용하였다. 특히 HLA의 한 화소(pixel)에 4개의 출력신경을 기록하였는데 더욱 많은 패턴들을 구별하려면 한 화소에 들어가는 출력 신경수가 제한적 요소로 작용 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 신경회로망 컴퓨터: 이론, 응용 및 구현, 한국과학기술원 산학협동공개강좌 교재, 한국과학기술원 전기 및 전자공학과, (1989).
- [2] 신상길, 홀로그래프 렌즈 배열을 이용한 단층 인식자의 광학적 구현, 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사학위논문, (1990)
- [3] F. Rosenblatt, "The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain," Psychological Review Vol. 65, pp. 386 (1958).
- [4] 장주석, 홀로그래프를 이용한 신경회로망의 광학적 구현, 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사학위논문, 1989. 8.
- [5] G. Paul Montgomery, Jr. "Optical properties of a liquid-crystal image transducer at normal incidence: Mathematical analysis and application to the off-state" J. Opt. Soc. Am., Vol. 70, No. 3, pp. 287 March 1980
- [6] G. Paul Montgomery, Jr. "Optical properties of a liquid-crystal image transducer at normal incidence: Mathematical analysis and application to the on-state" J. Opt. Soc. Am., Vol. 70, No. 7, pp. 843 July 1980

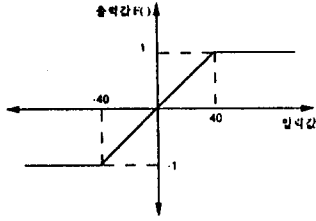


그림 1. threshold 함수

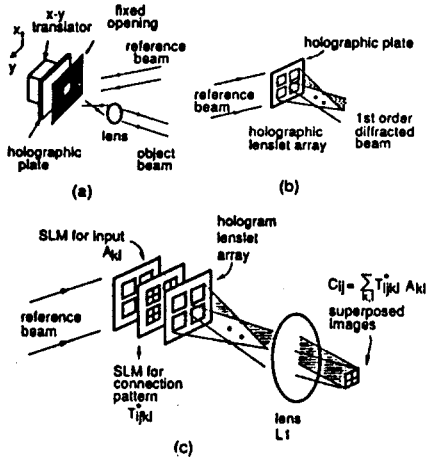


그림 2. a) HLA의 기록, b) 재생
c) HLA를 사용한 행렬 렌서공성기

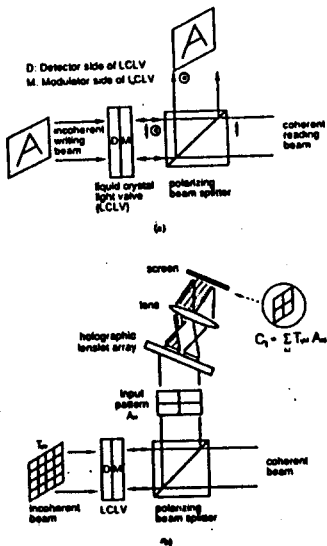


그림 3. a) LCLV의 동작원리
b) LCLV를 이용한 적응 광연결 방법

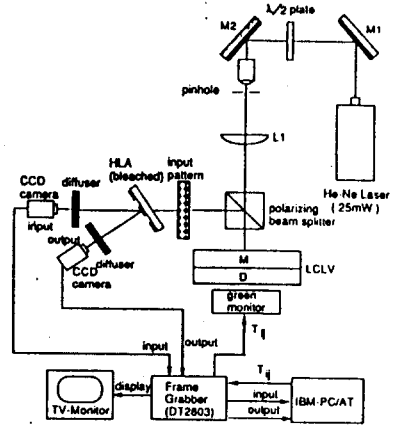


그림 4. LCLV를 이용한 적응 신경회로망 구현장치

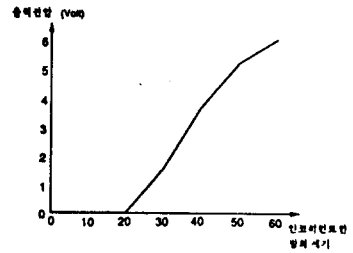


그림 5. LCLV의 선형성 측정

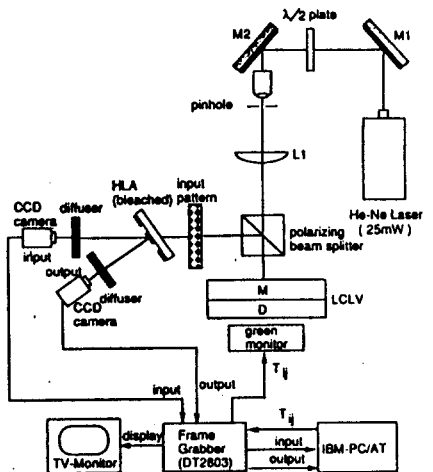


그림 4. LCLV를 이용한 적응 신경회로망 구현장치

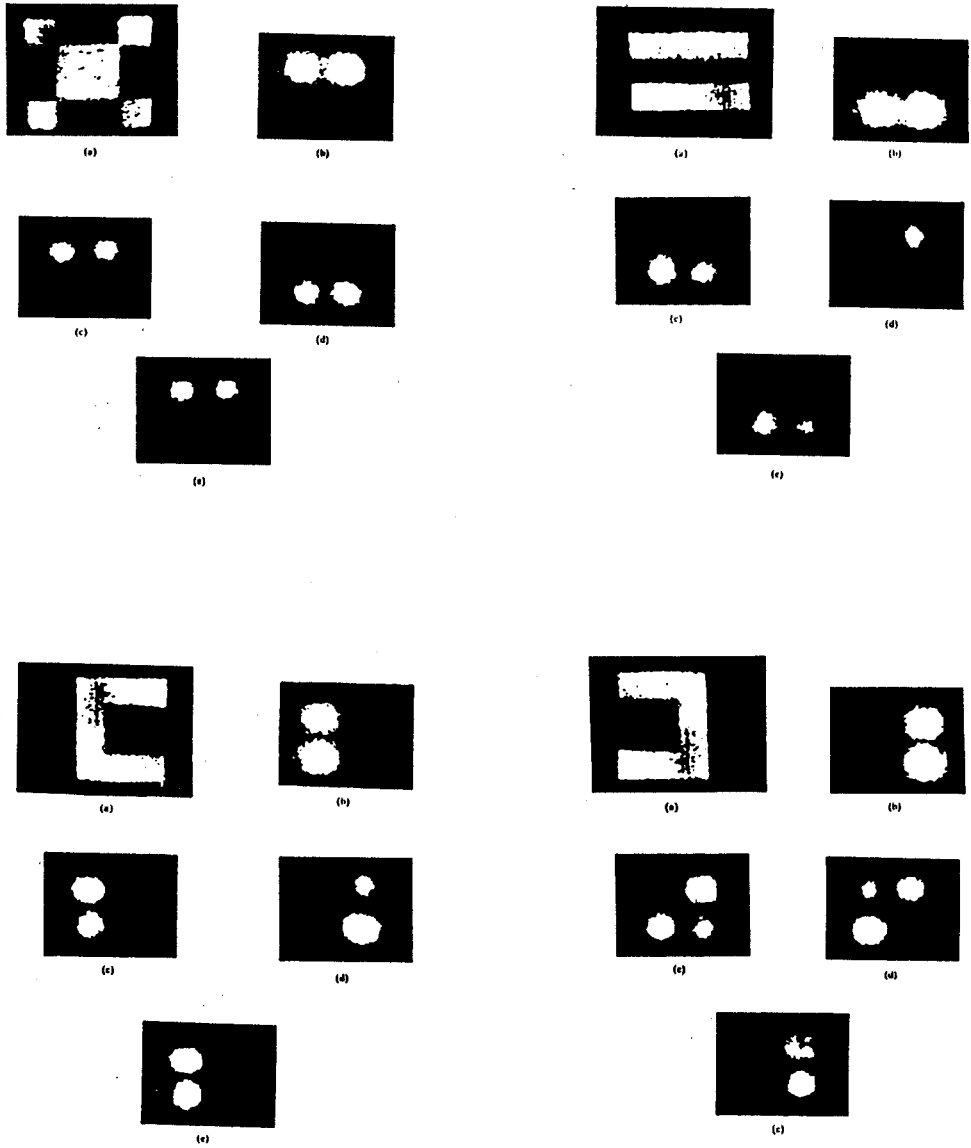


그림 6. a) 입력영상, b) 원무늬 출력, c) 양의 출력영상
 d) 음의 출력영상, e) 최종 출력영상

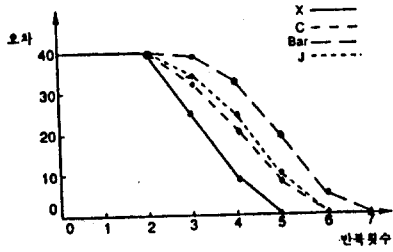


그림 7. 최종 수렴결과

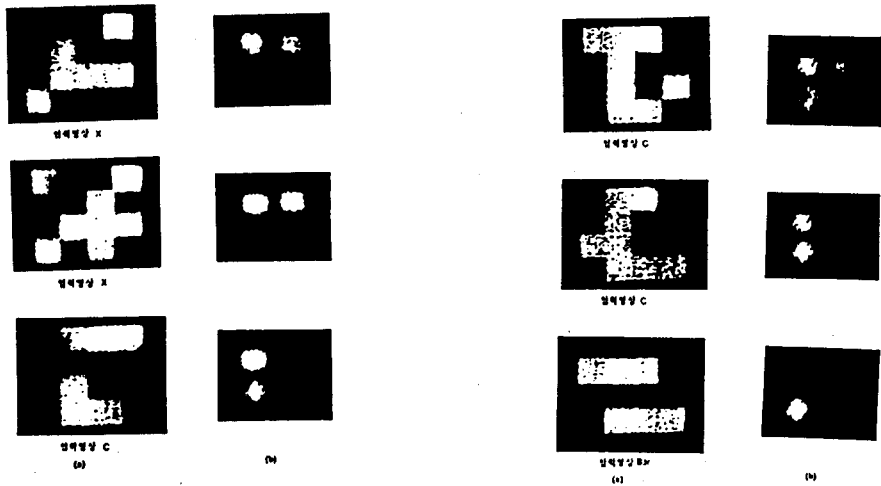


그림 8. a) 잘못된 입력영상, b) 최종 출력영상