

LCTV 공간 광 변조기를 이용한 비선형 홀로그래픽 연상메모리의 광학적 실현

(Optical Implementation of Nonlinear Holographic Associative Memory using LCTV Spatial Light Modulator)

黃 義 寅*, 李 丞 玄**, 李 禹 相**, 金 恩 洙**

(Eui In Hwang, Seung Hyun Lee, Woo Sang Lee, and Eun Soo Kim)

要 約

본 논문에서는 처음으로 공간 광 변조기로서 상용 LCTV를 사용하여 2차원 신경회로망 모델에 근거한 비선형 홀로그래픽 광연상 메모리 시스템을 구현하였다.

시스템은 Vander Lugt 상관기와 pinhole array를 이용하여 구성하고, 2차원 CCD카메라 및 전자 회로에 의한 비선형적인 제한 루프의 구성을 통해 홀로그래픽 광연상 메모리 시스템을 실현함으로써 새로운 공간 광변조기로서 상용 LCTV의 응용 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, we implement optical holographic associative memory based on the two-dimensional neural network model by using commercial LCTV as a spatial light modulator.

The system consists of the simple Vander Lugt correlator utilizing plane Fourier hologram and the pinhole array.

The associated output signal is detected on a two-dimensional CCD camera and electronically thresholded and fed back to the input plane of the system.

Through the experimental demonstration of nonlinear holographic associative memory, it is suggested that commercial LCTV can be used as a new coherent spatial light modulator.

I. 서 론

최근 패턴 인식등 인공지능 문제를 보다 효과적으로 처리할 수 있는 방법으로써 인간 두뇌 구조에 근거한 신경회로망 모델의 출현은 새로운 형태의 인공

지능 컴퓨터인 neural computer의 실현을 가능케 하고 있다.

일반적으로, 신경회로망의 구조적 특성인 병렬성과 고밀도 인터커넥션이 바로 광 정보처리 기술의 본래 가지고 있는 주 강점이기 때문에 광을 이용한 신경회로망 모델의 구현과 그 응용이 활발히 시도되고 있다.^{1,2}

특히 광 홀로그래피가 근본적으로 연상 메모리와 같은 개념³으로 알려진 이후 신경회로망 모델에 근거한 홀로그래픽 광 연상 메모리에 대한 많은 연구가 최근 이루어지고 있는데, Caltech의 Psaltis 등은

*準會員, **正會員, 光云大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kwangwoon Univ.)

接受日字: 1989年 9月 25日

(※ 본 논문은 1988년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.)

퓨리에 홀로그램^[4]을 이용한 광 영상 메모리를, Soffer^[5], Yariv^[6] 등은 PCM(phase conjugate mirror)을 이용한 광 영상메모리를, Fisher^[7] 등은 적응 광 영상메모리를 각각 실현한 바 있다.

일반적으로 2차원적 신경 회로망 모델의 광학적 실현을 위해 가장 필요한 광학 소자는 홀로그램과 같은 고밀도 인터커넥션 소자와 더불어 광정보의 진폭, 강도를 공간적으로 변조시키는 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator)라 불리는 2차원 입출력 소자 등이다.

그러나, 지금까지 홀로그래픽 광 영상 메모리 시스템에서 주로 사용되었던 2차원 공간 광 변조기인 LCLV(Liquid Crystal Light Valve)^[8], MSLM(Microchannel SLM)^[9] 등은 매우 크고 고가로서 그 실질적 응용이 크게 제한되어 보다 저렴하고 범용성있는 새로운 2차원 공간 광 변조기의 개발이 요구되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 최근 저렴하고 범용성 있는 새로운 2차원 공간 광 변조기로서 연구가 활발히 진행되고 있는 상용 LCTV(Liquid Crystal Television)^[10]를 이용하여 2차원 신경회로망 모델에 근거한 홀로그래픽 광 영상 메모리 시스템 구성에 관한 이론적 분석과 실험 결과에 대해 논하고자 한다.

II. 신경회로망 모델에 근거한 홀로그래픽 광영상 메모리^[4]

홀로그램은 일반적으로 3차원 영상을 재현하는 것으로 그림 1 과 같이 A영상과 B영상의 간섭무늬를 감광 재료에 기록하여 두 영상중 하나인 A영상에 의해 B영상을 재생하게 되므로, 이 홀로그램은 입력 영상 A로부터 B를 연상하여 기억해내는 연상 메모리라 할 수 있다. 특히, 입력 영상 A가 다소 손상되었거나 홀로그램 자체가 약간 손상이 되어도 완전한 영상 B를 얻을 수 있기 때문에 홀로그램은 영상을 분산시켜 기억한다고 말할 수 있다.

따라서, 최근 산란광 혹은 퓨리에변환 홀로그램을 이용하여 2차원 신경 회로망 모델에 근거한 홀로그래픽 광 영상 메모리에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^[11]

일반적으로, 홀로그래픽 광 영상메모리를 2차원 신경회로망 모델 개념으로 분석하면 다음과 같은 수식으로 주어 진다.

$$\hat{h}(x, y) = \int T(x, y, \xi, \eta) \hat{f}(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (1)$$

$$T(x, y, \xi, \eta) = \sum_{m=1}^M h_m(x, y) f_m(\xi, \eta) \quad (2)$$

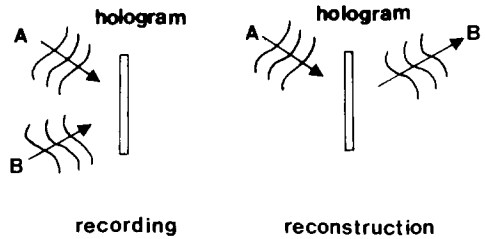


그림 1. 홀로그램의 기록과 읽어냄
Fig. 1. Hologram recording and reconstruction.

여기서, $T(x, y, \xi, \eta)$ 는 외적(outer-product) 개념을 사용한 4차원 메모리 행렬이며, $f_m(\xi, \eta)$ 는 m 번째 입력 영상이고, $h_m(x, y)$ 는 m번째 입력에 따른 연상된 출력 영상으로 $h_m(x, y)$ 과 $f_m(x, y)$ 이 같은 경우를 자기연상(autoassociative) 메모리라고 하고 다른 경우는 이종연상(heteroassociative) 메모리라고 하는데, 본 논문에서는 $h_m(x, y) = f_m(x, y)$ 의 경우인 자기연상 메모리를 다루고자 한다. 또한 $\hat{f}(\xi, \eta)$ 는 메모리에 입력되는 입력함수이며 $\hat{h}(x, y)$ 는 그에 따른 출력을 나타낸다. 그러나 2차원 신경회로망 모델에서는 식(1)과 같이 4차원적 외적 메모리 행렬이 나타나므로 이를 직접 광학적으로 실현할 수는 없지만 식(2)를 식(1)에 대입시켜 변형 정리하면 다음과 같은 내적(inner-product)식이 되므로,

$$\hat{h}(x, y) = \sum_{m=1}^M \left[\int f_m(\xi, \eta) \hat{f}(\xi, \eta) d\xi d\eta \right] f(x, y) \quad (3)$$

단, $h_m(x, y) = f_m(x, y)$ 경우

식(3)은 다음과 같은 세 단계를 거쳐 광학적 구현이 가능하게 된다. 즉, 먼저 입력과 각 메모리간의 내적은 Vander Lugt^[12] 상관기와 pinhole array 구성으로 상관값을 원점에서 sampling하여 광학적으로 구할 수 있으며, 각 내적은 다시 연상 메모리에 곱해지 제한 다음, 곱해진 항들을 모두 합하므로써 원하는 최종적인 결과를 얻을 수 있게 된다.

따라서, 홀로그래픽 광영상메모리 시스템 구성에 대한 이론적 분석을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 홀로그래픽 메모리는 기억시키고자 하는 여러개의 영상을 공간적으로 다중화시켜(즉, 각각의 영상을 일정한 간격으로 배열하여) 동시에 퓨리에 변환하여 기준파와 간섭시켜 기록된다.

즉, LCTV 공간 광 변조기 입력평면에 공간적으

로 다중화된 m 개의 기억시키고자 하는 영상에 대한 진폭분포가

$$\sum_{m=1}^M f_m(\xi - a_m, \eta - b_m) \quad (4)$$

일때, 기준파와 간섭된 홀로그램 평면상의 투과도는

$$\begin{aligned} & \left| \sum_{m=1}^M F_m(u, v) \exp[-j(ua_m + vb_m)] + \exp(-ju\xi_0) \right|^2 \\ &= \sum_{m=1}^M F_m^*(u, v) \exp\{j[u(a_m - \xi_0) + vb_m]\} \\ & \quad + \text{Conjugate 항} + \text{DC 항} \end{aligned} \quad (5)$$

이 된다. 여기서 F_m 은 f_m 의 푸리에 변환이며, ξ_0 는 기준파의 입사각을 나타내는 상수이다.

따라서, 임의의 입력으로 홀로그램 메모리에 기록된 정보를 읽어내는 과정은 그림 2와 같은 Vander Lugt 상관기와 pinhole array의 구성으로서 실현될 수 있다.

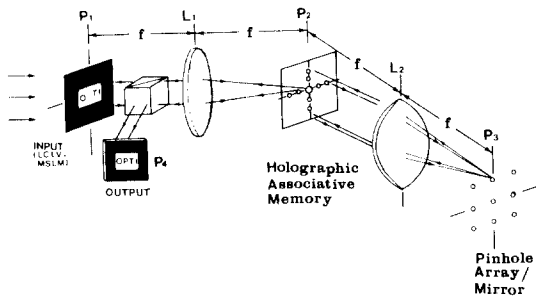


그림 2. 홀로그래픽 광 영상메모리 시스템

Fig. 2. Schematic diagram of the holographic associative memory system.

그림 2에서 P1평면에 위치시킨 입력신호는 렌즈 L1에 의해 푸리에 변환되어 홀로그래픽 메모리에 조사되고 이 신호는 다시 렌즈 L2에 의해 역 푸리에 변환되어 P3 평면에 입력과 각 메모리와 상관이 나타나게 된다. 따라서, 내적값은 P3 평면에서 나타난 상관 신호를 메모리 기록시 위치한 각 영상의 중심에서 pinhole array에 의해 sampling하여 얻을 수 있다.

또한, 각 pinhole을 통과한 신호는 바로 뒤에 위치한 거울에 의해 되반사되어 다시 홀로그램 메모리에 입사되어 곱해진 후 P4 평면에서 입력영상에 따라 연산영상이 복원된다. 따라서, 이러한 홀로그래픽 연

상메모리 시스템의 동작 원리를 살펴보면 다음과 같다. 즉, 평면 P1에 진폭 투과도를 $f(\xi, \eta)$ 라 할때, 홀로그램을 지나 상관평면으로 회절된 빛의 진폭 분포는

$$\sum_{m=1}^M F(u, v) F_m^*(u, v) \exp\{j[u(a_m - \xi_0) + vb_m]\} \quad (6)$$

이며, 상관 출력 평면 P3에서 빛의 진폭 분포는 식 (6)의 푸리에 변환이 된다.

$$\sum_{m=1}^M g_m(x', y') * \delta\{x' + a_m - \xi_0, y' + b_m\} \quad (7)$$

여기서, $g_m(x', y')$ 는 $f_m(\xi, \eta)$ 와 $f(\xi, \eta)$ 의 상관값이고, *는 convolution을 나타내며 x', y' 는 P3 평면 좌표를 나타낸다. 따라서 pinhole 함수를 수학적으로 delta 함수로 가정하면, 평면 P3의 거울에 의해 되반사 되는 빔은

$$\sum_{m=1}^M g_m(0, 0) \delta\{x' + a_m - \xi_0, y' + b_m\} \quad (8)$$

이 된다.

이 되반사된 빔은 P2의 홀로그램 메모리를 다시 읽게 되므로 홀로그램을 통과 후 빔의 진폭은

$$\sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M g_m(0, 0) F_{m'}^*(u, v) \exp\{-j[u(a_m - a_{m'}) + v(b_m - b_{m'})]\} \quad (9)$$

이므로, 출력 평면 P4에서 나타나는 최종 출력을 식 (9)의 푸리에 변환으로 나타내는데, $m \neq m'$ 일 경우는

$$\sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M g_m(0, 0) f_{m'}^*(x + a_m - a_{m'}, y + b_m - b_{m'}) \quad (10)$$

로 주어지며, $m = m'$ 일 경우는

$$\sum_{m=1}^M g_m(0, 0) f_m^*(x, y) \quad (11)$$

와 같이 주어지게 된다. 즉, $m = m'$ 일 경우는 연산된 출력이 출력 평면의 중심에서 검출되지만, $m \neq m'$ 일 경우에는 출력 평면의 중심에서 벗어나게 되므로 출력평면 중심에 메모리와 같은 크기의 window를 위치시키므로서 원하는 출력신호만을 얻을 수 있게 된다. 따라서, 식 (3)과 (11)로 부터 이상의 광학적 시스템은 정확히 2차원 외적 연상 메모리가 됨을 알 수 있으며, 만일 입력 영상이 메모리와 유사하면 할수

록 입력과 그 메모리 사이의 내적값이 크게 되어 식 (1)로부터 최종 출력에서 그 메모리가 가장 크게 증폭되어 나타나게 된다. 그러나, 출력평면에서 복원된 신호에는 모든 메모리 영상이 중첩되어 나타나게 되므로 아직은 많은 배경잡음이 섞여 있는 상태로 출력되므로 이런 출력 영상을 비선형적으로 thresholding시켜주고 다시 입력으로 재환시켜 시스템에 dynamics를 주게되면 최종 출력은 입력 신호와 가장 닮은 저장된 메모리중 하나로 안정하게 된다.

III. 실험 및 결과 고찰

1. LCTV 공간 광 변조기

본 실험에서는 2차원 공간 광 변조기로서 Casio LCTV (Model, TV-200)를 사용하였다.

LCTV 공간 광 변조기의 동작 원리는 그림 3 과 같이, 전장을 걸어주지 않았을 때는 빛이 한쪽 편광판을 통하여 들어와서 액정을 따라 돌게되므로 다른쪽 편광판으로 나올수 있으나, 전장을 걸어 주면 한쪽 편광판을 통해 들어온 빛이 액정을 그대로 통과하므로 빛은 다른쪽 편광판에 의해서 차단된다. 즉, 전압의 인가 여부에 따라 액정의 배열을 변경시켜 빛의 통과, 차단을 제어하는 구조를 이루고 있다.

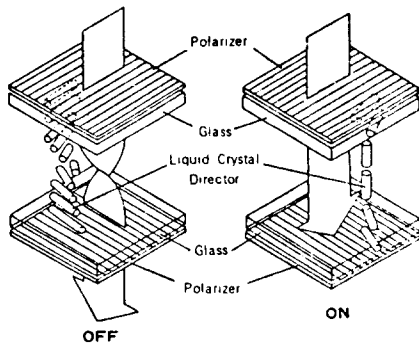
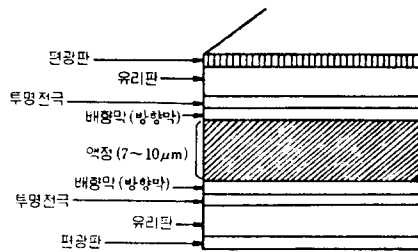


그림 3. LCTV의 동작 원리
Fig. 3. Operation principle of the LCTV.

그러나, 상용 LCTV는 양쪽면에 부착되어 있는 저질의 편광기로 인하여 신호감쇄와 위상왜곡(phase aberration)이 크게 발생하므로 실제 간섭성 광 정보 처리에서 상용 LCTV를 공간 광 변조기로 사용하기 위해서는 먼저 위상왜곡 보상이 필요하게 된다.

일반적으로 이를 위해서 공액 정합 필터¹³⁾ 혹은 liquid gate¹⁴⁾ 등을 사용한 위상왜곡 보상 방법등이 제안되고 있으나 전자의 경우는 낮은 회절 효율문제와 후자의 경우는 LCTV의 다양한 응용의 제한등으로, 본 논문에서는 LCTV 양면에 부착되어 있는 저질의 편광기를 제거하고 고질의 편광기로 대체한 위상 왜곡보상 방법을 사용하였다.¹⁵⁾

즉, 광원으로 사용하는 6328Å의 He-Ne레이저가 편광되어 있으므로 이를 한쪽 편광기로 대체하고 다른 한쪽에만 고질의 선형 편광기를 삽입하여 새로이 LCTV공간 광 변조기를 구성한 후 Mach-Zender 간섭계로 위상 왜곡 보상을 실험하였다.

그림 4는 LCTV를 삽입하지 않은 경우, 상용 LCTV를 삽입한 경우 그리고 두개의 편광기를 제거하여 새로이 구성된 LCTV공간 광 변조기에 대한 간섭 무늬의 실험 결과를 나타낸 것이다.

그림 4 (b)의 간섭 무늬로부터 기존의 상용 LCTV의 표면이 광학적으로 매우 불균일하여 위상왜곡이 크게 나타남을 알 수 있으나 그림 4 (c)에서와 같이 수정된 LCTV의 표면은 국소적인 불균일성 및 격자로 인한 영향은 조금 있으나, 그림 4 (a)에서 처럼 거의 직선에 가까와 균일함을 확인할 수 있다.

따라서, 이상의 실험을 통해 본 논문에서 새로이 구성된 상용 LCTV는 간섭성 광 정보처리에서 공간 광 변조기로서 사용될 수 있음을 알수 있다.

2. LCTV 공간 광 변조기를 이용한 홀로그래픽 광 영상 메모리 시스템

그림 5는 수정된 LCTV를 2차원 공간 광 변조기로 이용하여 본 논문에서 구성한 비선형 홀로그래픽 광 영상 메모리 시스템을 나타낸 것이다.

홀로그램은 두께가 5μm인 Agfa 10E75 필름을 사용하였으며 컴퓨터의 그래픽 모드를 통하여 LCTV 상에 디스플레이 시킨 영상을 투과해 나오는 빔과 기준파를 가지고 사각으로 간섭시켜 퓨리에 홀로그램 메모리를 구성하였다. 이때 홀로그램의 최대 회절효율을 얻기 위해서 기준파와 LCTV를 통과한 물체파간의 세기 및 편광상태가 일치되도록 조정하였다.

작성된 퓨리에 홀로그램은 현상 및 표백 과정을 마친 후 기록시와 정확히 일치하게 재 위치시킨다.

그림 5에서 홀로그램을 작성할때 사용한 기준파를



그림 4. Mach-Zender 간섭계로 측정한 실험 결과
 (a) LCTV를 삽입하지 않은 경우
 (b) 상용 LCTV를 삽입한 경우
 (c) 수정된 LCTV를 삽입한 경우

Fig. 4. Experimental results with Mach-Zender interferometer.
 (a) Interferogram without LCTV.
 (b) Interferogram with commercial LCTV.
 (c) Interferogram with modified LCTV.

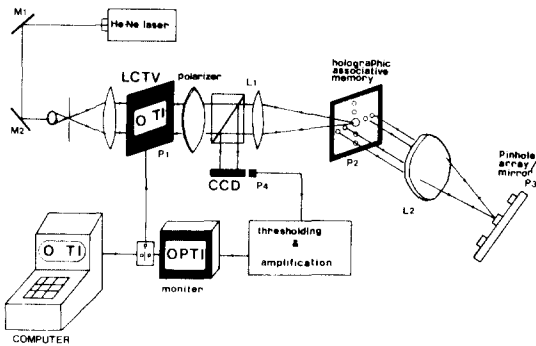


그림 5. LCTV 공간 광 변조기를 이용한 홀로그래픽 광 연상메모리 시스템

Fig. 5. Nonlinear holographic associative memory using LCTV spatial light modulator.

iris로 차단하고 메모리에 저장된 영상중 하나를 LCTV 공간 광 변조기에 입력한후 평행광을 입력 평면에 조사시키면 상관기에 의해 P3 평면에 한개의 자기 상관 기호와 2개의 상호 신호가 나타나게 되며 상관 평면에 있는 pinhole array는 각 영상의 중심점에서 이러한 상관값을 sampling하게 된다. 그리고 3개의 빔은 다시 pinhole을 통해 거울에 재반사되어 홀로그래프에 기록된 3개의 영상을 재생하게 된다. 재생된 출력영상은 빔스플리터를 통해 2차원 CCD카메라

로 검출되고 전자회로를 구성하여 thresholding과 증폭을 한 다음 다시 입력 평면으로 재입력시키는 폐환 루프를 통해 시스템에 dynamics를 주도록 구성하였다. 그림 6은 메모리에 저장된 3개의 입력 영상(OPTI, NEUR, LCTV)을 나타낸 것이다. 상관 평면의 원점에서 상관 peak치를 sampling하기 위해 pinhole array를 만들어 상관 평면에 위치시켰다.

구멍의 직경은 대략 $500\mu\text{m}$ 로 사용하였는데 pinhole 크기가 너무 작으면 그것을 통과하는 빔이 미약하여 홀로그램에 재조사된 다음 재생되는 영상 신호 검출이 어려우며, 반대로 너무 크게 되면 많은 배경 잡음이 함께 섞이게 되어 복원된 영상을 정확히 인식할 수 없게 되므로 정교한 조정이 필요하다.

pinhole array는 거울과 밀착 부착시켜 입사되어온 빔이 똑같은 경로로 되반사 하도록 구성하였다.

그림 7은 저장된 영상을 하나씩 LCTV에 입력하였을때 상관 평면에 나타난 상관 신호에 대한 실험 결과로 각 영상 중심에 일치하여 자기 상관 peak가 나타남을 볼 수 있다.

그림 8은 부분 입력(O-TI, NE-R, L-TV)을 각각 입력했을때 pinhole sampling한 다음 2차원 CCD로 검출된 출력 영상을 제작된 전자회로를 사용하여 전자적으로 thresholding 및 증폭을 한 후 window를 통하여 얻은 출력을 보인 것으로 비록 LCTV의 격자

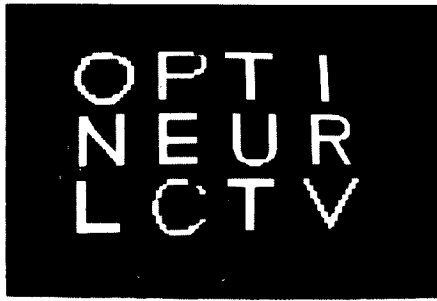
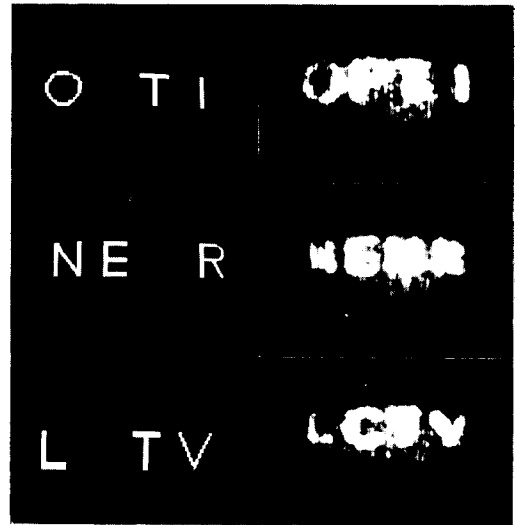


그림 6. 홀로그래프에 저장된 세개의 영상
Fig. 6. Three stored images in holographic memory.



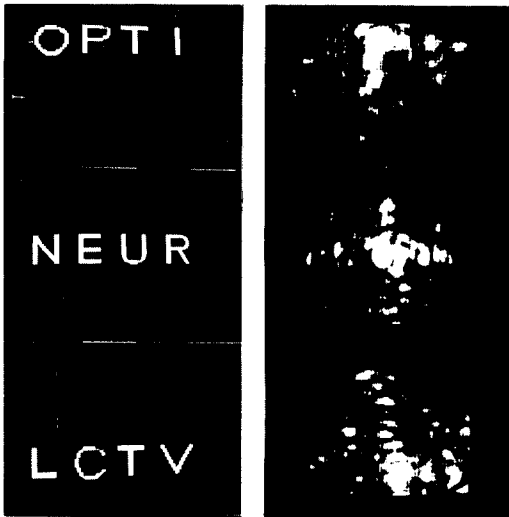
(a) (b)

그림 8. 부분 입력과 연상된 출력

- (a) 부분 입력
- (b) 연상된 출력

Fig. 8. Partial inputs & the associative recalled outputs.

- (a) partial inputs.
- (b) the recalled outputs.



(a) (b)

그림 7. 각 입력에 대한 상관 출력

- (a) 입력
- (b) 상관 출력

Fig. 7. Correlation outputs for each input.

- (a) inputs.
- (b) correlation outputs.

로 인한 고주파 성분때문에 출력 영상에 격자 모양이 같이 나타나고 있지만 연상된 출력은 극적으로 개선되어 복원됨을 볼 수 있다. 따라서, 이상의 실험 결과를 통해 상용 LCTV가 홀로그래픽 광 연상메모리 시스템에서 새로운 간섭성 공간 광변조기로서의 응용 가능성을 제시하였다.

본 실험에서는 상용 LCTV의 두개 편광기로 인한 빛의 세기 감소 및 광학적 불균일성등을 개선하기 위해 수정된 LCTV를 공간 광 변조기로 사용하였다. LCTV의 격자로 인한 고주파 성분을 무시하였지만, 공간 필터나 pinhole을 이용한 prefiltering을 통해 이와같은 고주파 성분들을 제거해 준다면 약간의 빛의 세기는 감소하겠지만 2차원 CCD 카메라에 검출되어 출력되는 영상은 보다 선명하게 얻을 수 있다. 또한 상관 평면에 위치한 pinhole array에서 pinhole크기는 상관신호세기 및 연상출력 상태에 직접적인 영향을 미치므로 일반적으로 최적의 pinhole크기의 선정이 요구된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 처음으로 공간 광 변조기로서 상용 LCTV를 사용하여, 2차원적 신경 회로망 모델에 근거한 홀로그래픽 광영상 메모리 시스템을 구현하였다.

연상 메모리는 푸리에 변환 홀로그래프를 이용하여 Vander Lugt상관기를 구성하고, 상관평면에 pinhole

array와 거울을 위치시켜 peak sampling 방법을 사용함으로써 본 실험에서 제시한 수정된 LCTV상에 부분 입력에 대한 원래의 저장된 영상이 영상 복원됨을 실험적으로 확인하였다.

따라서, 이상의 실험 결과를 통해 본 연구에서는 홀로그래픽 광 영상메모리 시스템에서 새로운 공간 광변조기로서 상용 LCTV의 응용 가능성을 제시하였으며 앞으로 입출력 신경들사이의 인터커넥션 소자로서 3차원의 방대한 메모리 용량과 dynamic한 인터커넥션으로 학습이 가능한 실시간 홀로그래피의 개발과 응용이 실현된다면, 보다 복잡한 2차원 신경회로망 모델의 실시간 실현으로 패턴인식, robot vision 등과 같은 분야에 그 응용이 크게 기대된다.

參 考 文 獻

[1] Y.S. Abu-Mostafa, D. Psaltis, "Optical neural computers," Sci. Am. vol. 249, pp. 66-73, 1987.
 [2] Eun-Soo Kim, "Optical implementation of neural network model," KITE Computer Technology, vol. 6, no. 1, pp. 77-85, 1989.
 [3] D. Gabor, "Associative holographic memories," IBM. J. Res. Develop. vol. 13, pp. 156-159, 1969.
 [4] E.G. Paek and D. Psaltis, "Optical associative memory using fourier transform holograms," Opt. Eng., vol. 26, no. 1, pp. 428-433, 1987.
 [5] B.H. Soffer, R.J. Dunning, Y. Owechko, and E. Marom, "Associative holographic memory with feedback using phase-conjugate mirrors," Opt. Lett., vol. 11, pp. 118-120, 1986.
 [6] Amon Yariv and S.K. Kwong "Associative memories based on message-bearing optical modes in Phase conjugate resonators," opt.

lett., vol. 11, no. 3, pp. 186-188, Mar. 1986.
 [7] A.D. Fisher, "Implementations of adaptive associative optical computing elements," Optical computing, SPIE vol. 625, pp. 196-204, 1986.
 [8] W.P. Bleha et al., "Application of the liquid crystal light valve to real-time optical data processing," Opt. Eng., vol. 17, no. 4, pp. 371-384, 1978.
 [9] C. Warde and J. Thackara, "Operating modes of the microchannel spatial light modulator," Opt. Eng., vol. 22, no. 6, pp. 695-703, 1983.
 [10] H.K. Liu, J.A. Davis, R.A. Lilly, "Optical data-processing properties of a liquid-crystal television spatial light modulator," Opt. Lett., vol. 10, pp. 635-637, 1985.
 [11] Y. Owechko, "Nonlinear holographic associative memories," IEEE J. of Quantum Electron., vol. 25, no. 3, pp. 619-634, 1987.
 [12] A. Vander lugt, "Signal detection by complex spatial filtering," IEEE Trans. Inf. Theory IT-10, pp. 139-145, 1964.
 [13] D. Casasent and S.F. Xia, "Phase correction of light modulators," Opt. Lett., vol. 11, no. 6, pp. 398-400, 1986.
 [14] F. Mok, et al. "Real-time computer-generated hologram by means of liquid-crystal television spatial light modulator," Opt. Lett. vol. 11, no. 11, pp. 748-750, 1986.
 [15] Eui-In Hwang, Eun-Soo Kim, "Optical implementation of holographic associative memory using LCTV," Proc. of KITE summer conference, vol. 12, no. 1, pp. 539-541, 1989.

著 者 紹 介



黃 義 寅 (準會員)
 1964年 3月 11日生. 1988年 2
 月 光운대학교 전자공학과 졸업,
 공학사 취득. 1988年~현재 光운
 대학교 대학원 석사과정 재학중.
 주관심분야는 Optical Neural Ne-
 twork, 광정보처리, 광 컴퓨팅등
 임.



李 丞 玄 (正會員) 第 26 卷 第 10 號 參照
 현재 光운대학교 대학원 전자
 공학과 박사과정 재학중.

李 禹 相 (正會員) 第 26 卷 第 10 號 參照
 현재 光운대학교 대학원 전자
 공학과 박사과정 재학중.



金 恩 洙 (正會員) 第 26 卷 第 10 號 參照
 현재 光운대학교 전자공학과
 부교수