

LCTV를 이용한 실시간 광 연상 메모리의 구현

○ * ** ** **
정 승 우, 길 상 근, 임 종 태, 박 한 규

* 한국 전자 통신 연구소
** 연세대학교 전자공학과

Implementation of Real Time Optical Associative Memory using LCTV

○ * ** ** **
Seung-Woo Jung, Sang-Keun Gil, Jong-Tae Ihn, Han-Kyu Park

* Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)
** Dept. of Electronic Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACT

In this thesis, an optical bidirectional inner-product associative memory model using liquid crystal television is proposed and analyzed theoretically and realized experimentally. The proposed model is composed of two LCTVs and two multi-focus hololens etc. The LCTV is used as a SLM(spatial light modulator), which is more practical than conventional SLMs, to produce image vector in terms of computer and CCD camera. Memory and input vectors are recorded into each LCTV through the video input connectors of it by using the image board. Two multi-focus hololenses are constructed in order to perform optical inner-product process.

In forward process, the analog values of inner-products are measured by photodetectors and are converted to digital values which are enable to control the weighting values of the stored vectors by changing the gray levels of the pixels of the LCTV. In backward process, changed stored vectors are used to produce output image vector which is used again for input vector after thresholding. After some iterations, one of the stored vectors is retrieved, which is most similar to input vector in other words, has the nearest hamming distance.

The experimental results show that the proposed inner-product associative memory model can be realized optically and coincide well with the computer simulation.

I. 서 론

신경회로망에 대한 연구는 1943년 McCulloch와 Pitts가 신경회로 구조를 수학적으로 모델화한 이래 지속적인 연구가 진행되던 중, 1965년 Minsky가 Rosenblatt 의 Perceptron 한계성을 지적한 이후 한 때 침체기를 맞았지만, 1970년대 후반부터 Rumelhart와 McClelland등이 소속한 PDP 그룹에 의해 다시 신경회로망의 열기가 일어났다.

1982년 J.J. Hopfield[1]는 신경조직(neural network)에 대한 기본적인 모델을 제안하였고, 1985년 D.Psaltis와 N.Fahrat등은[2]는 최초로 Hopfield 모델을 광학적인 벡터-행렬 구조로 수행하였다. 한편으로 홀로그래프의 기억 성질을 이용한 Sakacuchi의 연상 메모리[3], H.J. Caufield의 산란광 홀로그래프를 이용한 연상 메모리[4], 연상 기억모델을 변형한

Kosco의 BAM(Bidirectional Associative Memory)[5], 편광 연상 방식에 의한 홀로그래픽 연상 메모리[6]등이 발표 되었다.

그러나 홀로그래프의 성질을 이용한 연상메모리 모델[7]은 실험적으로 까다롭고 또한 기억 시키고자하는 정보를 실시간적으로 변환하기가 힘들다는 실험적 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존의 Hopfield 모델을 변형한 양방향 내적 연상 메모리를 제안하고, 실시간적으로 정보의 입출력을 가능하게 하기위하여 기존의 공간 광 변조기[8]에 비해 가격이 저렴하고 별도의 구동 회로 없이도 컴퓨터나 비디오 카메라에 의해 영상신호를 입력하도록 A/V 단자를 내장한 Radio Shack 사의 Realistic Model 16-156의 광 전달 특성을 조사

한 후 공간 광 변조기 (Spatial light modulator)로 대응하였으며[9,10], 벡터 내적에 의한 연산을 가능하게 하기 위하여, 순방향 다중 초점 홀로그램과 역방향 다중 초점 홀로그램[11]을 제작하였다. 본 논문에서 제안한 모델의 시스템을 구성하여 제시한 모델을 실험하고, 그 결과를 분석 하였다.

II. 양 방향 연상 메모리 모델

내적에 의한 연상 메모리의 수학적 원리는 Hopfield 모델의 식을 변형해 볼때 아래와 같다.

$$V_i = \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M (2V_{jm} - 1)(2V_{jm} - 1) \tilde{V}_{jm} \quad (2-1a)$$

$$= \sum_{m=1}^M \left[\sum_{j=1}^N (2V_{jm} - 1) \tilde{V}_{jm} \right] (2V_{im} - 1) \quad (2-1b)$$

식(2-1a)를 외적에 의한 연산이라 하면, 식(2-1b)의 식은 새로운 입력과 저장된 벡터간의 상관 관계, 즉 내적 연산을 의미한다. V_{m0} 가 가장 상관값이 큰 벡터라 하면

$$V_i = (2V_{i0} - 1) \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M (2V_{jm} - 1) \tilde{V}_{jm} + \sum_{m=0}^M (2V_{im} - 1) \sum_{j=1}^N (2V_{jm} - 1) \tilde{V}_{jm} \quad (2-2)$$

로 주어진다. 여기서 신호와 잡음의 SNR을 향상시키기 위하여 비선형 함수를 도입하면

$$V_i = (2V_{i0} - 1) \left[\sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M (2V_{jm} - 1) \tilde{V}_{jm} \right]^n + \sum_{m=0}^M (2V_{im} - 1) \left[\sum_{j=1}^N (2V_{jm} - 1) \tilde{V}_{jm} \right]^n \quad (2-3)$$

이 되어 출력 V_i 는 결국 식(2-13)의 첫째 신호항에 대한 비선형 함수 때문에 SNR을 증가시킬 수 있다.

본 논문에서 그림(2-1)과 같은 순방향과 역방향의 양 방향 내적 연상 메모리 모델을 제안 하였다.

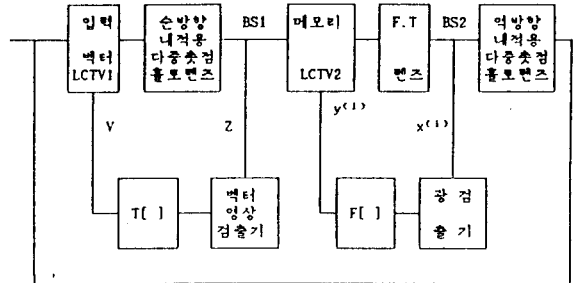


그림 2-1 양 방향 내적 연상메모리 모델

LCTV1과 LCTV2에 기록되는 벡터들은 Imaging Technology 사의 ITEX PC plus를 이용하여 $V_j^{(1)}$ 값이 0일 때는 gray level을 0으로, 1일 때는 255로 변환시켜 LCTV의 A/V(Audio-Video) 입력단을 통하여 저장시킨다.

LCTV1에 있는 입력 벡터가 LCTV2에있는 메모리단의 벡터들 중에서 유사한 하나의 벡터를 V' 라 하면 순방향 다중 초점 홀로그램을 거쳐 LCTV2의 화면에 V' 와 동일한 내계의 다중 벡터를 만들어 이 내계의 4×4 벡터값과 LCTV2의 화면에 있는 내계의 4×4 메모리 벡터들과 중첩 되어 F.T렌즈를 통하여 correlation 평면에 내계의 $x^{(1)}$ 가 형성된다.

$$\text{순방향 첫단계} : x^{(1)} = V \cdot V^{(1)} \quad (2-4)$$

일반적으로 광 검출기는 입력 광량에 대해 출력 전류가 2차 함수적 특성을 나타내는데, 이 검출기를 이용하여 $x^{(1)}$ 에 대해 비선형 전달 함수 $F[\]$ 를 적용하여 내계의 $y^{(1)}$ 값을 얻는다.

$$\text{순방향 둘째 단계} : y^{(1)} = F[x^{(1)}] \quad (2-5)$$

이 $y^{(1)}$ 값에 의해 가장 강하게 나온 값으로 나머지 $y^{(1)}$ 값들을 정규화한 후 변환된 값을

Computer를 통하여 정규화된 $y^{(1)}$ 값들에 대해 메모리단 LCTV2의 0 또는 1의 값을 가지는 4개 벡터의 gray level을 각기 조절한다.

역방향 단계에서는 다른 광 경로에 의해 역방향 다중초점 홀로렌즈를 거쳐 순방향 둘째 단계의 $y^{(1)}$ 에 의해 가중화된 4×4 형태의 4개의 벡터가 4×4 형태의 하나의 벡터로 중첩된다. 이것을 BS1 으로 분광 시킨 후 CCD 카메라로 받아 들인다.

$$\text{역방향 첫단계} : Z = \sum V^{(1)} y^{(1)} \quad (2-6)$$

그 다음 단계에서는 Z에 임계분기 과정을 거쳐 임계값을 넘는 비트 값들을 이진값 1로하고, 나머지는 0으로 하는 bit 제어를 한다.

$$\text{역방향 둘째 단계} : V = \text{TH}[Z] \quad (2-7)$$

전 과정은 아래 수식으로 나타낼 수 있다.

$$V = \text{TH}[\sum V^{(1)} F[\sum V^{(1)} V']] \quad (2-8)$$

순방향 둘째 단계에서의 출력 $y^{(1)}$ 는 메모리단에 저장되어 있는 $V^{(1)}$ 에 대해 가장 잘 정합되는 $x^{(1)}$ 에 대해 가장 큰 값을 가지며, 임계분기 과정을 거친 Z는 또 다시 새로운 입력 신호가 되어 이 과정을 반복 수행하면 역방향 제 2 단계의 결과치에 의해 만들어진 벡터 V는 입력 벡터에 V'와 메모리단의 LCTV2의 네개의 벡터중 가장 유사한 벡터가 나타나고 LCTV2 상에는 궤환에 의한 식(2-8)의 V 벡터만이 존재하므로 결국 입력 벡터 V'와 가장 유사한 벡터만이 LCTV2에 나타나게 된다.

표. 액정TV 공간 광 변조기

공간 광 변조기에 대한 연구는 1970년 부터 활성화 되어 현재까지 발표된 주된 공간 광 변조기는 LV(Liquid crystal light valve), MOD(Magneto-opt

oc device), 마이크로 채널 공간 광 변조기, PROM(Pocket read-out optical memory), AOD(Acousto-optical device)등이 있으나, 기존의 공간 광 변조기는 매우 비싸고 아직까지 개발 단계에 있다.

따라서, 최근에는 인가되는 전기 신호에 의해 전압을 변조할 수 있는 액정 TV를 공간 광 변조기로 이용하고자 하는 제안이 발표되고 있다.

여기서 사용한 액정TV는 트위스트된 니메틱 방식으로 단순 어드레스 방식의 표시판을 내장한 것이다.

본 논문에서는 LCTV를 SLM으로 적용하기 위하여 트위스티드 니메틱 방식으로 단순 어드레스 방식의 표시판을 내장하고, 외부 AV 입력단자를 가지고 있는 Radio-Shack 사의 Realistic Model 15-156 LCTV를 사용하였고, LCTV의 편평도를 좋게하기 위하여 양면에 부착된 저질의 편광자를 제거하고 홀로그래프 플레이트를 사용하고, 위상정합 오일을 첨가하여 위상 보정 특성[12]을 이용하여 LCTV의 두께의 불균일성을 보정하였다. 실험상에서는 TV 본체와 LCD를 분리하여 광 경로상의 Alignment가 쉬워지도록 개조한 후 제거한 편광자 대신에 일반 편광자를 사용하였다.

LCTV를 공간 광 변조기로 사용하기 위해서 SLM의 주요 parameter인 광 전달 특성, 광 변조 지수를 실험하였다. 광 전달 특성(optical transmission characteristic)은 LCD에 인가되는 전압의 크기에 따라 얼마만한 광을 전달할 수 있는가에 대한 지수로서 SLM의 투과도를 나타낸다. LCD에 인가되는 전압은 실제로 측정하기 힘들므로 Brightness Control 단자에 연결된 LCTV 회로안의 가변저항에 인가되는 바이어스 전압을 V_{ref} 로 선택한 후, 이를 가변시키면서 전달 특성을 측정하였다. 그림(3-1)은 측정 시스템의 구성도를 나타낸다.

He-Ne Laser로부터의 출력빔은 공간필터 및 확장기를 거친 후 평행광이 되며, 광 경로상에 LCTV와 편광자(polarizer) 및 검광자(analyzer)를 위치시키고 최대 전달 및 명암비(contrast)가 되도록 편광자 및 검광자를 조정하였다.

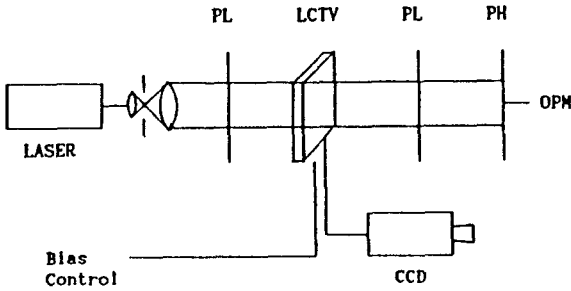


그림 3-1 광 전달 특성 측정 시스템

먼저 CCD 카메라로부터의 Video 신호를 제거한 상태에서 LCTV 회로내의 가변저항을 조절 할때 전달된 광량을 측정한 후 편광자 앞단에서의 광량 P1과 의 비율 구한다(curve A). 이때 광 전달 계수 T는 아래와 같이 주어진다.

$$T = P_{out} / P_{in} \quad (3-1)$$

다음에는 CCD카메라로부터의 균일한 Video 신호를 인가한 후 앞의 과정을 반복한다(curve B). 두 경우의 측정 결과는 그림(3-2)와 같다.

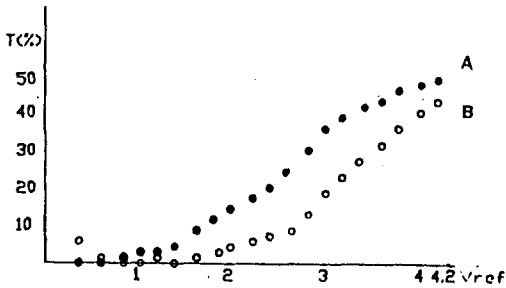


그림 3-2 LCTV의 광 전달 특성 곡선

측정결과 비디오 신호가 인가될 때 $V_{ref} = 1.0$ V 이하에서는 영상의 명암이 반전 되었으며, 인가 전압이 증가함에 따라 전달되는 광량이 증가하였고, 최대 전달 계수 T는 42%, 최소 전달계수 T는 2.5% 정도로 측정되었다.

광 변조 지수는 그림(3-1)의 측정시스템에서 CCD 카메라로부터 그림(3-3)의 패턴을 입력 시킬 경우 V_{ref} 변환시의 T_{max} 와 T_{min} 을 측정하였다.

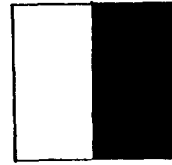


그림 3-3 변조 지수 측정을 위한 입력 패턴

변조지수는 LCTV의 dynamic 특성을 나타내는 중요한 지수로서 실제 출력에 나타나는 output contrast를 나타낸다. 측정된 T_{max} , T_{min} 으로부터 변조지수 M은

$$M = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max} + T_{min}} = \frac{\frac{P_{max}}{P1} + \frac{P_{min}}{P1}}{\frac{P_{max}}{P1} + \frac{P_{min}}{P2}} = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max} + P_{min}} \quad (3-2)$$

이 된다.

여기에서 T_{max} 는 균일한 밝은 비디오 신호에 대한 광 전달특성을, T_{min} 은 어두운 비디오 신호에 대한 광 전달특성을 나타낸다.

변조지수에 대한 측정결과를 그림(3-4)에 나타내었고, $V_{ref} = 1.4V$ 일 때 변조지수는 약 60.5%로 최대의 명암비를 나타내었으며 이때의 명암비는 약 5:1 정도로 측정되었다. 이 결과로부터의 LCD의 최적 동작조건은 $V_{ref} = 1.4V$ 임을 알 수 있었다.

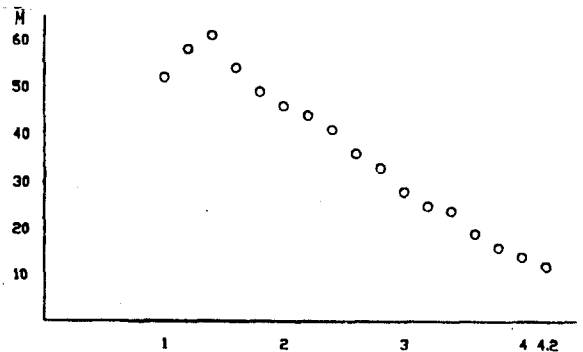


그림 3-4 변조지수 특성곡선

IV. 실험 및 결과 고찰

그림(4-1)은 본 논문에서 제안한 양방향 내적 연상 메모리 모델의 시스템도 이다.

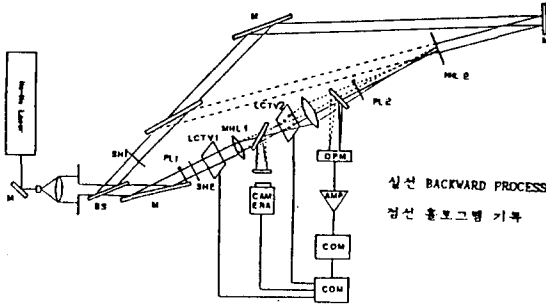


그림 4-1 양방향 내적 연상 메모리 모델 시스템도

실험에서 사용한 레이저는 NEC사 제작의 동작파장 632.8 nm 의 He-Ne 레이저이며 SLM 대응으로 사용한 LCTV는 Radio-shack 사의 Realistic 16-156 모델로서 TN 역정모드 형태로서 화면의 크기는 71.7 mm X 53.7mm 이고, 화소의 크기는 375 μ m X 375 μ m 이고 외부입력 A/V 단자수를 가지고 있어 CCD 카메라나 computer에 의해 영상신호를 전송할 수 있게 되어 있다. 이 LCTV의 입력은 computer에 내장된 Imaging Technology 사의 ITEX PC-Plus를 사용하여 기록하였다. LCTV1에는 16 bit로 이뤄진 입력 벡터를 4 X 4형태로 기록하고 LCTV2 에는 4개의 메모리 벡터를 2 X 2 형태로 기록 시켰다.

0과 1의 이진값을 갖는 각 벡터 요소값들은 computer를 통하여 LCTV에 벡터를 입력 시킬 때 gray level을 0과 255로 재조정하고 나서, 그림(2-1)에서 제시한 모델에서 순방향 단계에서 correlation 평면에서 측정한 $x^{(1)}$ 값은 ANDO 사의 AQ - 1111 optical power 미터를 사용하였다.

이 optical power meter는, 증폭 회로가 내장되어 있는 데, 입력 광량에 대해 2차 함수적인 특성을 갖는 전압을 출력 단자를 통해 얻을 수 있다.

collimating lens를 통하여 나오는 평행광은 5.3 mW의 값을 가지고 있지만 두 개의 LCTV와 두 개의 편광자, 다른 광학 소자를 거쳐 최종적으로 correlation 평면에 맺히는 네개의 내적 값들은 10nW 에서 20nW 사이의 값을 가지고 있었다. 이 값들에 대해 증폭된 전압값이 optical power meter의 출력 단자를 통해 얻었으나, 그 증폭도가 미약하여 다시 새로운 증폭단을 만들었다.

Com2에는 A/D converter를 내장하였는데, 사용한 ADC 0809의 (+)REF는 5 Volt로 (-)REF를 0 Volt로 정하여 입력전압이 0~5 Volt일때 256 단계로 A/D 변환을 가능하게 하였다. 10~20nW 때 광량에 대한 A/D 변환한 값은 그림(4-10)에 나타내었다.

그림 (4-10)에서 알 수 있듯이 입력광이 10nW 일때 ADC 값은 15이고, 20nW 일때는 241 인데 이는 빛에대해 수광소자가 이차적 특성을 가지는것을 의미하고 식(2-14)에서 얻은 네개의 $x^{(1)}$ 값에대해 식(2-15)에서 비선형 함수 $F[]$ 를 이차함수로 사용할 수 있음을 나타낸다.

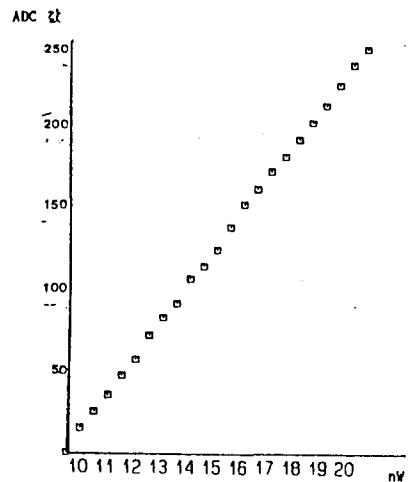


그림 4-2 광량에 따른 A/D 변환 값

IV - I . 컴퓨터 시뮬레이션

실험에서 사용한 벡터는 각기 16 bit로 이뤄져 있고 각메모리 vector의 1의 갯수는 각기 8보 아래와 같다.

$$V^{(1)} = (0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0)$$

$$V^{(2)} = (1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1)$$

$$V^{(3)} = (1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1)$$

$$V^{(4)} = (0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0)$$

본 실험에서는 여섯 가지의 종류의 입력벡터를 가지고서 컴퓨터 시뮬레이션 과 광학적 실험을 수행 하였다. 입력 벡터를 V'의 종류는 아래와 같다.

예 1 INPUT VECTOR 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

예 2 INPUT VECTOR 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

예 3 INPUT VECTOR 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

예 4 INPUT VECTOR 1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

예 5 INPUT VECTOR 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

예 6 INPUT VECTOR 1 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0

메모리벡터와 각 예의 입력벡터를 가지고서 메모리단의 4개의 벡터들과의 내적 연산과 비선형 임계 본기에 의한 식(2-18)에 의한 값들을 iteration한 값 들은 다음과 같다.

예 1 입력 벡터가 메모리단의 $V^{(1)}$ 벡터와 같은 경우의 예

INPUT VECTOR	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
1ST ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
2ND ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
STABLE	메모리 벡터 $V^{(1)}$

예 2 입력 벡터가 메모리단의 $V^{(1)}$ 벡터와 1 bit 다른 경우의 예

INPUT VECTOR	0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
1ST ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
2ND ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
STABLE	메모리 벡터 $V^{(1)}$

예 3 입력 벡터가 메모리단의 $V^{(1)}$ 벡터와 2 bit 다른 경우의 예

INPUT VECTOR	0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
1ST ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
2ND ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
STABLE	메모리 벡터 $V^{(1)}$

예 4 입력 벡터가 메모리단의 $V^{(1)}$ 벡터와 3 bit 다른 경우의 예

INPUT VECTOR	1 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
1ST ITERATION	1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1
2ND ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
3RD ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
STABLE	메모리 벡터 $V^{(1)}$

예 5 입력 벡터가 메모리단의 $V^{(1)}$ 벡터와 4 bit 다른 경우의 예

INPUT VECTOR	1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
1ST ITERATION	0 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0
2ND ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
3RD ITERATION	0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
STABLE	메모리 벡터 $V^{(1)}$

예 6 입력 벡터가 메모리단의 $V^{(1)}$ 벡터와 5 bit 다른 경우의 예

INPUT VECTOR	1 0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 0
1ST ITERATION	1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1
2ND ITERATION	1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1
3RD ITERATION	1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1
4TH ITERATION	1 0 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1
5TH ITERATION	1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1
6TH ITERATION	1 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1
OSCILLATION	메모리 벡터 $V^{(1)}$ $V^{(2)}$

IV - II . 실험 결과

그림(4-1)의 시스템도에서 순방향 과정의 경우는 서터 SH1 이 OFF이고 서터 SH2가 ON 일 경우이다. 순방향과정에서 사진(4-1)는 컴퓨터를 이용하여 LCTV 의 AV 단자를 통해 기록한 메모리 벡터의 사진으로

서 각 벡터의 bit 값이 0일 때는 gray level을 0으로, 1일 때는 255로 나타내었다.



사진 4-1 LCTV2에 기록한 메모리

사진(4-2)에서 (a)는 input vector가 예 1에서와 같은 경우 V'가 LCTV2에 다중 복사되어 맺힌 사진을 나타내고, (b)는 내적 연산을 거쳐 컴퓨터로부터 A/D converting된 후 이에 대응하는 gray level로 가중화된 후의 사진이다[(2-5)과정]. (c)는 역방향 단계에서 SH1이 ON 되고 반면 셔터 SH2가 OFF되어 역방향 다중초점 홀로렌즈를 거쳐 MHL1과 LCTV2 사이에 있는 BS1에 의해 분광한 빛에 의해 얻은 영상을 Camera를 이용하여 얻은 사진이다[(2-6)과정].

(d)는 [(2-7)과정]에 의해 각 비트가 thresholding된 후, 다시 새로운 입력으로 반복 수행한 결과 사진이다. 예 3의 도표에서와 같이 No error input 경우에는 첫번째 iteration만에 안정상태에 도달하고 메모리 벡터 V(i)을 찾았다.

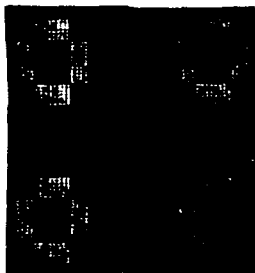


사진 4-2(a)

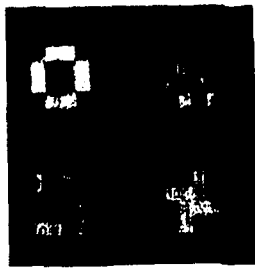


사진 4-2(b)

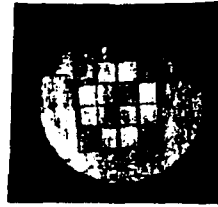


사진 4-2(c)



사진 4-2(d)

사진(4-3)에서 (a)는 예 2의 입력이 LCTV2에 다중 영상 복사된 사진이고, (b)는 (2-5)에 의해 가중화된 후 LCTV2에 기록된 영상이다(gray level 255,64,100,64). (c)는 역방향 단계 step5의 결과이다.

(d)는 (2-7)에 의해 각 비트가 thresholding되어 입력벡터가 변화 한후, step 3 과정이하를 반복 수행한 결과 사진이다(gray level 256,6,15,6). (e)는 step3 으로부터 반복 수행 한 결과로서 1 bit error input 경우에도 첫번째 iteration만에 메모리 벡터들 중에서 가장 유사한 V(i)을 찾았다.

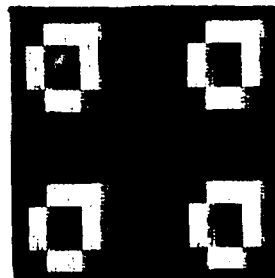


사진 4-3(a)

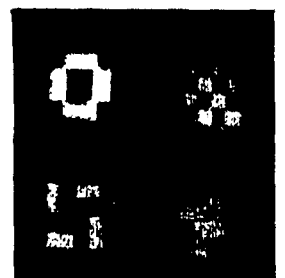


사진 4-3(b)



사진 4-3(c)

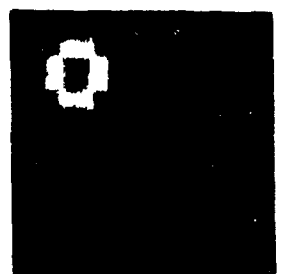


사진 4-4(d)

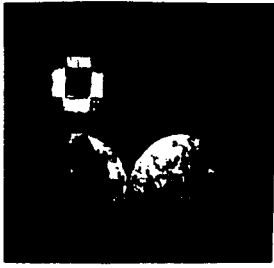


사진 4-3(e)

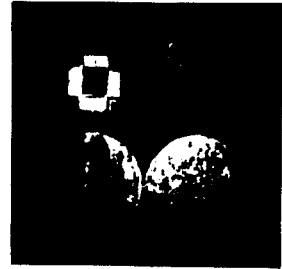


사진 4-4(e)

사진(4-4)에서 (a)는 예 4의 입력이 LCTV2에 다중 영상이 복사된 사진이고, (b)는 (2-5)과에 의해 가중화된 후 LCTV2에 기록된 영상이다(gray level 255,175,115,64). (c)는 역방향 단계 (2-6)과정의 결과이다. (d)는 (2-7)에 의해 각 비트가 thresholding되어 입력벡터가 변환한 후, 반복 수행중 LCTV2에서의 gray level은 255,120,51,16이다.(e)는 반복 수행한 후 메모리단의 LCTV2에 나타난 결과 사진이다. 결국 3 bit error input 경우에는 두 번째 iteration만에 메모리 벡터들 중에서 가장유사한 $V^{(1)}$ 을 찾았다.

사진(4-5)에서 (a)는 예 6의 입력이 LCTV2에 다중 영상이 복사된 사진이고, (b)는 (2-5)과정에 의해 가중화된 후 LCTV2에 기록된 영상이다(gray level 255,255,92,92). (c)는 역방향 단계 (2-6)과정의 결과이고, (d)는 (2-7)과정에 의해 각 비트가 thresholding 되어 변환된 입력 벡터를 나타낸다.

변화된 입력벡터 $V' = (1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1)$

(e)는 역방향 과정에 의해 thresholding 된 후 (2-5)과에 의해 가중화된 후의 결과 사진으로서 이때 LCTV2에서의 메모리 벡터의 gray level은 255,255,33,33이다.(f)는 사진 (c)에서와 같이 역방향 단계 (2-6)과정의 결과이다.

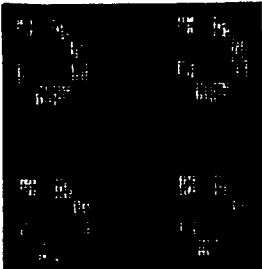


사진 4-4(a)

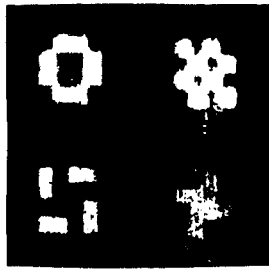


사진 4-4(b)



사진 4-4(c)

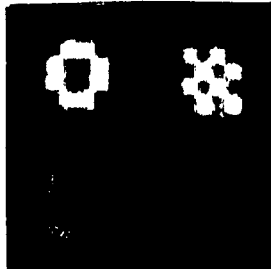


사진 4-4(d)



사진 4-5(a)

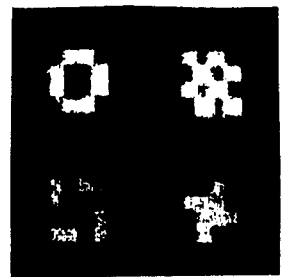


사진 4-5(b)



사진 4-5(c)

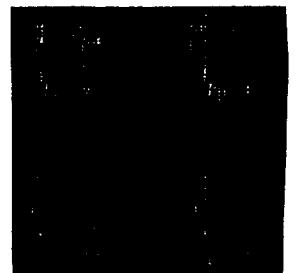


사진 4-5(d)

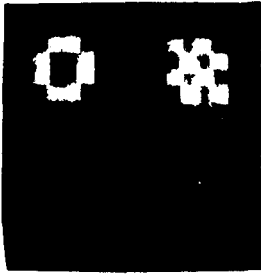


사진 4-5(e)



사진 4-5(f)

또다시 변화된 입력벡터에 의해 네 번의 반복 수행을 거친 후 다시 임계본기된 입력은 (g)와 같다. 사진 (h)는 사진 (c)에서와 같이 역방향 단계 (2-6)과정의 결과이다. 사진 (h)에서의 결과를 (2-7)과정6에 의해 thresholding 하면 다시 사진(g)와 같이되고 다시 순방향과정을 거쳐 (2-6)과정에 의해 가중치를 변화 하면 사진(1)에서와 같이 결국 메모리단 LCTV2 에는 벡터는 6의 표에 나타내었듯이 $V^{(1)}$ 과 $V^{(2)}$ 의 두가지 벡터가 남게된다.

다른 예에서와는 달리 이경우는 메모리 벡터 $V^{(1)}$ 과 $V^{(2)}$ 모두 hamming distance 가 같기 때문이다.

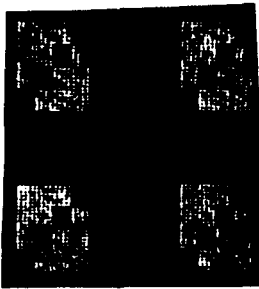


사진 4-5(g)



사진 4-5(h)

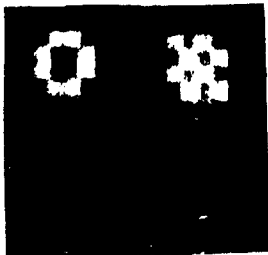


사진 4-5(1)

V. 결 론

본 논문에서는 양방향 내적 연상 메모리 모델을 사용하고 이를 이론적으로 분석하고 광학적 구현을 실험하였다. 두개의 역정TV와 다중 초점 홀로렌즈

image board, 광검출기 등으로 구성된다. 역정TV의 특성등을 조사하여 기존의 값비싼 공간 광 변조기(Sp light modulator)를 대신해서 사용하였다. 여기서 m 벡터와 입력벡터는 image board에 의해 역정TV의 A/V 단자를 통하여 되었고, 벡터내적을 광학적으로 수행 위하여 순방향, 역방향의 2x2 다중 초점 홀로 렌즈를 하였다. 순방향을 통한 내적값은 광검출기 출력율이 이어 그 값을 A/D 변환을 거쳐 역정TV 화소의 gray level 변화시킴으로써 저장벡터의 가중치를 변화시켰다. 기가 변화된 저장벡터는 역방향과정을 거쳐 중첩된 출력 상벡터를 재생하고, 이 출력값을 임계본기한 후 이 다시 입력단의 역정TV에 다시 표현하여 반복 수행되었다.

반복 수행이 되면서 저장벡터의 가중치도 계속하여 결국 메모리단의 역정TV내에 저장되어 있던 벡중에서 입력벡터와 가장 유사한 벡터를 찾아낼 수고,이로서 이론적인 결과와 일치하였다.

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., April, 1982
2. Nabil H. Farhat, Demetri Psaltis, Aluizlo Prata, and Eunggi Paek, "Optical Implementation of the Hopfield Model," Appl. Opt. Vol. 24, pp 1469 - 1475, 1985
3. Mitsuhiro Sakacuchi, "A New associative memory system utilizing holograpy". IEEE Transactions on Computers, Vol. c-19, No. 12, Dec 1970
4. H. J. Caulfield, "Scattered Holography for Associative Memory", Opt. Lett. Vol 55, No80, 1985
5. B. Kosko, "Adaptive Bidirectional Associative Memories", Appl. Opt. Vol. 26, pp 4987, Dec. 1987
6. S. H. Song & S. S. Lee, "Holographic Associative Memory by Polarization Encoding Process".
7. 임종태, "홀로그래움을 이용한 광 영상 메모리에 관한 연구", 연세대학교 대학원 석사 학위 논문, 1988
8. C. Warde, A. M. Weiss, A. D. Fisher, and J. I. Tackara, "Optical Information Processing Characteristics of the Microchannel Spatial Light Modulator," Appl. Opt., Vol. 20, p p. 2066 - 2074, 1981
9. H. K. Lie, J. A. Davis, and R. A. Lilly, "Optical-Data-Processing Properties of A Liquid Crystal Television Spatial Light Modulator," Opt. Lett., Vol. 10, pp. 635 - 637, Dec. 1985
10. K. D. Hughes, et al, "Optical Processing Using Liquid Crystal Television," Appl. Opt., Vol. 26, No. 6, pp. 1042 - 1044, Mar. 1987
11. D. A. Gregory and H. K. Lie, "Large Memory Real-Time Multichannel Multiplexed Pattern Recognition," Appl. Opt., Vol. 23, No. 54, pp. 4560- 4570, Dec. 1984
12. D. A. Gregory, "Real-Time Pattern Recognition Using A Modified Liquid Television A Coherent Optical Correlator," Appl. Opt., Vol. 25, pp. 467 - 469, Feb. 1986
13. 정승우, 김란숙, 임종태, 김상근, 박한규, "LCTV를 이용한 광 영상 메모리에 관한 연구", 한국통신학회 1989년도 추계 학술 발표회 논문집, Vol. 8, No3, 1989.
14. 김상근, 은재정, 박한규, "An Optical Implementation of Associative Memory Based on Inner Product Neural Network Model", 제4회 파동 및 레이저 학술 발표회 논문집 1989.2