

論文98-35D-3-8

# 변이불변 특성이 개선된 광굴절 상관기를 이용한 실시간 광 패턴인식 시스템의 구현

## (Implementation of Real-time Optical Pattern Recognition System using a Photorefractive Correlator with Improved Shift-invariant Property)

金星完\*, 金喆洙\*\*, 金鍾鑽\*\*\*, 金鍾允\*, 李承熙\*\*\*\*, 金秀重\*

(Seong-Wan Kim, Cheol-Su Kim, Jong-Chan Kim, Jong-Yun Kim, Seung-Hee Lee, and Soo-Joong Kim)

### 요 약

본 논문에서는 광굴절 상관기의 변이불변 특성을 개선시키기 위한 새로운 입력방법을 제안하여 실시간 광 패턴인식 시스템을 구현하였다. 기존의 광굴절 상관기에서는 물체 인식과정에서 브래그 조건을 만족시키기 매우 어렵다. 그래서 입력 영상의 변이에 대해 상관 침투치가 매우 감소한다. 만약 편광기가 제거된 LCTV (liquid crystal television)를 입력 장치로 사용하면 홀로그래픽 필터의 저장과 상관시에 광 경로가 변하지 않으므로 입력 영상의 변이에 상관없이 상관결과를 얻을 수 있다. 또한, LCTV에 입사되는 빛이 모두 투과되므로 광굴절 결정 내에서의 홀로그래픽 필터의 기록 시간이 단축되고 상관 침투치도 증가한다. 그러므로 전체적인 광 효율이 개선된다. 제안된 변이불변 광굴절 상관기의 상관출력을 컴퓨터 시뮬레이션과 광 실험을 통해 비교·분석해 보았다. 광 실험에서는 회절효율이 높은 BaTiO<sub>3</sub> 단결정을 사용하였다.

### Abstract

In this paper, a new input method is proposed to improve shift-invariant property of a photorefractive correlator and we implemented real-time optical pattern recognition system using it. In the conventional photorefractive correlator, it is very difficult to satisfy the Bragg condition in the pattern recognition process. So, correlation peak is decreased heavily for the shift of input image. If a liquid crystal television(LCTV) without an analyzer is used as input device, we can get the correlation result regardless of shift of input image because beam path is not changed during storage of holographic filter and correlation process. Also recording time of a holographic matched filter in photorefractive crystal is reduced and the correlation peak is increased because incident beam on the LCTV is transmitted completely. Therefore total optical efficiency is improved. We compared and analyzed the correlation results of proposed photorefractive correlator by computer simulation and optical experiment. We used a BaTiO<sub>3</sub> single crystal which has high diffraction efficiency in optical experiment.

\* 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部  
(School of Electronics & Electrical Eng., Kyungpook National University)

\*\* 正會員, 慶州大學校 情報通信工學科  
(Dept. of Electronics Information & Communication Sciences, Kyongju University)

\*\*\* 正會員, 慶北專門大學 電子科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Junior College)

\*\*\*\* 正會員, 大慶專門大學 情報通信科

(Dept. of Information Communication, Taekyung C&D College)

※ 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소 연구비 지원에 의하여 연구되었음

接受日: 1997年11月28日, 수정완료일: 1998年3月5日

I. 서 론

광굴절 매질은 빛의 세기에 따라 굴절률이 변하는 광굴절 효과에 의해 영상정보를 실시간으로 저장, 재생, 삭제할 수 있는 동적 광 기록소자이며, 이를 이용한 광 신호처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1]</sup> 널리 이용되는 광굴절 매질로는 BaTiO<sub>3</sub>, Sr<sub>x</sub>Ba<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(SBN), LiNbO<sub>3</sub> 및 Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub>(BSO) 등의 비선형 매질과 GaAs 및 InP 등의 반도체 매질이 있는데, 특히 BaTiO<sub>3</sub>, SBN 및 LiNbO<sub>3</sub> 는 높은 전기광학 계수를 가져 저출력 레이저에서도 기록할 수 있어 광 신호처리에 많이 이용되고 있다. 광굴절 매질을 이용한 광 신호처리 응용 분야에는 실시간 홀로그래픽 메모리,<sup>[2]</sup> 광 상관기,<sup>[3]</sup> novelty 필터,<sup>[4]</sup> 영상 증폭,<sup>[5]</sup> 영상의 에지 검출<sup>[6]</sup> 및 광 컴퓨팅<sup>[7]</sup> 등이 있으며 주로 2광파 혼합(two-wave mixing)과 4광파 혼합(four-wave mixing)의 방법으로 구현된다. 최근에 광 패턴인식을 위한 정합 필터의 기록 매질로서 광굴절 매질을 사용하는 광 상관기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 광굴절 상관기의 종류에는 VLC(Vander Lugt Correlator)형, JTC(Joint Transform Correlator)형, RC(Reflection-type Correlator)형 등이 있으며, 이들은 입력 영상과 기준 영상의 정합에 의해 영상을 인식하게 된다.<sup>[8]</sup> 매질에 저장되는 기준 영상은 영상을 투과한 물체파와 기준빔인 평면파와의 간섭에 의해 기록된다. 이때 입력 영상의 위치가 기준 영상이 매질에 기록될때의 위치와 일치해야 영상을 인식할 수 있는 브래그 조건을 만족하여 원하는 상관결과를 얻을 수 있다. 만약 입력 영상의 위치가 변하면 브래그 조건이 만족되지 않아 상관출력세기에 큰 영향을 주므로 변이불변 특성이 제한된다.

본 논문에서는 광굴절 상관기의 가장 큰 제한요소인 변이불변 특성을 개선시키기 위하여, 기존의 광 실험에서 입력 장치로 사용되는 LCTV에서 액정판 뒤의 편광기를 제거하여 순수한 위상(편광) 변조기로 사용하였다. 이진 영상의 밝기정보를 위상정보로 변환하여 입력 영상으로 사용하면 기준 영상의 저장과 상관시에 광 경로가 변하지 않아 항상 브래그 조건을 만족하게 되므로 입력 영상의 변이에 상관없이 원하는 상관출력을 얻을 수 있다. 또한 LCTV에 이진 영상의 밝기정보가 위상정보로 변환되어 표현되므로 입사되는 레이

저 빔이 모두 투과할 수 있으므로 광효율이 개선되어 매질에 기준 영상을 저장하는 기록시간이 단축되고 상관출력 침투치도 증가하게 된다. 제한한 변이불변 광굴절 상관기의 상관출력을 컴퓨터 시뮬레이션과 광 실험을 통해 비교, 분석해 보았다. 광 실험은 광굴절 결정 중 전기광학 계수가 매우 큰 BaTiO<sub>3</sub>를 사용하였다.<sup>[9]</sup>

II. 광굴절 홀로그램을 이용한 광 상관기

1. 실시간 홀로그램을 이용한 광 패턴인식의 기본 원리

광굴절 상관기에 대한 기본 구성도는 그림 1과 같다. 먼저, 기준 영상을 기록하기 위해 셔터 S를 열면 기준 영상  $u_1$ 과 평면파  $u_2$ 에 의해 광굴절 결정 내에서 간섭이 일어나는데 그 간섭세기는

$$I = |U_1 + u_2|^2 = |U_1|^2 + |u_2|^2 + u_2^* U_1 + u_2 U_1^* \tag{1}$$

와 같다. 여기서  $U_1$ 은 푸리에 변환 렌즈  $L_1$ 에 의한  $u_1$ 의 푸리에 변환 영상이다. 광굴절 결정 내에는 간섭세기 분포  $I$ 에 의해 공간 전하장이 유기되고 그에 비례하는 굴절률 변화  $\Delta n$ 으로 인한 위상 격자가 결정 내에 기록된다. 이러한 광굴절 효과에 의해서 결정 내에 형성되는 위상 홀로그램은

$$\Delta n \propto I \tag{2}$$

와 같다. 이렇게 기록된 정합 필터와 임의의 입력 영상 간의 상관은 셔터를 닫고 입력 영상  $u_3$ 를  $u_1$ 방향으로 입사시키면, 매질에 기록된 위상 격자에 의해 회절되어

$$U_4 = \Delta n U_3 \propto I U_3 = (|U_1|^2 + |u_2|^2) U_3 + u_2^* U_1 U_3 + u_2 U_1^* U_3 \tag{3}$$

와 같이 나타나게 된다. 이때 기록시의  $u_2$ 방향과 같은 방향으로 나오는 빔은 식 (3)의 마지막 항으로 표현되며,  $L_2$ 에 의해 푸리에 역변환되어 상관 출력은

$$u_4 = \mathcal{F}^{-1}\{u_2 U_1^* U_3\} = \delta_2 \otimes (u_1 \star u_3) \tag{4}$$

와 같다. 여기서,  $\delta_2$ 는 평면파  $u_2$ 의 푸리에 변환인 임

펄스 함수이며  $\otimes$ 와  $\star$ 는 각각 상승적분과 상관적분을 나타낸다.

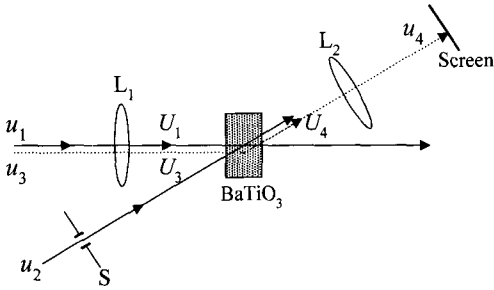


그림 1. 광굴절 상관기의 기본 구성도  
Fig. 1. Schematic configuration of a photorefractive correlator.

2. 광굴절 상관기의 변이불변 특성 제한

광굴절 상관기는 브래그 각도정합 조건에 의해 변이불변 특성이 제한된다. 입력 영상의 위치가 기준 영상이 매질에 기록될 때의 위치와 동일해야만 브래그 조건이 만족되어 정확한 상관결과를 얻을 수 있다.

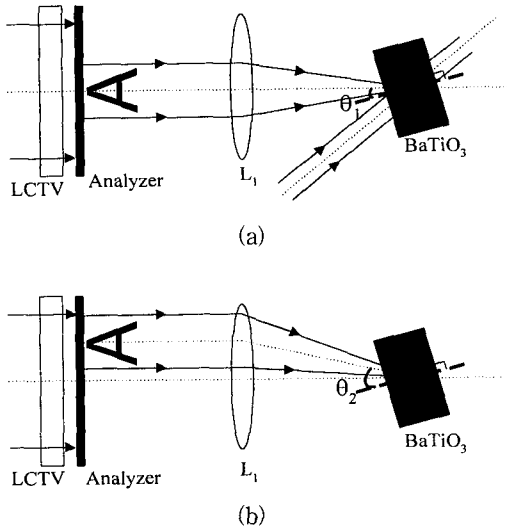


그림 2. LCTV를 진폭 변조 방식으로 사용한 광굴절 상관기 (a) 기준 영상의 기록 (b) 변이된 입력 영상에 대한 상관결과와 재생  
Fig. 2. Photorefractive correlator using an amplitude modulated LCTV. (a) recording of a reference image, (b) reconstruction of correlation result for shifted input image

입력 공간 광변조기(spatial light modulator; SLM)인 LCTV를 광 진폭 변조기로 사용한 광굴절

상관기의 구조는 그림 2(a)와 같다. 액정판에 의해 위상 변조된 영상이 바로 뒤의 편광판에 의해 진폭 변조 영상으로 바뀌므로 영상이 존재하는 위치에는 빛이 투과하고 배경에는 빛이 투과하지 않는다. 그림 2(b)에서 처럼 변이된 입력 영상이 들어오면 기준 영상에 의해 기록된 위상격자와 각도 정합이 일어나지않아 원하는 밝기의 상관결과가 나타나지 않으므로 변이된 입력 영상에 대한 변이불변 특성이 제한된다.

3. 변이불변 특성이 개선된 제안한 광굴절 상관기

본 논문에서는 광굴절 상관기의 변이불변 특성을 개선하기 위해 그림 3과 같이 편광기를 제거한 LCTV를 사용하였다. 입사빔의 밝기정보를 위상정보로 변환하게되어 영상의 형태에 상관없이 투과된 입사빔의 밝기가 일정하며, LCTV에 변이된 영상이 인가되어도 푸리에 변환렌즈 다음의 빔의 경로는 변하지 않기 때문에 기록빔과 입력빔 모두 항상 동일한 각도로 결정에 입사한다. 따라서 변이된 입력 영상에 대한 상관 침투치가 변이된 위치에 재생되는 변이불변 특성을 가진다고 할 수 있다.

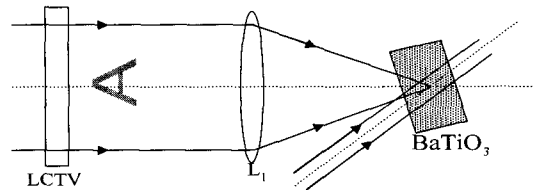


그림 3. LCTV를 위상 변조 방식으로 사용한 광굴절 상관기  
Fig. 3. Photorefractive correlator using a phase modulated LCTV.

먼저 LCTV의 위상 정보 특성을 알아보기 위해 Mach-Zehnder 간섭 실험을 하였고 이를 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a), (c)는 Mach-Zehnder 간섭계의 한 쪽 경로에 인가되는 입력 패턴을 나타내며, 입력 패턴의 밝기에 따라 LCTV에 인가되는 전압이 각각 다르게 된다. 그림에서 어두운 부분에는 높은 전압이 인가되고, 낮은 부분에는 낮은 전압이 인가된다. 그림 4(c)에서 수평막대 모양의 밝기는 256레벨중 192, 128, 0을 나타낸다. 그림 4(b), (d)는 간섭 패턴을 나타내는데, 간섭 패턴의 어긋나는 정도가 인가되는 전압의 정도에 따라 차이가 남을 알 수 있다. 간섭 패턴에서 밝기가 다르게 나타나는데, 이는 빔의 전체 밝기

가 균일하지 않기 때문이다. 그림 4(b)에서 0레벨이 인가되었을 때 ‘ $\pi$ ’ 만큼 위상차가 남을 알 수 있다.

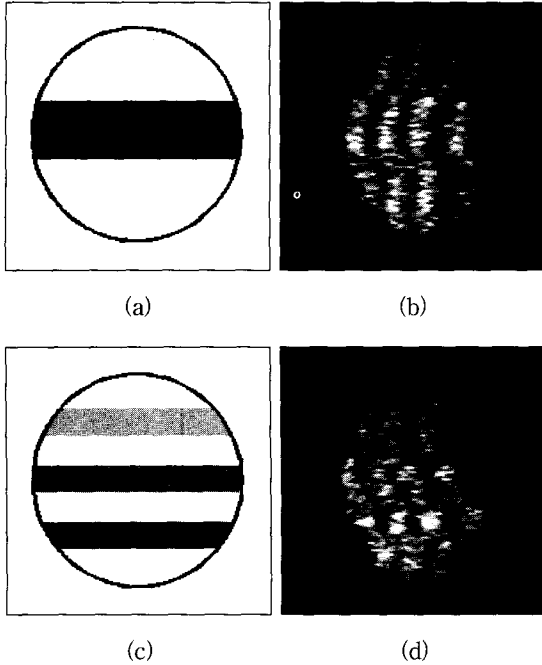


그림 4. LCTV에 인가되는 입력 패턴과 간섭 무늬 (a) 256 레벨 중 0 레벨의 입력 패턴 (b) 그림 4(a)의 입력 패턴에 대한 간섭 무늬 (c) 256 레벨 중 192, 128, 0 레벨의 입력 패턴 (d) 그림 4(c)의 입력 패턴에 대한 간섭 무늬

Fig. 4. Input patterns applied on the LCTV and interferograms: (a) input pattern with 0 level of 256, (b) interferogram for input pattern of Fig. 4(a), (c) input pattern with 192, 128, 0 level of 256, (d) interferogram for input pattern of Fig. 4(c).

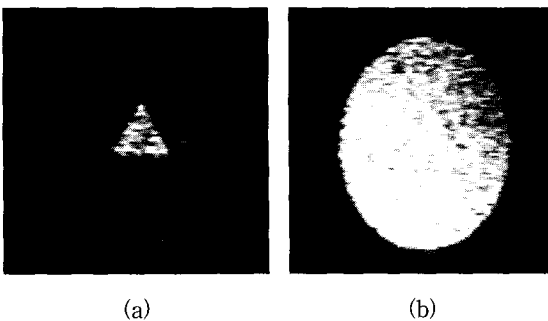


그림 5. 입력 영상 (a) 기존의 방법 (b) 제안된 방법  
Fig. 5. Input image: (a) conventional method, (b) proposed method.

그러므로 LCTV를 위상 변조기로 사용할 수 있으며, 입력의 밝기 정보를 위상 정보로 변환할 수 있다. 그

림 5는 입력 영상으로 사용된 패턴이다. 그림 5(a)는 기존의 방법으로 LCTV를 크기 변조기로 사용했을 경우의 입력 영상이고, 그림 5(b)는 LCTV를 위상 변조기로 사용했을 경우의 입력 영상을 나타낸다. 그림 5(b)로부터 제안된 입력 방법은 영상의 명암이나 형태에 상관없이 항상 균일한 밝기의 입력빔 세기를 생성할 수 있음을 알 수 있다.

제안한 방법의 상관 성능을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기존의 인식 방법과 비교하였다. 각 시뮬레이션의 인식 방법은 정합 필터링을 이용하였는데, 영상의 부호화 방식에 차이가 난다. 그림 6(a)는 매질에 기록된 기준영상이며 (b)는 입력 영상이다. 진폭 변조된 영상을 표현하기 위해 영상의 내부는 “1”, 배경은 “0”으로 나타내어 이진 진폭 영상으로 하였고 상관결과는 그림 6(c)와 같다. 제안한 방법인 위상 변조된 영상을 사용하기 위하여 영상 내부는 “1”, 배경은 “-1”로 표현하여 180° 위상차가 나는 이진 위상 영상으로 나타내었으며 상관결과는 그림 6(d)와 같다.

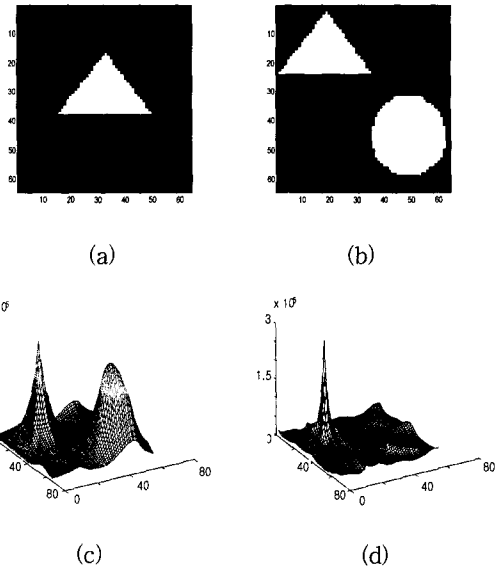


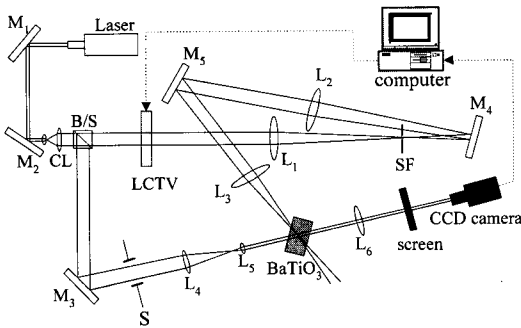
그림 6. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 상관결과 (a) 기준 영상 (b) 입력 영상 (c) 진폭 변조된 영상을 사용한 경우의 상관결과 (d) 제안한 방법에 의한 위상 변조된 영상을 사용한 경우의 상관결과

Fig. 6. Correlation result by computer simulation. (a) reference image, (b) input image, (c) correlation result using an amplitude-modulated image, (d) correlation result by proposed method using a phase-modulated image.

그림 6(d)의 결과는 바이어스 DC값을 없애주기 위해 기준 영상에만 DC항을 제거했을 때의 결과이다. 그림 6(c)와 (d)의 상관 계수치는 각각  $1.1 \times 10^5$ 과  $2.8 \times 10^5$ 으로 제안한 방법이 3배정도 광효율이 증가됨을 확인할 수 있다. 또한 그림 6(d)에서 인식하고자하는 삼각형 위치에서의 상관치가 원형 위치에서의 상관치보다 매우 크다. 그러므로 제안한 방법의 상관결과가 진폭 변조 영상을 이용한 상관결과에 비하여 변별력이 우수하여 인식 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

### III. 광 실험 결과 및 고찰

제안한 위상 변조 방식을 이용한 광굴절 상관기의 광 실험 구성도는 그림 7과 같다. 실험에 사용된 광원은 출력이 22mW이고 파장이 632.8nm인 He-Ne 레이저이며, 광굴절 매질로는 BaTiO<sub>3</sub> 단결정을 사용하였다. BaTiO<sub>3</sub> 결정은 기록속도는 상대적으로 느리지만 전기광학 계수가 커서 다른 종류의 결정에 비해 회절 효율이 매우 큰 편이다.



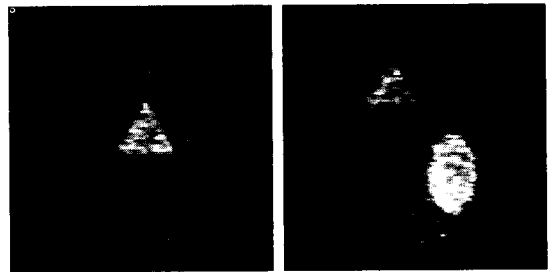
- CL : Collimating Lens
- B/S : Beam Splitter
- S : Shutter
- SF : Spatial Filter
- M1, M2, M3, M4, M5 : Mirror
- L1, L2, L3, L4, L5, L6 : Lens

그림 7. 변이불변 패턴인식을 위한 광굴절 상관기의 실험 구성도

Fig. 7. Schematic diagram of the experimental system of photorefractive correlator for shift-invariant pattern recognition.

실험에 사용한 BaTiO<sub>3</sub> 결정( $4.8 \times 5.8 \times 6.0 \text{mm}^3$ )은 정상빔과 이상빔에 대한 굴절률이 각각  $n_o=2.437$ ,  $n_e=2.365$ 이고, 전기광학 계수  $r_{42}$ ,  $r_{33}$ ,  $r_{13}$ 이 각각 1640, 97, 19.5 pm/V이며 c-축이 5.8mm에 평행한

육면이 연마된 결정체이다. 빔 사이의 입사각도는 45°이고 신호빔과 평면파의 세기는 각각  $456, 320 \mu\text{W}$ 이며 이득계수는 0.7 /mm, 회절효율은 약 30 %이다. 레이저에서 나온 빔은 광속 분리기(beam splitter; BS)에 의해 두 빔으로 나뉘어지며 투과되는 빔을 신호빔으로, 반사되는 빔을 기준빔인 평면파로 사용하였다. LCTV의 화소 격자로 인한 푸리에 평면 상의 고차성분과 정합 필터를 기록 할 때의 DC성분을 제거하기 위해 푸리에 평면 마스크 SF를 사용하였다. 입력 장치로는 해상도가  $240 \times 220$ 인 Epson사의 LCTV를 사용하였고 출력단에서는 CCD 카메라를 사용하여 스크린에 맺히는 상관 출력을 얻었다.



(a) (b)

그림 8. 광실험에 사용한 영상 (a) 기준 영상 (b) 입력 영상

Fig. 8. Images used for optical experiment: (a) reference image, (b) input image.

그림 8은 실험에 사용된 기준 영상과 입력 영상이며, 실제로는 밝기 정보를 위상 정보로 변환하여 균일한 빔을 입력시켰다. 그림 9는 광 실험 결과이다. LCTV에 올려진 기준 영상과 입력 영상은 기준 방법과 제안한 방법의 자기상관 결과를 비교하기 위해 시퀀스레이션에서 사용한 그림 8(a)의 영상을 사용하였다. LCTV를 진폭 변조 방식('1, 0'인 이진 진폭 영상으로 표현)으로 사용하였을 때의 실험 결과는 그림 9(a)이며 위상 변조 방식('1, -1'인 이진 위상 영상으로 표현)으로 사용했을 때의 실험 결과는 그림 9(b)이다. 그림 9(c)는 변이된 두 다각형을 포함하는 그림 8(b)를 입력 영상으로 사용하였을 때의 상관 결과이다. 그림 9(a)와 비교하여 그림 9(b)의 상관세기가 더 밝으므로 제안한 방법의 광 효율이 우수함을 알 수 있다. 그리고 그림 9(c)에서 변이된 기준 영상의 위치에서 상관세기가 나타나므로 변이불변 특성을 가지고 있고, 정합되지 않는 영상의 위치에서는 상관세기가 상대적

으로 약하므로 그림 6(d)의 시물레이션 결과에서와 같이 구별 인식이 가능함을 확인할 수 있다. 그림 9(c)에서 정합된 물체와 정합되지 않은 물체의 실제 상관첨두치의 비는 50 : 19 (임의 단위)로 그림 6(d)의 시물레이션 결과에 비해 성능이 떨어져 개선의 여지가 있으나 변이불변 특성을 확인할 수 있다. 그리고 LCTV의 위상 변조 능력이 선형적이지 못하고, CCD 카메라로 영상을 획득하였으므로 재생된 상관결과의 영상이 선명하지 못하다. 만약 성능이 좋은 LCTV와 CCD 카메라를 사용한다면, 보다 깨끗한 결과를 실시간으로 얻을 수 있을 것이다.

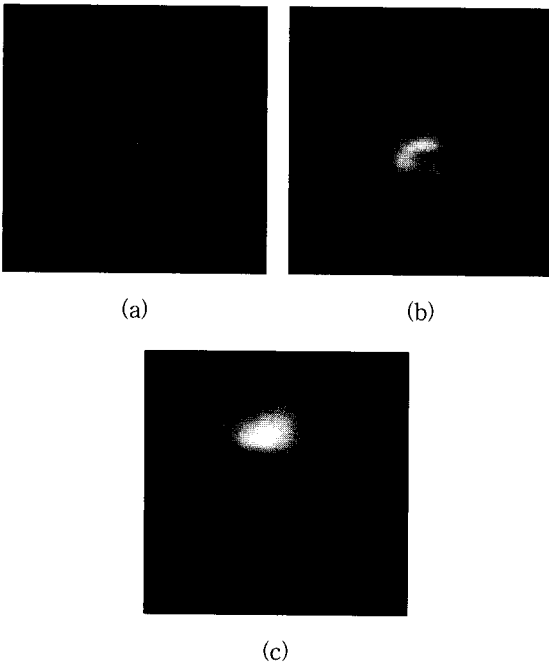


그림 9. 광 실험 결과 (a) LCTV를 진폭 변조 방식으로 사용한 경우의 그림 8(a)에 대한 자기상관 결과 (b) LCTV를 위상 변조 방식으로 사용한 경우의 그림 8(a)에 대한 자기상관 결과 (c) 그림 8(b)의 입력 영상에 대한 상관 결과

Fig. 9. Optical experiment results: (a) autocorrelation result for Fig. 8(a) using an amplitude modulated LCTV, (b) autocorrelation result for Fig. 8(a) using a phase modulated LCTV, (c) correlation result for input image of Fig. 8(b).

#### IV. 결 론

본 논문에서는 기존 광굴절 상관기의 가장 큰 제한 요소인 변이불변 특성을 개선하기 위해 입력 장치인

LCTV를 위상 변조 방식으로 사용하는 광굴절 상관기를 제안하였으며, 광 실험 결과로부터 변이불변 특성이 개선됨을 확인하였다. 또한 위상 변조 방식을 이용함으로써 광 효율이 증가되고 변별력도 우수함을 확인할 수 있었다. 그리고 부가적으로, 높은 광 효율로 인해 광굴절 결정 내의 홀로그램의 기록 시간이 단축됨을 확인할 수 있었다. LCTV의 화소 격자로 인한 푸리에 평면 상의 고차성분, 그리고 정합 필터를 기록할 때의 DC성분을 동시에 제거하기 위해 푸리에 평면에 마스크를 사용하여 시물레이션 환경과 동일하게 하였다. 상관결과를 확인하는데 걸리는 시간은 기계적 작동시간을 제외하면 2~3초 정도가 소요되는데 주로 결정내의 기록시간과 LCTV의 주사시간에 좌우된다. 그러므로 고출력의 레이저 광원과 고속의 LCTV를 사용한다면 응답시간은 더욱 단축될 것이다. 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 각도 다중화로 여러 개의 기준 영상을 기록하면, 입력 영상에 대한 각각의 상관결과를 동시에 재생할 수 있는 실시간 다중물체 인식 광시스템을 구현할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] N. V. Kukhtarev, V. B. Markov, S. G. Odulov, M. S. Soskin, and V. L. Vinetskii, "Holographic storage in electrooptic crystal. I. Steady state," *Ferroelectrics*, vol. 22, pp. 949-960, 1979.
- [2] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E. G. Paek, "Volume holographic memory systems: techniques and architecture," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 8, pp. 2193-2203, Aug., 1995.
- [3] J. O. White and A. Yariv, "Real-time image processing via four-wave mixing in a photorefractive medium," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 37, no. 1, pp. 5-7, July, 1980.
- [4] D. Z. Anderson and J. Feinberg, "Optical Novelty Filters," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. 25, no. 3, pp. 635-647, March, 1989.
- [5] Y. Fainman, E. Klancnik, and S. H. Lee, "Optimal coherent image amplification by two-wave coupling in photorefractive BaTiO<sub>3</sub>," *Opt. Eng.*, vol. 25, no. 2, pp.

228-234, Feb., 1986.

[6] J. Feinberg, "Real-time edge enhancement using the photorefractive effect," *Opt. Lett.*, vol. 5, no. 8, pp. 330-332, Aug., 1980.

[7] S. Rehman and M. S. Zubairy, "Digital logic operations and half-adder in photorefractive material," *Opt. Comm.*, vol. 106, no.1, 2, 3, pp. 25-28, March, 1994.

[8] F. T. S. Yu and S. Yin, "Bragg diffraction-limited photorefractive crystal-based correlators," *Opt. Eng.*, vol. 34, no. 8, Aug., 1995.

[9] 임중환, "광굴절 매질에서 2광파 혼합을 이용한 영상의 특징점 추출," *경북대학교 석사학위 논문*, 1996

저 자 소 개



金星完(正會員)

1973年 7月 29日生 1996년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1998년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는

광굴절 홀로그래프 및 실시간 광 패턴인식

金種鑽(正會員) 第 35卷 D編 第 2號 參照

1992년 3월 ~ 현재 경북전문대학 전자과 조교수. 주관심분야는 광신호처리 및 형태인식

李承熙(正會員)

1964年 12月 22日生 1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 졸업(공학박사). 1994년 3월 ~ 현재 대경전문대학 정보통신과 조교수. 주관심분야는 광신호처리 및 패턴인식

金喆洙(正會員) 第 33卷 B編 第 11號 參照

1998년 3월 ~ 현재 경주대학교 정보통신공학과 전임강사. 주관심분야는 광신호처리, 광메모리, 및 광통신



金鍾允(正會員)

1971年 10月 11日生 1995년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 3월 ~ 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는

광 패턴인식, 홀로그래프 및 광메모리

金秀重(正會員) 第 33卷 B編 第 7號 參照

현재 경북대학교 전자공학과 정교수