

論文95-32A-10-7

## BPEJTC를 이용한 광 영상 스위칭 시스템

## (Optical Image Switching System based on BPEJTC)

李相二\*, 李丞玄\*, 楊勳其\*\*, 金恩洙\*

(Sang-Yi Yi, Seung-Hyun Lee, Hoon-Gee Yang, and Eun-Soo Kim)

## 요약

본 논문에서는 실시간 처리가 가능한 위상형 상관기인 BPEJTC를 이용하여 새로운 광 영상 스위칭 시스템을 제시하였다. 광 영상 스위칭 과정은 먼저, 스위칭할 출력 위치의 매핑함수를 갖는 위상형 공간 필터 마스크를 BPEJTC 과정에서 발생하는 JTPS를 사용하여 구성된 다음 공간 주파수 평면에서 입력 영상과 콘볼루션을 통해 출력 위치정보를 전달하게 된다. 따라서, 입력 영상은 출력 평면에서 상관 침투치가 발생하는 임의의 위치로 스위칭되어 영상 복원이 이루어지게 된다. 그리고, 제시된 광 영상 스위칭 시스템은 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 토대로 실제 광-디지털적으로 구성하고 광학 실험을 통해 BPEJTC를 이용한 다중 영상 스위칭의 실시간 구현 가능성을 실험적으로 제시하였다.

## Abstract

In this paper, a new real-time optical image switching system based on the phase-typed BPEJTC is suggested. The phase filter mask which has the arbitrary position mapping function between input and output planes is constructed by using the modified JTPS of the BPEJTC. Then, the input image is convolved with this phase filter mask in the spatial frequency domain and through further Fourier transform the input image is switched to the new positions in the output correlation plane where the correlation peaks are occurred. And, based on the computer simulation results, the practical optical switching system is opto-digitally constructed and through some experiments on image switching the possibility of real-time implementation of the multiple optical image switching system by using the BPEJTC is suggested.

## I. 서론

광 신호 처리를 이용하여 입력 광을 원하는 위치로 스위칭하거나, 하나의 영상을 다중 위치에서 복원하는

기술은 광 영상 스위칭, 광 연결, 광 컴퓨팅, 광 논리 시스템 등에서 매우 중요하게 취급되고 있다. 특히, 최근 들어 급속하게 발전하고 있는 실시간 공간 광 변조기(SLM: spatial light modulator)와 고속 CCD 카메라 기술은 광-디지털 하이브리드 시스템의 발달을 가속화하여 광소자를 이용한 실시간 처리 기술을 한층 발전시키고 있다. 즉, 홀로그램 필름을 이용하였던 기존의 홀로그래피를 실시간 홀로그래피로 발전시켜 3차원 디스플레이 시스템을 구성하였으며,<sup>[1]</sup> JTC(joint transform correlator)를 이용한 실시간 표적 추적

\* 正會員, 光云大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.)

\*\* 正會員, 光云大學校 電波工學科

(Dept. of Radio Science and Eng., Kwangwoon Univ.)

接受日字: 1995年3月29日, 수정완료일: 1995年9월14일

및 인식 시스템의 가능성 또한 제시된 바 있다.<sup>[2]</sup> 그러나, 광 스위칭 분야에서는 아직까지 핀홀(pinhole) 렌즈, 일명 파리눈(fly's-eye) 렌즈라 불리는 렌즈 배열 등을 이용하거나,<sup>[3]</sup> 위상형 홀로그램에 핀홀 배열을 복소공역으로 기록시키는 방법<sup>[4]</sup> 등을 이용하고 있으나 구성과 제작이 복잡하여 그 실질적인 응용이 제한되고 있다. 또한, 최근에는 컴퓨터를 이용하여 위상 격자를 기록시키는 방법이 응용되고 있으나 방대한 계산량으로 인하여 제작시 지나치게 많은 시간을 요구하고 있다.<sup>[5]</sup>

따라서, 실질적인 실시간 광 영상 스위칭을 위해서는 실시간 홀로그래피, JTC 기술 등과 같은 새로운 접근 방식이 요구되고 있다. 이중 실시간 상관기인 JTC는 비교적 저해상도의 광학 소자로 구성이 가능하고 입력 영상의 위치를 기준 영상에 대하여 상대적인 거리 위치에 나타낼 수 있으며, 다중 입력영상의 위치까지도 표현할 수 있으므로 광 영상 스위칭의 응용 가능성이 제시되고 있다.<sup>[6]</sup> 그러나, 기존의 JTC는 자기상관, 동일평면 이중상관, 낮은 peak-to-sidelobe 등으로 실질적인 응용이 제한됨에 따라 기존 JTC의 JTPS(joint transform power spectrum)를 이진화하거나 비선형 특성을 부여하는 등의 상관효율 개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[7-9]</sup> 대표적으로, 이동 표적 추적을 위하여 기존의 JTC에서 위상형 상관기로 발전한 BPEJTC(binary phase extraction JTC)<sup>[2,9]</sup>는 POC(phase only correlator)<sup>[10]</sup>와 유사한 매우 높은 상관 판별력을 나타낸 바 있다. 따라서, 본 논문에서는 BPEJTC의 JTPS가 이진 위상 회절 격자로 구성된다는 특성을 이용하여 새로운 형태의 광 영상 스위칭 시스템을 제시하고자 한다. 즉, 광 스위칭을 위하여 위상 JTPS를 스위칭할 출력 위치의 매핑함수를 갖는 공간 주파수 필터 마스크로 구성하여 이용하고, 스위칭은 영상간에 거리차인 상관 침투치가 나타내는 위치정보를 담고 있는 필터를 입력 영상과 콘볼루션(convolution)시켜 영상에 위치 정보를 전달하여 임의의 위치에서 복원하는 과정으로 이루어진다.

위상형태로 구성되는 특성상 상관 침투치의 수가 증가하여도 전체 에너지 변화는 없으며, 복원영상의 해상도에는 영향을 미치지 않고 복원되는 영상의 수만이 증가하게 된다. 스위칭되는 위치가 순수하게 상관 침투치 위치에 종속되어 있으므로 상관시키는 영상을 배치시키는 위치 및 개수에 따라서 영상을 하나 또는 그

이상의 다양한 위치에서 복원시킬 수 있다. 복원 결과는 다초점 렌즈 혹은 위상 회절 격자를 이용하는 것과 같이 여러 위치에서 영상을 복원시키는 효과를 얻을 수 있으며<sup>[11]</sup>, 그 외에 다초점 렌즈로 표현하기 어려운 임의의 위치에서도 영상의 복원이 가능하다. 이와 같이 영상을 스위칭하고자 하는 위치가 상관기 입력에 영향을 받고 있으므로 BPEJTC의 특성상 스위칭 필터를 실시간으로 제작할 수 있다. 특히, 상관을 야기시킨 요인 중에도 동일 영상에 의한 부분으로만 스위칭이 발생하므로 잡음등 외부 영향에 적응적으로 필터 제작이 가능하게 된다. 따라서, 비디오 카메라 입력을 받아 계속적으로 상관을 발생시키며 필터를 구성하게 되면, 외부에서 주는 신호에 따라 실시간적 영상 스위칭이 가능하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 새로이 제시된 BPEJTC 광 영상 스위칭 시스템에 관한 이론적 분석과 시스템의 성능을 분석하기 위하여 광-디지털적으로 시스템을 구성하고 하나의 영상을 상관기가 지정하는 하나 혹은 그 이상의 위치로 스위칭시키는 컴퓨터 시뮬레이션 및 광학 실험 결과를 비교 분석하고자 한다.

## II. 광 스위칭 시스템

### 1. 영상 스위칭 필터

JTC는 입력 및 기준영상을 하나의 입력평면에 구성하고 동시에 푸리에 변환하여 광 간섭 세기를 검출한 이후 다시, 역푸리에 변환함으로써 광학적으로 상관 결과를 얻을 수 있다. JTC는 푸리에 입출력 모두가 실수형태로 구성되므로 LCTV(liquid crystal television), LCLV(liquid crystal light valve) 등과 같은 공간 광 변조기를 이용하여 입력평면을 구성하고, CCD 등과 같은 에너지 검출기를 이용하여 출력 시스템을 구성함으로써 비디오 프레임으로 구성이 가능하게 된다.<sup>[12]</sup>

그림 1은 공간 광 변조기를 입력 장치로 구성하고, 푸리에 변환 렌즈와 CCD 카메라를 이용하여 푸리에 변환 결과를 광 간섭 세기로 얻는 BPEJTC의 기본 시스템을 나타내는 것이다. 푸리에 입력평면을 구성하는 SLM1, SLM2, SLM3는 상하로 이단 분리되어 두 개의 평면으로 구성되고 있는데, 편의상 상단을 입력평면, 하단을 기준평면으로 설정하였다. SLM1의 푸리에

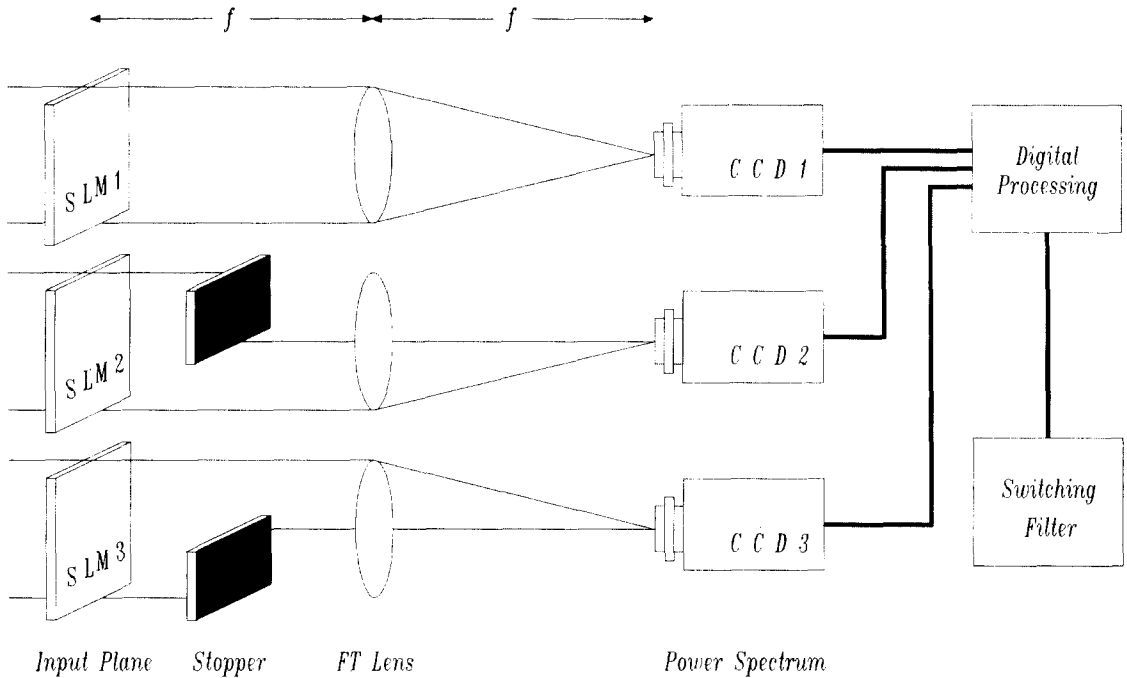


그림 1. 스위칭 필터 합성을 위한 광 BPEJTC 시스템  
 Fig. 1. Optical BPEJTC system for switching filter synthesis.

변환된 결과(JTPS)는 CCD1에서 검출된다. SLM2와 SLM3의 푸리에 변환된 결과는 입력과 기준 영상 각각에 대한 파워스펙트럼으로 CCD1, CCD2, CCD3에서 각각 검출된다. JTPS와 각각 평면의 파워스펙트럼을 입력받은 디지털 처리부에서는 상관 출력을 delta 함수로 발생시킬 수 있는 특성을 부여한 스위칭 필터를 제작하게 되는데 이는 최종적으로 제작되는 필터는 실수 값으로 구성됨에도 불구하고 SLM1 평면에 존재하는 영상간의 거리차를 나타낼 수 있는 위상 함수가 된다.

주파수 공간에서 복소 함수로 표현되는 거리 함수를 실수 함수로 표현하는 과정을 보다 자세히 살펴보기 위하여 SLM1의 입력과 기준평면에 존재하는 영상간에 간격이  $(\delta x, \delta y)$  만큼 분리되어 있다고 가정하면 각각의 평면에 포함된 영상은 식(1)과 식(2)로서 나타낼 수 있다.

$$p_r(x, y) = t_1(x, y) \tag{1}$$

$$p_s(x, y) = t_2(x - \delta x, y - \delta y) \tag{2}$$

식(1)에서  $t_1(x, y)$ 는 기준 평면  $p_r(x, y)$ 내에 포함된 영상을 나타내고 있으며, 식(2)의  $t_2(x - \delta x, y - \delta y)$ 는  $t_2(x, y)$ 가  $t_1(x, y)$ 과  $(\delta x, \delta y)$  만큼 분리되어 입력평면  $p_s(x, y)$ 에 존재하는 것을 나타낸다. 이와 같이 구성된 영상을 동시에 푸리에 변환하여 CCD1에서 얻는 JTPS는 식(3)과 같이 각 평면의 푸리에 변환 합의 제곱으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} E(u, v) &= |P_r(u, v) + P_s(u, v)|^2 \\ &= |T_1(u, v)|^2 + |T_2(u, v)|^2 + |T_1(u, v)||T_2(u, v)| \\ &\quad \{ \exp[ j(\phi_1 - \phi_2 - 2\pi(u\delta x + v\delta y))] \\ &\quad + \exp[ -j(\phi_1 - \phi_2 - 2\pi(u\delta x + v\delta y))] \} \end{aligned} \tag{3}$$

여기서,  $P_r(u, v)$ 과  $P_s(u, v)$ 는 기준 및 입력평면의 푸리에 변환을 나타낸다.  $|T_1(u, v)|$ 와  $|T_2(u, v)|$ 는 각 평면에 존재하는 영상  $t_1(x, y)$ 과  $t_2(x, y)$ 의 푸리에 변환에 의한 진폭성분을 나타낸다. 지수함수로 표현된 항에서  $\exp(j\phi_1)$ 와  $\exp(j\phi_2)$ 는  $t_1(x, y)$ 과  $t_2(x, y)$ 의 위상성분을 나타내며,  $\exp[ j2\pi(u\delta x + v\delta y)]$ 는 두 영상간의 거리 차

이에 따른 위상성분을 나타낸다. 따라서, 역푸리에 변환에 의하여 상관결과를 얻을 수 있다. 영상 스위칭을 위하여 필요한 성분은 두 영상간의 거리차이므로 각 평면내 영상을 동일한 것으로 가정한다. 즉,  $t_1(x, y) = t_2(x, y) = t(x, y)$ 로 놓으면, 식(3)은 식(4)로써 나타낼 수 있다.

$$E(u, v) = 2|T(u, v)|^2 + |T(u, v)|^2 \{ \exp[ j2\pi(u\delta x + v\delta y)] + \exp[ -j2\pi(u\delta x + v\delta y)] \} \quad (4)$$

식(4)의 첫번째 항은 영상 자체의 자기상관에 해당하는 양으로써 위상성분이 존재하지 않으므로 상관평면에서 DC와 함께 나타나게 되므로 그림1에 따라 JTPS와 입력평면 및 기준평면의 파워스펙트럼을 구하여 기하학적으로 빼는 것만으로 간단히 제거될 수 있다. 결과적으로, 재구성된 JTPS는 순수하게 서로 다른 평면에 존재하는 영상간의 상관량만이 남게 된다.<sup>[8]</sup>

$$E_{NEW}(u, v) = |T(u, v)|^2 \{ \exp[ j2\pi(u\delta x + v\delta y)] + \exp[ -j2\pi(u\delta x + v\delta y)] \} = 2|T(u, v)|^2 \cos\{2\pi(u\delta x + v\delta y)\} \quad (5)$$

식(5)에 나타낸 JTPS에서는 자기 상관량은 제거되어 있으나, 진폭 성분이 남아 있는 상태로서 두개의 VanderLugt의 공간정합필터<sup>[13]</sup>를 이용한 것과 같은 구조로 이루어져 있으므로 역푸리에 변환에 의해 얻는 상관결과에는 진폭 성분이 sidelobe를 발생시키게 된다. 순수하게 위상에 의한 상관 결과를 얻기 위해서는 JTPS에서 진폭성분을 미리 제거하고 역푸리에 변환할 필요가 있다. 이것은 영상  $t(x, y)$ 의 파워스펙트럼을 이용하여 식(5)를 나누는 것으로 가능하다. 결과적으로 얻은 값은 연속적인 값이 되어 기존의 공간 광 변조기를 이용한 표현이 어렵게 된다.

극성의 관점에서 식(5)를 살펴보면 새로이 구성된 JTPS의 극성 변화는 cosine 함수에 완전히 의존되고 있음을 알 수 있다. 따라서, 식(6)과 같이 cosine 값을 따라 양극화하게 되면 cosine 함수의 위상각이  $\pi$  혹은  $-\pi$ 을 나타내는 양극성 위상을 추출할 수 있다.<sup>[8]</sup>

$$E_{BPE}(u, v) = \begin{cases} 1 & \cos(2\pi(u\delta x + v\delta y)) \geq 0 \\ -1 & \cos(2\pi(u\delta x + v\delta y)) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

식(6)에 나타낸 결과가 식(5)에서 위상항만을 추출한 것과 완전히 동일할 수는 없으나, BPOF(binary phase only filter)<sup>[14]</sup>가 POE(phase only filter)<sup>[15]</sup>를 표현할 수 있었던 것과 같이 식(5)의 위상항에 고차 고조파 신호가 부가된 형태로 해석할 수 있다. 양극성 JTPS는 음의 값을 지니므로 보다 일반적인 공간 광 변조기를 이용하기 위하여 식(6)을 식(7)과 같이 이진 위상 값으로 대체하면 광학적으로 표현이 가능하게 된다.

$$E_{BPE}(u, v) = \begin{cases} 1 & \cos(2\pi(u\delta x + v\delta y)) \geq 0 \\ 0 & \cos(2\pi(u\delta x + v\delta y)) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

JTPS가 식(7)과 같이 변환되면 cosine 함수의 위상각은 0 혹은  $\pi$ 가 되어 일반적인 공간 광 변조기가 나타낼 수 있는 위상표현 범위에서 값을 표현할 수 있게 된다. 위상 신호만으로 구성된 JTPS에 의한 상관 값은 영상에 의한 성분은 제거되고 순수하게 거리차에 의한 신호만이 존재하므로 상관 침투치는 delta 함수로 나타나게 된다.

따라서, 이와 같이 이진 위상 신호로 구성된 스펙트럼을 시스템 함수로 이용하면 주파수 공간에서 스위칭할 출력 위치의 매핑함수를 갖는 스위칭 필터 마스크로 작용하게 되며, 공간 주파수 평면에서 임의의 영상과 콘볼루션시킴으로써 임의의 영상에 위치 정보를 전달할 수 있게 된다.

## 2. 영상 스위칭

본 논문에서 구성하는 영상 스위칭 방식은 푸리에 변환을 통하여 이동 성분에 해당하는 위상 신호를 추출하여 스위칭을 원하는 영상에 전달하는 방식을 이용하고 있다. 이러한 알고리즘은 상관되는 영상의 위치정보를 반드시 위상정보로 얻어야 한다는 매우 민감한 문제를 지니고 있다. 따라서, 상관에 참여하는 영상은 위상신호만을 발생시켜야 한다. 대표적인 위상형태의 상관기로는 위상함수로 구성되는 공간정합필터와 입력이 위상함수로 구성되는 POC가 있다<sup>[10]</sup>. 그러나, 이러한 형태의 상관기는 복소필터의 구성이 요구되므로 POC를 이용한 실시간 스위칭 필터 구성이 어렵게 된다.

또 다른 형태의 상관기인 JTC는 기존의 홀로그래피 방법을 이용하는 복소 공간정합필터의 개념을 탈피하여 상관 특성을 얻고 있으나, JTC 구성상 가장 중요

한 요소인 JTPS가 광세기 형태로 주어지므로 공간정합필터와 달리 영상 복원에 중요한 위상정보를 표현할 수는 없었다. 그러나, 최근 BPEJTC가 제안되면서 순수하게 이진 위상신호로 구성되는 JTPS의 구성과 광학적 구현이 가능하게 되었다. BPEJTC에서 추출되는 위상신호는 영상 복원을 위하여 필요한 위상신호가 아닌 영상간의 거리차가 발생시키는 위상신호만을 발생시키고 있다. 결과적으로 발생하는 신호에는 상관에 참여하는 두 영상이 완전히 동일하다면, 영상 복원에 필요한 위상신호는 제거되고 순수하게 영상간의 거리차에 따른 위상신호가 POC와 동일하게 발생하게 되는 것이다. 이와 같이 POC와 동일한 출력을 발생시키는데 가장 중요한 요소는 식(6) 혹은 식(7)에 따라 구성되는 위상형 JTPS로써 복소 공간정합필터와 입력 영상이 공간 주파수 영역에서 곱해진 상태이다. 따라서, 위상형 JTPS를 스위칭을 위한 필터함수로 구성하여 임의의 영상을 푸리에 변환하고 공간적으로 곱하여 역푸리에 변환하면 임의의 영상에 상관 침투치가 발생하

는 위치 정보를 위상신호로써 전달할 수 있다.

이상의 스위칭 특성을 지닌 BPEJTC를 이용한 영상 스위칭 시스템은 JTC에 기초하여 구성되므로 실시간적으로 이진 위상 JTPS의 구성이 가능하게 된다. 이진 위상 JTPS는 입력과 기준영상(필터영상)이 곱해져 있는 상태이므로 스위칭하고자 하는 영상을 푸리에 변환시켜 곱하는 것만으로 영상 스위칭이 가능하게 된다.

이진 위상 JTPS를 이용한 영상 위치 변환은 그림 2와 같은 광-디지털 시스템으로 구성할 수 있다. 시스템의 기본적인 구성은 공간정합필터를 이용한 상관기와 동일한 4-f 구조를 지닌다. 두 시스템간의 차이는 공간정합필터가 위치하는 평면에 그림 1에서 합성된 BPEJTC의 JTPS가 위치하며, 상관평면이 영상 복원 평면으로 변환된다. 임펄스 응답을 살펴보면, 공간정합 필터는 필터에 기록된 영상이 반전되어 복원되는 반면에 영상 위치 변환 시스템은 BPEJTC의 상관결과를 나타내게 된다.

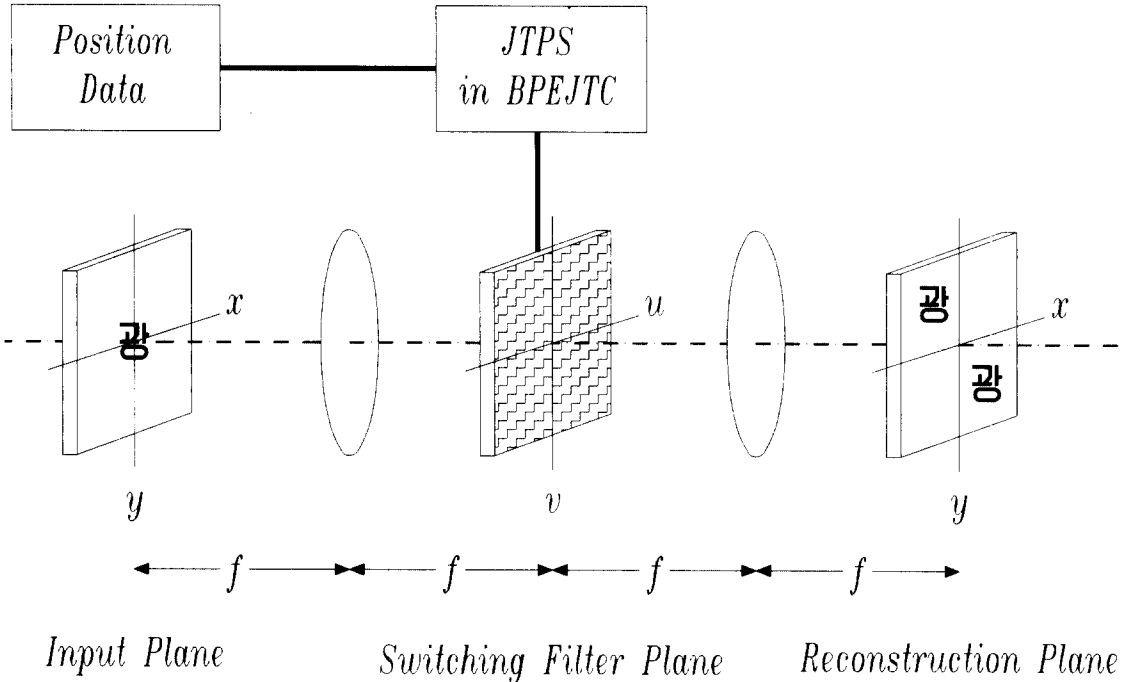


그림 2. 영상 스위칭을 위한 광-디지털 시스템  
Fig. 2. Opto-Digital system for the image switching.

그림 2에서 위치 스위칭을 위하여 입력평면에 존재하는 영상을  $o(x,y)$ 라 두면, 푸리에 변환에 의하여 변환 필터 평면에  $O(u,v)$ 로 나타내게 된다. 식(5)에서 위상 성분만을 추출하여 구성한 완전한 위상형태의 JTPTS를 필터로 구성하여 이용하게 되면, 스위칭 필터 평면에서 식(9)의 결과를 얻을 수 있다.

$$E(u,v) = \{ \exp [ j2\pi(u\delta x + v\delta y) ] + \exp [ -j2\pi(u\delta x + v\delta y) ] \} O(u,v) \quad (9)$$

$$= |O(u,v)| \exp(j\phi_o) \exp [ j2\pi(u\delta x + v\delta y) ] + |O(u,v)| \exp(j\phi_o) \exp [ -j2\pi(u\delta x + v\delta y) ]$$

식(9)는 BPEJTC에서 얻은 거리차에 대한 위상성분을 위치변경을 하고자 하는 영상으로 전달한 형태를 이루고 있다. BPEJTC에서 얻은 위치 성분이 서로 위상 반전된 값의 합으로 구성되어 있으므로 복원된 영상은 원점대칭으로 나타나게 된다.  $O(u,v)$ 는 어느 위치에서도 위상 반전이 발생하지 않았으므로 복원되는 영상의 위치는 상관 침두치가 발생하는 위치일지라도 복원되는 영상의 형태는 동일하게 된다. 따라서, 식(9)를 역푸리에 변환하면 식(10)과 같은 복원 결과를 얻을 수 있게 된다.

$$i(x,y) = o(x-\delta x, y-\delta y) + o(x+\delta x, y+\delta y) \quad (10)$$

영상 복원 평면을 나타내는 식(10)은 두개의 동일한 영상을 포함하고 있으며, 두 영상의 위치는 영상  $o(x,y)$ 가  $(-\delta x, -\delta y)$  이동한 것과  $(\delta x, \delta y)$  만큼 이동한 결과가 된다.

### III. 컴퓨터 시뮬레이션

2차원 영상 스위칭 알고리즘을 이용하여 그림 3(a)에 나타난 영상 'Univ.'의 위치를 변경시키기 위하여 그림 3(b)을 이용하여 BPEJTC의 입력영상을 구성하였다. 그림 3(b)의 하단에 나타난 '광운'은 영상 위치 변환을 위한 기준 영상이며, 상단의 '광운'은 외부에서 영상 김출장치를 이용하여 받아들이는 입력영상을 가정한 것이다. 외부에서 입력되는 상단의 영상은 스위칭될 위치를 설정하기 위하여 CCD 카메라를 통하여 입력될 수 있으며, 필요한 위치로 전송하기 위하여 디지털 컴퓨터 등을 이용하여 특정한 곳에 위치시킬 수도 있다. 그림 3(b)에 구성된 영상을 BPEJTC에 입력시켜 구성한 이진 JTPTS를 그림 3(c)에 나타내었다. 위

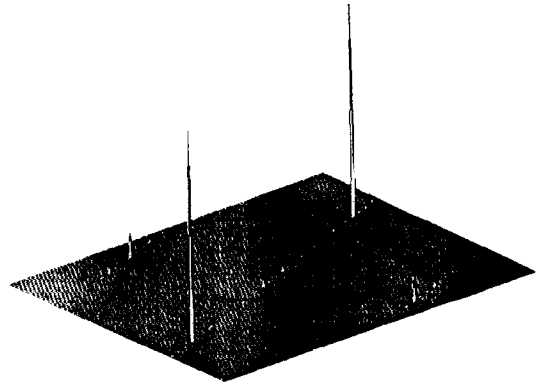
치 정보를 위상성분으로 지니고 있는 이진 JTPTS는 공간 영상 스위칭 필터로 동작하게 되며, 무입력 상태의 출력은 그림 3(d)와 같다. 그림 3(d)는 그림 3(b)에 대한 BPEJTC의 상관 평면이 되며 평면의 중심인 DC로부터 상관 침두치까지의 거리가 그림 3(b)에 나타난 영상의 상대적인 거리차를 나타내게 된다. 상관평면에 원점대칭으로 나타난 2개의 상관 침두치 각각의 위치에서 그림 3(a)의 'Univ.'가 그림 3(e)와 같이 위치가 변경되어 복원된다. 영상 복원 평면인 그림 3(e)에는 실제로 복원하고자 하는 위치 외에 다른 부분에서도 미약한 영상이 나타나 있다. 이것은 임펄스 응답인 상관결과를 비교함으로써 해석이 가능하다. 그림 3(d)의 상관평면에는 영상에 의한 상관 침두치 외에 낮은 상관 값들이 발생하고 있다. 이는 BPEJTC의 JTPTS가 위상함수만으로 구성되는 과정에서 지수함수가 이루는 sinusoidal 함수의 고조파 성분이 야기한 성분으로 진폭 성분이 존재하는 상태에서는 나타나지 않는 신호이다. 즉, 스위칭 필터가 위상 신호만으로 구성되었고, 이것이 영상 복원 과정에서는 영향을 미쳐 고조파가 야기한 침두치 높이에 해당하는 밝기로 영상이 나타내는 것으로 분석된다.

그림 4(a)는 그림 3(a)의 영상을 다중으로 복원시키기 위하여 그림 3(b)의 입력평면인 상단부에 또 하나의 영상 '광운'을 첨가한 것이다. 이때 구성된 이진 위상 JTPTS를 그림 4(b)에 나타내었으며, 그림 4(c)에는 무입력 상태의 응답인 상관평면이다. 그림 4(d)에는 그림 3(a)를 입력으로 이용한 경우에 발생한 영상 복원 평면을 나타내었다. 이 경우에도 상관평면에 낮은 상관 값이 발생하는 부분에 미약하게 영상들이 발생하고 있는데, 이것 역시 JTPTS가 위상함수만으로 구성된 것에 기인하고 있다.

이상의 시뮬레이션 결과를 통하여 BPEJTC의 위상 상관 특성이 영상 스위칭에 미치는 영향을 살펴 보았다. 근본적으로 위상 신호 정합을 발생시켜 상관을 일으키는 BPEJTC는 상관 출력 평면에는 영상을 구성하는 신호는 완전히 사라지고 위치 정보만을 delta 함수로 나타내고 있었다. 따라서, 위상 정합을 발생시켜 위치정보만 존재하는 공간 주파수 평면에 임의의 영상 신호를 콘볼루션시킨다면 역푸리에 변환에 의하여 임의의 영상에 새로운 위치 정보를 전달할 수 있었음은 II-2절에서 수학적으로 살펴본 바 있다. 단지, 공간 주파수 평면에



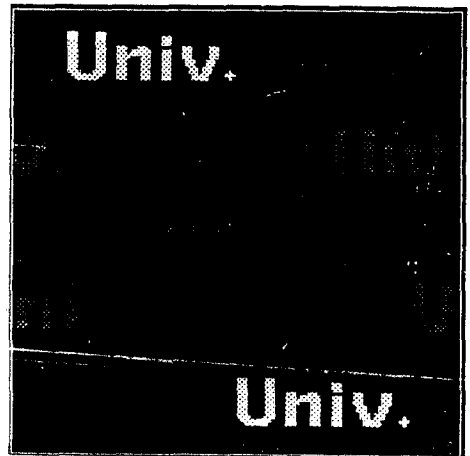
(a)



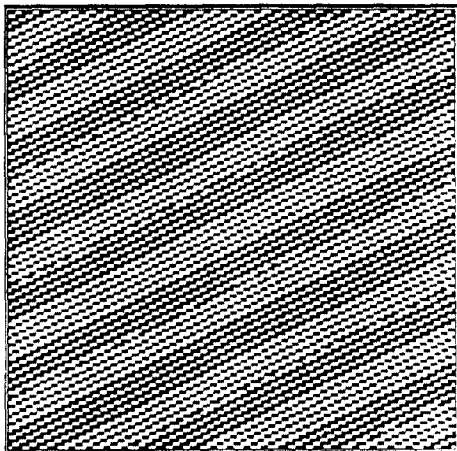
(d)



(b)



(e)



(c)

그림 3. 영상 스위칭 과정도 (단일 스위칭)

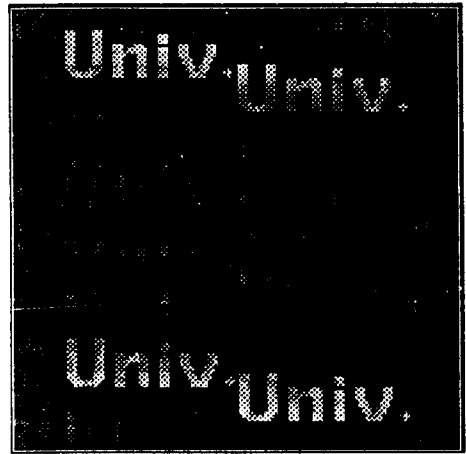
- (a) 위치 변환을 위한 입력영상
- (b) BPEJTC의 입력 영상
- (c) BPEJTC의 JTPS
- (d) 무입력 응답
- (e) 스위칭 결과

Fig. 3. Diagram of image switching process. (single switching)

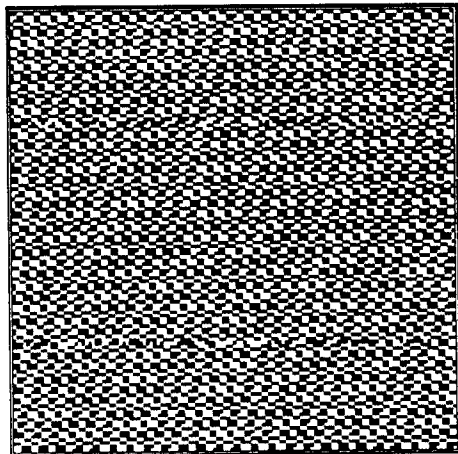
- (a) Input image for position switching
- (b) Input image of BPEJTC
- (c) JTPS of BPEJTC
- (d) Impulse response
- (e) Switching results



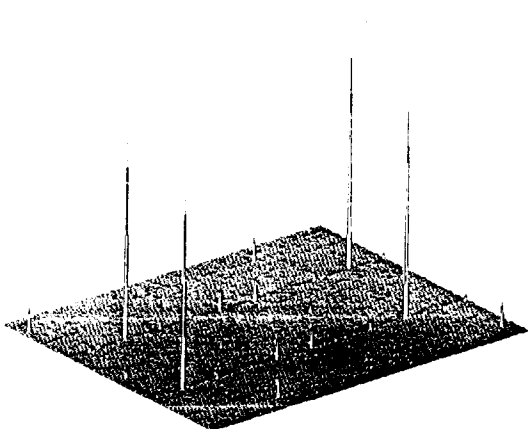
(a)



(d)



(b)



(c)

그림 4. 영상 스위칭 과정도 (다중 스위칭)

- (a) BPEJTC의 입력 영상
- (b) BPEJTC의 JTPS
- (c) 무입력 응답
- (d) 스위칭 결과

Fig. 4. Diagram of image switching process. (multiple switching)

- (a) Input image of BPEJTC
- (b) JTPS of BPEJTC
- (c) Impulse response
- (d) Result of position switching

존재하는 복소 신호가 과연 BPEJTC의 JTPS에 의하여 실수 함수로 표현될 수 있는가 하는 것이 의문점이었다. BPEJTC의 JTPS인 그림 3(c)과 4(d)는 이진값으로 구성되어 있으며, 출력 평면에서 원하는 위치에 원하는 영상을 정확히 복원하고 있다. 이것은 스위칭 필터가 공간 주파수 평면에서 콘볼루션을 통해 영상에 위치정보를 정확히 전달한 것으로 본 논문에서 이용하고 있는 스위칭 필터는 실수값으로 복소 함수를 표현한 것으로 해석할 수 있다. 스위칭을 보다 효과적으로 이용하려면, 스위칭하고자 하는 영상의 크기가 상관 영상간의 간격보다 작게 유지해야 한다. 조건을 만족하지 않는다면, 영상 복원 평면에서 복원 영상간에는 중첩되는 부분이 발생할 수 있으므로 영상은 중첩을 피할 수 있는 크기를 지녀야 한다<sup>[11]</sup>.

#### IV. 실험 및 결과 고찰

그림 5는 제안한 실시간 광 영상 스위칭 시스템의



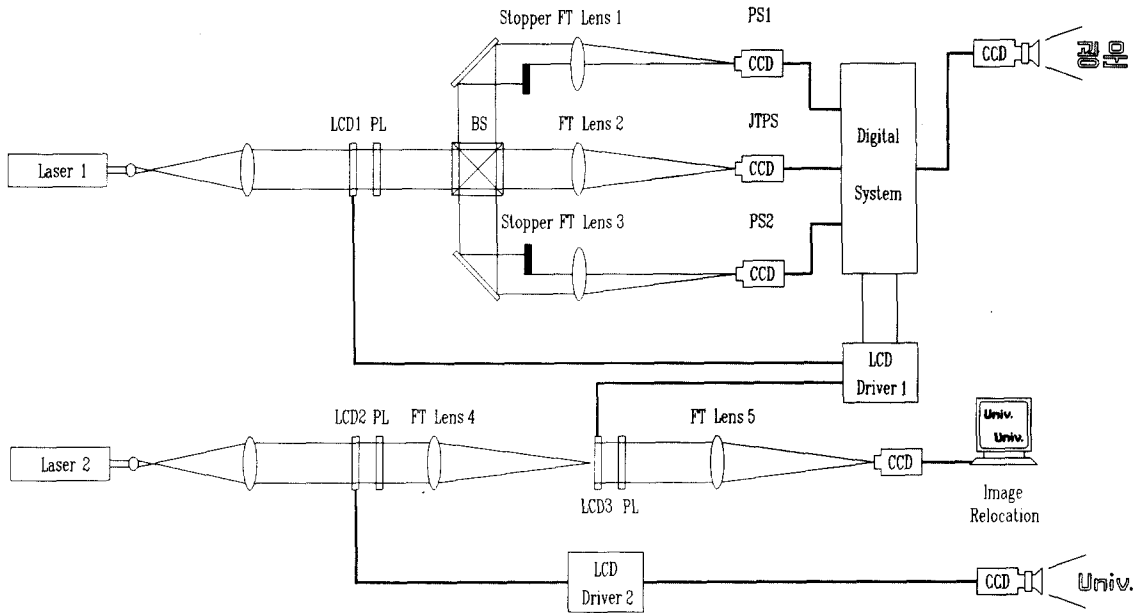


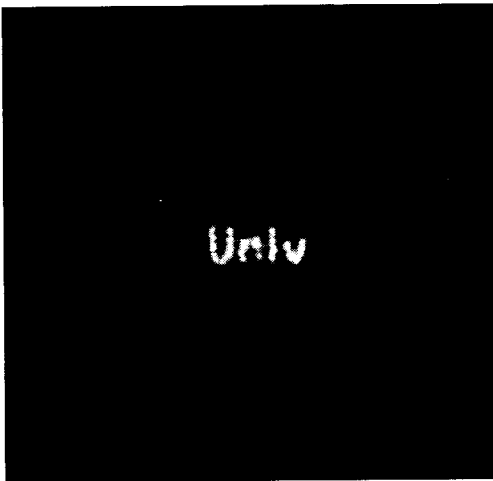
그림 5. 광 영상 스위칭을 위한 실험 시스템 구성도  
 Fig. 5. Experimental system setup for optical image switching.

실험 구성도를 나타낸 것으로 Laser1으로 구성된 BPEJTC 시스템 부분과 Laser2를 광원으로 이용하는 공간정합필터를 이용한 시스템 부분으로 분류된다. 입력 장치로는 렌즈가 부착된 CCD를 카메라로 이용하고 있으며, 렌즈가 제거된 CCD를 광 검출기로 이용하고 있다. 영상 출력 장치인 공간 광 변조기로는 투과형 LCD(liquid crystal display)를 이용하고 있다. BPEJTC 시스템의 LCD1을 상하단으로 분리하여 변경 위치의 상대적 기준점이 되는 기준 영상을 하단에 나타내고, 상단에 변경 위치를 알려주는 입력 영상을 나타낸다. 영상 스위칭을 위한 필터로 이용되는 BPEJTC의 JTPS를 얻기 위하여 빔분할기(BS)와 2개의 영상차단막(Stopper) 그리고 3개의 CCD를 이용한다. 디지털 시스템에서는 2개의 공간 광 변조기와 4개의 CCD의 아날로그 입출력과 디지털 시스템 동작을 연결시켜 JTPS를 재구성하게 된다. 이진 위상 JTPS는 각 영상의 파워스펙트럼인 PS1과 PS2의 부호를 반전시켜 JTPS에 더하고, 비교기를 이용하여 이진 혹은양극성 값으로 분류하는 것으로 위상 특성을 부여한다.

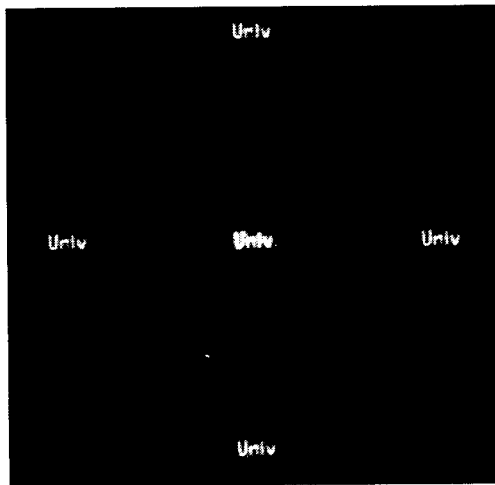
BPEJTC에서 얻은 JTPS는 Laser2를 이용하고

있는 시스템의 LCD3으로 전송된다. 영상 스위칭을 위한 영상이 CCD 카메라를 통해 LCD2에 전송되면 푸리에 변환 렌즈(FT Lens4)에 의하여 푸리에 변환되어 스위칭을 위한 필터가 기록된 LCD3에서 공간적으로 곱이 발생한다. 마지막으로 푸리에 변환 렌즈(FT Lens5)에 의하여 역푸리에 변환되어 CCD에서 광세기로 검출된다. 이때 영상은 필터 마스크가 알려주는 정보에 따라 복원 위치의 변화가 발생한다.

광-디지털적으로 구성되는 그림 5의 시스템은 마스크 생성과정에서 광학적 잡음이 첨가될 수 있으므로 스위칭 성능을 보다 정확히 평가하기 위해서는 그림 5에서 필터제작을 위하여 Laser1으로 동작하는 부분을 컴퓨터로 대체할 수 있다. 결과적으로 필터 마스크는 그림 3(c)와 그림 4(d)에 나타낸 것과 동일하게 되고, CGH(computer generated hologram)<sup>16)</sup>의 개념으로 해석할 수 있다. 특히, 이러한 방법으로 제작되는 CGH는 단 한번의 처리 과정으로 스위칭 필터 마스크 제작이 가능하므로 기존의 광연결을 위해 이용되는 Dammann 회절 격자<sup>15)</sup>와 같이 반복 수행 과정을 지닌 알고리즘들에 비하여 처리 시간을 효과적으로 단축시킬 수 있다.



(a)



(b)

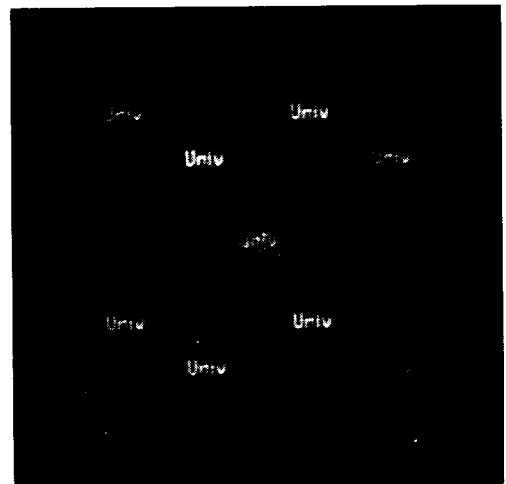
그림 6. (a) 위치변경 시스템 입력  
(b) LCD3에 스위칭 필터 마스크가 나타나지 않은 상태의 출력

Fig. 6. (a) System input for position switching  
(b) Output without switching filter mask in LCD3

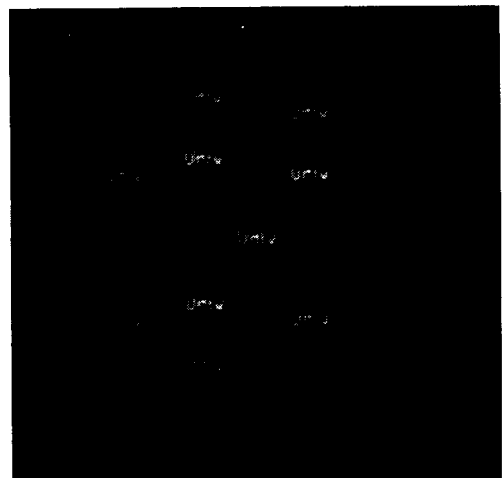
스위칭 실험을 위하여 Laser 1을 광원으로 이용하는 시스템은 CGH로 구성하고, Laser 2를 이용하는 시스템 부분은 광학적으로 구성하였다. 디지털 시스템으로는 DT2851 Image grabber와 IBM PC Pentium을 이용하였다. 공간 광 변조기로 Epson Video Projector에 내장된 TFT-LCD(thin-film-transis-

tor LCD)를 이용하였으며, He-Ne 레이저(35mW)를 광원으로 이용하였다. CCD 카메라와 광 검출기는 금성하이텔 GC-103E 비디오 카메라를 이용하였다.

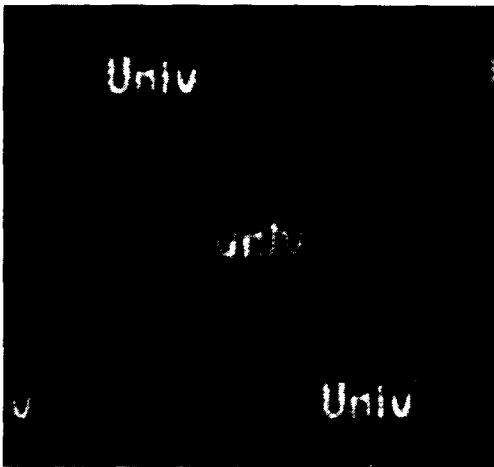
그림 6(a)는 광학적 영상 스위칭을 위하여 그림 5의 LCD2에 나타난 영상 'Univ.'를 CCD 광 검출기로 검출하여 나타내었다. 그림 6(b)는 LCD2에 그림 6(a)가 나타난 상태에서 LCD3의 모든 화소에 255를 할당된 상태이다. 실험에 사용된 LCD가 grid 구조를 이루고 있으므로 LCD에서 sinc 함수 형태의 출력을 나타내어 중심부에 0차수 성분이 나타나 있고, 주변에 1차 회절 성분이 0차수에 비하여 낮은 광세기로 발생하고 있다.



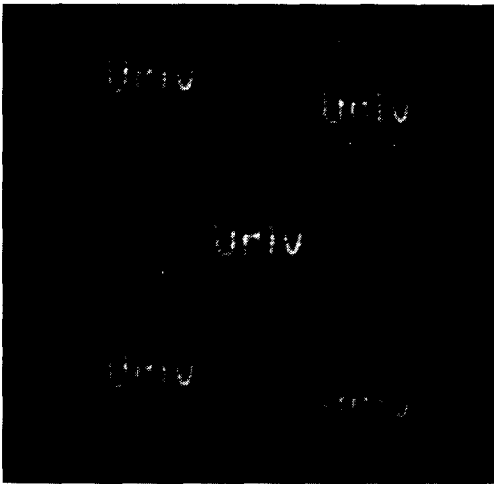
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 광 영상 스위칭 실험 결과

- (a) 영상의 단일 위치 변환 (b) 영상의 다중 위치 변환
- (c) (a)의 0차 회절 성분 (d) (b)의 0차 회절 성분

Fig. 7. Experimental results of optical switching experiments.

- (a) Single position switching
- (b) Multiple position switching
- (c) 0th diffraction pattern of (a)
- (d) 0th diffraction pattern of (b)

그림 7은 LCD 3에 영상 스위칭을 위한 필터 마스크를 나타낸 이후의 출력들이다. 그림 7(a)는 단일 스위칭을 위하여 제작한 그림 3(c)를 CGH로 이용하여 필터 위치에 삽입한 이후 그림 6(b)와 동일한 조건에서 검출한 결과이다. 그림 7(a)에는 다수의 불명확한

영상들 사이에 입력 영상 'Univ.'의 형태를 명확히 분별할 수 있는 9개의 영상이 분리되어 나타나 있다. 중심부에 나타나 있는 영상은 회절에 의하여 발생한 신호가 아니라 사용된 LCD의 광 투과 면적(63 X 57 $\mu$ m)을 직진한 광이 발생시키는 성분으로서 DC로 해석할 수 있다. 이와 같은 DC 신호는 필터 마스크가 입력되지 않은 그림 6(b)의 중심부에서도 관찰할 수 있다.

실제로 스위칭을 위하여 요구된 신호는 0차 성분으로 중심부의 DC 영상을 중심으로 좌측상단의 두번째와 우측하단의 우측에서 2번째 위치에 명확히 나타난 영상이다. 그림 6(b)와 비교하여 1차 회절 성분의 중심 성분은 그 값이 상대적으로 낮아져 관찰되지 않는 상태에서 위치가 변경된 영상중 한쪽 방향 신호만이 상단과 하단 부에 3개씩 나타나 있다. 나머지 위치변경된 신호는 CCD 검출기 영역밖에 2차 이상의 고차 신호와 함께 존재하고 있다. 그림 7(b)는 다중 영상 스위칭 가능성을 조사하기 위하여 두개의 스위칭 지점을 설정하고 제작한 그림 4(b)를 필터 마스크로 사용한 결과이다. 역시 DC가 발생하고 있으며, DC를 제외하고 16개의 영상이 명확히 형태를 유지하고 있다. 그림 7(b)에 비하여 2배가 되는 양으로 입력영상이 2지점으로 위치 변환이 이루어진 것을 나타내는 것이다.

그림 7(c)와 (d)는 그림 7(a)와 그림 7(b)의 실제 필요한 신호만을 분석하기 위하여 렌즈의 배율을 조정하여 0차수 성분만을 확대 검출한 결과이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 나타낸 그림 3(e) 및 그림 4(d)와 비교하여 영상의 변경된 위치를 비교적 정확히 판독할 수 있다. 그림 7(c)에서는 고조파 성분으로 인하여 형태를 구분하기 어려운 광세기로 다수의 'Univ.'가 나타나고 있다. 특히, DC 주변에 나타난 영상은 비교적 명확히 나타나고 있는데 그림 3(d)의 상관평면과 비교하면 그 위치에 비교적 높은 고조파 신호가 나타있다.

일반적으로 홀로그램이 콘볼루션 성분과 상관성분이 동시에 발생하여 원영상과 함께 원점 대칭된 영상이 발생하는 것<sup>16)</sup>과 달리 영상스위칭 시스템에서는 원점대칭 위치에서도 영상이 원점 대칭되지 않고 있다. 이것은 스위칭되는 영상이 처리 과정중 형태의 변화없이 필터로 부터 위치정보만을 전달받아 복원되었기 때문이다. 위치변경된 영상의 선명도를 살펴보면 'Univ.'에서 '.'가 명확히 판독되지 않고 있는데, 이것은 DC 성분 발생의 경우와 유사하게 LCD가 CCD

등 광학 소자가 완전한 신호를 표현하지 못하는데 따른 광학적 잡음으로 해석된다. DC 성분의 발생은 무입력 상태에서 기록된 영상을 DC 차단막으로 이용하여 해결할 수 있으나, 스위칭영상의 선명도는 보다 고해상도의 공간 광 변조기를 이용함으로써 제거될 수 있을 것이다. 그리고, 위치변경 평면에서 발생하는 고조파 성분은 반복 알고리즘 및 신경회로망 등과 같은 방법을 이용하여 제거가 가능할 것이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 위상형 상관기인 BPEJTC의 JTPS를 공간 필터로 이용하는 새로운 실시간 광 영상 스위칭 시스템을 제시하였다. 광 영상 스위칭은 BPEJTC 처리 과정에서 발생하는 JTPS를 위상형 공간 주파수 필터로 구성함으로써 공간 주파수 평면에서 입력 영상에 위치 정보를 전달하게 하고, 스위칭된 영상은 다시 상관 침투치 발생 위치에 스위칭되어 영상 복원되며, 이때 해상도는 상관을 야기시키는 영상간의 유사도에 의하여 결정된다.

제안된 스위칭 시스템은 근본적으로 JTC에 근거하고 있으므로 실시간으로 스위칭 필터의 제작이 가능하며, 컴퓨터를 이용한 CGH 형태의 구성도 가능하다. 또한, 위상형 공간 스위칭 필터의 구성으로 다중 영상 스위칭에서도 복원 영상의 높은 해상도를 유지할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 BPEJTC를 이용한 광 영상 스위칭 시스템에 관한 이론적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 토대로 실제 하드웨어 시스템을 구성하고 실험을 통해 다중 영상 스위칭의 실시간적 구현 가능성을 실험적으로 제시하였다.

## 참 고 문 헌

[1] K.Sato, K.Higuchi, and H.Katsuma, "Holographic Television by Liquid Crystal Device," *Proc. SPIE*, vol.1667, pp.19-31, 1992.

[2] S.Y.Yi, C.S.Ryu, and E.S.Kim, "Multi-target Tracking System based on Binary Phase Extraction Joint Transform Correlator and Neural Data

Association algorithm," *Proc. SPIE*, vol. 2237, pp.283-293, 1994.

- [3] K.Hamanaka and T.Kishimoto, "Multiple Imaging Fourier Transformation Using Microlens Arrays," *Japanese J. of Appl. Phys.*, vol.29, no.7, pp.L1277-L1280, 1990.
- [4] J.O.White, "FWM and Phase Conjugation in Photorefractive Crystals," Ph.D. Dissertation, Caltech. Univ. 1984.
- [5] U.Krackhardt and N.Streibl, "Design of Dammann-gratings for array generation," *Opt. Comm.*, vol.74, no.1,2, pp. 31-36, 1989.
- [6] S.Y.Yi, C.S.Ryu, Y.H.Kim, and E. S. Kim, "2 Dimentional Optical Switching," *Proc. of the First Optoelectronics Conf.*, Seoul, pp.139-141, 1994.
- [7] B.Javidi, "Nonlinear Joint Power Spectrum based Optical Correlation," *Appl. Opt.*, vol.28, no.12, pp.2358-2367, 1989.
- [8] S.Y.Yi, C.W.Suh, and E.S.Kim, "The Effective Binarization Method of Optical JTC for Multitarget Tracking," *J. of KITE*, vol.31-A, no.5, pp.534-541, 1994.
- [9] S.Y.Yi, C.S.Ryu, and E.S.Kim, "Optical BPEJTC System for Improving the Correlation Discrimination," *J. of KITE*, vol.31-A, no.6, pp.705-714, 1994.
- [10] S.Kawata, T.Noda, and S.Minami, "Spectral Searching by Fourier-Phase Correlation," *Appl. Spectrosc.*, vol.41, no.7, pp.1176-1182, 1987.
- [11] L.P.Boivin, "Multiple Imaging Using Various Types of Simple Phase Grating," *Appl. Opt.*, vol.11, no.8, pp.1782-1792, 1972.
- [12] E.S.Kim, K.H.Cha, and H.G.Yang, "Optoelectronic Implementation of BPEJTC Tracking System," *Proc. SPIE*, vol.2423, 1995.
- [13] J.L.Horner and J.R.Leger, "Pattern Recognition with Binary Phase-Only Filters," *Appl. Opt.*, vol.24, no.5, pp.609-611, 1985.
- [14] A.VanderLugt, "Signal Detection by

Complex Spatial Filtering," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-10, pp.139-145, 1964.  
 [15] J.L.Horner and P.D.Gianino, "Phase-

Only Matched Filtering," *Appl. Opt.*, vol.23, no.6, pp.812-816, 1984.  
 [16] T.S.Huang, "Digital Holography," *Proc. IEEE*, vol.59, no.9, pp.1335-1346, 1971.

---

저 자 소 개

---

李 相 二(正會員) 第 32卷 A編 第 4號 參照  
 현재 광운대학교 대학원 전자공  
 학과 박사과정

李 丞 玄(正會員) 第 32卷 A編 第 4號 參照  
 현재 광운대학교 전산원 조교수

楊 勳 其(正會員) 第 32卷 A編 第 9號 參照  
 현재 광운대학교 전자공학과 조  
 교수

金 恩 洙(正會員) 第 32卷 A編 第 4號 參照  
 현재 광운대학교 전자공학과 교수