

論文96-33A-10-19

# BPEJTC를 이용한 다중표적 추적시스템의 하드웨어 구현

## (Hardware Implementation of Multi-Target Tracking System based on Binary Phase Extraction JTC)

李丞玄\*, 李相二\*, 柳忠相\*, 車侑勳\*\*, 徐春源\*,  
金恩洙\*

(Seung-Hyun Lee, Sang-Yi Yi, Chung-Sang Ryu, Kwang-Hoon Cha,  
Choon-Weon Seo, and Eun-Soo Kim)

### 요 약

본 논문에서는 다중 표적 추적 시스템 구현을 위해 다른 종류의 JTC(joint transform correlator)에 비하여 우수한 상관 판별력과 높은 peak-to-sidelobe 비율을 보이는 BPEJTC (binary phase extraction JTC)의 광전자 하드웨어를 설계, 제작하였다. 시스템의 디지털 처리부에서는 BPEJTC의 구성을 위한 JTPS(joint transform power spectrum)의 이진화 및 스펙트럼 처리를 수행하며, 광학 처리부에서는 푸리에 렌즈를 이용한 푸리에 변환을 수행하게 된다. 본 논문에서 설계, 제작된 하드웨어를 이용한 실험 결과 초당 6 프레임의 처리 속도를 보임으로서 제안한 시스템의 실시간 다중 표적 추적 시스템에의 응용가능성을 보였다.

### Abstract

We have designed and implemented an optoelectronic hardware of binary phase extraction joint transform correlator(BPEJTC) which provides higher peak-to-sidelobe ratio than many other versions of JTC that has been published so far and does not produce correlation peaks due to intra-class association, to construct a multi-target tracking system. The digital processing unit controlling the entire system plays the part of modifying and binarizing the joint transform power spectrum(JTPS) and the optical processing unit is mainly used to take Fourier transform operations. Some experimental results conducted by designed system along with its architecture showed the processing rate of 6 frames per second, thereby the potential applicability of the proposed system to real-time multitarget tracking system is given.

### I. 서 론

자연 환경에서 임의의 형태로 이동하는 물체 정보의

\* 正會員, 光云大學校 電子工學部(新技術研究所)  
(Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.)

\*\* 正會員, 서울産業大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronic Eng., Seoul National Polytechnic Univ.)

接受日字:1996年2月28日, 수정완료일:1996年10月7日

실시간 추적 기술은 미사일 유도, 항공기 추적, 레이더 등과 같은 전략 방위 분야에서뿐만 아니라 로봇 시각, 자동감시, 항공 관제 시스템등 산업 분야에서도 첨단 기술로써 그 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.<sup>[1,2]</sup> 이와 같은 실시간 적응적 추적 시스템을 구현하기 위해서는 입력 영상으로부터 보다 압축된 표적 신호만을 추출할 수 있어야 하며, 입력 정보를 몇 개의 상관 신호로 변환시킬 수 있고 적응적 처리가 실시간으로 가능하여야 한다. 이러한 요구를 만족시킬 수 있

는 방법으로 JTC(joint transform correlator)를 이  
 용한 추적시스템이 제시되었다.<sup>[3,4]</sup> 최근 비디오 프레  
 임으로 영상을 나타낼 수 있는 공간 광 변조기(spatial  
 light modulator: SLM)와 비디오 프레임으로 광세기  
 분포를 검출할 수 있는 CCD 광 검출기의 발달은 이  
 분야에 대한 연구를 더욱 촉진시키고 있다.

JTC는 일반적인 광 상관기에서 요구하는 복소 공간  
 정합필터 없이 실수 함수만으로 구성이 가능한 상관기  
 로 공간 광 변조기와 CCD 광 검출기를 퓨리에 입출력  
 장치로 사용하면 실시간 상관시스템으로 구성이 가능  
 하다. JTC에 대한 최근의 연구 결과들은 기존 JTC의  
 광간섭세기분포를 이진화하여 펄스폭을 변조시킨  
 BJTC (binary JTC)가 보다 우수한 peak-to-  
 sidelobe 비율과 높은 광효율을 나타내는 것으로 발표  
 되었다<sup>[5]</sup>. 이러한 특성은 유사한 표적과 잡음에 대하  
 여 우수한 판별력을 나타낼 수 있다. 그러나 단순히 이  
 진 비선형 특성을 이용하는 이진화 방법은 입력 평면  
 에 동일한 다중표적이 존재하는 경우 DC 주변에 강한  
 자기상관이 발생하고, 동일 평면에 존재하는 영상들 간  
 의 상호 상관이 나타나 유사표적의 존재에 무관하게  
 표적 오류 및 표적 유실 등이 발생한다. 따라서, 상관  
 오류 및 유실을 제거할 수 있도록 JTSPS(joint  
 transform power spectrum)를 재구성하여 표적 상  
 관에 필요한 신호만을 추출하려는 연구가 진행되고 있  
 다<sup>[6-9]</sup>. 대표적으로 BPEJTC(binary phase  
 extraction JTC)는 스펙트럼 재구성을 통하여 자기상  
 관과 동일 평면의 이중상관 성분을 제거하고, 위상신호  
 만을 추출한 상태에서 상관이 이루어지므로 우수한 판  
 별력을 지니게 되며 실시간 다중표적 추적 시스템에  
 응용이 가능함을 보여주었다.<sup>[10,11]</sup>

본 논문에서는 이동 표적 추적 시스템 구현을 위하  
 여 BPEJTC를 추적시스템으로 이용하였으며, 실시간  
 처리를 위하여 광-디지털 하이브리드 형태로 하드웨어  
 를 구현하였다. 하이브리드 시스템의 광 신호처리단에  
 서는 퓨리에 변환 렌즈를 이용하여 2차원 퓨리에 변환  
 을 수행하게 되며, 퓨리에 입·출력 장치는 NTSC  
 (national television system committee) 방식의  
 TFT-LCD(thin film transistor liquid crystal dis-  
 play)와 CCD 광 검출기를 사용하였다. 디지털 시스템  
 의 신호 동기를 위하여 CXD1158M NTSC genera-  
 tor를 사용하였으며, 그 밖의 신호 처리 시스템은  
 hardwired controller로 구성하였다. 시스템의 실시간

적 구동성능을 분석하기 위하여 시스템의 타이밍을 해  
 석하였고, 자연계에서 불규칙하게 이동하는 지상표적의  
 추적 실험을 통하여 본 논문에서 제안된 하드웨어로  
 구동되는 BPEJTC 광-디지털 추적시스템의 성능을  
 분석하였다.

## II. 광 BPEJTC 시스템

기존의 JTC 및 BJTC 시스템을 다중 표적에 적용  
 하는 경우에는 과도한 DC 및 상관 오류가 발생하게  
 된다. 그러나 광 BPEJTC 시스템은 광세기분포로 나  
 타나는 JTSPS에서 자기 상관 성분 및 동일 평면에서  
 나타나는 상호 상관 성분을 효과적으로 제거시켜 표적  
 의 위상 함수만 추출함으로써 상관 판별력을 개선하여  
 다중 표적 추적 능력이 우수한 시스템으로 알려져 있  
 다.

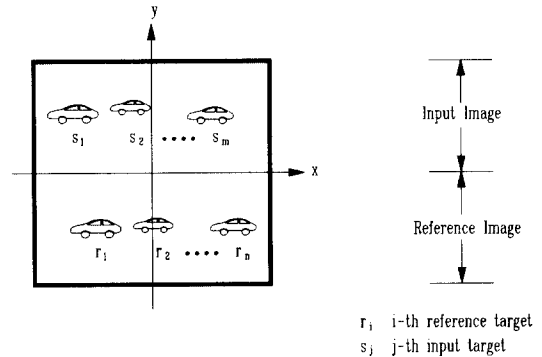


그림 1. BPEJTC의 입력평면  
 Fig. 1. The input plane of BPEJTC.

그림 1과 같이 n개의 기준 표적이 존재하는 기준 영  
 상  $r(x,y)$ 가 BPEJTC 입력평면의 하단 반평면에, 그  
 리고 m개의 다중 표적 영상이 존재하는 입력 영상  
 $s(x,y)$ 가 상단 반평면에 위치한다고 가정할 때,  
 BPEJTC 시스템을 분석하면 다음과 같다.

$$r(x, y) = \sum_{i=1}^n r_i(x-x_i, y-y_i) \quad (1)$$

$$s(x, y) = \sum_{j=1}^m s_j(x-x_j, y-y_j) \quad (2)$$

식(1)과 식(2)로 나타낸 기준 영상과 입력 영상을 동  
 시에 퓨리에 변환하고 간섭세기분포인 JTSPS를 검출한  
 다. 그리고 JTSPS에서 상단 평면 및 하단 평면에서 발

생한 각각의 간섭세기분포를 제거하면, 식(3)으로 재구성할 수 있다.<sup>[9,10]</sup>

$$\begin{aligned}
 E_{NEW}(u, v) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m R_i(u, v) S_i^*(u, v) \exp\{-j[(x_i - x_j)u + (y_i - y_j)v]\} \\
 &+ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m R_j^*(u, v) S_j(u, v) \exp\{j[(x_i - x_j)u + (y_i - y_j)v]\} \\
 &= 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m |R_i(u, v)| |S_j(u, v)| \\
 &\quad \cos\{\phi_{R_i}(u, v) - \phi_{S_j}(u, v) - (x_i - x_j)v - (y_i - y_j)u\}
 \end{aligned} \tag{3}$$

식(3)은 자기 상관과 동일 평면에서 발생하는 상호 상관 성분이 제거되어 있으며, 기준 영상과 입력 영상의 진폭 성분은 '0' 보다 크거나 같은 값을 나타내므로  $E_{NEW}(u, v)$ 의 부호는 단지 cosine 값에 영향을 받는다. 따라서, 식(3)에 따라 재구성한 JTPS를 이진화함으로써 양극성 위상 형태의 JTPS를 구성한다

$$E_{bny}(u, v) = \begin{cases} 1 & E_{NEW}(u, v) \geq 0 \\ -1 & E_{NEW}(u, v) < 0 \end{cases} \tag{4}$$

여기서,  $E_{bny}(u, v)$ 는  $E_{NEW}(u, v)$ 의 부호 변화에 따라 cosine 함수에 영향을 받고 있으므로  $E_{bny}(u, v)$ 가 나타내는 값은  $\cos(0)$  혹은  $\cos(\pi)$ 가 되고, 식(4)는 순수한 위상함수로 볼 수 있다. 또한, 이진화된 cosine 값은 입력과 기준 영상의 위상을 동시에 지니고 있으므로 식(4)를 역 푸리에 변환하여 얻는 상관 평면의 결과는 위상에 의해 표현되는 경계함수  $edge[\bullet]$ 를 이용하여 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 c(x, y) &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \{edge[r_i(x, y)] \otimes edge[s_j(x, y)]\} \cdot \delta[x - (x_i - x_j), y - (y_i - y_j)] \\
 &+ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \{edge[s_j(x, y)] \otimes edge[r_i(x, y)]\} \cdot \delta[x + (x_i - x_j), y + (y_i - y_j)]
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기에서  $edge[\bullet]$  함수는 입력과 기준 영상중의 명암 밝기가 급변하는 부분에서 나타나는 Dirac 델타 함수의 배열로 구성되며 극성을 갖는 이상적인 경계 함수를 말한다. 상관평면에서 상관첨두치는 DC를 중심으로 대칭적으로 나타나고 있으므로 상관평면의 절반만 검출하는 것으로 상관추적이 가능하다. 상관 결과는 비록 cosine 값에 따른 양극성 위상에 의해 발생했더라도 이미 복소함수의 제공에 의해 구성되어 있는 JTPS에 실수부와 허수부가 모두 고려되어 있으므로 cosine 변환을 이용하여 구성한 시스템에 비하여 우수한 상관특성을 갖는다. 그러나 광학적으로 양극성 위상을 구현하기 위해서는 음수를 표현할 수 있어야 한다.

이것은  $E_{bny}(u, v)$ 를 표현하는 과정에서 '-1'은 위상형 공간 광 변조기에 '1'에 대하여 상대적으로 180° 위상차를 두고 나타내는 것으로 가능하다.

따라서, BPEJTC를 이용하여 상관 추적 시스템을 구성하면, 완전한 위상형태의 상관기로 구성이 가능하게 되어 표적에 대한 판별력이 높아질 뿐만 아니라 동일평면 상관을 제거함으로써 표적의 분리조건을 극복할 수 있게 되어 다중 표적 추적에 효과적으로 이용될 수 있다.

### III. BPEJTC 시스템의 광-디지털 하드웨어 구현

#### 1. 추적 시스템의 광학적 구성

그림 2는 본 논문에서 구성한 실시간 하이브리드 광-디지털 BPEJTC 추적 시스템의 구성도를 나타낸다. 시스템은 이동하는 표적을 실시간으로 추적하기 위한 광 신호처리 계통과 추적 결과인 상관 첨두치의 값을 컴퓨터로 전송하기 위한 BPEJTC시스템이 하드웨어로 구성된 디지털 신호 처리 계통이 상호 보완적으로 구성된다.

광 신호처리 계통에서는 입력 신호 및 푸리에 변환 결과를 NTSC 신호로 변환시켜 주기 위해 외부 동기를 사용하는 3개의 CCD 카메라와 2차원 푸리에 변환을 광학적으로 수행하는 레이저 광원, 2개의 2차원 LCD 공간 광 변조기 및 푸리에 변환 렌즈(FT Lens)로 구성되어 있다. 그리고 편광기(polarizer: PL)를 이용하여 LCD를 진폭 및 위상 소자로 이용하였다.

그림 2의 추적 시스템 동작을 위해서는 먼저, 외부 영상이 zoom 렌즈가 부착된 CCD 카메라를 통해서 비디오 신호로 변환되어 디지털 시스템에 입력된다. 입력된 신호는 자기상관과 동일평면 상관을 제거하기 위하여 기준 영상, 입력 영상, 전체 영상이 순차적으로 LCD1에 나타나고 각각의 파워스펙트럼은 CCD 광검출기로 검출된 후 디지털 시스템에서 JTPS를 재구성된다. 재구성된 JTPS는 LCD2에 다시 나타내어 푸리에 변환된 후 최종적으로 상관을 발생시킨다. 푸리에 변환의 입력 평면을 구성하는 공간 광 변조기는 EPSON TFT-LCD를 이용하였으며, 광원은 30mW He-Ne 레이저를 이용하였다. LCD는 2.54×1.9cm의 크기에 320×220의 화소로 구성되어 있으며, 각 화소의 광투과 계수는 화소당 가해진 전압에 따라서 조절

되고 광학적 효과는 주로 화소 광투과 면적에 관계한다. 각 화소간의 간격은  $80 \times 90 \mu\text{m}$ 이고, 광 투과 면적은  $55 \times 60 \mu\text{m}$ 로 LCD의 전체 광투과 효율은 파장  $632.8\text{nm}$ 의 He-Ne 레이저를 이용하는 경우 43%이다. 퓨리에 변환은 초점 거리가 1m인 퓨리에 변환 렌즈를 이용하였으며, JTPS와 상관출력은 금성하니웰의 GE-104E CCD 카메라를 이용하여 검출하였다.

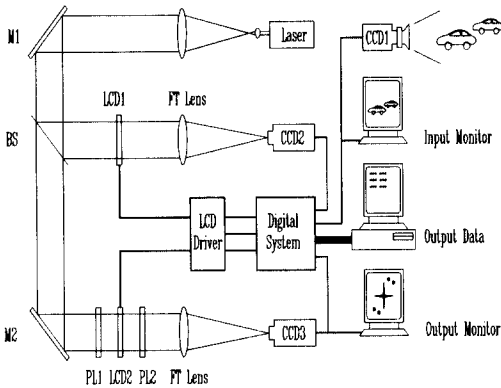


그림 2. 추적 시스템의 개략도  
Fig. 2. Schematic diagram of a target tracking system.

2. 추적 시스템의 신호 제어 회로 구성

그림 3은 하이브리드 BPEJTC 시스템의 디지털 영상 처리를 위한 구성도이다. 디지털 신호 처리계는 먼저, CCD 카메라에서 나오는  $1\text{Vp-p}$ 의 NTSC 영상 신호출력을 A/D 변환기 입력 특성에 맞도록 입력 버퍼 블럭에서 video amp. NE592를 사용하여  $2\text{Vp-p}$ 의 신호로 증폭하며, A/D 변환기는 8비트 20MSPS Sony CXD1175A 3개로 구성하였다. NTSC 타이밍 제어 신호를 발생시키기 위한 회로는 CXD1158M NTSC 신호 발생기로 구성하였으며, 화면내의 어드레스를 생성시키기 위한 방법으로 동기 신호와 도트 클럭 신호를 사용한 수평 9MHz의 9비트, 수직 15.734 KHz의 8비트 동기 카운터로 메모리 어드레스 카운터를 구성하였다. 영상 및 파워스펙트럼 버퍼는 20ns access time의 삼성 KM681001P/J 128KB SRAM 8개를 사용하였으며,  $512 \times 512$  화소 입력의 양자화를 위해 9.62MHz의 샘플링 주파수를 사용하였다. 또한, 영상을 LCD에 전송하기 위한 NTSC 신호를 만들기 위하여 Brooktree사의 BT121 triple 비디오 DAC 1개를 사용하였다.

BPEJTC 시스템의 입력 영상과 기준 영상은 하나의 SLM에 순차적으로 교번되어야 한다. 따라서, 본 시스템에서는 128KB SRAM 2개를 사용하여 입력 영상과 기준 영상을 저장할 수 있는 영상 버퍼를 제작하였으며, 이로부터 JTC 입력 평면을 구성하였다. BPEJTC의 특성상 LCD1에 영상을 출력하기 위하여 추가적인 어드레스 멀티플렉싱 기술이 필요하며 표 1에 이를 나타내었다.

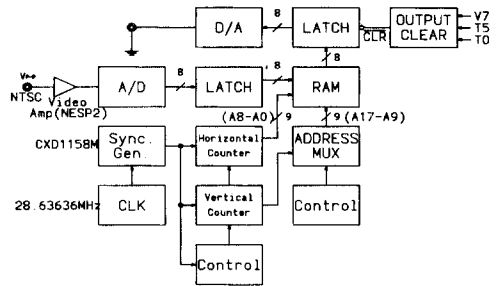


그림 3. 디지털 시스템의 개략도  
Fig. 3. Block diagram of the digital unit.

영상 버퍼는 어드레스 0000h에서 3FFFh까지 할당되었고, A17로 입력 영상과 기준 영상 버퍼가 디코딩된다. 멀티플렉서 회로를 그림 4에 나타내었으며, 영상 버퍼 출력시 ODD/EVEN 프레임의 구분은 A9로 결정한다. 그림 4(a)는 영상 입력시의 멀티플렉서 회로로 A8~A0는 수평 카운터의 출력이며, A16~A9는 수직 카운터의 출력이다. A17은 기준 영상과 입력 영상 저장을 위한 버퍼의 디코딩에 쓰이며, A17=0이면 영상 버퍼 1로서 어드레스 0h부터, A17=1이면 영상 버퍼 2로서 2000h 번지부터 어드레스된다. 그림 4(b)는 영상 버퍼의 데이터를 LCD1에 출력시킬 때 사용되는 멀티플렉서중 A9가 ODD/EVEN 프레임의 구분에 사용되며, 좌측의 XOR 게이트는 영상 버퍼의 스위칭에 사용된다.

입력된 영상 및 이진화된 파워스펙트럼은 2개의 NTSC 프레임 주기동안 LCD에 출력된다. 이는 LCD에 기록하기 위한 하나의 주기와 퓨리에 변환 값을 읽기 위한 또 다른 하나의 주기가 필요하기 때문이다. 그림 5는 ODD/EVEN 신호와 LCD1의 clear 신호를 나타낸 타이밍도이다. 그림 5의 (a)와 (f)는 영상을 입력하는 주기로서 각 ODD field 동안 LCD1은 clear된다. 여기서, (b)와 (c)에서는 LCD1의 상단에

표 1. 영상 버퍼의 입·출력시의 어드레스 멀티플렉싱 테이블  
Table 1. Address multiplexing table for image buffer.

RAM	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17
INPUT	I0	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	t, t-1
OUTPUT	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	ODD/ EVEN	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7

'0' 을 출력하여 clear 시키며 하단에 기준 영상을 출력하는 주기이고 (d)와 (e), (i)와 (j)는 기준 영상과 입력 영상을 출력하는 주기이다. 또한, (g)와 (h)는 LCD1 상단에 입력 영상을 출력하고 하단에 '0' 을 출력하여 clear 시키는 주기이다.

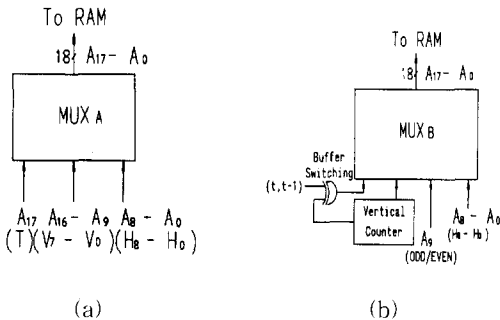


그림 4. 영상 버퍼 어드레스 멀티플렉서  
(a) 입력시 (b) 출력시

Fig. 4. Address multiplexer for image buffer.  
(a) input (b) output

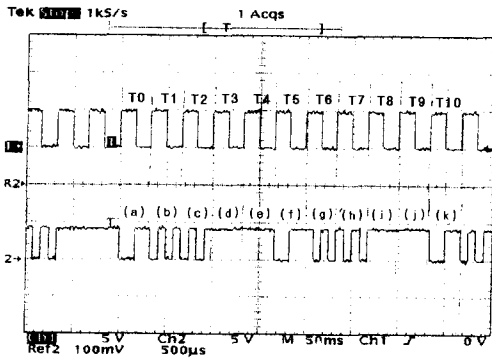


그림 5. ODD/EVEN 대 LCD1 clear 신호에 대한 타이밍 출력

Fig. 5. Timing of ODD/EVEN vs. LCD1 clear signal.

그림 6은 BPEJTC 시스템의 디지털 신호처리부에 대한 기능별 블록도 및 광학처리계와의 인터페이스에

대한 하드웨어 구성도이다. JTPS의 재구성을 위하여 각각 1개의 8비트 가산기, 감산기 및 비교기가 사용되었다. 또한, 이전 영상에 대한 파워스펙트럼 PS1과 현재 영상에 대한 파워스펙트럼 PS2 및 PS1+PS2 의 저장을 위하여 20ns의 access time을 갖는 6개의 128K×8 bits SRAM(static random access memory)으로 파워스펙트럼 버퍼를 구성하였다.

이전 영상과 현재 영상에 대한 파워스펙트럼을 PS3 라 하면, PS1은 그림 5의 (c) 주기 동안 버퍼 PS12에 저장되며, CCD1에서 그림 5의 (h)동안 PS2가 버퍼 PS21에 저장되고, 주기 (d)와 (i)동안 가산기에서는 PS12+PS21 연산이 수행되어 버퍼 PS2에 저장된다. CCD2에서는 전체 화면에 대한 JTPS가 주기 (e)와 (j)동안 시스템에 동기되어 입력되는 동시에 버퍼 PS2에 있는 데이터와 감산기를 통해 비교기에서 이진화되어 재구성된 파워스펙트럼을 (e)~(f), (j)~(k) 동안 LCD2에 나타낸다. 이 스펙트럼은 푸리에 변환 렌즈를 통과한 다음 CCD3를 통해 최종적인 상관 결과를 (f)와 (k) 주기에서 얻을 수 있도록 구성된다. 감산기에서는 PS3-(PS1+PS2)를 연산하여 PS3에 나타나 있는 동일 프레임 내의 표적들간의 상관과 DC 주변의 자기 상관성분을 제거한다.

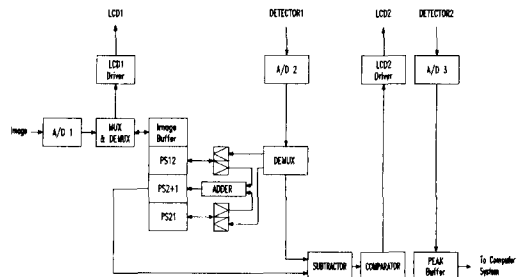


그림 6. 디지털 신호처리부에 대한 기능별 블록도  
Fig. 6. Functional block diagram of the digital unit.

그리고 비교기에서 이진화하여 위상 함수를 추출하고

역퓨리에 변환하면 순수하게 두 프레임간의 위상 상관 값만을 얻을 수 있다. 위상신호 상관은 결과적으로 동일표적간의 상관 성분을 크게하고 이종표적간의 상관 성분은 약화시켜 표적 식별 능력을 향상시킨다. 시스템의 타이밍을 분석한 결과는 그림 7에 나타내었다. 여기서, 표적 영상을 입력받은 이후 상관 결과를 입력받기까지의 처리 시간은 NTSC 프레임으로 5개의 주기가 소요되어 초당 6프레임을 효과적으로 처리할 수 있었다.

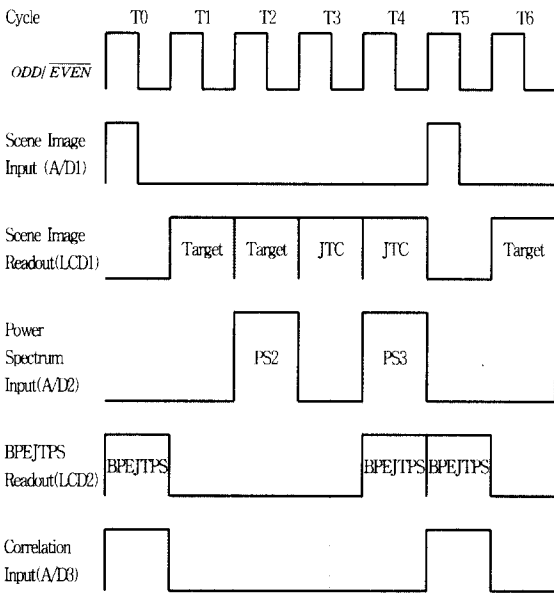


그림 7. 하드웨어 BPEJTC 추적시스템의 타이밍도  
Fig. 7. Timing diagram of optoelectronic BPEJTC tracking system.

#### IV. 실험 및 결과 고찰

BPEJTC 추적 시스템 하드웨어의 효율성을 검증하기 위하여 본 실험에서는 실제 자연계에서 접할 수 있는 환경을 조성하고 모형 차량을 이용하여 두 차량이 서로 동일한 방향에서 불규칙한 속도로 이동하도록 시나리오를 설정하였으며 이동하는 차량에 대한 CCD 카메라의 관측면을 약 3초에 통과하도록 하여 전체를 90 프레임으로 구성하였다.

이상의 시나리오를 BJTC 및 BPEJTC 추적 시스템에 입력시켜 실험한 추적 결과를 비교 분석하였다. 그림 8(a)와 (d)는 시나리오에 따라 구성된 시스템의 영상 입력을 나타내는 것으로 이전 프레임과 현재 프레

임을 하단과 상단에 나타내었다. 프레임의 흐름은 먼저 과거 프레임인 t-1 프레임에 존재하는 표적 ①과 ②가 현재 프레임인 t 프레임에서 표적 ③의 위치로 이동하였으며, 표적 ②가 표적 ④의 위치로 이동한 것을 그림 8(a)에서 살펴볼 수 있다. 그림 8(a)에서 연속으로 연결되는 그림 8(d)에서 t 프레임은 과거 프레임으로 작용하고 있으며, 새로이 입력된 t+1 프레임이 현재 프레임으로 작용하고 있다. 이와 같이 데이터는 순차적으로 갱신되며 추적이 이루어진다. 이러한 추적 방법은 t 프레임이 바로 앞과 바로 뒤의 프레임들과 작용할 뿐 그 외의 프레임들에는 영향을 주거나 받을 수 없는 특징을 갖고 있다.

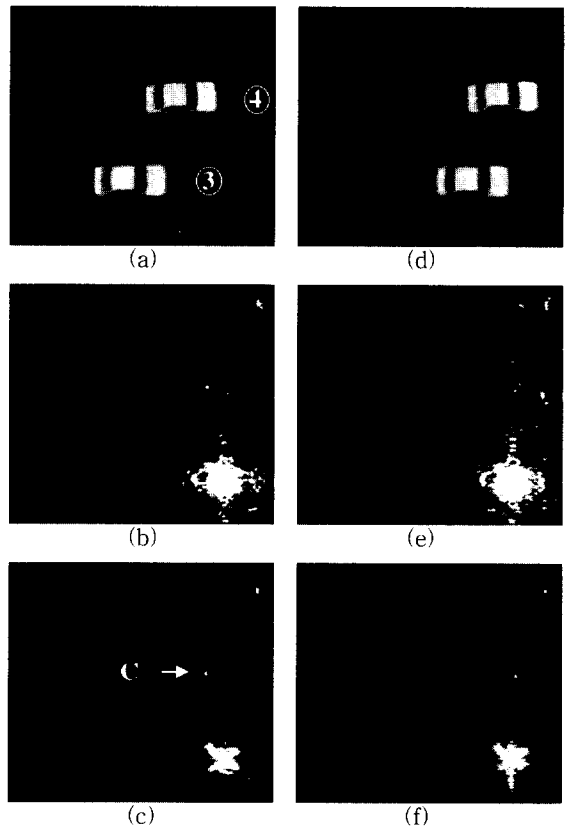


그림 8. BJTC와 하드웨어 BPEJTC 시스템을 이용한 실험결과

- (a)(d) 입력 평면의 입력 영상 및 기준 영상
- (b)(e) BJTC 시스템의 상관 결과
- (c)(f) 하드웨어 BPEJTC의 상관결과

Fig. 8. Result of optical feature extracting with optical BJTC and optoelectronic BPEJTC.  
(a)(d) Input image and a reference image on the input plane  
(b)(e) Correlation results in BJTC  
(c)(f) Correlation results in BPEJTC

이러한 특성은 표적 영상의 형태 및 이동 궤적이 변화가 계속하여 발생할지라도 지속적인 데이터만 입력될 수 있다면 변화에 적응적으로 추적할 수 있도록 한다.

그림 8(b)와 (e)는 그림 8(a)와 (d)를 BJTC에 입력시켜 얻은 상관 결과이며, 그림 8(c)와 (f)는 하드웨어로 구성된 BPEJTC에 의하여 얻은 상관 결과이다.

BJTC의 상관평면인 그림 8(b), 8(e)에는 상당히 복잡한 형태로 침두치가 나타나 있는 것을 확인할 수 있는데, 이는 상관 평면에 나타나는 전체 상관 침두치의 수가 자기 상관 성분에 해당하는 DC를 제외하고 모든 표적간에 상호상관이 발생했기 때문이다. 따라서, 상관 평면에서 검출되는 상관침두치는 본 실험에서는 2개의 동일 표적을 사용하여 상하 평면에 나타나 있으므로 전체 표적 수는 4개가 되어 이를 수학적으로 조합시켜 보면 그 경우의 수로  $2_4C_2=12$ 개의 상관침두치가 발생되며 동일한 다중 표적 추적에 사용하기에는 불가능하다.

반면에 BPEJTC의 상관평면인 그림 8(c), 8(f)는 그림 8(b), 8(e)에 비하여 DC 주변에 sidelobe와 주변의 상관 성분이 감소하고 있으며, 상관 침두치 역시 명확하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 광학적 실험 결과에는 이론적으로 제거된 DC 성분이 나타나고 있는데, 이것은 이론적으로 제거된 자기상관 신호가 아니라 입력 소자로 이용하고 있는 LCD의 화소가 지나는 광 투과면적에서 광 회절을 발생시키지 못한 부분이 발생시킨 것으로 보다 고해상도의 소자를 이용하면 해결될 수 있다. 이러한 관점에서 BPEJTC 상관 평면을 살펴보면 동일 평면에 존재하는 표적들 간의 상관과 자기 상관 성분은 발생하지 않은 것이다. 그림 8(c)에서 B와 C는 동일한 신호이고 A와 D도 동일한 신호이므로 평면의 절반만 살펴보면, C는 그림 8(a)의 ②와 ③간에 발생한 신호이며 또한, D는 ①과 ③ 그리고 ②와 ④ 사이에서 발생한 상관침두치가 중첩되어 나타나 있는 것이다. 그러나 여기에는 ①과 ④사이의 상관신호는 나타나지 않는데 이것은 CCD의 관측지점에서 벗어났기 때문이다. 이상의 실험결과는 본 논문에서 구성한 BPEJTC의 하드웨어가 동일한 다중 표적 추적에 있어 우수한 상관 능력을 지닌 것으로 해석된다.

상관 시스템에서 얻을 수 있는 상관 결과에는 영상의 형태에 관계없이 침두치로 발생함으로 다중표적에 의하여 발생한 상관침두치를 각 표적에 일대일 대응시

키는 것은 어렵다. 그리고 매우 유사한 표적이거나 잡음에 의하여 발생하는 허위 상관침두치를 효과적으로 분리해낼 수 없다. 이것은 후처리단을 이용하여 해결할 수 있는데, 현재까지 발표된 연구 결과들에 의하면 표적 상관 데이터를 데이터 연관 알고리즘에 입력하여 추적 시스템을 구성하면 효과적인 추적이 가능한 것으로 알려져 있다<sup>[10]</sup>.

따라서, 본 논문에서 제안된 시스템을 데이터 연관 알고리즘과 상호 보완적으로 이용하면 잡음 환경 속에서도 표적을 추적할 수 있을 뿐만 아니라 표적의 크기 및 회전 변화에 대해서도 시스템의 적응 특성으로 인해 변화없이 실시간으로 추적할 수 있을 것이다.

## V. 결 론

JTC와 JTPS의 재구성성이 없는 BJTC 시스템을 추적 시스템에 도입한 이후 불규칙하게 이동하는 표적을 효과적으로 추적할 수 있음이 발표되었다. 그러나 이론적으로는 강한 DC의 발생과 동일평면 상관으로 효율이 낮고 기술적으로 입력 영상과 상관 신호의 신호 흐름 제어 장치에 대한 연구가 미비하여 2차원 CCD 영상을 실시간적으로 상관 처리하는 실질적 시스템에 응용되지 못하고 있었다. 따라서, 본 논문에서는 다중 표적 추적에 있어 BJTC 보다 월등한 상관 판별력과 우수한 peak-to-sidelobe 비율이 나타나는 BPEJTC 시스템의 하드웨어를 설계, 제작하였으며, 시스템의 타이밍을 분석한 결과 6프레임/초의 처리 능력을 보여 실시간 개념을 100ms/프레임으로 보는 가상 현실의 관점에서 볼 때 어느 정도 실시간 처리를 가능하게 하였고, 자연 환경하에서 이동하는 표적 시나리오를 설정한 실험을 통해 상관 침두치를 분석한 결과 이동 표적 추적에 대한 실제 응용 가능성을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] B.Bhanu, "Automatic target recognition : State of the art," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-22, no. 4, pp. 364-379, 1986.
- [2] W.M.Brown and C.W.Swonger, "A prospectus for automatic target recognition," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic*

- Systems*, vol. AES-25, no. 3 pp. 401-409, 1989.
- [3] C.S.Weaver and J.W.Goodman, "A technique for optically convolving two function," *Appl. Opt.*, vol. 5, no. 9, pp. 1248-1249, 1966.
- [4] F.T.S.Yu, E.C.Tom, and D.A.Gregory, "High efficiency joint transform correlator," *Opt. Lett.*, vol. 15, no. 18, pp. 1029-1031, 1990.
- [5] B.Javidi, "Nonlinear joint power spectrum based optical correlation," *Appl. Opt.*, vol. 12, no. 15, pp. 2358-2367, 1989.
- [6] F.T.S.Yu, F.Cheng, T.Nagata, and D.A.Gregory, "Effects of fringe binarization of multi-object joint transform correlation," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 15, pp. 2988-2900, 1989.
- [7] B.Javidi, J.Wang and Q.Tang, "Multiple-object binary joint transform correlation using multiple-level threshold crossing," *Appl. Opt.*, vol. 30, no. 29, pp. 4234-4244, 1991.
- [8] W.B.Harn Jr. and D.L.Flannery, "Design elements of binary joint transform correlation and selected optimization techniques," *Opt. Eng.*, vol. 31, no. 5, pp. 888-895, 1992.
- [9] F.Cheng, P.Andres, and F.T.S.Yu, "Removal of intra-class associations in joint transform power spectrum," *Opt. Comm.*, vol. 99, no. 1, 2, pp. 7-12, 1993.
- [10] S.Y.Yi, C.S.Ryu, and E.S.Kim, "Multitarget tracking system based on binary phase extraction joint transform correlator and neural data association algorithm," *Proc. SPIE*, vol. 2237, pp. 283-293, 1994.
- [11] S.Y.Yi, E.S.Kim, and H.G.Yang, "A BPEJTC based segmentation for nonstationary image," *Optics Comm.*, vol. 123, pp. 716-724, 1996.

## — 저 자 소 개 —

李 丞 玄(正會員) 第 33卷 A編 第 6號 參照

현재 광운대학교 전산사회교육원  
조교수

李 相 二(正會員) 第 33卷 A編 第 6號 參照

현재 광운대학교 전자공학부 박사과정

柳 忠 相(正會員) 第 32卷 A編 第 3號 參照

현재 광운대학교 전자공학부 박사  
과정



車 侑 勳(正會員)

1960년 4월 26일생, 1985년 서울산업대학교 전자공학과 졸업, 1994년 8월 광운대학교 산업정보대학원 전자공학과 졸업, 현재 서울산업대학교 전자공학과 조교, 주관심 분야는 디지털 신호처리, 정보 부호화 등임.

徐 春 源(正會員) 第 31卷 A編 第 5號 參照

현재 광운대학교 전자공학부 박사  
과정

金 恩 洙(正會員) 第 33卷 A編 第 6號 參照

현재 광운대학교 전자공학부 교수