

특집논문-02-07-3-05

## 스테레오 비전 시스템에서 3차원 정보와 광 상관기를 이용한 3차원 물체추적 방법

서 춘 원\*, 이 승 현\*\*, 김 은 수\*\*

### 3-D Object Tracking using 3-D Information and Optical Correlator in the Stereo Vision System

Choon-weon Seo\*, Seung-hyun Lee\*\* and Eun-Soo Kim\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 스테레오 비전 시스템의 3차원 정보에 의해 가변되는 윈도우 마스크와 광 BPEJTC(binary phase extraction joint transform correlator)를 이용하여 스테레오 카메라를 제어하는 새로운 3차원 물체추적 시스템을 제안하였다. 즉, 스테레오 비전 시스템의 구성 요소에 의해 3차원 정보인 추적 물체까지의 거리 정보를 쉽게 구할 수 있고, 이 거리 정보로 윈도우 마스크를 가변 시켜 추적물체 영역을 추출할 수 있다. 이 추적물체 영역은 다음 기준영상으로 갱신하여 사용된다. 그리고 이 기준영상과 스테레오 입력 영상간에 광 BPEJTC를 실행하여 추적 물체의 위치 값을 구하고, 이 값으로 스테레오 카메라의 주시각과 판/틸트를 제어하여 3차원 물체추적이 이루어진다. 실험 결과 제안한 알고리즘은 스테레오 입력 영상에서 배경잡음과 관계없이 추적 물체영역을 추출하여 3차원 물체추적이 가능하고, 이의 구현으로 3차원 원격작업 시스템이나 적응적인 3차원 물체 추적기 등의 구현 가능성을 제시하였다.

#### Abstract

In this paper, we proposed a new 3-dimensional(3-D) object-tracking algorithm that can control a stereo camera using a variable window mask supported by which uses 3-D information and an optical BPEJTC. Hence, three-dimensional information characteristics of a stereo vision system, distance information from the stereo camera to the tracking object, can be easily acquired through the elements of a stereo vision system, and with this information, we can extract an area of the tracking object by varying window masks. This extractive area of the tracking object is used as the next updated reference image. Furthermore, by carrying out an optical BPEJTC between a reference image and a stereo input image the coordinates of the tracking objects location can be acquired, and with this value a 3-D object tracking can be accomplished through manipulation of the convergence angle and a pan/tilt of a stereo camera. From the experimental results, the proposed algorithm was found to be able to the execute 3-D object tracking by extracting the area of the target object from an input image that is independent of the background noise in the stereo input image. Moreover a possible implementation of a 3-D tele-working or an adaptive 3-D object tracker, using the proposed algorithm is suggested.

#### I. 서 론

이동 표적의 실시간 추적기술은 지난 수 십년 동안 여러 응용 분야에서 많은 연구<sup>[1-5]</sup>가 이루어져 왔으며, 최근에는

---

\* 김포대학 전자정보계열  
Division of Electronic and Information Science, Gimpo College  
\*\* 광운대학교 전자공학과  
School of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.

산업 및 군사 기술의 발달과 더불어 무인 자동화 시스템의 요구가 높아짐에 따라 이에 대한 관심이 고조되고 있다. 기존의 물체추적 기술은 대부분 2차원 순차 입력영상을 이용하여 현재 영상의 배경과 잡음으로부터 표적을 식별하는 연구<sup>[6]</sup>와 식별 후 표적물체의 위치를 추적하는 기술<sup>[2-5]</sup>로 분류되어 연구되어 왔다.

3차원 물체추적 시스템은 사람의 눈 구조와 같이 좌, 우 두 눈 사이의 양안 시차(binocular disparity)에 의해 입체감을 느낄 수 있게 된다. 그리고 좌, 우 두 눈의 초점면에 표적 물체의 시점이 일치하지 않으면 표적 물체가 두개의 물체로 보여 눈에 피로감을 주게된다. 결국 추적물체에 스테레오 시차<sup>[7]</sup>가 존재할 경우에는 이 시차를 제거해야 되는데 이것을 주시각 제어(convergence angle control)<sup>[7-9]</sup>라고 한다. 따라서 3차원 물체추적 시스템은 양안 시차<sup>[10]</sup>가 존재 하면서 추적 물체에 대한 스테레오 시차를 없애주는 주시각 제어 부분과 물체 추적을 위해 추적 물체가 항상 카메라 시야(FOV: field of view)에서 중앙에 위치하도록 하는 카메라 팬/틸트 제어 등 두 가지 기술이 필요하게 된다.

일반 영상처리에서 추적 물체를 추출하기 위한 방법으로는 전, 후 프레임의 비교에 의한 차영상 방법(image difference), 사전에 정의된 특정 모델의 특징을 이용하는 모델기반(model-based)의 방법, 광류에 의한 방법(optical flow) 및 블록매칭에 기반한 방법(block matching) 등이 연구되고 있다. 그러나 이동 중인 원격작업 시스템이나 이동 물체 추적 시스템에서는 대부분 복잡한 배경이 존재하고 입력영상에서 배경의 변화가 많으므로 이동하는 표적 물체를 추출하는데 많은 어려움이 있다. 특히, 동일한 표적일지라도 배경에 따라 표적 물체의 상대적 명암이 바뀔 수 있고, 다른 물체나 다른 표적에 의해 가려질 수 있는 등의 주위환경 변화에 능동적으로 대처해야 되는 어려움이 있다.

3차원 영상처리에서는 스테레오 비전 시스템의 특징 등으로 3차원 정보를 추출하여 추적 물체를 찾아내는 것이 기본적인 과제라 할 수 있다. 즉, 스테레오 쌍의 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 추출할 수 있다면 표적물체의 검출뿐만 아니라 표적물체의 위치 정보를 구하는데 이용할 수 있으므로 3차원 원격작업이나 3차원 물체추적 시스템 등에 사용할 수 있다. 일반적으로 2-D 영상에서 추적물체의 분할 및 위치 추출에 사용되는 광 BPEJTC<sup>[11-13]</sup>는 복잡한 배경이 존재하거나 추적물체의 크기 및 형태가 초기 값과 변화가 있는 경우에는 추적물체를 추출하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 삼각 측량법에

의해 추적물체까지의 거리정보를 쉽게 얻을 수 있는 특징을 지닌 스테레오 비전 시스템을 이용하여 카메라에서 추적물체까지의 거리정보를 구하였다. 그리고 추적 물체는 거리에 반비례하여 크기가 변하는 원리를 이용하여 거리 정보에 따라 추적 물체의 윈도우 마스크를 가변 시켜 추적물체 영역을 추출함으로써 배경을 제거하였다. 이 가변 윈도우 마스크의 추적 물체를 다음 단계의 기준 영상으로 다시 갱신하여 다음 단계의 입력영상과 광 BPJTC를 실행함으로써 추적 물체의 크기 및 형태가 초기 값과 변화가 있을 경우에도 추적 물체 영역과 위치를 정확하게 추출할 수 있도록 하였으며, 이 값으로 스테레오 카메라의 주시각 및 팬/틸트를 제어하는 새로운 3차원 물체추적 시스템을 제안하였다.

본 논문은 II절에서 스테레오 비전 시스템과 스테레오 물체추적 과정에 대하여 기술하고, III절에서 제안한 알고리즘에 대하여 설명하였으며, IV절에서 제안한 알고리즘의 실험 결과를 제시하고 마지막으로 결론을 맺는 것으로 구성하였다.

## II. 스테레오 비전 시스템

3차원 물체 추적 시스템은 사람과 같은 입체 시각<sup>[8,9]</sup>의 입체 영상기술, 스테레오 카메라의 표적 물체를 인지하는 물체 인식기술 및 표적 물체의 연속적인 추적으로 관측자가 표적 물체를 계속 감시할 수 있도록 추적 물체를 카메라 시야의 중앙에 디스플레이 해줄 수 있는 물체 추적기술 등이 포함된다. 그림 1은 추적 물체가 이동할 때 스테레오 카메라의 주시각 및 팬/틸트를 제어하여 표적물체를 추적하는 3차원 물체추적 시스템의 개념도를 보여준 것이다.

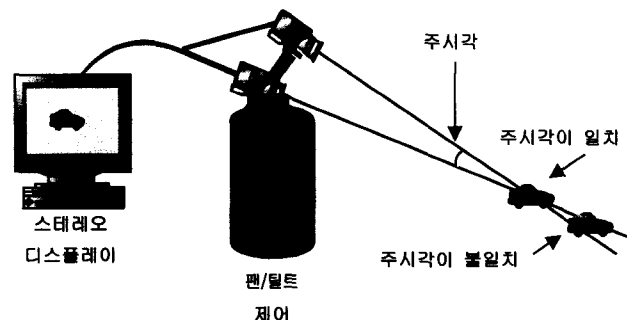


그림 1. 3차원 물체 추적 시스템의 개념도  
Fig. 1. Conceptual diagram of the stereo tracking system

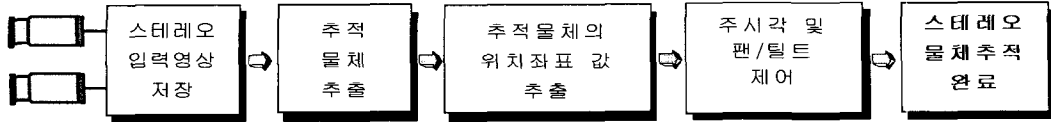


그림 2. 3차원 물체추적 시스템의 처리과정  
Fig. 2. Process of stereo object tracking system

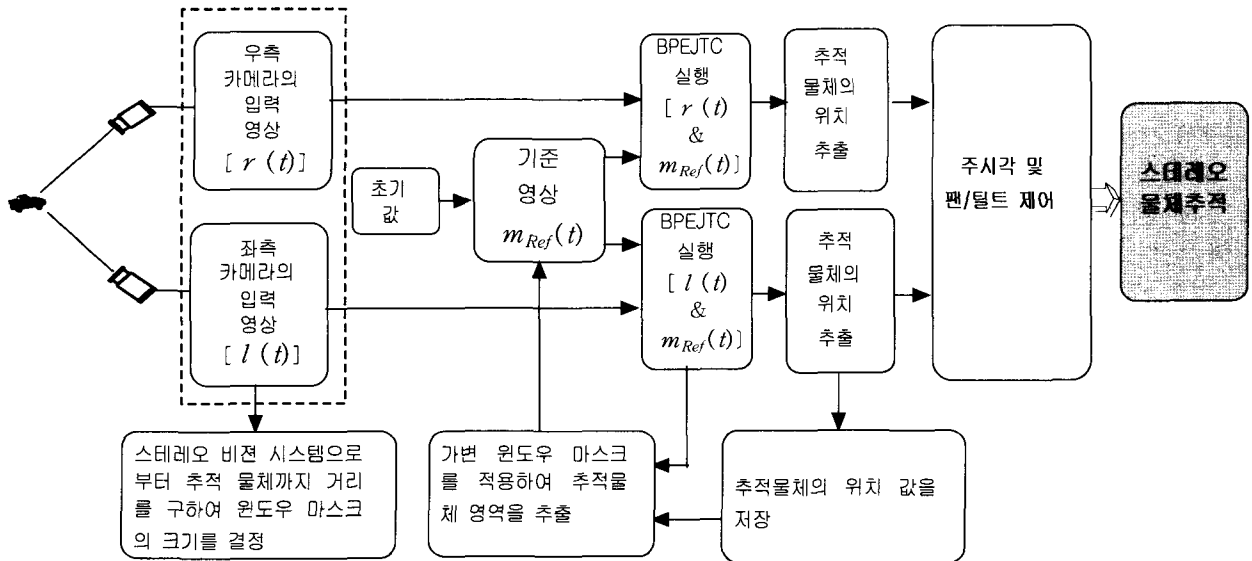


그림 3. 제안한 3차원 물체추적 알고리즘  
Fig. 3. Proposed algorithm for a stereo object tracking

그림 1에서처럼 3차원 물체추적 시스템은 2 가지의 기능을 동시에 지니고 있어야 한다. 하나는 스테레오 영상 디스플레이에서 이동하는 추적 물체의 스테레오 시차를 없애주는 주시각 제어 기능이고, 다른 하나는 표적 물체에 따라 스테레오 카메라의 팬과 틸트를 제어하여 사람의 눈동자 움직임과 같이 표적 물체가 항상 카메라 시야의 중앙에 놓이도록 하는 추적 기능을 지니고 있어야 한다.

그림 2는 3차원 물체 추적시스템의 일반적인 추적과정을 나타낸 것이다. 우선, 스테레오 입력영상을 저장하여 영상 처리를 통해 추적 물체를 인지하고 추적물체 영역을 추출한다. 다음에 추적 물체의 위치를 구하여 이 값으로 추적 물체가 중앙에 놓이도록 카메라의 주시각 및 팬/틸트를 제어함으로써 3차원 물체추적을 수행하게 되는 것이다.

### III. 제안된 3차원 물체추적 알고리즘

일반 영상처리에서 표적물체를 추출하기 위한 정합 및

상관 기법들은 배경의 복잡성이나 물체와 배경의 분리 정도에 따라 성능이 크게 달라진다. 다양한 배경의 2차원 영상에서는 표적물체의 분리가 쉽지 않거나 오류가 포함되어 분리되므로 성능이 크게 떨어진다. 그러나 스테레오 비전 시스템의 특징을 이용하여 표적물체를 분리할 경우에는 성능을 크게 개선시킬 수 있다. 즉, 스테레오 입력 영상에서 3차원 정보를 구하고 스테레오 카메라의 구성 파라미터를 이용하면, 복잡한 배경에서도 좀더 쉽게 표적을 분리할 수 있으므로 표적물체의 분리성능을 보다 향상시킬 수 있게 된다.

본 논문에서 새로이 제안한 알고리즘은 그림 3에서처럼 크게 3단계로 이루어진다. 초기에만 추적 물체를 윈도우 마스크로 지정하면 스테레오 비전 시스템에 의해 자동으로 추적물체의 크기 및 거리 정보가 초기 값(intial value)으로 저장된다. 동시에 이 윈도우 마스크의 추적물체 영상이 기준영상[reference image,  $m_{Ref}(t)$ ]이 되어 현재의 입력 영상 간에 광 BPEJTC를 실행함으로써 추적물체만 추출하여 추적물체의 위치를 구할 수 있다. 이 위치 값으로 카메라를

제어하여 3차원 물체추적이 수행되면서, 동시에 스테레오 비전 시스템의 특징에 의해 자동으로 추적물체의 크기 및 거리 정보를 다시 갱신한다. 이 정보를 이용하여 추적물체 영역을 가변 윈도우 마스크로 추출할 수 있고, 윈도우 마스크 영상을 다음 단계 물체추적의 기준 영상으로 갱신하게 된다.

따라서 아래의 1,2,3단계를 거쳐 추적이 한번 이루어 질 때마다 가변 윈도우 마스크에 의해 기준영상(추적물체)이 새로이 갱신되고, 초기에 결정된 추적물체는 이동에 따른 크기 변화나 주변의 복잡한 배경변화에 상관없이 표적 물체만 추출하여 3차원 물체추적이 가능하게 된다.

1단계에서는 좌, 우측의 스테레오 입력영상에서 스테레오 비전 시스템의 특징을 이용하여 추적물체까지의 거리 정보를 구한다. 이 거리 정보는 이전의 단계에서 저장된 값과 비교하여 추적물체의 크기를 예측할 수 있으므로 추적물체 영역을 추출할 때 윈도우 크기를 가변시킬 수 있는 정보가 된다.

다음 2단계는 이전영상에서 구한 가변 윈도우 마스크의 기준영상[  $m_{Ref}(t)$  ]과 스테레오 입력 영상[  $l(t), r(t)$  ] 간에 광 BPEJTC를 실행하여 추적 물체의 위치 값을 구하여 버퍼에 저장한다. 여기서 구한 3차원 추적물체의 위치 값은 3차원 추적기의 주시각 제어 및 팬/틸트 제어 값으로 사용하여 3차원 물체추적을 수행하게 된다.

다음 3단계에서는 가변 윈도우 마스크로 추적물체 영역을 추출하여 다음 3차원 물체추적의 기준영상으로 갱신하게 된다. 즉, 1단계에서 구한 윈도우의 크기와 2단계에서 구한 좌측영상의 추적물체 위치 값을 이용하여 추적물체 영역만을 추출할 수 있다. 이 가변 윈도우 마스크의 추적물체 영역은 다음 물체추적을 위한 기준 영상으로 갱신하여 사용된다. 한편, 스테레오 입력영상에서 좌, 우측 영상에서 존재하는 추적물체는 유사한 것으로 간주할 수 있으므로 우측 입력영상의 광 BPEJTC 수행 시 좌측 영상에서 추출한 것을 기준 영상으로 사용하여 광 BPEJTC를 수행할 수 있다.

결과적으로 표적 물체를 추적할 때, 스테레오 비전 시스템의 특징인 3차원 정보를 이용하여 카메라에서 추적 물체까지의 거리가 자동으로 계산되어 추적 물체의 크기 정보를 알 수 있다. 이 정보를 이용하여 추적물체의 크기에 따른 윈도우 마스크를 가변해서 추적 물체를 추출하게 된다. 그리고 이 가변 윈도우 마스크로 추출된 추적 물체를 기준 영상(reference image)으로 사용하여 입력 영상과 광 BPEJTC를 수행함으로써 추적물체의 위치를 추출하게 되

고, 이 값을 이용해 카메라를 제어함으로써 3차원 물체 추적이 가능하게 된다.

1. 1단계 : 추적물체의 거리 추출

스테레오 비전 시스템에서 영상 획득은 같은 초점거리( $f$ )를 갖고 나란히 위치한 두 대의 카메라를 통해 이루어지며, 스테레오 비전 시스템의 카메라 구성법은 일반적으로 그림 4와 같이 교차식과 평행식의 두 가지 방법이 있다.

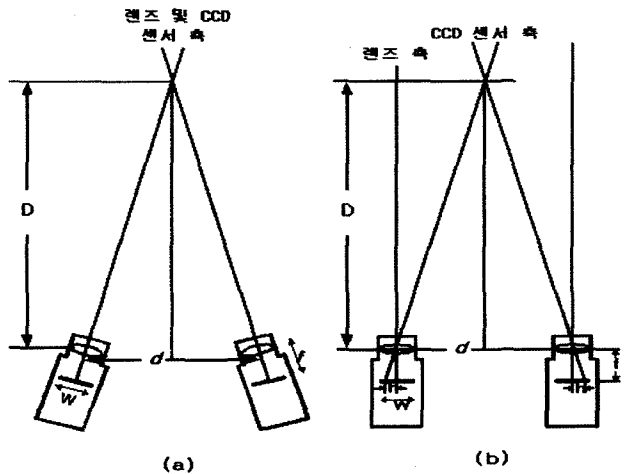


그림 4. 스테레오 카메라의 구성법 (a)교차식 (b)평행식  
Fig 4. Geometries of stereo camera (a)Crossing method (b)Parallel method

두 가지 방식 중 가장 간단한 방식은 평행 카메라 방식으로 평행한 렌즈의 광축과 평행한 카메라의 광축을 가진 두 카메라를 이용하는 방식이다. 이 방식에서 얻어지는 오른쪽과 왼쪽 영상 사이에서의 공통지역은 광축 사이의 거리에 따라서 매우 작아지며, 수직 시차가 없기 때문에 장점이 있다.

그러나 인간의 시각 시스템은 교차식 방식에 가까우며, 이 방식은 두 카메라 축과 렌즈축이 교차하도록 서로를 향해 안쪽으로 회전한 카메라를 가지고 있어 소위 주시점이라 불리는 곳에서 모이게 된다. 또한, 교차식 카메라 설정법은 카메라들 사이의 공통지역을 최대화할 수 있기 때문에 실제로 많이 사용되고 있다. 결국, 인간의 시각 시스템은 교차식 카메라 모델에 가깝다고 할 수 있고, 이 방식을 적용한 스테레오 비전 시스템은 인간의 두 눈을 이용하여 물체의 입체감을 인식하는 원리를 그대로 구현한 것이다.

따라서 본 논문에서도 카메라의 광축이 추적물체의 주시

점에 일치하도록 하는 교차식 카메라 설정법을 사용하였다. 이는 물체의 거리 변화에 따라 카메라의 광축을 이동 시켜 주시각을 제어하고, 그림 5에서처럼 삼각법에 의해 추적물체까지의 거리 정보를 구할 수 있다.

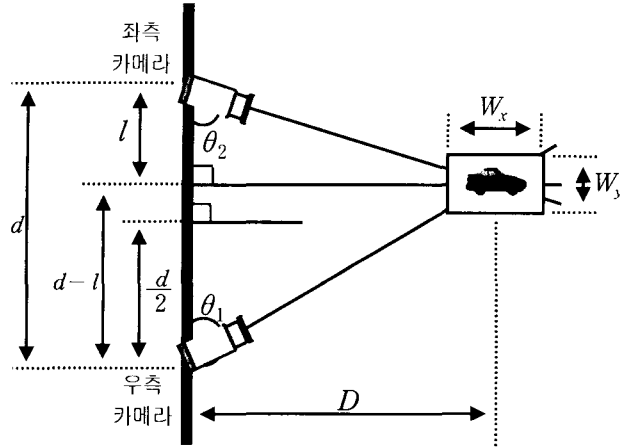


그림 5. 교차식 카메라의 분석  
Fig. 5. Analysis of crossing camera

그림 5에서 각 변수들은 다음과 같이 정의할 수 있다.

- $d$  : 좌,우 두 카메라 사이의 거리
- $D$  : 카메라에서 추적 물체까지의 거리
- $\theta_1$  : 우측 카메라의 광축 각도
- $\theta_2$  : 좌측 카메라의 광축 각도
- $l$  : 카메라 위치와 추적물체가 직각을 이루는 점에서 좌측 카메라까지 거리
- $W_x$  : 추적물체에 대한 윈도우 마스크 크기 (x축)
- $W_y$  : 추적물체에 대한 윈도우 마스크 크기 (y축)

그림 5에서 좌, 우측 카메라의 각도  $\theta_2$ 와  $\theta_1$ 은 그림 10의 팬/틸트 제어 시스템내에 카메라의 위치 변동에 따라  $\theta$ 값이 자동으로 생성되는 인코더가 내장되어 컴퓨터와 연결되어 있어  $\theta$ 값을 쉽게 얻을 수 있다. 이들의 탄젠트 (tangent) 값을 구해보면 식(1)과 식(2)와 같다. 그리고 팬/틸트 제어 시스템에 내장된 인코더에 의해 생성되는  $\theta$ 값은 초기에 정확히 기준 값을 정해주면 기계적으로 오류를 발생하지 않는다.

$$\tan \theta_1 = \frac{D}{d-l} \quad (1)$$

$$\tan \theta_2 = \frac{D}{l} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)를 이용하여  $l$  값으로 대입하여 풀어보면, 추적물체까지의 거리  $D$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D = \left( \frac{\tan \theta_1 \cdot \tan \theta_2}{\tan \theta_1 + \tan \theta_2} \right) \cdot d \quad (3)$$

여기에서  $\theta_1, \theta_2$ 는 3차원 추적 시스템의 인코더에 의해 얻을 수 있으며,  $d$ 는 좌, 우 카메라 사이의 거리이므로 스테레오 비전 시스템의 구성 요소에 의해 주어지는 값이다. 따라서 식(3)을 이용하여 추적 물체까지의 거리  $D$ 는 스테레오 비전 시스템에서 쉽게 구할 수 있다.

## 2. 2단계 : 광 BPEJTC로 추적물체의 위치 추출

초기에 설정한 후 다음부터 계속 갱신되는 가변 윈도우 마스크의 기준영상[  $m_{Ref}(t)$  ]과 스테레오 입력영상[  $l(t), r(t)$  ] 간에 광 BPEJTC를 실행한다. 여기서 좌, 우 영상을 동시에 저장하는 스테레오 비전 시스템에서는 좌, 우측 입력영상의 추적물체는 유사하므로 한쪽 영상에서 추출한 기준영상  $m_{Ref}(t)$ 를 좌, 우 입력영상에서 동시에 적용할 수 있다.

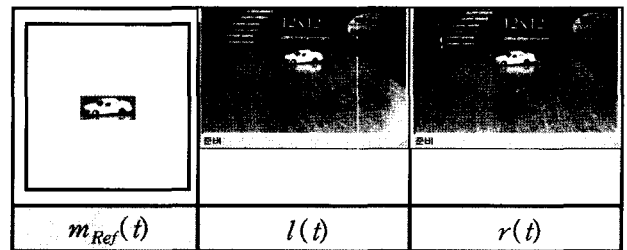


그림 6. 기준영상과 스테레오 입력 영상  
Fig. 6. Reference image and stereo input image

그림 6에서처럼 스테레오 카메라의 물체 추적을 위해서는 가변 윈도우 마스크의 기준영상인  $m_{Ref}(t)$ 과 좌, 우측 입력영상인  $l(t)$ 와  $r(t)$  간에 광 BPEJTC를 실행하여 추적물체의 위치를 구한다. 여기서 구한 추적 물체의 위치 값은 좌, 우측 카메라의 팬/틸트 제어 값으로 사용하게 된다.

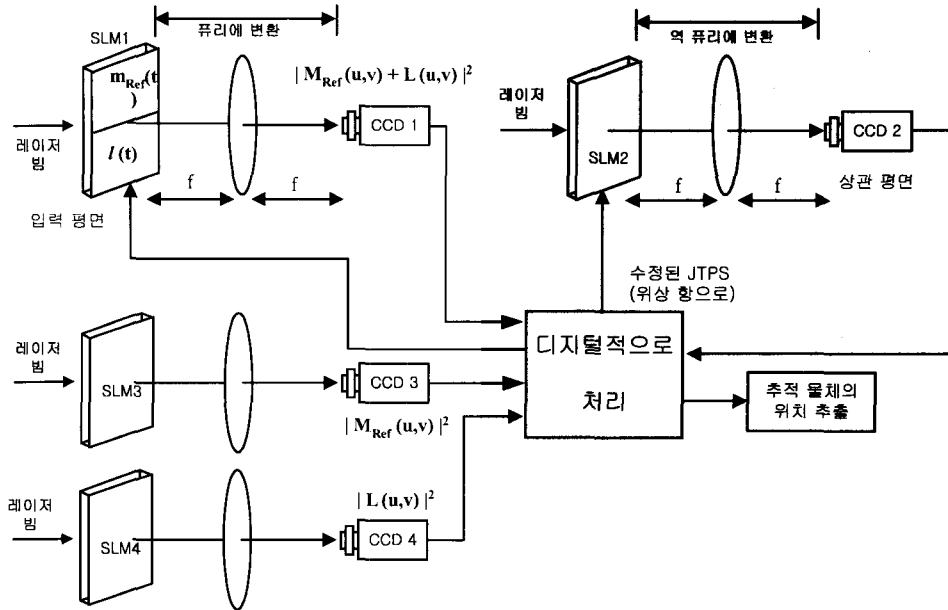


그림 7. 좌측 영상의 광 BPEJTC 시스템의 구성도  
 Fig. 7. Block diagram of optical BPEJTC system for left image

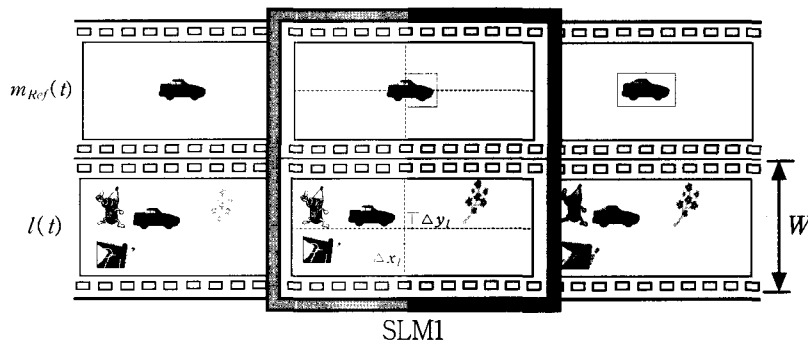


그림 8. 광 BPEJTC의 입력평면  
 Fig. 8. Input plane of optical BPEJTC

그림 7은 기준영상인  $m_{Ref}(t)$ 과 좌측 입력영상인  $I(t)$  간의 광 BPEJTC 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 또한, 기준영상인  $m_{Ref}(t)$ 과 우측 입력영상인  $r(t)$ 간에도 동일하게 적용할 수 있으므로 본 논문에서는 좌측 입력영상에 대해서만 설명하고, 우측 영상의 광 BPEJTC 결과만 설명하고자 한다.

광 BPEJTC 시스템은 기존의 광 JTC(joint transform correlator) 시스템에서 발생하는 과도한 DC(direct current)나 상관오류 등을 제거하고 분리 조건에 보다 탄력적으로 대처할 수 있도록 새로이 제안된 위상형 광 상관기<sup>[11]</sup> 시스

템이다. 즉, 광 세기 분포로 나타나는 JTPS(joint transform power spectrum)에서 자기 상관성분과 동일영상 평면에서 나타나는 상호 상관을 효과적으로 제거하여 위상함수만 추출함으로써 상관 판별력을 보다 개선하고 광 효율을 극대화한 시스템이다.

입력 평면에서 SLM1(spatial light modulator 1)의 영상은 렌즈에 의해 푸리에 변환되어 JTPS 형태로 CCD1(charge-coupled device 1)에 검출되게 된다. 그림 7의 푸리에 입력 평면은 그림 8과 같이 2단으로 분리하여 광 JTC 입력 평면으로 나타낼 수 있다.

여기서  $2W$ 는 CCD1의 높이를 나타낸다. 광 BPEJTC 입력 평면의 기준영상  $m_{Ref}(t)$ 와 비교영상  $l(t)$ 간에 푸리에 변환한 광 간섭세기 분포인 JTPS<sup>[11-13]</sup>는 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E_{JTC}(u, v) &= |M_{Ref}(u, v) + L(u, v)|^2 \\
 &= |M_{Ref}(u, v)|^2 + |L(u, v)|^2 \\
 &\quad + |M_{Ref}(u, v)| \cdot |L(u, v)| \\
 &\quad \exp[j2\pi[u(\Delta x_l) + v(\frac{-w}{2} - [-\frac{w}{2} + \Delta y_l])] \\
 &\quad + |M_{Ref}(u, v)| \cdot |L(u, v)| \\
 &\quad \exp[-j2\pi[u(\Delta x_r) + v(\frac{-w}{2} - [-\frac{w}{2} + \Delta y_r])]
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서  $(u, v)$ 은 푸리에 공간좌표 나타내고,  $M_{Ref}(u, v)$ 와  $L(u, v)$ 는 기준영상  $m_{Ref}(t)$ 와 좌측 입력영상  $l(t)$ 의 푸리에 변환을 각각 나타낸다. 식(4)에서 처음 두항은 자기 상관 성분이고, 세 번째항과 네 번째항은 두 영상간의 상호 상관성분을 나타내는 항이다. 따라서, 광 JTC의 JTPS에서 자기 상관 성분인  $|M_{Ref}(u, v)|^2$ 과  $|L(u, v)|^2$ 을 그림 7의 CCD3과 CCD4에서 얻을 수 있으므로 디지털적으로 처리하여 제거하면 다음과 같은 새로운 JTPS를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E_{NEW}(u, v) &= E_{JTC} - |M_{Ref}(u, v)|^2 - |L(u, v)|^2 \\
 &= |M_{Ref}(u, v)| \cdot |L(u, v)| \exp[-j\Phi_{M_{Ref}}(u, v)] \\
 &\quad \exp[j\Phi_l(u, v)] \exp[j2\pi[u(\Delta x_l) + v(w - \Delta y_l)]] \\
 &\quad + |M_{Ref}(u, v)| \cdot |L(u, v)| \exp[j\Phi_{M_{Ref}}(u, v)] \\
 &\quad \exp[-j\Phi_r(u, v)] \exp[-j2\pi[u(\Delta x_r) + v(w - \Delta y_r)]] \\
 &= 2 |M_{Ref}(u, v)| \cdot |L(u, v)| \cos \\
 &\quad [\Phi_{M_{Ref}}(u, v) - \Phi_l(u, v) - (\Delta x_l)u - (w - \Delta y_l)v]
 \end{aligned} \tag{5}$$

식(5)의 마지막 줄은 공간정합 필터를 이용한 상관기의 광 세기 간섭분포를 cosine 값으로 표현한 식이다. 여기서  $|M_{Ref}(u, v)|$ 과  $|L(u, v)|$ 은 기준영상과 입력영상의 진폭 성분으로 항상 0보다 크거나 같은 값을 나타내므로 ENEW(u,v)의 부호는 cosine 값에 영향을 받게 된다. 따라서 식(5)를 식(6)과 같이 양극성 위상 형태인 BPEJTC의 JTPS를 구성할 수 있다.

$$E_{BPEJTC}(u, v) = \begin{cases} 1, & E_{NEW}(u, v) > 0 \\ -1, & otherwise \end{cases} \tag{6}$$

식(6)에서 광학적으로 광 BPEJTC를 수행하기 위해 음수 값을 다음과 같이 수정하여 구현하게 된다.

$$E_{BPEJTC}(u, v)_{Optical} = \begin{cases} 1, & E_{BPEJTC}(u, v) = 1 \\ 0, & E_{BPEJTC}(u, v) = -1 \end{cases} \tag{7}$$

이 수정된 JTPS를 SLM2의 입력으로 사용하고 역 푸리에 변환하여 상관 평면에서 얻은 상관 결과는 식(8)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C_{BPEJTC}(x, y) &= \mathcal{F}^{-1} E_{BPEJTC}(u, v) \\
 &= m_{Ref}(x, y) \otimes m_{Ref}^*(x, y) \\
 &\quad * \delta[x + \Delta x_l, y + (w - \Delta y_l)] \\
 &\quad + l(x, y) \otimes l^*(x, y) \\
 &\quad * \delta[x - \Delta x_r, y - (w - \Delta y_r)]
 \end{aligned} \tag{8}$$

여기서  $\otimes$ 는 콘벌루션(convolution)을, 그리고  $*$ 는 상관을 각각 나타낸다. 결과적으로 광 BPEJTC는 DC와 배경으로 인하여 발생하는 상관오류를 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 공간 정합필터에서 우수한 peak-to-sidelobe를 나타내는 특성을 가지고 있다.

식(8)은 그림 7의 상관 평면인 CCD2에서 상관 침두치로 검출된다. 이 침두치는 중심 좌표에 있는 가변 윈도우 마스크의 기준영상과 좌측 입력영상에서 추적물체간에 떨어진 상대거리로 디지털적 계산에 의해 침두치의 위치 좌표를 얻을 수 있다. 이 위치 좌표로부터 계산에 의해 좌측 입력영상의 추적 물체 위치좌표  $(\pm \Delta x_l, \pm \Delta y_l)$ 를 구할 수 있다. 그리고 이 값은 좌측 카메라의 팬/틸트 제어 값으로 사용된다. 마찬가지로 기준 영상과 우측입력 영상간에 광 BPEJTC를 실행하면, 물체 추적을 위한 우측 카메라의 제어 값  $(\pm \Delta x_r, \pm \Delta y_r)$ 을 구할 수 있다. 따라서 광 BPEJTC를 통해 구한 이동 위치의 픽셀 값인  $(\Delta x_l, \Delta y_l)$ 과  $(\Delta x_r, \Delta y_r)$ 을 팬/틸트를 제어할 위한 각도로 변환하여 스테레오 카메라를 제어해 주면 3차원 물체 추적이 가능하다.

3. 3단계 : 가변 윈도우 마스크를 이용한 추적물체 영역 추출

3단계에서는 1단계에서 구한 가변 윈도우 마스크와 2단계에서 구한 추적물체의 위치 좌표값으로 추적물체 영역을 추출하게 된다. 이 가변 윈도우 마스크의 추적물체 영역은 매 단계마다 갱신하여 저장되고 다음 단계의 스테레오 입력영상과 광 BPEJTC 실행을 위한 기준영상으로 사용하게 된다.

스테레오 비전 시스템의 구성 요소에 의해 구한 식(3)의 추적 물체까지 거리에 의해 추적물체 영역의 윈도우 마스크 크기가 가변되는 과정을 살펴보면 다음과 같다.

우선 윈도우 마스크의 크기는 초기에 표적 물체를 결정하여 초기 값에 의해 수동으로 설정한다. 그리고 다음 입력영상부터는 자동으로 계산에 의해 윈도우 마스크의 크기가 가변 된다. 그림 9는 추적 물체가 이동하여 추적물체의 크기가 변하면서 윈도우 마스크의 크기도 가변되는 과정을 나타낸 그림이다.

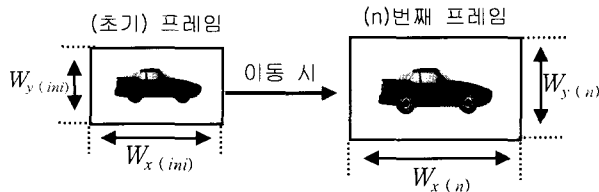


그림 9. 이동물체의 크기에 따른 가변 윈도우 마스크  
Fig. 9. Variable window mask for a moving object

그림 9에서 초기 프레임의 윈도우 마스크 크기는 초기 설정에 의해 알고 있는 값으로  $W_x(ini) \times W_y(ini)$  으로 정의하고, 현재 입력영상(n 프레임)의 윈도우 마스크 크기를  $W_x(n) \times W_y(n)$  으로 정의할 수 있다. 그리고 거리의 변화에 따른 추적 물체의 크기는 반비례 관계에 있으며, 추적 물체의 거리에 따른 x, y, 축 윈도우 마스크의 크기는 식(9) 및 식(10)와 같이 각각 나타낼 수 있다.

$$D_{(ini)} : \frac{1}{W_x(ini)} = D_{(n)} : \frac{1}{W_x(n)} \quad (9)$$

$$D_{(ini)} : \frac{1}{W_y(ini)} = D_{(n)} : \frac{1}{W_y(n)} \quad (10)$$

여기서 각 변수들에 대하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$D_{(ini)}$  : 초기의 추적물체에서 카메라까지 거리

$W_x(ini)$  : 초기의 추적물체에 대한 윈도우 마스크 크기 (x축)

$W_y(ini)$  : 초기의 추적물체에 대한 윈도우 마스크 크기 (y축)

$D_{(n)}$  : 현재(n) 프레임의 추적물체에서 카메라까지의 거리

$W_x(n)$  : 현재(n) 프레임의 추적물체 윈도우 마스크 크기 (x축)

$W_y(n)$  : 현재(n) 프레임의 추적물체 윈도우 마스크 크기 (y축)

식(9)과 식(10)에서 현재 입력영상의 윈도우 마스크 크기  $W_x(n)$ 와  $W_y(n)$ 을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$W_x(n) = \frac{D_{(ini)}}{D_{(n)}} \cdot W_x(ini) = M_{(n)} \cdot W_x(ini) \quad (11)$$

$$W_y(n) = \frac{D_{(ini)}}{D_{(n)}} \cdot W_y(ini) = M_{(n)} \cdot W_y(ini) \quad (12)$$

여기서  $M_{(n)} = \frac{D_{(ini)}}{D_{(n)}}$  은 초기 영상과 현재 입력영상간에 추적 물체까지의 거리비율로써 스테레오 비전 시스템의 구성 요소에 의해 자동으로 구할 수 있는 값이다. 그리고 초기 영상의 윈도우 마스크 크기값  $W_x(ini)$ 과  $W_y(ini)$ 은 이미 저장되어 있는 값이므로 현재 입력영상의 윈도우 마스크 크기  $W_x(n)$ 과  $W_y(n)$ 은 식(11)과 식(12)에 의해 구할 수 있다. 따라서 현재 입력영상에서 추적물체의 가변 윈도우 마스크  $W_x(n) \times W_y(n)$ 에 의한 추적물체 영역 추출을 완료하고, 이것은 다음 물체추적의 기준 영상으로 갱신하여 사용한다.

IV. 실험 및 결과 고찰

실험에 사용한 좌, 우측 카메라는 영상 입력용 카메라를 사용하였다. 팬/틸트 3차원 제어 장치는 그림 10과 같으며,

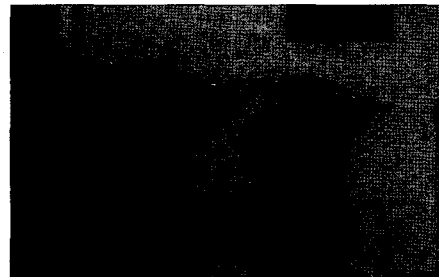


그림. 10. 팬/틸트 제어 시스템  
Fig. 10. Pan/tilt control system



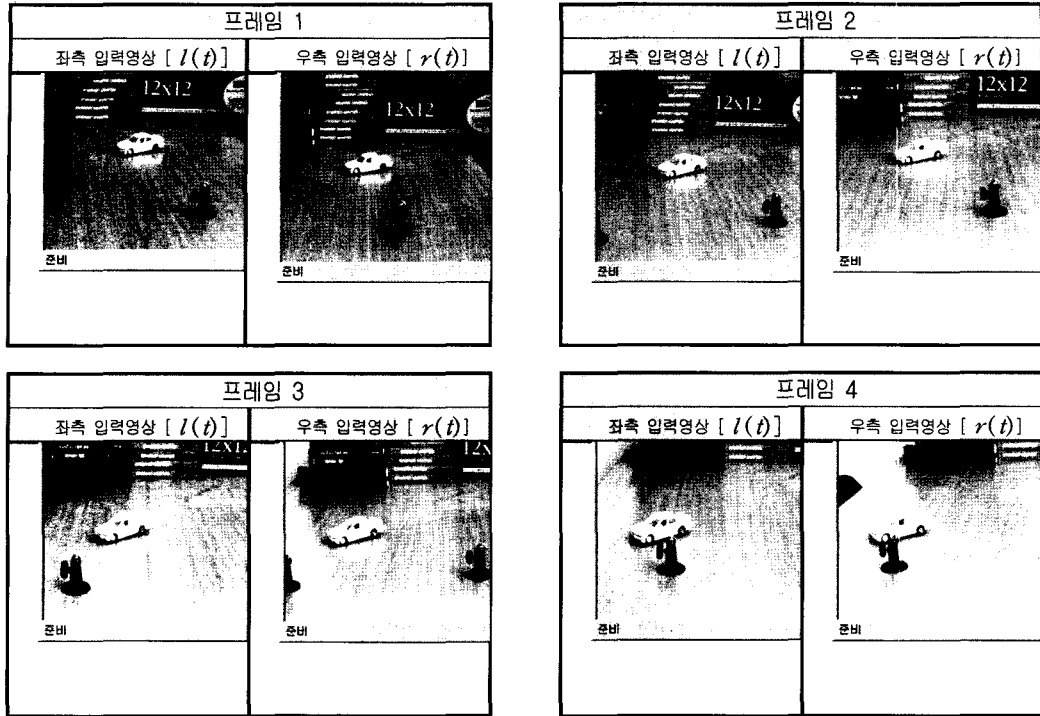


그림 11. 스테레오 입력영상  
Fig. 11. Stereo input image

좌, 우 두 카메라 사이의 거리는 22cm로 하여 256x256 픽셀로 50 프레임을 저장하여 실험에 사용하였다. 영상 저장은 프레임 그레버 2개를 사용하여 컴퓨터에 저장하였으며, 디지털 시스템은 펜티엄 III-800(128MB)을 사용하였다.

그림 11은 실험에 사용된 50프레임 중 4프레임의 스테레오 입력영상을 보여주고 있다.

1. 1단계 : 추적물체의 거리 추출

본 논문에서는 카메라의 광 축이 추적물체의 주시점에 일치하도록 하는 교차식 카메라 설정법을 사용하였으므로 추적물체까지의 거리  $D$ 는 식(3)에 의해 구할 수 있다. 또한,  $\theta_1, \theta_2$ 는 3차원 추적 시스템의 인코더에 의해 얻을 수 있는 값이며,  $d$ 는 좌, 우 카메라 사이의 거리이므로 스테레오 비전 시스템의 구성 요소에 의해 주어지는 값이다. 따라서 식(3)을 이용하여 추적 물체까지의 거리  $D$ 는 스테레오 비전 시스템의 특징에 의해 쉽게 구할 수 있다.

표 1에서 보면 스테레오 카메라에서 추적물체까지의

거리는 계산치와 실제 측정치간에 거의 일치함을 알 수 있다.

표 1. 카메라에서부터 추적 물체까지의 거리  
Table 1. Distance to tracking object from camera

프레임	스테레오 비전 시스템의 구성요소			카메라에서 추적물체까지 거리 [D, cm]	
	d[cm]	$\theta_2$ [°]	$\theta_1$ [°]	계산치	실험치
1	22	81	89	125	125
2	22	82	88	125	121
3	22	89	80	114	109
4	22	96	72	100	97

2. 2단계 : 광 BPEJTC로 추적물체의 위치 추출

그림 12는 추적 물체의 위치를 구하기 위하여 가변 원도우 마스크의 기준영상[  $m_{Ref}(t)$  ]과 스테레오 입력영상 간에 광 BPEJTC를 실행하기 위한 입력 평면을 보여 주고 있다.

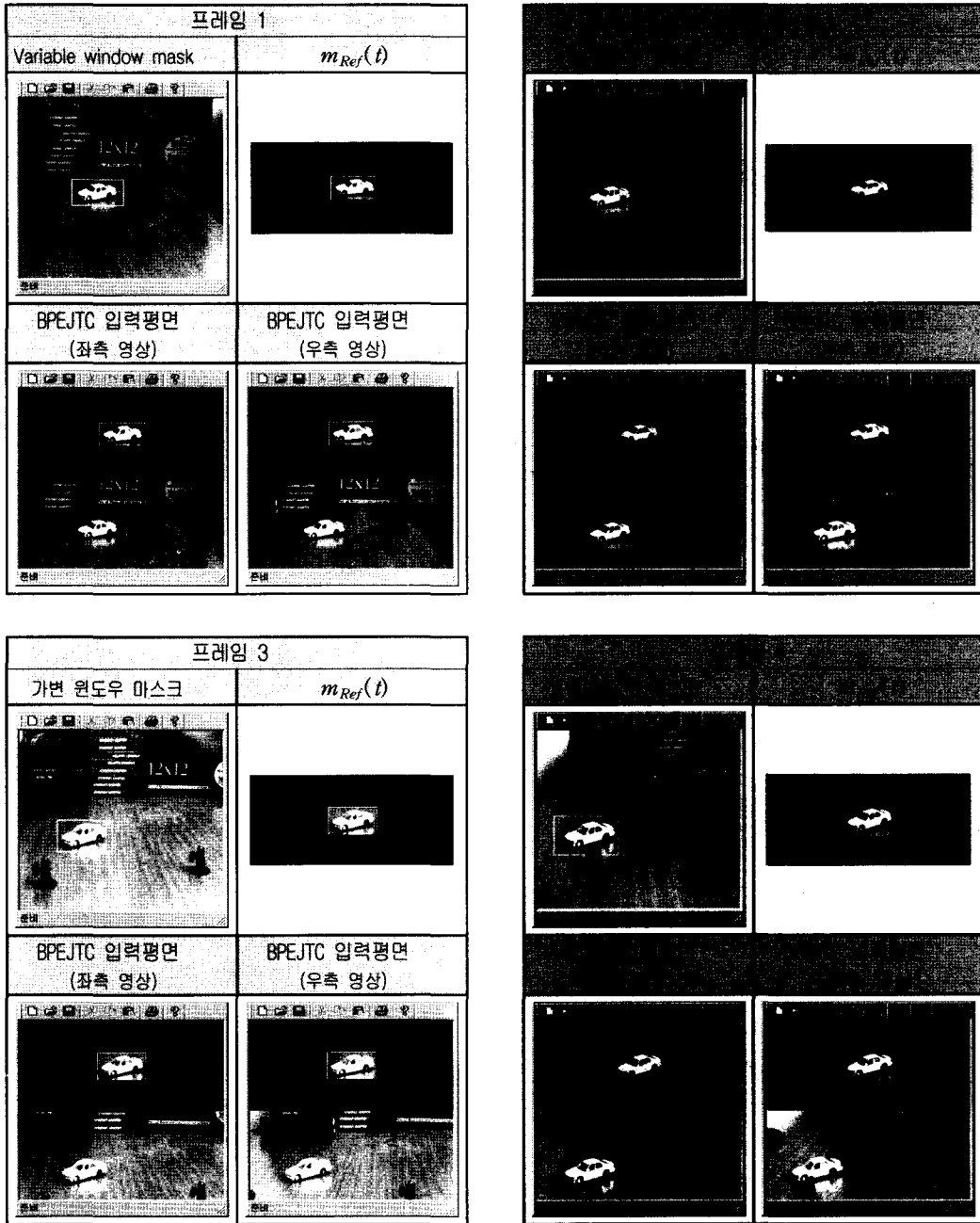


그림 12. 가변 윈도우 마스크의 기준영상과 광 BPEJTC input plane  
 Fig. 12. Optical BPEJTC input and reference images of a variable window mask

그림 13은 그림 12에 대하여 광 BPEJTC를 실행한 후 상관 평면에서 나타나는 좌, 우측 영상의 상관 침두치를 각각 보여주고 있다. 이 상관 침두치의 위치 좌표 값을 이용

하여 좌, 우측 영상의 추적 물체가 화면의 중심으로부터 떨어진 거리 ( $\pm \Delta x_l, \pm \Delta y_l$ )와 ( $\pm \Delta x_r, \pm \Delta y_r$ )를 구할 수 있다.

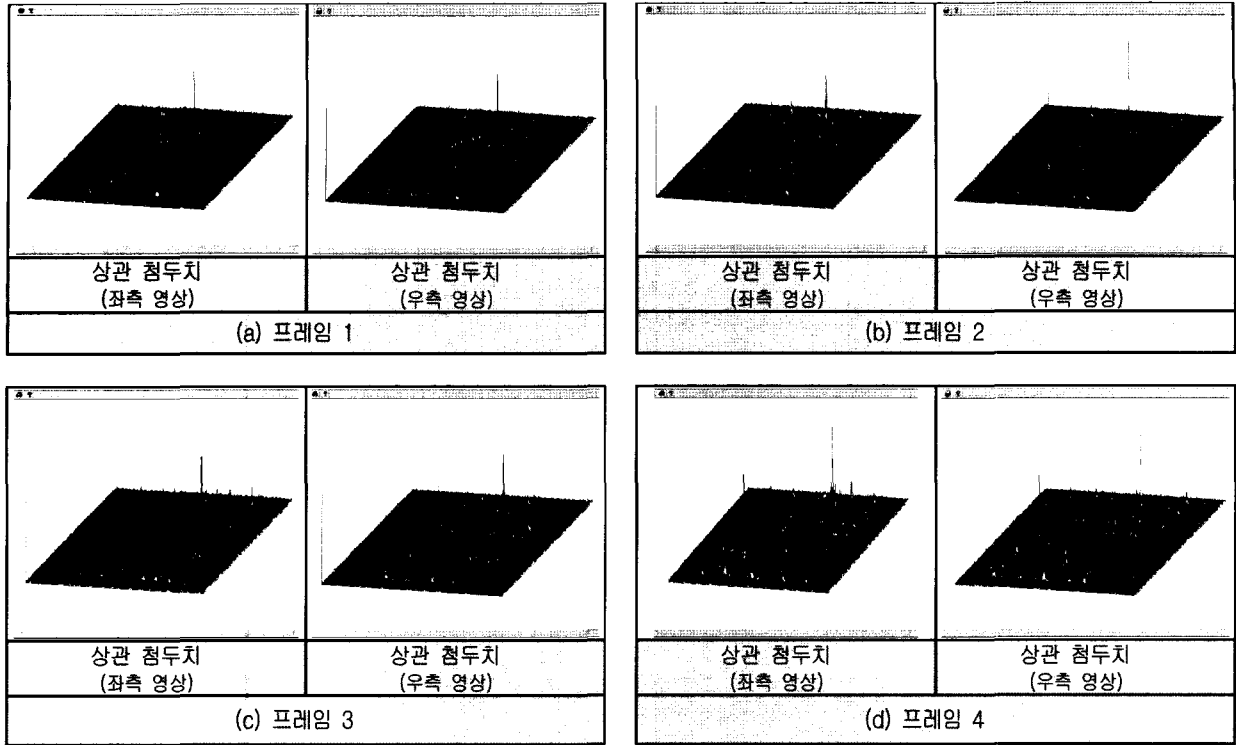


그림 13. 광 BPEJTC의 상관 첨두치

Fig. 13. Correlation peak point of optical BPEJTC

표 2. 추적물체의 위치좌표 추출

Table 2. Extraction of location's coordinate for tracking object

프레임 \ 좌표	프레임 1		프레임 2		프레임 3		프레임 4	
	좌측	우측	좌측	우측	좌측	우측	좌측	우측
(x, y)	(-30,-6)	(-35,-8)	(-37,-13)	(-45,-13)	(-46,-22)	(-57,-23)	(-66,-23)	(-69,-22)

표 2는 4 프레임의 좌, 우측 입력영상에서 추적물체의 위치좌표 (x, y)을 나타낸 것이다. 좌표는 256x256 영상의 중심 좌표(0,0)를 두고, x, y축에 대하여 추적물체의 위치 좌표를 보여주고 있다.

그림 14는 그림 11의 입력 영상에서  $l(t)$ 와  $r(t)$ 의 4 프레임 영상에 대하여 추적하기 전의 스테레오 합성영상과 표 2를 사용하여 추적한 후의 스테레오 합성영상을 나타낸 것이다.

그림 14에서 추적 전 합성영상은 추적물체가 2개로 보여 추적 물체의 주시점이 일치하지 않거나 추적물체가 영상의 중앙에 위치하고 있지 않음을 알 수 있다. 그러나 3차원 물

체 추적후의 합성영상은 추적 물체의 주시점이 일치하고, 추적 물체가 항상 카메라의 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있다.

### 3. 3단계 : 가변 윈도우 마스크를 이용한 추적물체 영역 추출

추적 물체는 1단계에서 구한 가변 윈도우 마스크와 2단계에서 구한 추적물체의 위치 좌표값으로 추적물체 영역을 추출하게 된다. 현재 입력영상의 윈도우 마스크 크기  $W_{x(n)}$ 과  $W_{y(n)}$ 는 스테레오 비전 시스템의 구성요소와 식

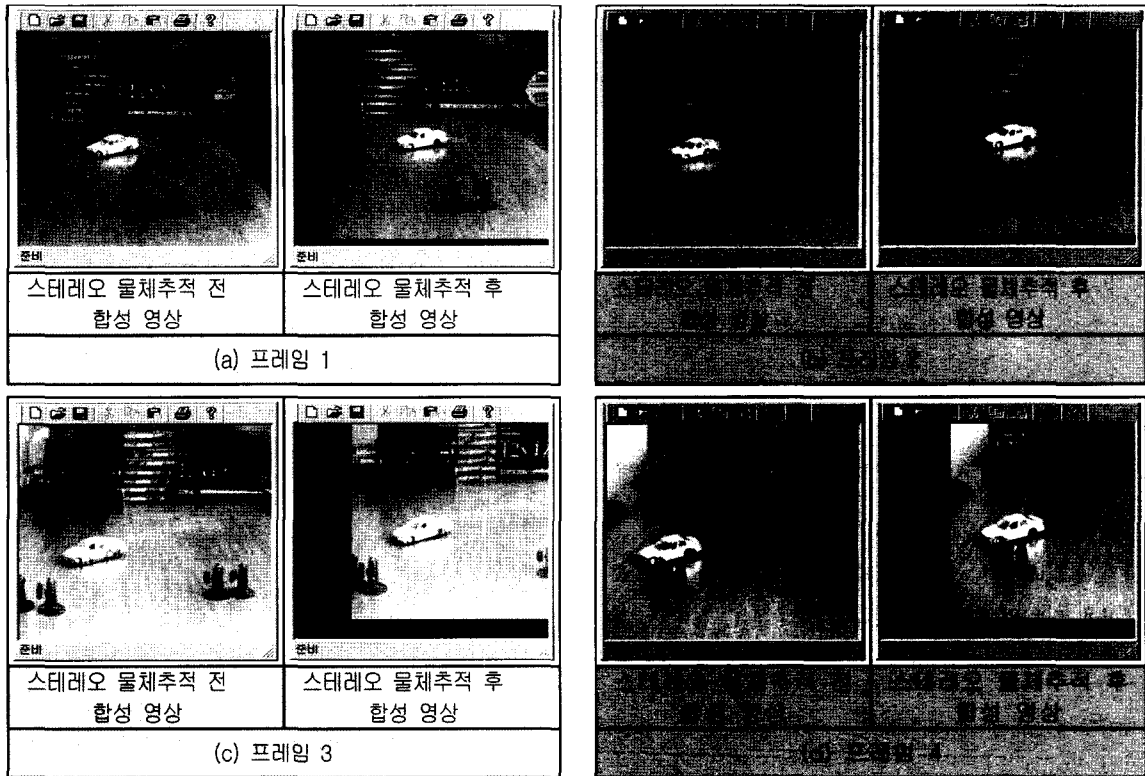


그림 14. 이동 물체의 3차원 추적결과  
 Fig. 14. Stereo tracking results of a moving object



그림 15. 추적물체 영역의 추출  
 Fig. 15. Extraction of a tracking object area

표 3. 가변 윈도우 마스크의 크기  
 Table 3. Scale of a variable window mask

프레임	항 목	거리 [Cm]	윈도우 마스크 [픽셀]	
			$W_x(n)$	$W_y(n)$
1 (초기값)		125	64	37
2		125	64	37
3		114	70	41
4		100	80	46

(11)과 식(12)을 이용하여 표 3과 같이 구할 수 있다.

그림 15는 표 2의 추적물체 위치좌표와 표 3의 가변 윈도우 마스크를 사용하여 추적물체 영역을 추출한 것이다. 이 가변 윈도우 마스크로 추출한 추적물체 영역은 단계마다 갱신하여 저장되고 다음에 입력되는 스테레오 입력영상과 광 BPEJTC 실행을 위한 기준영상으로 사용하게 된다.

결과적으로 그림 14에서 3차원 물체추적 후의 합성영상은 추적 물체의 주시점이 일치하고 추적 물체가 항상 카메라의 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있으며, 그림 15에서 가변 윈도우 마스크로 추출한 추적물체 영역도 정확하게 추출하고 단계마다 갱신하여 저장되고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 스테레오 비전 시스템의 3차원 정보와 광 BPEJTC를 이용한 3차원 물체 추적 알고리즘의 구현 가능성을 제시하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 물체 추적을 위해 스테레오 비전 시스템을 적용하여 3차원 정보인 추적 물체까지의 거리 정보를 구하였다. 이 거리 정보로부터 추적 물체의 크기 정보를 알 수 있으므로 윈도우 마스크를 가변하여 추적물체 영역을 추출하여 이를 다음의 기준영상으로 갱신하였다. 그리고 이 가변 윈도우 마스크의 기준 영상과 스테레오 입력 영상간에 광 BPEJTC를 실행하고 추적 물체의 위치를 구하여 카메라를 제어하여 3차원 물체추적이 가능하게 되었다. 실험 결과 제안한 알고리즘은 스테레오 입력 영상에서 가변 윈도우 마스크에 의해 배경잡음을 제거하고 추적물체의 크기 및 형태 변화에 관계없이 추적 물체영역을 쉽게 추출할 수 있었다. 또한, 광 BPEJTC를 실행하여 추적물체의 위치를 구하고, 이 값으로 스테레오 카메라의 주시각 및 팬/틸트 제어를 함으로써 3차원 물체추적을 수행하게 된다. 따라서 이를 광학적인 시스템으로 구현할 경우 3차원 원격작업 시스템이나 적응적인 3차원 물체 추적기 등의 실시간적 구현 가능성을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. Javidi and F. Odeh, "Multiple Object Identification by Bipolar Joint Transform Correlator," *Opt. Eng.*, Vol. 27, pp. 295-300, 1988.
- [2] C. Tam, T. S. Yu, A. Gregory and D. Juday, "Autonomous real time object tracking with an adaptive JTC," *Opt. Eng.*, Vol. 29, No. 4, pp. 314~320, 1990.
- [3] J. S. Lee, K. T. Kim, and E. S. Kim, "Autonomous stereo object tracking using motion estimation and JTC," *SPIE*, Vol. 4029, pp. 49-58, 2000.
- [4] J. S. Lee, J. H. Ko and E. S. Kim, "Real-Time Stereo Object Tracking system by using Block Matching Algorithm and Optical binary phase extraction joint transform correlator," *Optics Communications*, Vol. 191, pp. 191~202, 2001.
- [5] Yi-MO Zhang, Yu-Wen Qin, Bao-Zhen Ge, Zhan-Hua Huang and Xi-Ming Chen, "Adaptive Moving Object Tracking Using Nonlinear JTC," *SPIE*, Vol. 2778, pp. 457~458, 1996.
- [6] F. T. S. Yu, F. Cheng, T. Nagata and D. A. Gregory, "Efforts of Fringe Binarization of Multiobject Joint Transform Correlator," *Appl. Opt.*, Vol. 28, pp. 2988~2990, 1989.
- [7] T. J. Olson and D. J. Coombs, "Real-time vergence control for binocular robots," *Intl. J. of Computer Vision*, Vol. 7, No. 1, pp. 67~89, 1991.
- [8] D. J. Coombs and C. M. Brown, "Cooperative Gaze Holding in Binocular Vision," *IEEE Control System*, pp. 24~33, 1991.
- [9] K. T. Kim, J. S. Lee, S.H. Kim, E. S. Kim, S. Y. Park and Y. B. Lee, "Human-like stereo vision system based on optical JTC," *SPIE Optical Pattern Recognition*, Vol. 3466, pp. 259~266, 1998.
- [10] C.M. Brown, "Prediction and Cooperation in Gaze Control," *Bio. Cybern.*, Vol. 63, pp. 61~70, 1990.
- [11] S. Y. Yi, E. S. Kim and H. G. Yang, "A BPEJTC-based Segmentation for a non-stationary Image," *Opt. Comm.*, Vol. 123, pp. 714~724, 1996.
- [12] F. T. S. Yu and T. Nagata, "Binary Phase Only Joint Transform Correlator," *Microwave Opt. Tech. Lett.*, Vol. 2, pp. 15~19, 1989.
- [13] P. Willet, B. Javidi and M. Lopez, "Analysis of image detection based on Fourier plane nonlinear filtering in a joint transform correlator," *Appl. Opt.* Vol. 37 No. 3, pp. 1329~1341, 1998.

---

저 자 소개

---



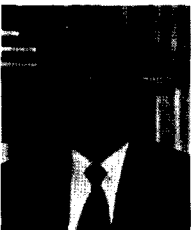
**서 춘 원**

- 1997년 : 광운대학교 대학원 공학박사
- 2002년 현재 : 김포대학 전자정보계열 조교수
- 주관심분야 : 3차원 영상처리, 패턴인식, 신경망 등



**이 승 현**

- 1993년 : 광운대학교 대학원 공학박사
- 2002년 현재 : ISU 한국대표
- 2002년 현재 : 광운대학교 부교수
- 주관심분야 : 3D 디스플레이, 홀로그래픽 TV, 3D방송기술



**김 은 수**

- 1984년 : 연세대학교 대학원 공학박사
- 1987년 3월~1988년 8월 : 미국 CalTech, 객원교수
- 2002년 현재 : 광운대학교 교수
- 2002년 현재 : (사) 3차원 방송·영상 학회 회장
- 주관심분야 : 3차원 디스플레이, 홀로그래피