

# 영역 기반의 SAD 알고리즘과 광 BPEJTC를 이용한 실시간 스테레오 물체 추적 시스템

정희원 이재수\*, 서춘원\*\*, 김은수\*

## Real-Time Stereo Object Tracking System using Area-based SAD Algorithm and Optical BPEJTC

Jae-soo Lee\*, Choon-weon Seo\*\*, Eun-soo Kim\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 스테레오 물체추적 시스템의 새로운 접근 방법으로 영역기반의 정합인 SAD를 사용하여 복잡한 배경 및 전경에서 추적 물체를 인식하여 추출하고, 광 BPEJTC를 사용하여 주시각 및 카메라의 팬/틸트를 제어하는 실시간 스테레오 물체추적 시스템을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 스테레오 물체 추적 시스템은 복잡한 배경 및 주위환경 변화에서도 추적 물체를 정확히 추출하여 적응적으로 스테레오 물체 추적이 가능함을 실험을 통해 확인하였으며, 광학적으로 구성함으로써 스테레오 자동 물체 추적기의 실시간적 구현 가능성을 제시하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new adaptive stereo object tracking system that can extract the object from the complex background and foreground noises by using the image-based SAD algorithm and control the convergence angle and pan/tilt of cameras by using optical BPEJTC. From the experimental results the proposed stereo tracking system is found to track the object adaptively under the circumstance of complex and changing background noises and the possibility of real-time implementation of the proposed system by using the optical system is also suggested.

### I. 서 론

이동 표적의 실시간 추적기술은 지난 수십년 동안 여러 응용 분야에서 많은 연구가 이루어져 왔으며, 최근에는 산업 및 군사기술의 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 연구와 식별 후 표적물체의 위치를 추적하는 기술로 분류되어 연구되어 왔다. 일반적으로, 입력 영상의 복잡

한 배경과 배경 영상의 변화로 인해 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 주위 환경 변화에 매우 민감하다.

스테레오 로봇 비전 기술을 이용한 물체추적 및 원격 작업은 로봇에게 사람과 같은 입체 시각을 부여하여 특수 환경에서 입체적인 작업 처리가 가능하므로 2차원 영상에 비해 30% 이상 원격 작업의 효율을 높여주는 것으로 알려져 있다.<sup>[1]</sup> 이와 같은 스테레오 물체추적 시스템에는 입체 시각을 부여하

\* 광운대학교 국가 지정 3차원 영상미디어 연구실 (eskim@kwangwoon.ac.kr),

\*\* 김포대학 전자정보계열 (cwseo@kimpo.ac.kr)

논문번호: 00200-0612, 접수일자: 2000년 6월 12일

※ 본 연구는 과학기술부 국가 지정 연구실 사업의 지원으로 수행되었습니다.

는 입체 영상기술, 스테레오 카메라의 입력 영상정보를 처리하여 표적 물체를 인지하는 물체 인식기술, 표적 물체를 연속적으로 추적하여 관측자가 표적 물체를 계속 감시할 수 있는 물체 추적기술등이 포함되어 있다.

스테레오 물체추적 시스템은 사람의 눈 구조와 같이 좌, 우 두 눈 사이의 양안 시차(binocular disparity)에 의해 입체감을 느낄 수 있게 된다. 또한 좌,우 두 눈의 초점면에 표적 물체의 시점이 일치하지 않으면 표적 물체가 2개의 물체로 보여 눈에 피로감을 주게된다. 결국 추적물체에 스테레오 시차가 존재할 경우에는 이 시차를 제거해야 되는데 이것을 주시각 제어(convergence angle control)<sup>[2][3]</sup>라고 한다. 따라서, 스테레오 물체추적 시스템은 양안 시차가 존재하면서 추적 물체에 대한 스테레오 시차를 없애 주는 주시각 제어 부분과 물체 추적을 위해 추적 물체가 항상 카메라 시야(FOV: field of view) 중앙에 위치하도록 하는 카메라 팬/틸트 제어(FOV 제어) 등 2가지 기술이 필요하게 된다.

일반 영상처리에서 이동하는 추적 물체의 움직임을 추정하여 추적 물체를 추출하기 위한 방법으로는 전,후 프레임의 비교에 의한 차영상 방법(image difference), 모델 기반에 의한 방법(model-based), 광류에 의한 방법(optical flow) 및 블록에 기반한 방법(block matching) 등이 연구되고 있다.<sup>[3]</sup>

차영상에 의한 방법은 연속되는 영상의 차를 통해 추적 물체를 추출하는 방법으로 카메라 이동에 의한 배경 영상의 변화 잡음처리에 문제가 있다. 모델 기반에 의한 방법은 입력되는 영상이 미리 저장된 모델의 물체와 달리 상대적 명암이나 약간 변형되는 경우에는 매칭에 대한 어려움의 제약이 있다. 또한 광류에 의한 방법은 국부적인 시공간 경사와 속도 사이 관계에 의한 것으로 주변의 환경에 민감하고 물체의 이동 속도가 매우 느려야하는 단점이 있다. 그리고 블록에 기반한 방법<sup>[4]</sup>은 전,후 프레임의 입력영상 크기를 블록으로 나눈 후에 각 블록간에 비교하여 움직임을 추정하는 방법으로 가장 부합되는 블록을 찾기 위한 계산량과 전,후 프레임의 배경에 변화가 있는 경우에는 이동 물체를 추출하기가 어려운 단점이 있으나 고속 블록매칭에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적인 스테레오 영상처리에서 좌,우 영상간의 압축을 위한 정합 및 배경 분리의 경우, 좌,우 영상간의 블록 매칭에서는 폐색 영역이나 배경의 불일

치로 인해 오정합을 내포하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 정합의 문제점을 극복하기 위해 이전 프레임에서 배경을 제거하여 추적 물체만 추출한 윈도우 마스크를 기준영상으로 사용하고, 현재 입력영상과 기준 영상간에 블록 매칭을 행하여 배경의 복잡성과 변화에 관계없이 정확하게 추적 물체를 추출하고자 하였다. 여기에서 기준 영상은 바로 이전 프레임에서 추적 물체만 추출한 영상이므로 현재 입력 영상의 추적물체와 거의 유사하다고 볼 수 있다. 그러므로 실시간 추적에서는 추적물체의 대각선 이동이나 회전 및 크기 변화가 발생하여도 추적 물체의 변형에 대응되어 계속해서 추적이 가능하다. 또한 JTC의 상관시 발생하는 문제점인 복잡한 배경과 동일한 배경들을 전처리에서 제거해 줌으로 인해 추적물체의 정확한 위치에서 상관 첨두치를 구할 수 있었다.

따라서, 본 논문에서는 스테레오 물체 추적기의 추적물체 추출을 위한 새로운 접근 방법으로 영역 기반의 정합 알고리즘인 SAD(sum of absolute difference)를 사용하여 전경 및 복잡한 배경에서 추적 물체를 인식하여 추출하고 기존의 적응적 물체 추적기인 광 JTC<sup>[5][6][7]</sup>의 상관 특성을 크게 개선한 위상형 광 BPEJTC(binary phase extraction joint transform correlator)<sup>[8]</sup>를 사용하여 이동표적의 위치 값을 구하였다. 그리고 이 값으로 스테레오 카메라의 주시각<sup>[9]</sup>과 팬/틸트를 제어함으로써 주위환경 변화에 적응 가능한 스테레오 자동 물체추적 시스템을 제안하고 실험결과에 대해 논의하고자 한다.

## II. 스테레오 물체 추적 시스템

스테레오 물체 추적 시스템은 사람과 같은 입체 시각의 입체 영상기술, 스테레오 카메라의 표적 물체를 인지하는 물체 인식기술 및 표적 물체의 연속적인 추적으로 관측자가 표적 물체를 계속 감시할 수 있도록 추적 물체를 카메라 시야에 디스플레이 해줄 수 있는 물체 추적기술이 포함되어 있다. 그림 1은 추적 물체가 이동할 때 스테레오로 추적하는 스테레오 물체추적 시스템의 개념도이다.

스테레오 물체추적 시스템은 입체영상 디스플레이에서 이동하는 표적물체의 스테레오 시차를 없애 주는 주시각 제어 기능과 표적 물체를 따라 스테레오 카메라의 팬과 틸트를 제어하여 사람의 눈동자 움직임과 같이 표적 물체가 항상 카메라 시야의 중앙에 놓이도록 하는 추적 기능을 지니고 있어야 한

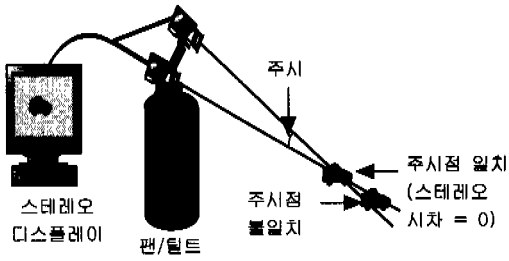


그림 1. 스테레오 물체 추적 시스템의 개념도

다. 즉, 스테레오 물체추적 시스템은 양안 시차가 존재하면서 추적 물체에 대한 스테레오 시차를 없애 주는 주시각 제어 기술과 물체 추적을 위해 추적 물체가 항상 카메라 시야 중앙에 위치하도록 하는 카메라의 팬/틸트 제어 기술을 필요로 한다.

### 1. 주시각 제어

사람이 추적 물체를 관측할 때 추적 물체에 좌,우 눈의 시점을 고정시키는 것과 마찬가지로 관측 영상에서 추적 물체의 시점을 고정시키기 위해서는 추적 물체의 영상 시차(스테레오 시차)가 0이 되어야 가장 편안한 관측이 될 수 있으며 작업 효율도 크게 향상시킬 수 있다. 반면에 좌,우 두 눈의 초점면에 추적 물체의 시점이 일치하지 않으면(스테레오 시차≠0), 추적 물체가 2개의 물체로 보여 눈에 피로감을 느끼게 한다.

그림 3은 그림 1의 스테레오 디스플레이 장치에서 주시각이 제어되었는지를 보여주는 그림이다.

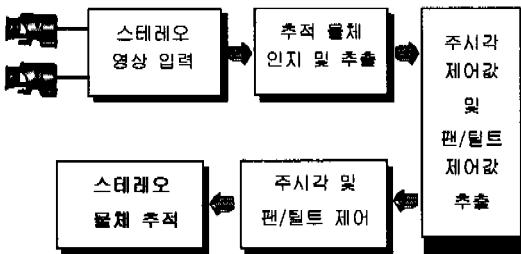


그림 2. 스테레오 물체추적 시스템의 흐름도

그림 3의 (a)에서는 추적 물체에 대하여 좌,우 카메라의 스테레오 입력 영상이 주시점에 정확히 일치하여 선명하고 피로감 없이 입체 영상을 볼 수 있다. 반면에 그림 3의 (b)에서는 추적 물체에 대하여 좌,우 카메라의 입력 영상의 주시점이 각각 다르

기 때문에 화면에서 2개의 영상이 겹쳐 나타나게 되어 관찰자에게 피로감을 주고 정확한 입체감을 느끼지 못하게 되므로 효율이 떨어지게 된다.

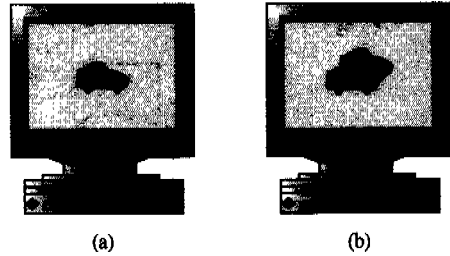


그림 3. 스테레오 디스플레이 영상

- (a) 주시각이 제어된 영상
- (b) 주시각이 제어되지 않은 영상

### 2. 스테레오 물체추적

스테레오 물체 추적기에서 추적 물체를 인식하여 추출하고 화면의 중앙에 위치시키는 것은 기존의 2차원 물체 추적기와 마찬가지로 좌,우 두 카메라의 스테레오 영상에서 추적 물체에 대하여 주시점을 일치시키고 동시에 추적해야 하는 점이 다르다. 즉, 주시각 제어 및 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어가 추가되는 것이다.

주시각 제어는 두 카메라의 시점을 3차원 공간의 동일점(표적물체)상에 일치시키는 것으로써 이 점이 스테레오 시차가 0이 되어 관측자의 눈의 초점이 일치하는 점이라 할 수 있다. 즉, 주시각 제어는 표적물체에 좌,우 카메라의 시점을 고정시키는 것으로 이동 표적의 위치에 따라 좌,우 영상에 대하여 일정한 각도를 유지하도록 하는 것이다. 또한, 스테레오 추적은 추적 물체의 이동에 따라 스테레오 카메라의 팬과 틸트를 제어하여 사람의 눈동자 움직임과 같이 추적 물체가 항상 좌,우 카메라 FOV의 중앙에 놓이도록 하는 기능을 말한다.

스테레오 물체 추적에서 두 카메라의 입력 영상으로부터 추적 물체의 현재 위치를 추출할 수 있다면, 카메라의 주시각 제어값과 팬/틸트 제어 값을 동시에 구할 수 있다. 반면에, 스테레오 영상처리에서 주시각 제어를 위한 스테레오 시차만 추출하는 경우에는 추적을 위한 물체의 현재위치 정보를 따로 구해야만 한다. 일반적으로 상관기법을 이용한 스테레오 영상처리의 경우 물체의 현재 위치좌표를 구할 수 있으므로 주시각과 팬/틸트의 동시제어가 가능하다.

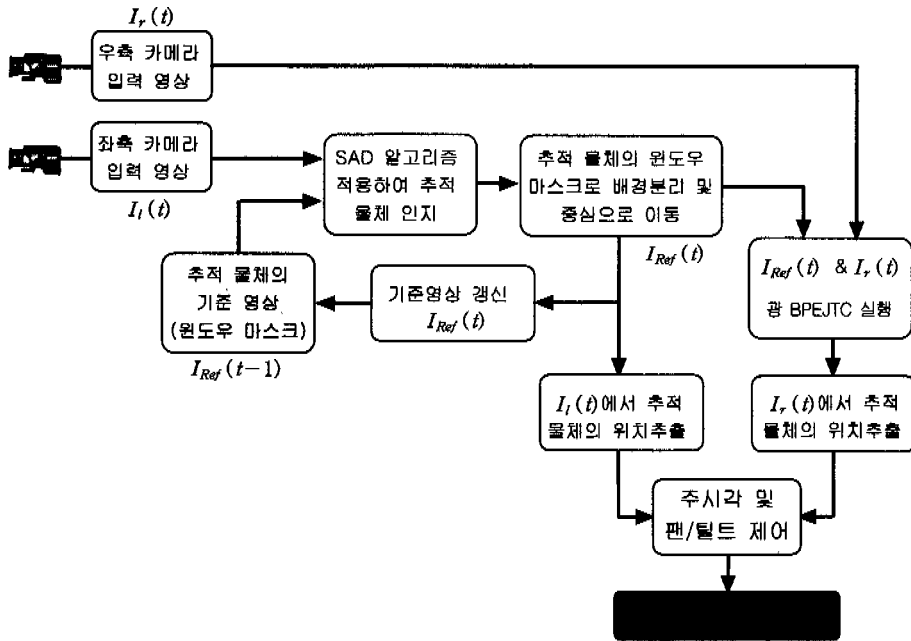


그림 4. 제안된 스테레오 물체 추적기의 흐름도

### III. 이동 추적물체 추출 및 스테레오 물체추적

스테레오 물체 추적기에서 추적 물체의 현재 위치를 추출하기 위해서는 좌,우 스테레오 영상에서 추적 물체를 인지하여 추출하는 것이 선행 되어야 한다.

본 논문에서는 먼저 주위의 배경 변화가 존재하는 환경에서 움직이는 추적 물체를 추출하기 위한 방법으로 식(1)에서 설명할 영역 기반의 SAD 알고리즘을 사용하여 좌측 영상에서 추적 물체를 추출하였다. 그리고, 이어서 좌측영상과 동시에 획득한 스테레오 쌍인 우측영상의 추적 물체도 같다고 볼 수 있으므로 추적 물체가 추출된 좌측 영상과 우측 영상간에 위상형 상관기인 광 BPEJTC를 사용하여 우측 영상에서 추적 물체가 있는 위치 좌표를 추출하였다. 그리고 좌,우측 영상에서 추적 물체의 위치 좌표를 구하여 이 값으로 추시각과 팬/틸트를 제어하는 스테레오 물체 추적기를 제안하였다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 물체추적 알고리즘의 흐름도를 나타낸것이다.

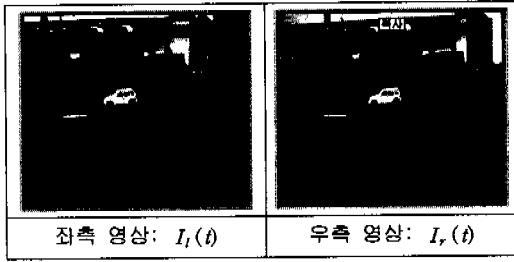
#### 1. 이동 추적물체 추출

일반적으로 움직이는 물체의 이동 벡터를 구해 추적 물체를 추출하는 방법으로 모델기반의 방법,

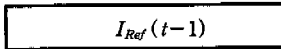
영역기반의 방법, 윤곽선 기반의 방법 및 특징 기반의 방법 등이 사용되고 있다. 그러나 전,후 프레임의 입력 영상에서 배경 환경이 변하거나 추적 물체가 변형되는 경우에는 이동 벡터를 구하기가 어렵다. 그리고 주위의 배경 변화가 존재하는 환경에서 카메라와 추적 물체가 동시에 이동하는 입력영상에서 추적 물체만 추출하기는 더욱 어려움이 따른다. 따라서, 본 논문에서는 SAD 알고리즘을 이용하여 추적 물체를 인식하여 추출하였다. 그림 5 (a)는 좌,우의 스테레오 영상을 실시간으로 저장한 좌,우 영상을 나타낸 것이다. 그리고, 입력된 좌측 영상과 이전 프레임에서 얻은 윈도우 마스크(window mask)의 기준 영상간에 SAD 알고리즘을 적용하였다. 여기서 윈도우 마스크의 기준 영상은 초기에만 추적 물체를 마스크로 잡아(locking) 초기화시켜 주고, 이후에는 스스로 계속 갱신(update)하게 된다.

스테레오 영상에서 좌,우측의 두 영상은 거의 유사하므로 한쪽 영상에서 추적물체를 추출하여 이용할 수 있다.

따라서 좌측 영상  $I_l(t)$ 과 전 프레임에서 얻은 기준영상  $I_{Ref}(t-1)$ 간에 SAD 알고리즘을 적용하여 좌측 영상에서 추적 물체를 추출하고, 그림 6과 같이 그 영역에 윈도우 마스크를 씌운 마스크 영역



(a) 스테레오 입력영상



(b) 윈도우 마스크의 기준영상

그림 5. 스테레오 입력 영상과 윈도우 마스크의 기준영상

이외는 잡음으로 간주하여 제거하고, 추적 물체를 중앙으로 이동시키게 된다. 이 영상  $I_{Ref}(t)$ 은 광 BPEJTC 입력 평면의 기준영상과 다음 프레임 SAD 알고리즘에서 갱신된 기준영상으로 사용하게 된다.



그림 6. 윈도우 마스크된 좌측영상과 갱신된 기준영상

SAD 알고리즘은 식(1)처럼 기준 영상의 마스크 영역과 입력 영상간의 일치정도를 검사하여 각 픽셀 위치에 SAD값을 나타내는 알고리즘이다. 여기서, 입력영상 전 구간에 대해 기준 영상의 윈도우 마스크와 SAD 알고리즘을 적용하지 않고 다음과 같이 영역을 제한하여 SAD를 적용함으로써 처리시간을 단축하였다.

즉, 실시간 물체 추적기는 물체가 이동하여도 이동 물체를 추적하여 항상 화면의 중앙에 위치시키므로 이동 물체는 영상의 중앙으로부터 크게 벗어나지 않는다. 또한 이동 물체의 영상처리에서 이동 방향은 수평 방향(x축)의 이동이 수직 방향(y축)의

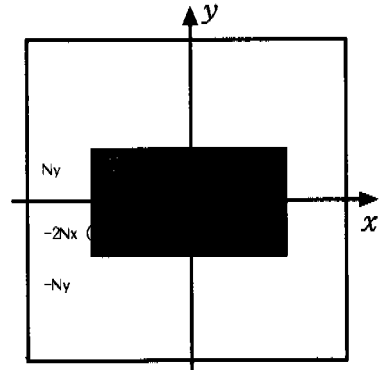


그림 7. SAD 알고리즘 적용영역

이동보다 훨씬 크게 나타나므로 수직 방향의 이동은 매우 작다고 볼 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 윈도우 마스크의 크기를  $N_x, N_y$ 로 잡고, 입력 영상에서 SAD 적용 영역을 x축은  $4N_x$ 로, y축은  $2N_y$ 로 제한하여 적용하였다.

SAD 알고리즘 적용 과정을 설명하면 다음과 같다. 윈도우 마스크의 기준 영상인  $I_{Ref}(t-1)$ 과 좌측 입력 영상인  $I_l(t)$ 간에 제한된 영역에서 식(1)의 SAD 알고리즘을 적용하면 가장 일치하는 픽셀 영역에서 최소값이 나타나게 된다.

$$SAD(a, b) = \sum_{i=0}^{(N_x-1)} \sum_{j=0}^{(N_y-1)} |I_l(a+i, b+j) - I_{Ref}(i, j)| \quad (1)$$

$$\left( \begin{array}{l} a, b : \text{SAD 알고리즘 적용영역} \\ a = -2N_x \sim 2N_x, b = -N_y \sim N_y \end{array} \right)$$

따라서, SAD 알고리즘을 적용하여 최소값이 되는 픽셀 영역을 찾아 윈도우 마스크를 씌워 추적 물체를 추출하고, 그 이외의 영역은 배경으로 간주하여 모두 제거하게 된다.

$$I'_i(t) = \begin{cases} \text{윈도우마스크,} & \text{SAD} = \text{최소값} \\ 0, & \text{그 이외의 값} \end{cases}$$

여기서  $I'_i(t)$  영상은  $I_l(t)$ 영상에서 추적 물체를 추출하여 배경만 분리한 좌측영상을 나타낸 것이다. 다음에 좌측 영상의 윈도우 마스크에서 추적 물체의 위치좌표  $(-\Delta x_i, +\Delta y_i)$ 를 추출하여 중앙으로 위치하도록  $(+\Delta x_i, -\Delta y_i)$  만큼 이동시켜 새로운 영상인  $I_{Ref}(t)$ 을 구한다. 이 영상은 광

BPEJTC 입력 평면의 기준영상과 다음 프레임의 SAD 알고리즘에서 갱신된 기준 영상으로 사용하게 된다. 그리고 이동값인  $(+\Delta x_i, -\Delta y_i)$ 은 좌측 카메라의 팬/틸트 제어값이 된다.

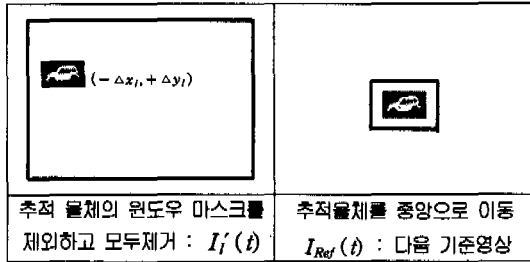


그림 8. 추적 물체를 추출한 좌측영상과 갱신된 기준영상

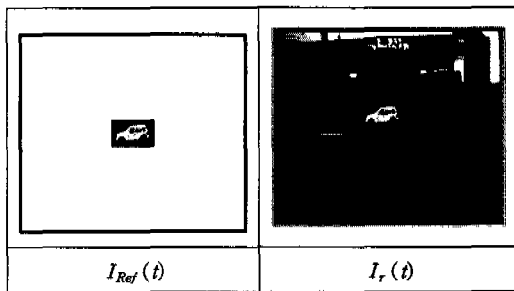


그림 9. 광 BPEJTC 시스템의 입력영상

## 2. 스테레오 물체 추적

우측 카메라의 물체 추적을 위해서는 좌측 영상에서 구한  $I_{Ref}(t)$  영상과 우측 영상인  $I_r(t)$  간에 광BPEJTC의 상관관을 통해 두 물체간에 떨어진 상대 거리를 구하여 우측 카메라의 팬/틸트 제어값으로 사용하게 된다.

그림 10은  $I_{Ref}(t)$  영상과  $I_r(t)$  영상에 대한 광 BPEJTC 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

광 BPEJTC 시스템은 기존의 광 JTC 시스템에서 발생하는 과도한 DC나 상관오류 등을 제거하고 분리 조건에 보다 탄력적으로 대처할 수 있도록 새로이 제안된 위상형 광 상관기 시스템이다.<sup>[8]</sup> 즉, 광세기 분포로 나타나는 JTSP(joint transform power spectrum)에서 자기 상관성분과 동일영상 평면에서 나타나는 상호 상관을 효과적으로 제거하여 위상함수만 추출함으로써 상관 판별력을 보다 개선하고 광효율을 극대화한 시스템이다.

광 BPEJTC 시스템의 이진위상 JTSP를 구성하려면, 광 JTC의 JTSP 이외에 기준 영상평면과 입력 영상평면에 대한 각각의 광 세기 분포가 필요하다. 따라서 그림 10의 CCD3과 CCD4를 통해 기준 영상과 입력영상의 광 세기를 얻을 수 있도록 하였다.

광 JTC 입력 평면에서 SLM1의 영상은 렌즈에 의해 푸리에 변환되어 JTSP 형태로 CCD1에 검출

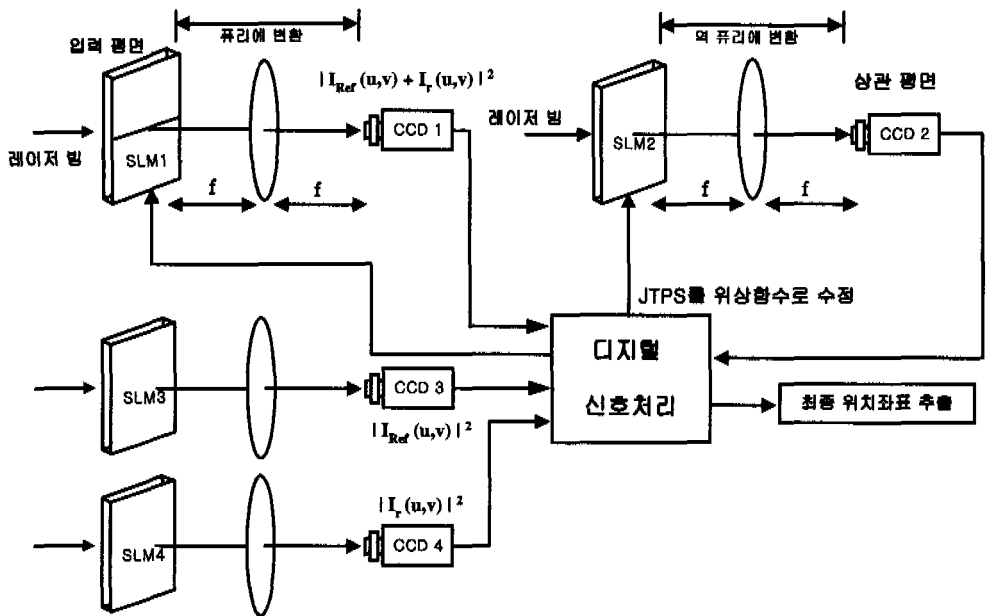


그림 10. 광 BPEJTC 시스템의 구성도

되게 된다. 그림 10의 푸리에 입력 평면은 그림 11과 같이 2단으로 분리하여 광 JTC 입력 평면으로 나타낼 수 있다. 그림 11에서 광 JTC 입력으로 사용할 기준영상  $I_{REF}(t)$ 과 입력영상  $I_r(t)$ 의 추적물체의 위치 좌표는 각각  $(x, y + \frac{w}{2}), (x - \Delta x_r, y - [\frac{w}{2} - \Delta y_r])$ 로 각각 주어진다. 여기서,  $2W$ 는 CCD1의 높이를 나타낸다. 광 JTC 입력 평면의 기준영상  $I_{REF}(t)$ 와 비교영상  $I_r(t)$ 간에 푸리에 변환한 광 간섭세기 분포인 JTPS는 식 (2)로 나타낼 수 있다.

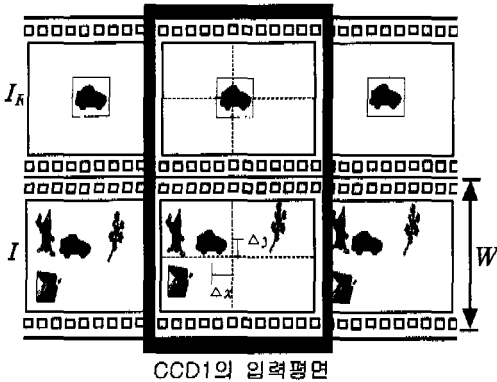


그림 11. 광 JTC의 입력평면

$$\begin{aligned}
 E_{JTC}(u, v) &= |I_{REF}(u, v) + I_r(u, v)|^2 \\
 &= |I_{REF}(u, v)|^2 + |I_r(u, v)|^2 \\
 &\quad + |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_r(u, v)| \exp[j2\pi u(\Delta x_r) + v(\frac{w}{2} - [\frac{w}{2} + \Delta y_r])] \\
 &\quad + |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_r(u, v)| \exp[-j2\pi u(\Delta x_r) + v(\frac{w}{2} - [-\frac{w}{2} + \Delta y_r])]
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서,  $(u, v)$ 은 푸리에 공간좌표 나타내고,  $I_{REF}(u, v)$ 와  $I_r(u, v)$ 는 기준영상  $I_{REF}(x, y)$ 와 우측 영상  $I_r(x, y)$ 의 푸리에 변환을 각각 나타낸다. 식 (2)에서 처음 두항은 자기 상관 성분이고, 세 번째 항과 네 번째항은 두 영상간의 상호 상관성분을 나타내는 항이다. 따라서, 광 JTC의 JTPS에서 자기 상관 성분인  $|I_{REF}(u, v)|^2$  과  $|I_r(u, v)|^2$  을 CCD3과 CCD4에서 얻을 수 있으므로 디지털적으로 처리하여 제거하면 다음과 같은 새로운 JTPS를

얻을 수 있다.

식(3)의 마지막 줄은 공간정합 필터를 이용한 상관기의 광 세기 간섭분포를 cosine 값으로 표현한 식이다. 여기서  $|I_{REF}(u, v)|$  과  $|I_r(u, v)|$  은 기준영상과 입력영상의 진폭 성분으로 항상 0보다 크거나 같은 값을 나타내므로  $E_{NEW}(u, v)$ 의 부호는 cosine 값에 영향을 받게 된다.

$$\begin{aligned}
 E_{NEW}(u, v) &= E_{JTC} - |I_{REF}(u, v)|^2 - |I_r(u, v)|^2 \\
 &= |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_r(u, v)| \exp[-j\Phi_{I_{REF}}(u, v)] \exp[j\Phi_{I_r}(u, v)] \exp[j2\pi u(\Delta x_r) + v(w - \Delta y_r)] \\
 &\quad + |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_r(u, v)| \exp[j\Phi_{I_{REF}}(u, v)] \exp[-j\Phi_{I_r}(u, v)] \exp[-j2\pi u(\Delta x_r) + v(w - \Delta y_r)] \\
 &= 2 |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_r(u, v)| \cos[\Phi_{I_{REF}}(u, v) - \Phi_{I_r}(u, v) - (\Delta x_r)u - (w - \Delta y_r)v]
 \end{aligned} \tag{3}$$

따라서 식(3)을 다음과 같이 양극성으로 변환하면 양극성 위상 형태인 BPEJTC의 JTPS를 구성할 수 있다.

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

여기에서  $E_{BPEJTC}(u, v)$ 는  $E_{NEW}(u, v)$ 의 부호 변화에 따르고,  $E_{NEW}(u, v)$ 는 cosine 함수에 영향을 받고 있으므로  $E_{BPEJTC}(u, v)$ 가 나타내는 값은  $\cos(0)$  혹은  $\cos(\pi)$ 가 되어 순수한 위상성분으로 해석이 가능하다. 또한 식(4)를 광학적으로 구성하기 위해서는 이진 위상 공간변조기를 사용하여야 하나 일반적인 공간 변조기를 이용하기 위해서는 일정한 바이어스를 가한 것으로 해석하여 이진 위상값으로 식(5)와 같이 대치하면 광학적 실현이 가능하다.

$$E_{BPEJTC}(u, v) = \begin{cases} 1, & E_{NEW}(u, v) \geq 0 \\ 0, & E_{NEW}(u, v) < 0 \end{cases} \tag{5}$$

그리고 이 수정된 JTPS를 SLM2의 입력으로 사용하고 역 푸리에 변환하여 상관 평면에서 얻은 상관 결과는 식 (6)과 같이 얻을 수 있다.

여기에서  $Edge[\cdot]$ 는 영상의 이상적인 경계선 추출함수를 나타낸 것이다.  $\otimes$ 는 콘벌루션(convolution)을, 그리고  $*$ 는 상관을 각각 나타낸다. 결과적으로 광 BPEJTC는 DC와 배경으로 인하여 발생하는 상관오류를 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 공간 정합

필터에서 우수한 peak-to-sidelobe를 나타내는 특성을 가지고 있다.

$$\begin{aligned}
 c_{BPEJTC}(x, y) &= \mathcal{F}^{-1}\{E_{BPEJTC}(u, v)\} \\
 &= Edge[I_{Ref}(x, y)] \otimes Edge[I_r(x, y)] \\
 &\quad * \delta[x + \Delta x_r, y + (w - \Delta y_r)] \\
 &\quad + Edge[I_l(x, y)] \otimes Edge[I_r(x, y)] \\
 &\quad * \delta[x - \Delta x_r, y - (w - \Delta y_r)]
 \end{aligned} \tag{6}$$

식(6)은 그림 10의 상관 평면인 CCD2에서 상관 침두치로 검출된다. 이 침두치는 중심 좌표에 있는 기준 영상과 우측 영상간에 떨어진 상대거리로 디지털적 계산에 의해 침두치의 위치 좌표를 얻을 수 있다. 이 위치 좌표로부터 계산에 의해 우측 영상의 추적 물체 위치좌표  $(-\Delta x_r, +\Delta y_r)$ 를 구할 수 있다. 그리고 이 값을 이용해 우측 카메라의 팬/틸트 제어값  $(+\Delta x_r, -\Delta y_r)$ 을 구할 수 있다.

따라서  $I_l(t)$  영상의 전처리에서 구한 좌측 카메라의 제어값인  $(+\Delta x_l, -\Delta y_l)$ 과 광 BPEJTC를 통해 구한 우측 영상의 제어값인  $(+\Delta x_r, -\Delta y_r)$ 으로 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어해 주면 스테레오 물체 추적이 가능하다.

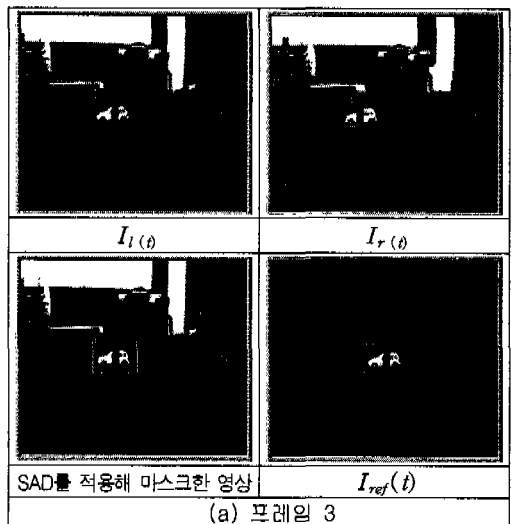
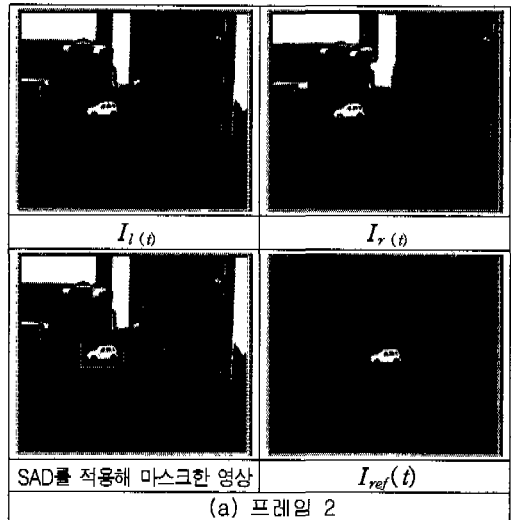
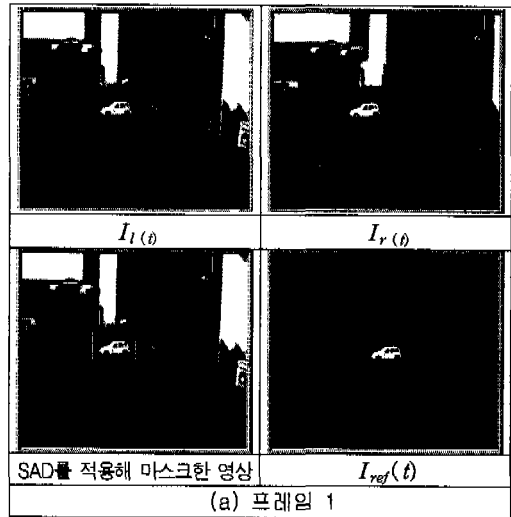
#### IV. 스테레오 추적 실험 및 결과 고찰

실험에서 사용한 좌, 우측 카메라의 영상 입력용 카메라는 동경전자(주)의 CS-8239B를 이용하였으며, 오프-라인으로 256x256 픽셀로 저장하여 사용하였다. 영상 저장용 프레임 그래버는 Matrox사의 Metro II/4와 Metro II MC/2의 2개를 사용하여 실시간으로 컴퓨터에 저장하였으며, 디지털 시스템은 펜티엄 III-500 (128MB)를 사용하였다.

그림 12는 카메라와 추적 물체가 동시에 이동하는 경우 좌,우측 카메라의 50 프레임 입력 영상 실험 중 4 프레임에 대한 물체추출 실험결과를 나타낸 것이다.

좌측 입력 영상인  $I_l(t)$ 와 이전 프레임에서 얻은 기준 영상인  $I_{ref}(t-1)$ 간에 SAD 알고리즘을 적용하여 추적 물체를 정확히 추출하고 새로운 기준 영상인  $I_{ref}(t)$ 을 갱신할 수 있음을 보여주고 있다.

그림 13는 그림 13의 스테레오 영상에 대하여 광 BPEJTC를 실행하기 위한 입력평면  $[I_{Ref}(t), I_r(t)]$ 과 광 BPEJTC를 실행한 후 상관 평면에서 나타나는 상관 침두치를 각각 보여주고 있다. 이 상관 침





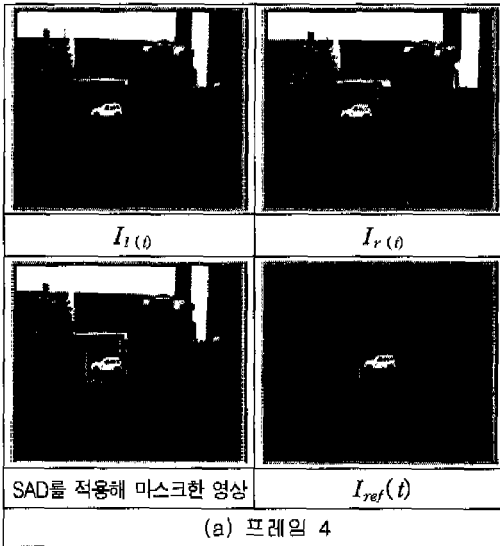


그림 12. 스테레오 입력 영상과 추적 물체가 추출된 기준영상

두치의 위치 좌표값을 이용하여 우측 영상의 추적 물체가 화면의 중심으로부터 떨어진 거리 ( $\pm \Delta x_r, \pm \Delta y_r$ )를 구할 수 있다.

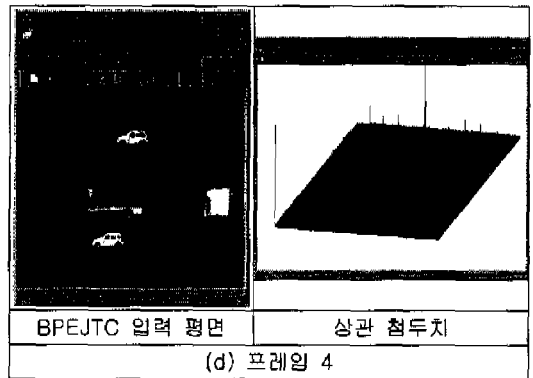
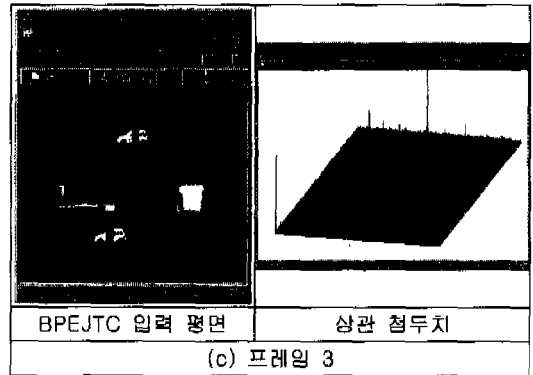
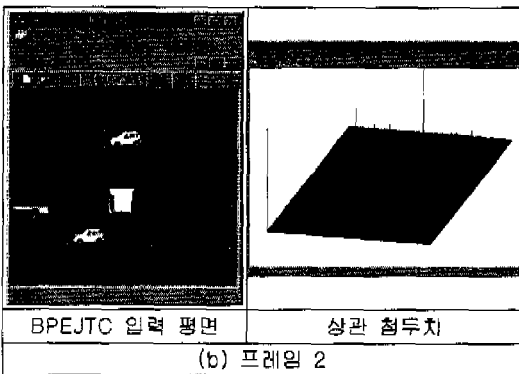
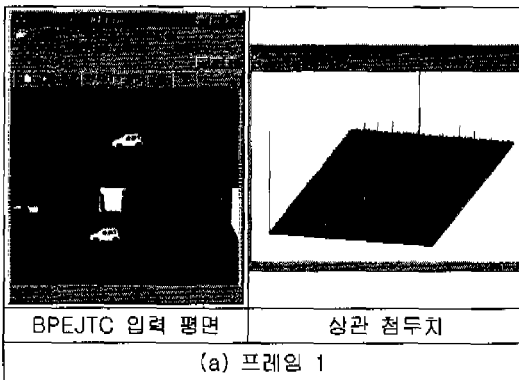


그림 13. 광 BPEJTC 시뮬레이션 결과

표1은 4 프레임의 좌, 우측 입력영상[그림 12의  $I_L(t), I_R(t)$ ]에서 추적물체의 실제 위치와 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 좌표는 256x256 영상의 중심 좌표(0,0)를 두고, x, y축에 대하여 추적물체의 위치를 구한 값이다. 표1을 보면 제안한 시스템으로 구한 이동물체의 위치와 실제 위치가 0~3 픽셀 정도의 작은 오차로 나타나 제안한 시스템이 효과적으로 이동물체를 추적할 수 있음을 보여주고 있다.

표 1. 추적물체의 실제 위치와 시뮬레이션 결과 [단위: 픽셀]

프레임	실제 추적물체 위치				시뮬레이션에 의한 추적물체 위치			
	좌측영상		우측영상		좌측영상		우측영상	
	$\Delta x_l$	$\Delta y_l$	$\Delta x_r$	$\Delta y_r$	$\Delta x_l$	$\Delta y_l$	$\Delta x_r$	$\Delta y_r$
프레임1	-20	2	-24	1	-23	5	-26	4
프레임2	-34	2	-39	0	-36	2	-42	1
프레임3	-18	-2	-23	-3	-16	-3	-20	-4
프레임4	-22	-1	-26	-3	-25	-4	-28	-5



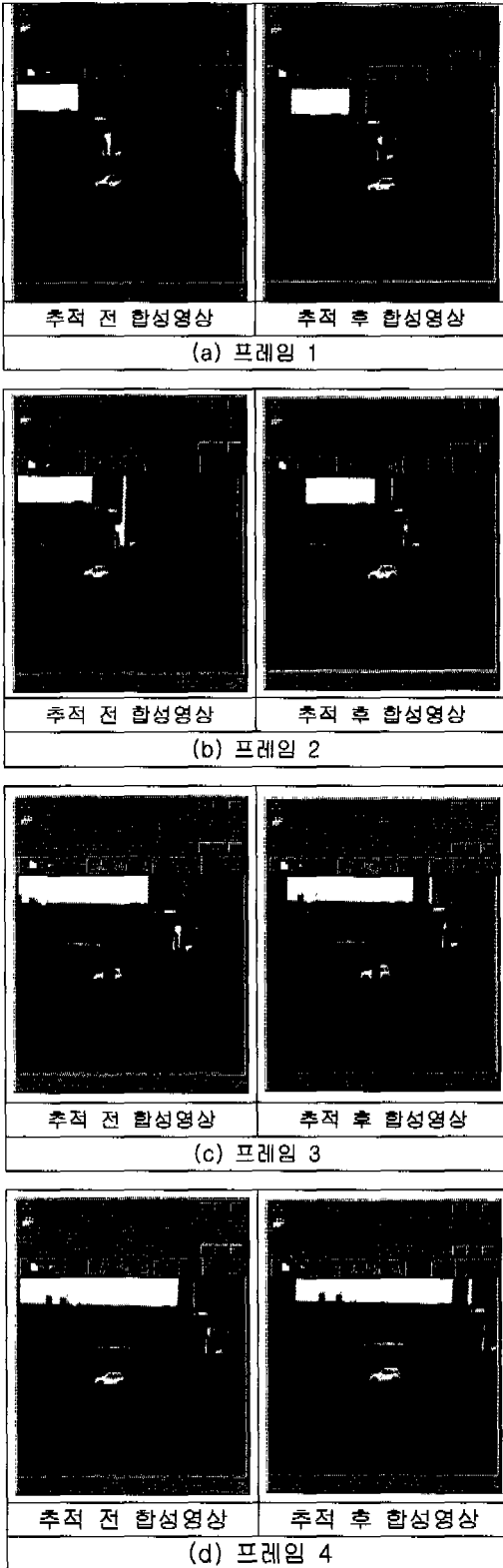


그림 14. 이동물체의 시물레이션 스테레오 추적결과

그림 14는 그림 12의 입력 영상에서  $I_{ref}(t)$ 와  $I_r(t)$ 의 4 프레임 영상에 대하여 추적하기 전의 스테레오 합성영상과 표1을 사용한 추적한 후의 스테레오 합성영상을 나타낸 것이다.

그림 14에서 추적 전 합성영상은 추적물체가 2개로 보여 추적 물체의 주시점이 일치하지 않고 추적 물체가 영상의 중앙에 위치하고 있지 않음을 알 수 있다. 그러나 스테레오 물체 추적후의 합성영상은 추적 물체의 주시점이 일치하고, 추적 물체가 항상 카메라 FOV의 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있다. 결과적으로 본 논문에서 제시한 알고리즘은 기존에 좌,우 영상의 블록 매칭시 발생하는 오정합 문제와 JTC의 상관시 발생하는 동일 배경잡음으로 인한 문제점을 해결하여 스테레오 물체추적이 가능함을 알 수 있다

### V. 결론

본 논문에서는 스테레오 물체추적 시스템의 새로운 접근 방법으로 영역기반의 정합인 SAD 알고리즘을 사용하여 복잡한 배경 및 전경에서 추적 물체를 인식하여 추출하고, 위상형 상관추적기인 광 BPEJTC를 사용하여 주시각 및 카메라의 팬/틸트를 제어하는 실시간 스테레오 물체추적 시스템을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 스테레오 물체 추적 시스템은 복잡한 배경 및 주위환경 변화에서도 추적 물체를 정확히 추출하여 적응적으로 스테레오 물체 추적이 가능함을 실험을 통해 확인하였으며, 광학적으로 구성함으로써 스테레오 자동 물체 추적기의 실시간적 구현 가능성을 제시하였다.

### 참고 문헌

- [1] Stephen T. Barnard, and william B. Thompson, "Disparity Analysis of Images", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-2, No.4, pp.333-340, July, 1980
- [2] K.T. Kim, J.S. Lee, S.H. Kim, E.S. Kim, S.Y. Park, Y.B. Lee, "Human-like Stereo Vision System based on Optical JTC" SPIE Optical Pattern Recognition Vol.3466, pp.259-266, 1998
- [3] T. J. Olson and D. J. Coombs, "Real-Time Vergence Control for Binocular Robots," Intl.

