

# PID 기반의 팬/틸트 제어를 통한 적응적 스테레오 물체추적 시스템의 구현

정회원 고정환\*, 김은수\*

## Implementation of Adaptive Stereo Object Tracking System through the PID-based Pan/Tilt Controller

Jung-Hwan Ko\*, Eun-Soo Kim\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 PID 기반의 팬/틸트 제어를 통한 새로운 적응적 스테레오 물체추적 시스템을 구현하였다. 제안된 시스템에서는 먼저, 순차적인 스테레오 입력영상에 영역기반의 MAD 알고리즘과 광 BPEJTC를 실행하여 좌, 우측 표적물체의 위치정보를 추출해 낸 다음, 제안된 PID 제어를 사용하여 스테레오 물체추적 시스템에서 발생하는 표적물체의 프레임간 오차신호를 적응적으로 제어해 줌으로써 카메라의 팬/틸트를 효과적으로 제어하였다. 즉, PID제어를 통해 좌, 우측 표적의 초기 좌표값은 PID제어의 비례이득(Kp) 및 미분이득(Kd) 값으로 제어하고, 2, 3번째 표적신호는 미분이득 값으로, 이후 순차적으로 입력되는 모든 표적신호들에 대해서는 적분이득(Ki) 값으로 제어함으로써 이동표적의 정확한 주시각 제어 및 실시간 추적을 수행하였다. 30 프레임의 스테레오 입력영상을 사용한 실험결과 기존 시스템에서는 추적 오차율이 평균 8.1%로 나타난 반면, 제안된 시스템에서는 0.01%로 크게 감소되는 것으로 분석됨으로써 새로이 제안된 PID기반의 팬/틸트 제어를 통해 실질적인 스테레오 물체추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

### ABSTRACT

In this paper, a new adaptive stereo object tracking system through the PID-based pan/tilt controller is proposed. That is, in the proposed system, the location coordinates of the target object in the right and left images are extracted from the sequential stereo input image by applying a region-based MAD(mean absolute difference) algorithm and an optical BPEJTC(binary phase extraction joint transform correlator) system, and then these values are used to effectively control the camera pan/tilt system under the noisy circumstances through the proposed PID(proportional-integral-derivative) controller, in which the error signals occurred between the image frames of the practical stereo object tracking system are adaptively controlled through an error compensation. That is, in the PID system, the location coordinates of the moving target is initially controlled by using proportional gain(Kp) and differential gain(Kd), and the 2nd and 3rd signals are controlled using only differential gain(Kd) and then all of the next signals are controlled using only integral gain(Ki). From some experimental results using 30 frames of the sequential stereo input image, it is analyzed that 8.1% tracking error of the conventional tracking system not employing a PID controller can be dramatically reduced to 0.01% in the proposed PID-based tracking system on the average.

\* 광운대학교 전자공학과 국가지정 3차원 영상 미디어 연구실(misagi@explore.kwangwoon.ac.kr, eskim@daisy.kwangwoon.ac.kr)  
 논문번호: 020416-1001, 접수일자: 2002년 10월 1일

## I. 서론

현대문명의 발달로 방사능 지역, 우주공간, 심해저 등 인간의 접근이 힘든 극한의 작업환경에서 로봇을 이용한 작업수행이 잦아지고 있다. 이러한 로봇 시스템을 이용한 원격작업을 원활하게 수행하고 작업자가 현장의 상황이나 작업 전개를 보다 명확하게 파악함으로써 작업의 효율을 극대화하기 위해서는 사람이 마치 현장에서 직접 작업하는 것처럼 느끼도록 하는 것이 매우 중요하다. 이를 위한 접근 방법으로 최근, 자동 물체추적 시스템에 인간의 시각계를 모방한 스테레오 카메라 시스템<sup>[1]</sup>을 적용한 새로운 3D 로봇비전 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 3D 로봇비전 기술에는 입체 시각을 부여하는 입체 카메라 기술, 스테레오 입력 영상을 처리하여 표적물체를 인지하는 물체인식 기술 그리고 표적물체를 연속적으로 추적하여 관측자가 표적물체를 추적, 감시할 수 있는 스테레오 물체추적 (stereo object tracking) 기술 등이 포함된다.

일반적으로, 양안시차에 기반한 스테레오 물체추적 시스템에서 좌,우 두 눈의 초점면에 표적물체의 시점이 일치하지 않게 되면 표적물체가 두 개로 겹쳐 보이게 됨으로써 눈의 피로감 가중과 작업효율의 저하를 가져오게 된다. 따라서, 추적물체에 스테레오 시차 (stereo disparity)<sup>[2]</sup>가 존재할 경우에는 이 시차를 제거하게 되는데 이것을 주시각 제어 (convergence angle control)<sup>[2-4]</sup>라고 한다. 즉, 스테레오 물체추적 시스템에서는 기존의 2차원 물체추적 시스템과 달리 추적물체가 이동함에 따라 두 카메라의 시점을 3차원 공간의 동일점 상에 일치시키는 주시각 제어 기능과 스테레오 카메라의 팬과 틸트를 제어하여 사람의 눈동자 움직임과 같이 추적물체가 항상 좌, 우 카메라 시야(FOV: field of view)의 중앙에 놓이도록 하는 기능 등이 추가된다. 따라서, 기존의 스테레오 물체추적 시스템에서 추적물체의 주시각 및 FOV의 효과적인 제어를 위해서는 스테레오 입력영상에서 추적물체의 정확한 위치 좌표의 추출을 위한 영상처리 기술과 추출된 좌표값에 따라 실시간으로 이동하는 팬/틸트 제어기술이 필수적이다. 일반적으로 스테레오 물체추적을 위한 영역처리 알고리즘은 대부분 순차적인 입력영상을 이용하여 이전 및 현재 영상 사이의 관계 등으로부터 배경 및 잡음을 제거함으로써 표적물체를 검출한다. 그러나, 표적물체의 위치정보를 추출함

으로써 표적물체의 실시간적 추적 및 감시가 이루어지게 된다.

그러나, 실질적인 스테레오 물체추적 시스템에서는 입력영상의 배경이 복잡하고 변화가 많으므로 표적물체의 추출에 많은 어려움이 있다. 더욱이, 동일한 표적일지라도 배경에 따라 표적 물체의 상대적 명암이 바뀔 수 있고, 다른 물체나 표적에 의해 가려질 수 있는 등의 주위환경 변화에 능동적으로 대처해야 하는 기술이 요구된다. 또한, 추출된 좌, 우 영상의 위치좌표에 따라 적응적인 팬/틸트 제어가 요구되지만 실제 추적시스템에서 발생하는 오차 신호가 추적물체가 이동함에 따라 누적되는 현상으로 정확한 물체추적이 어렵게 되고, 차수, 지연시간 등에 대한 가정이 실상황과 다를 때에도 추적성능이 급격히 저하됨으로 물체추적에 따른 프레임간의 오차를 효과적으로 제어할 수 있는 적응적 제어 시스템이 요구된다.<sup>[5]</sup>

따라서, 본 논문에서는 영역기반의 정합 알고리즘인 MAD(mean absolute difference)와 위상형 광상관기인 BPEJTC(binary phase extraction joint transform correlator)<sup>[6]</sup>를 사용하여 순차적인 스테레오 입력 영상의 전경 및 복잡한 배경으로부터 이동 표적의 위치 데이터를 검출한 뒤, 추출된 표적 위치값에 포함된 위치오차 성분을 효과적으로 제어하며 차수, 지연시간에 관계없이 정확한 물체추적과 주시각 제어가 가능한 PID기반의 새로운 팬/틸트 제어 시스템을 제안하고, 그 실험결과에 대해 논의하고자 한다.

## II. 제안된 스테레오 물체 추적 시스템

일반적으로, 스테레오 물체추적 시스템이란 좌, 우측 카메라로부터 입력되는 순차적인 스테레오 영상에서 이동물체의 주시각을 제어하면서 자동적으로 추적물체가 항상 영상의 중앙에 위치하도록 제어하는 시스템이다. 특히, 배경이 존재하고 표적이 이동할 경우 스테레오 물체추적 시스템의 성능은 배경으로부터 표적물체의 분리<sup>[7]</sup> 정도에 따른 정확한 위치정보 검출, 스테레오 영상의 주시각 제어 및 물체추적 제어기법 등에 의해 좌우된다.

본 논문에서 제안한 스테레오 로봇 비전 시스템은 그림 1과 같이 3 단계로 이루어진다.

즉, 1 단계에서는 배경 잡음이 존재하는 상황에서 이동물체를 추출하는 단계로 영역기반의 MAD 알고리즘을 사용하여 좌측 영상에서 표적물체를 추

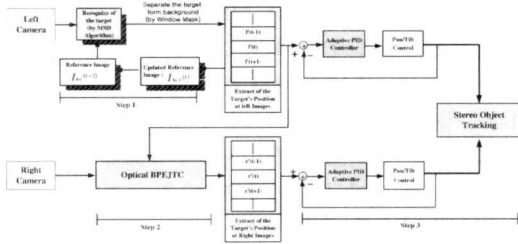


그림 1. 제안된 스테레오 물체 추적 시스템의 흐름도

출하고, 이어서 2 단계에서는 표적물체가 추출된 좌측영상과 스테레오 쌍인 우측 영상 간에 위상형 상관기인 광 BPEJTC를 사용하여 우측 영상에서 표적 물체의 위치좌표를 추출하게 된다. 마지막 3 단계에서는 추출된 위치값에 따라 팬/틸트를 제어해 줌으로써 스테레오 카메라의 주시각 제어뿐만 아니라 FOV (field of view) 제어를 통해 최종적으로 이동 물체를 추적하게 된다. 특히, 3 단계에서는 실질적인 물체추적 시스템에서 발생하는 프레임간 오차신호를 적응적으로 제어해 줌으로써 이동물체를 정확하게 추적할 수 있는 새로운 PID 제어를 제안하고 이를 통해 적응적인 스테레오 물체추적을 수행하게 된다.

1. 좌측 영상의 표적물체 추출과정 (1 단계)

본 논문에서는 순차적으로 입력된 좌측 영상과 이전 프레임에서 얻은 윈도우 마스크의 기준 영상 간에 영역기반의 MAD 알고리즘을 적용하여 표적 물체를 추출하였다. 식 (1)과 같이 주어지는 MAD 알고리즘은 기준 영상의 마스크 영역과 입력 영상 간의 일치정도를 검사하여 각 픽셀 위치에 MAD값을 나타내는 알고리즘이다.

$$MAD(a, b) = \frac{1}{N_x \cdot N_y} \left[ \sum_{j=0}^{(N_y-1)(N_x-1)} \sum_{i=0}^{(N_x-1)(N_y-1)} |l(a+i, b+j) - REF(i, j)| \right]$$

$(a, b)$  : MAD알고리즘적용영역,  $a = -2N_x \sim 2N_x$ ,  
 $a = -N_y \sim N_y$  (1)

그림 2는 MAD 알고리즘을 적용하여 좌측 입력 영상에서 표적물체의 위치좌표를 찾아가는 과정을 보여준 것이다. 여기서, 윈도우 마스크의 기준 영상은 그림 2 (a)와 같이 초기에만 추적물체를 마스크로 잡아(locking) 초기화시켜 주고, 이후에는 스스로 갱신(update)하게 된다.

즉, 윈도우 마스크의 기준 영상인  $[l_{Ref}(t-1)]$ 과

좌측 입력영상인  $[l(t)]$ 간에 제한된 영역에서 식

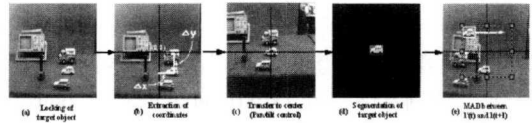


그림 2. 좌측 영상의 팬/틸트 제어 과정

(1)의 MAD 알고리즘을 적용하면 가장 일치하는 픽셀 영역에서 최소값이 나타나게 된다. 따라서, MAD 알고리즘을 적용하여 최소값이 되는 픽셀영역을 찾아 윈도우 마스크를 씌워 추적물체를 추출하고, 그 이외의 영역은 배경으로 간주하여 모두 제거하게 된다. 여기서,  $[l'(t)]$ 영상은 그림 2 (d)와 같이  $[l(t)]$ 영상에서 추적 물체를 추출하여 배경만 분리한 좌측영상을 나타낸 것이다. 다음에 좌측영상의 윈도우 마스크에서 추적물체의 위치좌표  $[(\Delta x, \Delta y)]$ 를 추출하여 중앙으로 위치하도록  $[(\Delta x, \Delta y)]$ 만큼 이동시켜 새로운 영상인  $[l_{Ref}(t)]$ 을 구한다. 이 영상은 광 BPEJTC 입력평면의 기준영상과 다음 프레임의 MAD 알고리즘에서 갱신된 기준 영상으로 사용하게 된다.

2. 우측 영상의 표적물체 추출과정 (2 단계)

우측 카메라의 물체추적을 위해서는 좌측 영상에서 구한  $[l'(t)]$ 영상과 우측 영상인  $[r(t)]$ 간에 광 BPEJTC 시스템[1]을 통한 상관을 통해 두 물체 간에 떨어진 상대거리를 구하여 우측 카메라의 팬/틸트 제어값으로 사용하게 된다. 그림 3은 광 BPEJTC 시스템의 입력평면을 나타낸 것으로 입력으로 사용되는 기준영상  $[l'(t)]$ 과 입력영상  $[r(t)]$ 에서 추적물체의 위치 좌표는  $l'(x, y - \frac{W}{2})$ ,  $r(x - \Delta x, y - [\Delta y - \frac{W}{2}])$ 로 각각 주어진다.

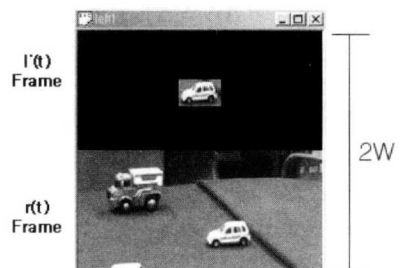


그림 3. 광 BPEJTC 시스템의 입력평면



일반적으로 광 JTC 입력 평면의 기준영상  $[I^l(x, y)]$ 와 비교영상  $[R(x, y)]$ 간에 푸리에 변환한 광 간섭계기 분포인 JTPS(joint transform power spectrum)는 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E_{NEW}(u, v) &= E_{JTC} - |I_{REF}(u, v)|^2 - |I_R(u, v)|^2 \\
 &= |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_R(u, v)| \exp[-j\phi_{I_{ref}}(u, v)] \\
 &\quad \exp[j\phi_{I_r}(u, v)] \exp[j2\pi u(\Delta x) + v(w - \Delta y)] \\
 &\quad + |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_R(u, v)| \exp[j\phi_{I_{ref}}(u, v)] \\
 &\quad \exp[-j\phi_{I_r}(u, v)] \exp[-j2\pi u(\Delta x) + v(w - \Delta y)] \\
 &= 2 |I_{REF}(u, v)| \cdot |I_R(u, v)| \\
 &\quad \text{COS} [\phi_{I_{ref}}(u, v) - \phi_{I_r}(u, v) - (\Delta x)u - (w - \Delta y)v]
 \end{aligned} \tag{2}$$

그리고, 이 JTPS를 역 푸리에 변환하여 상관 평면에서 얻은 상관 결과는 식 (3)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 C_{NEW}(x, y) &= \mathcal{F}^{-1}\{E_{NEW}(u, v)\} \\
 &= [I^l(x, y) \otimes r(x, y)] * \delta[x + (\Delta x - \Delta x), y + (\Delta x - \Delta x + w)] \\
 &\quad + [r(x, y) \otimes I^l(x, y)] * \delta[x - (\Delta x - \Delta x), y - (\Delta x - \Delta x + w)]
 \end{aligned} \tag{3}$$

여기서,  $\otimes$ 는 컨벌루션(convolution)을, 그리고 \*는 상관을 각각 나타낸다.

식 (4)는 중심 좌표에 있는 기준영상과 우측영상간에 떨어진 상대거리를 나타내는 상관 침두치로 상관평면에서 검출이 되며 이들 상관침두치의 좌표값은 다음과 같이 주어진다.

$$x_{peak} = \pm(\Delta x_l - \Delta x_r), \quad y_{peak} = \pm(\Delta y_l - \Delta y_r + w) \tag{4}$$

식 (4)에서 상관 침두치는 중심 좌표에 있는 기준영상과 우측 입력영상에서 추적물체간에 떨어진 상대거리로 디지털적 계산에 의해 침두치의 위치 좌표를 얻을 수 있으며, 이러한 좌표값으로부터 우측영상의 표적물체 위치좌표를 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta x_r = \Delta x_l - x_{peak}, \quad \Delta y_r = \Delta y_l + w - y_{peak} \tag{5}$$

식 (5)와 같이 검출된 우측 표적 물체의 위치좌표  $(\Delta x_r, \Delta y_r)$ 는 우측 카메라의 팬/틸트 제어값으로 변환되며, 1단계에서의 MAD 알고리즘을 통해 검출된 좌측 카메라의 팬/틸트 제어값과 함께 스테레오 물체 추적이 이루어지게 된다.

### 3. 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어 과정(3 단계)

1. 2 단계에서 검출된 좌, 우측 영상의 좌표값은

USB(universal serial bus) 인터페이스를 통해 스테레오 카메라가 부착된 팬/틸트시스템으로 전달되며, 이후 좌표값의 변화에 따라 팬/틸트의 모터 제어가 이루어지게 된다. 그림 4는 추적 물체의 이동에 따라 카메라의 팬/틸트를 제어하여 추적물체가 카메라 시야(FOV)의 중앙에 놓이게 하는 추적 창(window)의 모습을 나타낸 것이다.

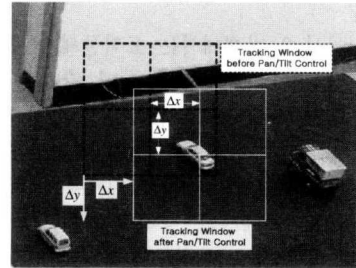


그림 4. 팬/틸트 제어 시스템을 이용한 추적

표적영상의 전처리에서 구한 좌측 카메라의 제어값인  $(\Delta x, \Delta y)$ 과 광 BPEJTC를 통해 구한 우측영상의 제어값인  $(\Delta x_r, \Delta y_r)$ 를 이용하여 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어해 줌으로써 최종적으로 이동 물체의 추적이 이루어지게 된다. 그러나, 실질적인 스테레오 물체추적 시스템에서는 초기 검출된 표적 물체의 팬/틸트 입력값에 미세한 오차가 생기더라도 시간이 지남에 따라 오차성분이 누적되는 현상으로 정확한 물체추적이 어렵게 되고, 차수, 지연시간등에 대한 가정이 실상상황과 다를 때에는 추적성능이 급격히 저하되기 때문에 물체추적에 따른 프레임간의 오차를 효과적으로 제어할 수 있는 적응적 제어 시스템이 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 변형된 PID 기반의 새로운 팬/틸트 제어를 제시하고 이를 이용하여 프레임간의 표적물체의 오차신호를 효과적으로 제어함으로써 적응적 추적제어와 빠른 응답속도로 실시간적 추적이 가능한 스테레오 물체추적 시스템을 구현하였다.

### III. 변형된 PID 제어기 기반의 팬/틸트 제어 시스템

PID(proportional-integral-derivative) 제어기는 그 강건성과 간결함으로 많은 응용분야에서 사용되는 가장 일반적인 제어기이다. 그림 5는 표적영상의 수평, 수직방향의 이동 편차값을 입력으로한 적응적

PID제어기 기반의 팬/틸트 제어 시스템을 나타낸 것이다.

그림 5에서 PID 제어기는 영상처리를 통해 추출된 표적영상의 위치정보의 팬/틸트 입력정보인 각도 (degree)값으로 변환된 입력  $Dx(t)$ ,  $Dy(t)$ 와 출력값  $Ypan(t)$ ,  $Ytilt(t)$ 의 차이를 바탕으로 제어값인  $upan(t)$ ,  $utilt(t)$ 를 계산하여 팬/틸트에 입력하게 된다.

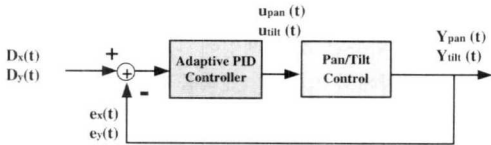


그림 5. 적응적 PID 제어기 기반의 팬/틸트 제어 시스템

또한, 변수  $ex(t)$ ,  $ey(t)$ 는 추적오차(tracking error)로 원하는 출력값  $Dx(t)$ ,  $Dy(t)$ 와 실제 출력값  $Ypan(t)$ ,  $Ytilt(t)$ 의 차이를 의미한다. 이러한 오차신호  $ex(t)$ ,  $ey(t)$ 는 PID 제어기에 입력되어 미분값과 적분값이 계산되고 결과적으로 PID 제어기에서 출력되는 신호  $upan(t)$ ,  $utilt(t)$ 는 식 (6)과 같이 주어진다.

$$u(t) = k_p * e(t) + k_i \int e(t) \cdot dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

위 식에서  $Kp$ ,  $Kd$ ,  $Ki$  값은 비례이득(proportional gain), 미분이득(derivative gain), 적분이득(integral gain)을 각각 나타낸다. 즉, PID에 의해 제어된 신호  $upan(t)$ ,  $utilt(t)$ 는 팬/틸트에 입력되어 새로운 출력  $Ypan(t)$ ,  $Ytilt(t)$ 을 얻게되고, 이는 다시 입력으로 케환(feedback)되어 계속적으로 새로운 오차 신호  $ex(t)$ ,  $ey(t)$ 를 계산하여 팬/틸트를 제어하게 된다. 그러나 이러한 기존의 PID 제어기를 팬/틸트 시스템에 이용할 경우, 비례이득( $Kp$ )을 키워서 일정한 초기값을 얻은 다음, 만족할 만한 응답을 얻을 때까지 각각의 이득성분인  $Kp$ ,  $Kd$ ,  $Ki$  값을 조정하며 추적 오차에 대한 보정을 수동으로 수행해야 하는 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 애러보정에 대한 이득성분을 적응적으로 추정하기 위하여 식 (6)을 샘플링(샘플링 주기:  $n$ )하여 식 (7)과 같이 이산적(discrete)으로 나타내었다.

$$u(n) = k_p * e(n) + k_i \sum e(n) + k_d [e(n) - e(n-1)] \quad (7)$$

위 식에서,  $u(n)$ ,  $e(n)$ ,  $n'$ 는 샘플링 주기  $n$ 에서의 모터 제어신호의 출력, 추적오차(tracking error) 및 미분변차 (derivative sampling rate)를 각각 나타낸다.

순차적으로 출력되는 팬/틸트 제어신호를 분석하기 위해 식 (7)에서의 이산화된 제어입력  $u(n)$ 을 샘플링 주기  $n$ 의 차수에 따라 전개하면 식 (8)와 같이 주어진다.

$$u(n) = e(n) * (k_p + k_i + k_d) + e(n-1) * (k_i + 2k_d) + e(n-2) * (k_i + k_d) + k_i * (e(n-3) + \dots + e(0)) \quad (8)$$

식 (8)에서,  $k_p$ 는 초기에 입력된 표적물체의 추적오차 성분에만 영향을 미치고,  $k_i$ 는 순차적으로 입력되는 모든 표적영상의 추적오차에 대해 영향을 미치며,  $k_d$ 의 경우는 초기 표적물체로 부터 3번째 영상까지 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

따라서, 본 논문에서는  $n$ ,  $n-1$ ,  $n-2$  번째의 추적오차에 대한 각각의 PID 계수들이 입력된 제어영상에 대한 미치는 영향도를 분석하기 위해 1, 3을 비교적 뒷부분에 해당하는 14, 27번째 프레임을 선정하여 PID 튜닝을 할 수 있도록 구성하였으며, 그림 6과 같이 실시간으로 주시각 제어와 실시간 추적을 수행할 수 있는 팬/틸트 시뮬레이터를 구현하여 실험에 이용하였다. 즉, 프레임 그레버(frame grabber)로 입력되는 초기 좌, 우측 표적의 좌표값은 PID제어기의 제어 이득값 중  $Kp$ 와  $Kd$ 값으로만 초기 제어를 한 후, 2, 3번째 표적신호는  $Kd$ 값으로, 이후 순차적으로 입력되는 모든 표적신호들에 대해서는  $Ki$ 값으로만 제어를 하는 변형된 PID제어기를 통해 이동표적의 정확한 주시각 제어 및 실시간 추적을 수행하였다.

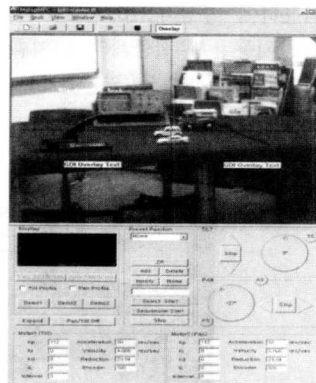


그림 6. 구현된 PID기반의 팬/틸트 제어 시뮬레이터

영상 저장용 프레임 그래버는 Matrox사의 Metro II/4와 Metro II MC/2의 2개를 사용하였으며, 영상 제어 프로그래밍은 실시간 처리를 위해 Matrox사의 이미징 라이브러리인 MIL(Matrox Imaging Library) 7.1과 MFC 기반의 Visual C++을 이용하였다.

#### IV. 실험 및 결과분석

실험에서 좌, 우 스테레오 영상 입력용 카메라는 동경전자(주)의 CS-8239B 카메라 2대를 교차식 형태로 구성하여 사용하였으며, 좌, 우 두 카메라 사이의 거리는 22cm로 고정하였다. 팬/틸트 제어 장치는 (주) 한울 로보틱스의 HWR-PT1 2대를 사용하였고, 640 x 480의 해상도를 갖는 30 프레임의 영상 시퀀스를 입력받아 실험영상으로 사용하였다. 그림 7은 본 논문에서 새로이 제안한 PID기반의 스테레오 물체추적 시스템의 실험 구성도를 나타낸 것이다. 실험에서 팬/틸트 제어장치는 표적물체(맨우측 자동차)와 1.5m로 떨어져 설치하였으며, 전, 후 배경에는 표적 자동차와 유사한 3개의 서로 다른 자동차와 오실로스코프를 위치시켰다.

제안된 스테레오 물체추적 시스템의 성능을 보이기 위한 실험 시나리오는 표적물체와 전경 및 배경에 위치한 다른 물체들이 동시에 움직이는 상황에서 전체 30 프레임 중 4 프레임(1, 3, 14, 27번째 프레임)을 선정하여 추적실험을 수행하였다.

##### 1. 좌측 영상의 표적물체 추출 실험

표 1은 그림 8과 같이 선택된 4 프레임의 입력 스테레오 영상에 대해 좌측 입력영상인  $[l(t)]$ 와 이전 프레임에서 얻은 기준영상인  $[l_{ref}(t-1)]$ 간에 MAD를 적용하여 중심좌표(0, 0)을 기준으로 x, y 축 방향으로 이동된 추적물체의 위치를 각각 나타낸 것이다. 여기서 추출된 위치좌표는 표적물체의 실제 이동값인  $[(\Delta x, \Delta y)]$ 를 의미하며, 동시에 좌

측 카메라의 팬/틸트 제어값이 된다.

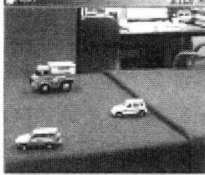

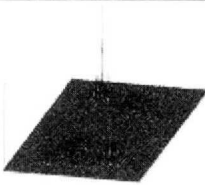
표 1. 좌측 표적물체의 위치좌표

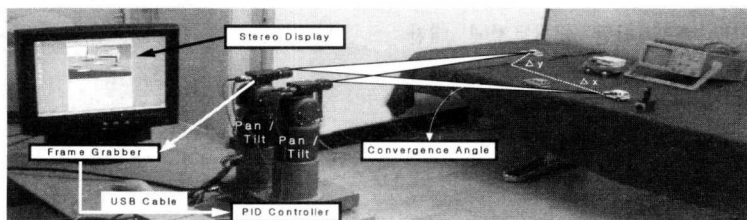
프레임	좌측 영상의 위치좌표
1	( 28, -24)
3	( 103, -98)
14	( -13, -90)
25	(-255, -105)

표 1에서 획득된 4 프레임에 대한 위치좌표들은 각각의 프레임에서 입력된 표적물체의 카메라 시야(FOV)에서의 현재 위치를 의미하며, 주시각 제어를 위해 선행되어야 할 팬/틸트 제어값으로 변환된 뒤 표적물체를 중앙으로 놓게할 FOV(field of view) 제어를 수행하게 된다.

##### 2. 우측 영상의 표적물체 추출실험

그림 8은 좌측영상에서 표적으로 영역화된 기준 영상  $[l(t)]$ 과 현재 입력되는 우측영상  $[r(t)]$ 간에 광 BPEJTC를 실행하기위한 입력평면, 광 BPEJTC를 실행한 후 상관 평면에서 나타나는 좌, 우측 영상의 상관 결과 및 그들의 위치좌표 값을 각각 나타낸 것이다.

1 프레임	BPEJTC 입력평면
	
상관결과	위치 좌표 값
	(21, -22)





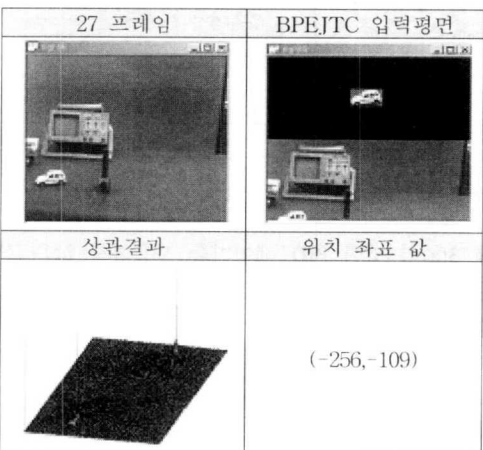
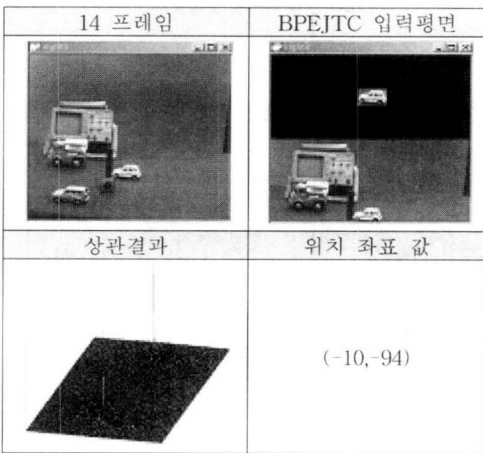
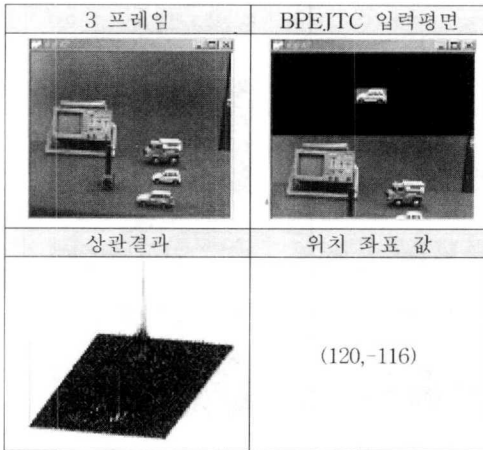


그림 8. 광 BPEJTC를 통한 우측 영상의 표적위치 추출 결과

여기서, 위치좌표 값은 입력영상의 중심좌표(0,0)를 기준으로 하여 x, y축으로 이동된 표적물체의 위치를 나타낸 것이며 우측 카메라의 팬/틸트 제어에

사용된다.

### 3. 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어실험

표 2는 좌, 우측 영상에서 추출된 표적물체의 픽셀간 이동량을 팬/틸트의 제어값인 각도로 환산한 값을 나타낸 것이다.

따라서 표 2를 통해 추출된 이동각은 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어하기 위한 PID 제어기의 입력이 된다.

표 2. 좌, 우 카메라의 팬/틸트 제어 각

Frame	Degree	좌측 카메라		우측 카메라	
		팬	틸트	팬	틸트
프레임(1)		11.625	-3.328	12.422	-2.578
프레임(3)		4.828	-4.594	5.625	-2.906
프레임(14)		-0.609	-2.250	-0.188	-2.344
프레임(27)		-11.953	-2.625	-11.719	-5.109

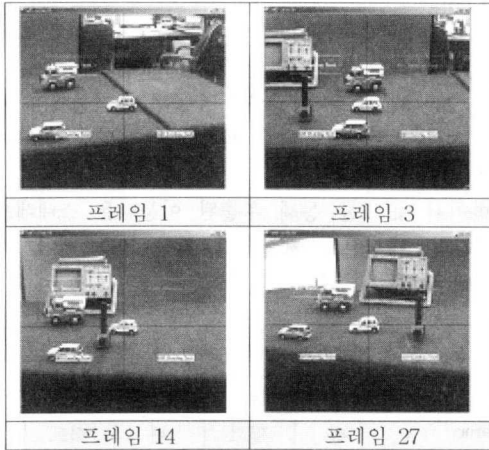
그림 9는 임의로 선정된 4개 프레임의 좌, 우 입력영상에 대해 표 2에 따라 최종적으로 팬/틸트를 통해 FOV 제어된 영상을 나타낸 것이다.

그림 9에서 보면 표적물체(중앙에 위치한 자동차)는 정확히 카메라 시야(FOV)의 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있으며, FOV 제어된 좌, 우측 영상은 표적물체의 스테레오 시차를 없애주기 위한 주시각 제어에 사용되게 된다.

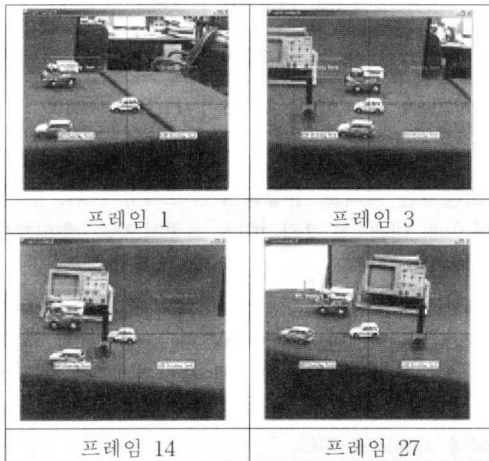
### 4. 스테레오 영상의 합성 및 분석실험

그림 10은 전체 30 프레임 중 선정된 4 프레임의 좌, 우측 입력영상에 대하여 제안한 PID 팬/틸트 제어전의 스테레오 합성영상과 제어 후의 스테레오 합성영상을 나타낸 것이다. 그림 10에서 제어 전 합성영상은 전경과 배경의 물체가 2개로 보여 추적 물체의 주시점이 일치하지 않지만, 스테레오 물체 추적후의 합성영상은 추적 물체의 주시점이 일치하고, 추적 물체가 항상 카메라 FOV의 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있다.

표 3은 PID 제어기를 사용한 경우와 그렇지 않은 각각의 경우에 대해 구한 FOV 제어값 및 주시각 제어값으로 중심 좌표(0, 0)를 기준으로 좌, 우측 영상에 있는 표적물체의 실제 위치와 그에 따른 일치점을 검출한 결과를 나타낸 것이다.

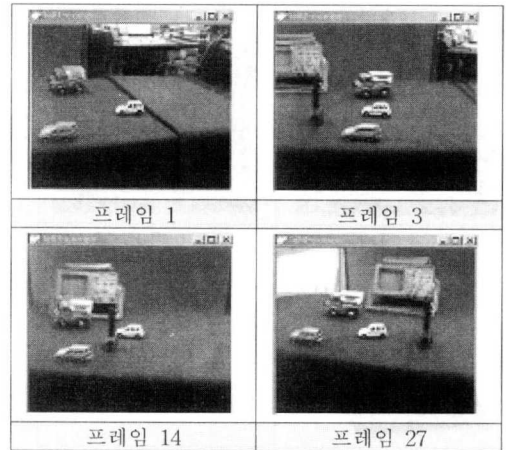
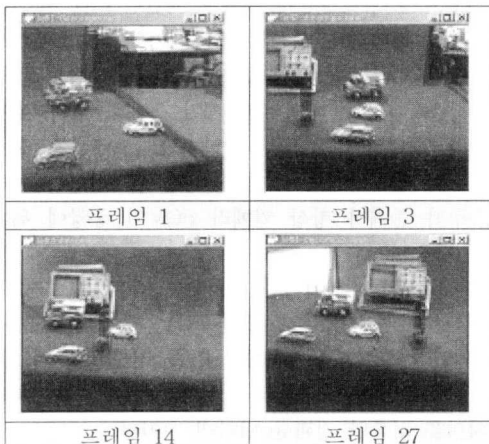


(a) 좌측 영상



(b) 우측 영상

그림 9. 팬/틸트의 FOV 제어후의 영상



(b) 추적 후 합성영상

그림 10. 이동물체의 시뮬레이션 추적결과

표 3. FOV 및 주시각 제어를 위한 표적물체의 실제위치 및 일치점 오차

(a) PID 제어를 사용하지 않은 경우

프레임	좌표	좌측영상	우측영상	일치점 오차	
				$\Delta x$	$\Delta y$
1	(21, -25)	(24, -24)	3	1	
3	(-2, -4)	(0, -3)	2	1	
14	(-4, 3)	(0, 2)	4	1	
27	(-3, 1)	(-7, 5)	5	4	

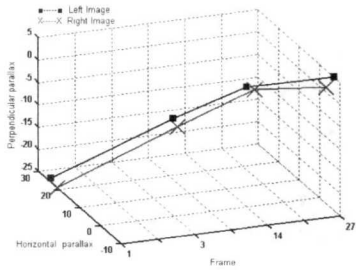
(b) 제안된 PID 제어를 사용한 경우

프레임	좌표	좌측영상	우측영상	일치점 오차	
				$\Delta x$	$\Delta y$
1	(2, -1)	(3, 0)	1	1	
3	(1, -2)	(1, -2)	0	0	
14	(1, -2)	(1, -2)	0	0	
27	(-1, 1)	(-1, 1)	0	0	

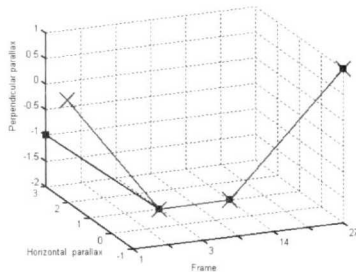
표 3(a)와 같이 PID 제어를 사용하지 않은 경우는 FOV 제어를 위한 일치점 오차가 3.8픽셀로 나타났고 또한, 주시각 제어를 위한 일치점 오차는 2.3픽셀로 각각 나타나 표적추적이 잘 이루어지지 않음을 알 수 있다. 반면에 제안된 PID 제어를 사용한 경우인 표 3 (b)를 보면, FOV 제어를 위한 일치점 오차는 1.2픽셀로 주시각 제어를 위한 일치점 오차는 0.8픽셀로 각각 나타나 PID를 통해 추적 오차가 효과적으로 제어된 것을 알 수 있다.

그림 11은 표 3을 이용하여 표적물체의 이동 궤적을 3차원 공간상에 각각 나타낸 것이다.





(a) PID 제어 전



(b) PID 제어 후

그림 11. 표적물체에 대한 이동궤적

그림 11에서 보면 이동표적의 주시각 제어는 좌, 우측 표적물체의 수직, 수평 편차를 하나의 대응점으로 일치시키는 과정임을 알 수 있다. 즉, 그림 11 (a)와 같이 PID 제어를 사용하지 않은 경우, 좌, 우 표적물체의 운동궤적에 차이가 나면서 실질적인 스테레오 물체추적이 이루어지고 있지 않음을 알 수 있다. 이에 반해, 그림 11 (b)의 경우, PID 제어를 사용한 추적오차의 효과적인 제어로 표적물체를 정확히 추적하고 있음을 보여주고 있다. 또한, 80 x 60 픽셀크기로 표적을 영역화하여 추적오차를 분석한 결과, PID 제어를 사용하지 않은 경우 추적오차율이 8.1%로 나타난 반면 PID 제어를 사용한 경우에는 추적오차율이 0.01%로 크게 낮아지면서 전체적인 추적 성능이 크게 향상됨을 알 수 있다.

이상의 실험결과, 본 논문에서 새로이 제안된 PID기반의 적응적 스테레오 물체추적 시스템은 스테레오 입력 영상에서 영역기반의 MAD 알고리즘과 위상형 상관기인 광 BPEJTC를 실행하여 표적물체의 위치를 정확히 추출할 수 있었으며, 제안된 PID기반의 팬/틸트 제어를 통해 스테레오 카메라의 주시각 제어와 이동물체의 실시간적 추적이 가능함을 분석함으로써 새로이 제안된PID기반의 팬/틸트 제어를 통해 실질적인 스테레오 물체추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

## V. 결론

본 논문에서는 PID 기반의 팬/틸트 제어를 통한 적응적 스테레오 물체추적 시스템을 구현하였다. 즉, 제안된 시스템에서는 순차적인 스테레오 입력영상에 계층적 광-디지털 알고리즘인 영역기반의 MAD 알고리즘과 광 BPEJTC를 각각 실행하여 좌, 우측 표적물체의 위치정보를 추출해 낸 다음, 제안된 PID 제어를 사용하여 실질적인 스테레오 물체추적 시스템에서 발생할 수 있는 표적물체의 프레임간 오차신호를 적응적으로 제어해 줌으로써 카메라의 팬/틸트를 효과적으로 제어할 수 있는 새로운 적응적 스테레오 물체추적 시스템을 제시하였다. 30 프레임의 스테레오 입력영상을 사용한 실험결과 기존 시스템에서는 추적 오차율이 평균 8.1%로 나타난 반면, 제안된 시스템에서는 0.01%로 크게 감소되는 것으로 분석됨으로써 새로이 제안된 PID기반의 팬/틸트 제어를 통해 실질적인 스테레오 물체추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

## 참고 문헌

- [1] D. J. Coombs and C. M. Brown, "Cooperative gaze holding in binocular vision", IEEE Control Systems Magazine, vol. 11, pp. 24-33, 1991.
- [2] D. Coombs and C. Brown, "Real-time binocular smooth pursuit", International Journal of Computer Vision, vol. 11, no. 2, pp. 147-164, 1993.
- [3] P. Victor, G. Podnar and M. W. Siegel, "Geometry of binocular imaging", Proc. of SPIE, Vol. 2177, pp. 56-65, 1994.
- [4] D. Comaniciu, V. Ramesh, "Robust detection and tracking of human faces with an active camera", Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance, vol.1, pp.11-18, 2000
- [5] J. Banks, M. Bennamoun, P. Corke, "Fast and robust stereo matching algorithms for mining automation", Digital Signal Processing, Vol. 9, No. 3, pp. 137-148, 1999
- [6] J. S. Lee, C. W. Seo, E. S. Kim, "Implementation of opto-digital stereo object tracking system", Optics Communications, vol. 200, pp.73-85, 2001

- [7] Y. Mae, S. Yamamoto, Y. Shirai, J. Miura, "Optical flow based real-time object tracking by active vision system", Proc. of 2nd Japan-France Congress on Mechatronics, vol.2, pp.545-548, 1994
- [8] 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, May 2001.
- [9] 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
- [10] H. S. Oh, Y. J. Baek, and H. K. Lee, "An adaptive bit-reduced mean absolute difference criterion for block-matching algorithm and its VLSI implementation", Optical Engineering, vol. 44, no. 3, pp. 659-666, 1998
- [11] M. Kam, "Computing the cost of occlusion gabriel fielding", Computer Vision and Image Understanding, vol. 79, no. 2, pp. 324-329, 2000
- [12] X. Zhou, H. Suzuki and T. Nishizeki, An NC parallel algorithm for edge-coloring series parallel multigraphs , Journal of Algorithms, vol. 23, pp. 359-374, 1997

고 정 환(Jung-hwan Ko)

정회원



2001년 2월 : 광운대학교

제어계측공학과 학사

2001년 8월 : 광운대학교

전자공학과 석사

2001년 9월~현재 : 광운대학교

전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 3D 로봇비전, 스테레오 영상처리

김 은 수(Eun-Soo Kim)

정회원

광운대학교 국가지정 3차원 영상 미디어 연구실

(<http://3dmedia.kwangwoon.ac.kr>)

한국통신학회지 Vol.27, No. 4 참조