

# 이동물체가 정밀 시스템에 미치는 영향분석에 관한 연구

(A Study on the Effect Analysis Influenced on the Advanced System of Moving Object)

신현재\* · 이재수\*\* · 김수인 · 최인호 · 손영우 · 안영환 · 김대욱

(Hyeon-Jae Shin · Jae-Soo Lee · Soo-In Kim · In-Ho Choi ·  
Young-Woo Shon · Young-Hwan An · Dae-Wook Kim)

## 요 약

본 논문에서는 영역기반의 MAD(Mean Absolute Difference) 알고리즘과 변형된 PID(Proportional Integral Derivative) 기반의 팬/틸트 제어를 이용하여 적응적인 스테레오 물체추적을 수행함으로써 물체추적 시스템의 오류검출 및 안정도를 분석하였다. 즉 순차적인 스테레오 입력영상에 영역기반의 MAD 알고리즘과 스테레오 카메라의 기하학적 정보를 이용하여 좌, 우측 표적물체의 위치정보를 추출해 낸 다음, 이 값으로 변형된 PID 제어기에 사용하여 잡음들이 존재하는 환경에서도 스테레오 카메라의 팬/틸트를 효과적으로 제어할 수 있었다.

따라서 본 논문에서 제시된 알고리즘을 이용할 경우 3D 로봇비전과 같은 정밀시스템에서 이동하는 추적물체에 대한 적응적인 제어와 실질적인 로봇 시각 시스템의 구현 가능성을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, we analyzed the error detection and the stability of the object tracking system by an adaptive stereo object tracking using region-based MAD(Mean Absolute Difference) algorithm and the modified PID(Proportional Integral Derivative)-based pan/tilt controller. 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 algorithm and the configuration parameter of the stereo camera, and then these values could effectively control to pan/tilt of the stereo camera under the noisy circumstances through the modified PID controller.

Accordingly, an adaptive control effect of a moving object can be analyzed through the advanced system with the proposed 3D robot vision, in which the possibility of real-time implementation of the robot vision system is also confirmed.

Key Words : MAD(Mean Absolute Difference), PID(Proportional Integral Derivation), Pan/tilt controller, Convergence angle control, Stereo vision system

\* 주저자 : 인하공업전문대학 메카트로닉스과 교수

\*\* 교신저자 : 김포대학 IT학부 정보통신과 부교수

Tel : 031-999-4153, Fax : 031-999-4775, E-mail : jslee@kimpo.ac.kr

접수일자 : 2007년 5월 29일, 1차심사 : 2007년 6월 5일, 심사완료 : 2007년 6월 18일

### 1. 서 론

3차원 이동물체 추적 및 인식과 같은 스테레오(3D) 비전 시스템에 있어서, 최근에는 보다 자연스럽고 현실감 있는 실감 시스템의 요구가 증가함에 따라 연구가 많이 수행되고 있다[1-3].

이러한 스테레오 비전 시스템에서는 인간의 시각 시스템(HVS, Human Visual System)[4-6]과 같이 입력된 스테레오 영상으로부터 효과적으로 3차원 입체 정보를 추출해냄으로써 추적 물체의 위치를 찾아낼 수 있다. 따라서 일반적인 2차원 추적 시스템과 달리 3차원 추적 시스템은 추적하고자 하는 표적 물체의 정확한 위치 검출과 표적 물체의 영역화를 수행하여야 한다. 그리고 표적 물체를 인간시각 시스템의 눈동자 움직임과 유사하게 추적하기 위하여서는 주시각(convergence angle)을 제어하는 동시에 움직이는 물체를 연속적으로 추적할 수 있는 팬/틸트(pan/tilt)를 제어하여야 한다. 즉 스테레오 비전 시스템에서 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어해 줌으로써 표적 물체를 항상 좌, 우 카메라 시야(FOV, Field Of View)의 중앙에 위치시킬 수 있다. 따라서

표적물체의 정확한 위치검출과 그에 따른 주시각 제어 및 팬/틸트 제어는 스테레오 물체추적 시스템에서 가장 중요한 요소라 할 수 있다.

로봇 비전의 스테레오 물체추적 시스템에서는 검출된 좌, 우 영상의 위치좌표에 따라 적응적인 팬/틸트 제어가 요구되지만, 실제 추적 시스템에서는 추적물체가 이동함에 따라 발생하는 오차신호가 누적되어 정확한 물체추적이 어렵다. 그리고 차수, 지연 시간 등에 대한 가정이 실제 상황과 다를 때에도 추적성능이 급격히 저하됨으로써 물체추적에 따른 프레임간의 오차를 효과적으로 제어할 수 있는 적응적 제어 시스템이 요구된다[5].

따라서 본 논문에서는 영역기반의 MAD 알고리즘과 스테레오 카메라의 기하학적 정보를 이용하여 이동하는 표적물체의 위치좌표를 검출한 뒤, Kanatani의 영상보정 알고리즘[6]으로 팬/틸트 변환 각도를 산출하였다. 이 산출된 팬/틸트 제어각과 변형된 PID 기반의 제어기를 통해 적응적으로 스테레오 물체추적을 수행하였다. 그 결과를 통해 이동중인 표적물체에 따라 물체추적 시스템의 오류 및 안정도를 분석하고자 한다.

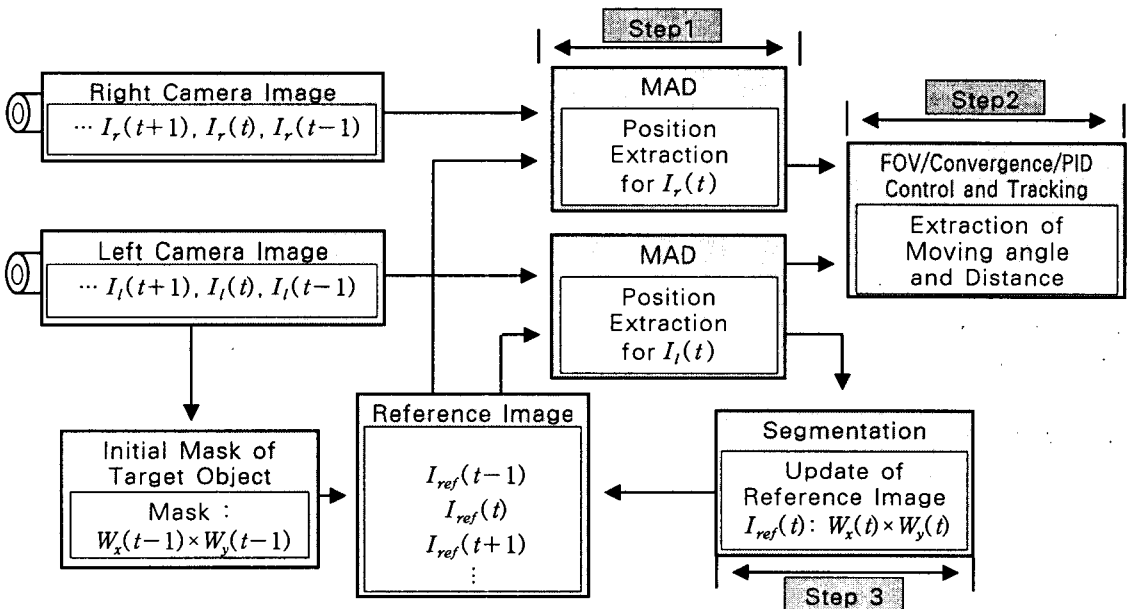


그림 1. 제안된 알고리즘의 흐름도  
Fig. 1. The flowchart of proposed algorithm

## 2. 표적물체 추적을 위한 제안된 정밀 로봇 비전 시스템

그림 1은 본 논문에서 제안한 변형된 PID 제어를 이용한 스테레오 이동물체 추적을 위한 로봇 비전 시스템의 알고리즘이다.

1단계에서는 그 초기화된 기준 영상과 현재 입력되는 좌, 우 영상간에 MAD 비용함수를 이용하여 이동하는 표적물체의 위치좌표를 검출한다.

2단계에서는 검출된 위치좌표에 따라 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어함으로써 이동하는 표적물체의 FOV 및 주시각을 동시에 제어한다. 여기서 Kanatani의 영상보정 알고리즘을 적용하여 2차원 영상 평면에서 검출된 좌표 값을 팬/틸트 시스템의 제어각도로 변환한 다음, 변형된 PID 제어를 이용하여 이동하는 표적물체에 대하여 적응적으로 표적을 검출하고 추적을 수행하게 된다.

마지막 3단계에서는 최종 추적된 표적물체 영역을 윈도우 마스크로 추출하여 다음 시간의 입력영상에서 처리할 기준영상으로 갱신하여 저장한다.

### 2.1 좌, 우 표적물체의 위치좌표 검출

스테레오 영상에서 동시에 입력된 두 영상의 표적물체는 매우 유사하므로 한쪽 영상에서 표적물체를 추출하여 이를 기준 영상으로 이용할 수 있다.

그림 2에서처럼 이전 좌측(혹은 우측)영상에서 초기화된 기준영상을 획득하고, 현재 입력되는 좌, 우 영상에 이 기준영상으로 각각 MAD 알고리즘을 적용하여 투영된 표적물체의 위치좌표를 검출하게 된다. 즉 추적하고자 하는 표적물체는 초기에만 마스크로 선택하여 기준영상으로 사용하고, 이후부터는 스스로 계속 갱신하여 다음 입력의 기준영상으로 사용하게 된다.

MAD 알고리즘은 식 (1)과 같이 현재의 화소 위치를 중심으로 블록을 설정하고, 일정한 범위 내에서 블록을 평행이동 시키면서 좌, 우 영상간의 화소 값의 차를 최소 오차 제곱의 평균값으로 표현하여 깊이 정보를 추정하는 비용함수(cost function)이다.

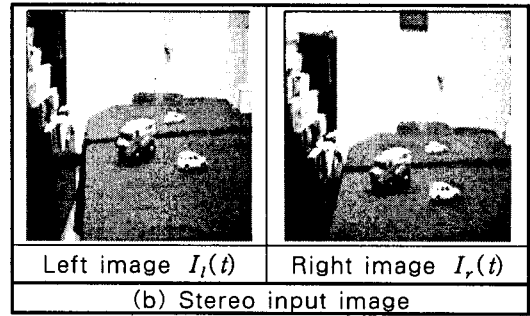
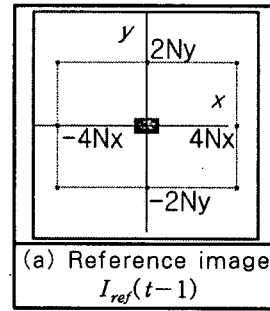


그림 2. 기준영상과 스테레오 좌, 우 입력영상  
Fig. 2. The reference image and stereo input image

$$MAD_L(a, b) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=0}^{N_x-1} \sum_{j=0}^{N_y-1} |I_L(a+i, b+j) - I_{ref}(i, j)|^2$$

$$MAD_R(a, b) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=0}^{N_x-1} \sum_{j=0}^{N_y-1} |I_R(a+i, b+j) - I_{ref}(i, j)|^2$$

$$a = -4N_x \sim 4N_x, b = -2N_y \sim 2N_y, \quad (1)$$

식 (1)은 좌, 우측 영상의 MAD 값으로  $I_{ref}(i, j)$ 는 x축( $i$ )과 y축( $j$ )의 마스크된 표적물체의 기준영상이다.  $I_L(a+i, b+j)$ 과  $I_R(a+i, b+j)$ 는 좌, 우 입력영상 중에서 탐색영역을 정하여 위치좌표를 탐색하기 위한 영상으로  $a$ 와  $b$ 는 x와 y축의 탐색 범위이다. 표적물체는 추적하면서 화면의 중앙에 계속 위치시켰으므로 입력영상의 중앙으로부터 크게 벗어나지 않는다. 또한 표적 물체의 수직 이동(y축)은 수평 이동(x축)에 비해 크지 않으므로 기준 영상의 크기가  $N_x, N_y$ 인 경우, 그림 2와 같이 각 블록간의 MAD 탐색 영역을 x축은  $\pm 4N_x$ 로, y축은  $\pm 2N_y$ 로 제한하여 적용하여도 문제가 없다[5].

MAD 비용함수를 통해 초기화된 기준영상인  $I_{ref}(t-1)$ 과 스테레오 입력 영상인  $I_L(t)$ 와  $I_R(t)$

간에 탐색 영역내에서 식 (1)을 적용하면 가장 일치되는 화소 영역에서 최소값이 나타나게 된다. 그 최소값의 화소위치를 표적물체의 위치좌표로 검출하게 된다. 검출된 좌, 우 표적 물체의 위치좌표는 스테레오 카메라의 팬/틸트 제어각도의 변환에 사용되며, 이를 통해 표적물체에 대한 FOV 제어 및 주시각 제어가 이루어지게 된다.

### 2.2 팬/틸트 제어각도 산출

본 논문에서는 Kanatani의 영상보정 알고리즘[6]을 적용하여 2차원 영상평면에서 검출된 이동좌표값을 팬/틸트 시스템의 제어각도로 변환하였다.

그림 3은 공간상의 같은 점에 대하여 카메라의 회전으로 인해 두 카메라 좌표의 차이가 두 영상 면에서는 점의 이동으로 나타난다. 카메라 렌즈의 축을 중심으로 회전하는 카메라 영상은 그 정보가 변하지 않는다는 것을 보여주고 있다.

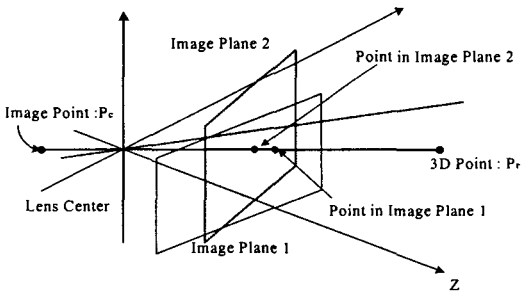


그림 3. 두 영상평면 위에 맺힌 3차원 공간상의 점  
Fig. 3. The 3D spatial point on the two image plane

그림 3에서 실제 3차원 공간상으로 수렴되는 임의의 한 점을  $P_r(X, Y, Z)$ 이라 하고, 그 점이 2차원 영상 평면에 투영되는 이전영상과 현재영상에서의 점을 각각  $P_c(x_{t-1}, y_{t-1})$ 와  $P_c(x_t, y_t)$ 라고 하면, Kanatani의 영상보정 알고리즘에 의해 식 (2)와 (3)으로 표현될 수 있다[6].

식 (2)와 (3)에서  $a$ 는 팬/틸트 시스템의 구동 전 틸트 초기 각도를 의미하며,  $\theta$ 와  $\phi$ 는 각각 주시각 제어를 위한 팬과 틸트 각도를 의미한다.

$$x_{t-1} = f \frac{x_t + \theta \sin a y_t + f \theta \cos a}{-\theta \cos a x_t + \phi y_t + f} \quad (2)$$

$$y_{t-1} = f \frac{y_t - \theta \sin a x_t + f \theta}{-\phi \cos a x_t + \theta y_t + f} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)을 카메라 렌즈의 초점거리  $f$ 와 이전 영상 및 현재영상의 위치 좌표값으로 표현하면 식 (4)와 (5)로 나타낼 수 있다.

$$\theta = \frac{\phi x_t x_{t-1} + f(x_t x_{t-1} - x_t)}{x_{t-1} x_t \cos a + f(y_t \sin a + f \cos a)} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{\theta x_t (f \sin a - y_{t-1} \cos a) + f(y_{t-1} - y_t)}{f^2 - y_{t-1} y_t} \quad (5)$$

스테레오 영상에서 이전영상과 현재영상의 2차원 화소 값으로 구성된 위치 값을 검출하면, 식 (4)와 (5)을 통해 팬/틸트 각도를 산출할 수 있다. 이 값은 팬/틸트 시스템의 인코더를 통해 최종적으로 모터의 제어각으로 사용된다.

추적 대상의 표적물체를 카메라 시야의 중앙에 놓게 하기 위해서 팬/틸트를 제어한다. 즉, 영상평면의 원점 (0, 0)을 중심으로 2차원 영상 평면에 사상된 표적물체의 위치 변이 ( $\Delta x_r$ ,  $\Delta y_r$ )를 팬/틸트 시스템의 제어값인 각도값으로 환산하여 추적 및 감시기능을 수행하게 된다.

### 2.3 PID 기반의 팬/틸트 제어

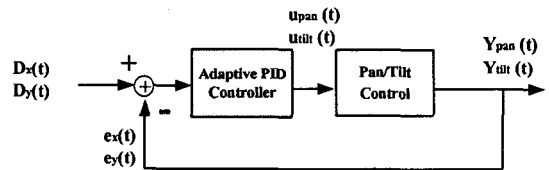


그림 4. 적응적 PID 제어기 기반의 팬/틸트 제어 시스템  
Fig. 4. The pan/tilt control system based on adaptive PID controller

PID 제어기는 그 강건성과 간결함으로 많은 응용 분야에서 사용되는 가장 일반적인 제어기다[7]. 그림 4는 표적영상의 수평/수직 방향의 이동 편차값을 입력으로 하여 적응적 PID 제어기의 팬/틸트 제어 시

시스템을 나타낸 것이다.

그림 4에서 PID 제어기는 영상처리를 통해 검출된 표적영상의 위치정보를 팬/틸트 입력정보인 각도 (degree)값으로 변환한다. 다음에 이 변환된 입력  $D_x(t)$ ,  $D_y(t)$ 와 출력값  $Y_{pan}(t)$ ,  $Y_{tilt}(t)$ 의 차이를 바탕으로 제어 값인  $u_{pan}(t)$ ,  $u_{tilt}(t)$ 를 계산하여 팬/틸트 제어 값으로 사용하게 된다.

또한 변수  $e_x(t)$ ,  $e_y(t)$ 는 추적오차(tracking error)로 원하는 출력값  $D_x(t)$ ,  $D_y(t)$ 와 실제 출력값  $Y_{pan}(t)$ ,  $Y_{tilt}(t)$ 의 차이 값이다. 이러한 오차신호  $e_x(t)$ ,  $e_y(t)$ 는 PID 제어기에 입력되어 미분값과 적분값으로 계산되며, PID 제어기에서 출력되는 신호  $u_{pan}(t)$ ,  $u_{tilt}(t)$ 는 식 (6)과 같이 주어진다[7].

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

위 식에서  $k_p$ ,  $k_d$ ,  $k_i$  값은 비례이득(proportional gain), 미분이득(derivative gain), 적분이득(integral gain)을 각각 나타낸다.

PID에 의해 제어된 신호  $u_{pan}(t)$ ,  $u_{tilt}(t)$ 는 팬/틸트에 입력되어 새로운 출력  $Y_{pan}(t)$ ,  $Y_{tilt}(t)$ 을 얻게 된다. 이는 입력으로回馈(feedback)되어 새로운 오차신호  $e_x(t)$ ,  $e_y(t)$ 를 계산하여 다시 팬/틸트를 제어하게 된다.

그러나 기존의 PID 제어기를 팬/틸트 시스템에 이용할 경우, 비례이득( $k_p$ )을 키워서 일정한 초기값을 얻은 다음, 만족할 만한 응답을 얻을 때까지 각각의 이득성분인  $k_p$ ,  $k_d$ ,  $k_i$  값을 조정해야 하고 추적 오차에 대한 보정을 수동으로 수행해야 하는 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 에러보정에 대한 이득성분을 적응적으로 추정하기 위해 식 (6)을 샘플링(샘플링 주기 : n)하여 식 (7)과 같이 이산적(discrete)으로 변환하여 사용하였다.

$$u(n) = k_p * e(n) + k_i \sum_{n=0}^n e(n) + k_d [e(n') - e(n' - 1)] \quad (7)$$

여기서  $u(n)$ ,  $e(n)$ ,  $n'$ 은 샘플링 주기 n에서의 모터 제어신호의 출력, 추적오차 및 미분편차(Derivative Sampling Rate)를 각각 나타낸다.

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

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

여여기서  $k_p$ 는 초기에 입력된 표적물체의 추적오차 성분에만 영향을 미친다.  $k_i$ 는 순차적으로 입력되는 모든 표적영상의 추적오차에 대해 영향을 미치고,  $k_d$ 는 초기 표적물체로부터 3번째 영상까지 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 각각의 PID값을 조정할 때에 유의할 점은  $k_d$ 값을 무턱대고 올린다고 해서 오버슈트(overshoot)율이 감소되는 것이 아니라 구성된 시스템에서의 샘플링 간격(sampling interval)과 모터의 현재 가속도 및 속도 그리고 모터의 관성을 고려해서 조정해야 된다. 하지만 일반적으로 높은 기어비를 가지고 있는 모터의 경우에는 모터의 관성을 무시할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 식 (8)처럼 n, n-1, n-2 번째의 에러에 대한 각각의 PID 계수들이  $u(n)$ 에 미치는 영향을 고려해서 PID 제어값을 입력하여 PID 튜닝(tuning)을 할 수 있도록 그림 5와 같이 팬/틸트 시뮬레이터를 구성하였다.

Motor1 (Tilt)				Motor2 (Pan)			
Kp	112	Acceleration	50 rev/sec	Kp	112	Acceleration	50 rev/sec
Ki	0	Velocity	0.004 rev/sec	Ki	0	Velocity	0.004 rev/sec
Kd	0	Reduction	23.04	Kd	0	Reduction	23.04
IL	0	Encoder	500	IL	0	Encoder	500
Interval	0			Interval	0		

그림 5. 팬/틸트 시뮬레이터에서 모터의 셋팅창  
Fig. 5. Setting screen of motor in Pan/Tilt simulator

팬/틸트 시뮬레이터는 2가지의 기능을 동시에 지니고 있어야 한다. 하나는 영상 디스플레이에서 획

이동물체가 정밀 시스템에 미치는 영향분석에 관한 연구

득된 좌표값을 유지하면서 이동 물체를 추적하는 각도 제어 기능이고, 다른 하나는 추출된 각도에 따라 모터 속도와 제어 변수( $k_p, k_i, k_d$ )를 제어하여 에러가 최소화 하도록 하는 기능을 지니고 있어야 한다.

초기 표적의 좌표 값은 PID 제어기의 제어 이득 값 중  $k_p$ 와  $k_d$ 값으로만 초기 제어를 한 후, 2, 3번째 표적신호는  $k_d$ 값으로, 이후 순차적으로 입력되는 모든 표적 신호들에 대해서는  $k_i$ 값으로만 제어를 하는 변형된 PID 제어기를 통해 이동표적의 정확한 주시각 제어 및 실시간 추적을 수행하였다.

### 3. 실험 및 결과 고찰

그림 6은 본 실험의 구성도 이며, 스테레오 카메라의 팬/틸트 시스템 구성은 Metrica, Inc의 Biclops PT-S를 사용하였다[8]. 스테레오 영상 입력용 CCD 카메라는 SVS-VISTEK의 SVS285-MFCP를 사용하였으며[9], 스테레오 영상의 처리 및 저장을 위해 Matrox사의 Solios eCL/XCL를 프레임 그레이버(frame grabber)로 사용하였다[10].

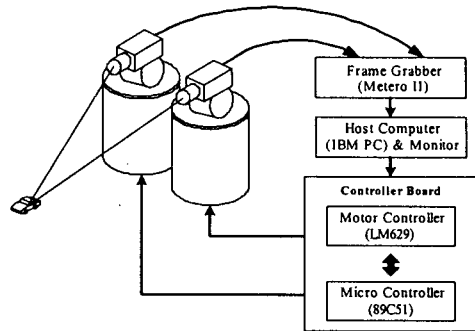


그림 6. 제안된 알고리즘의 구현 시스템  
Fig. 6. The system for realization of proposed algorithm

표 1. 표적물체의 위치좌표와 검출시간  
Table 1. Position coordinates and detection time of the target object

Frame	Left Image [X, Y]	Right Image [X, Y]	$\theta_l$	$\theta_r$	Detection Time[sec]
1	(34, 7)	(-2, -26)	31[°]	28[°]	0.0794
8	(41, 23)	(41, 24)	33[°]	42[°]	0.0709
13	(43,-43)	(61, -55)	39[°]	34[°]	0.0766
17	(40, 22)	(-43,-33)	32[°]	28[°]	0.0756

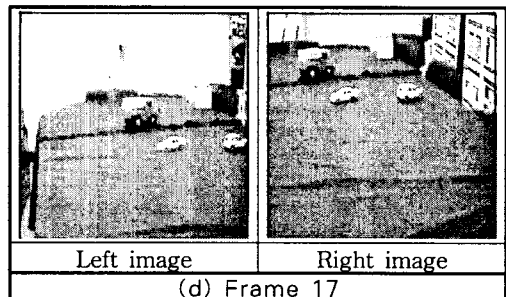
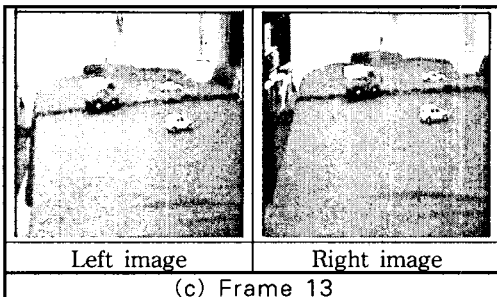
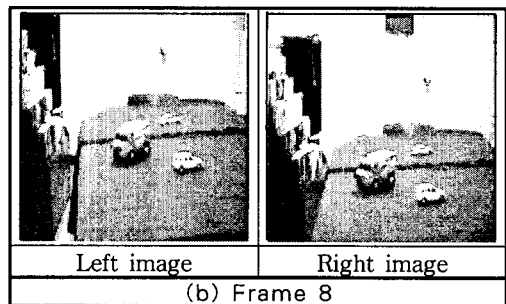
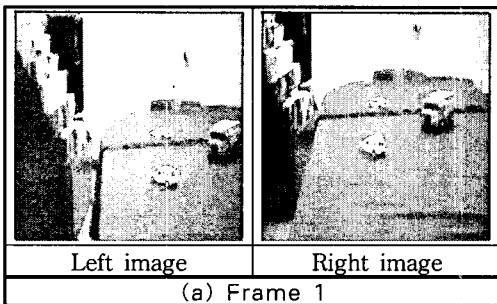


그림 7. 스테레오 입력영상  
Fig. 7. The stereo input image

표 1은 그림 7의 실험에 사용된 4 프레임의 스테레오 입력영상  $I_l(t)$ ,  $I_r(t)$ 과 이전 프레임에서 얻은 기준영상인  $[I_{ref}(t-1)]$ 간에 MAD를 적용하여 중심좌표(0, 0)을 기준으로  $x$ ,  $y$ 축 방향으로 이동된 표적물체의 위치좌표 값과 식 (4)와 (5)같이 Kanatani의 영상보정 알고리즘을 변형하여 얻은 좌, 우 팬 각도인  $\theta_l$ 과  $\theta_r$  및 검출 시간을 각각 나타낸 것이다.

표 1에서 추출된 위치좌표는 표적물체의 실제 이

동 값인  $[(\Delta x, \Delta y)]$ 를 의미하며, 동시에 좌, 우측 카메라의 팬/틸트 제어 값이 된다. 또한 영상의 밝기 및 명암 차이에 따라 약간의 차이는 있으나 비교적 위치정보의 빠른 검출을 보여주고 있는데 이는 실시간 처리의 가능성을 보여주고 있다.

그림 8은 표 1의 표적물체 위치좌표를 이용하여 표적물체 영역을 검출한 결과 및 이를 통한 FOV 제어 후의 결과를 나타낸 것이다. 그림 8에서 각 프레임에 따라 표적물체의 회전 및 크기 변화에도 적

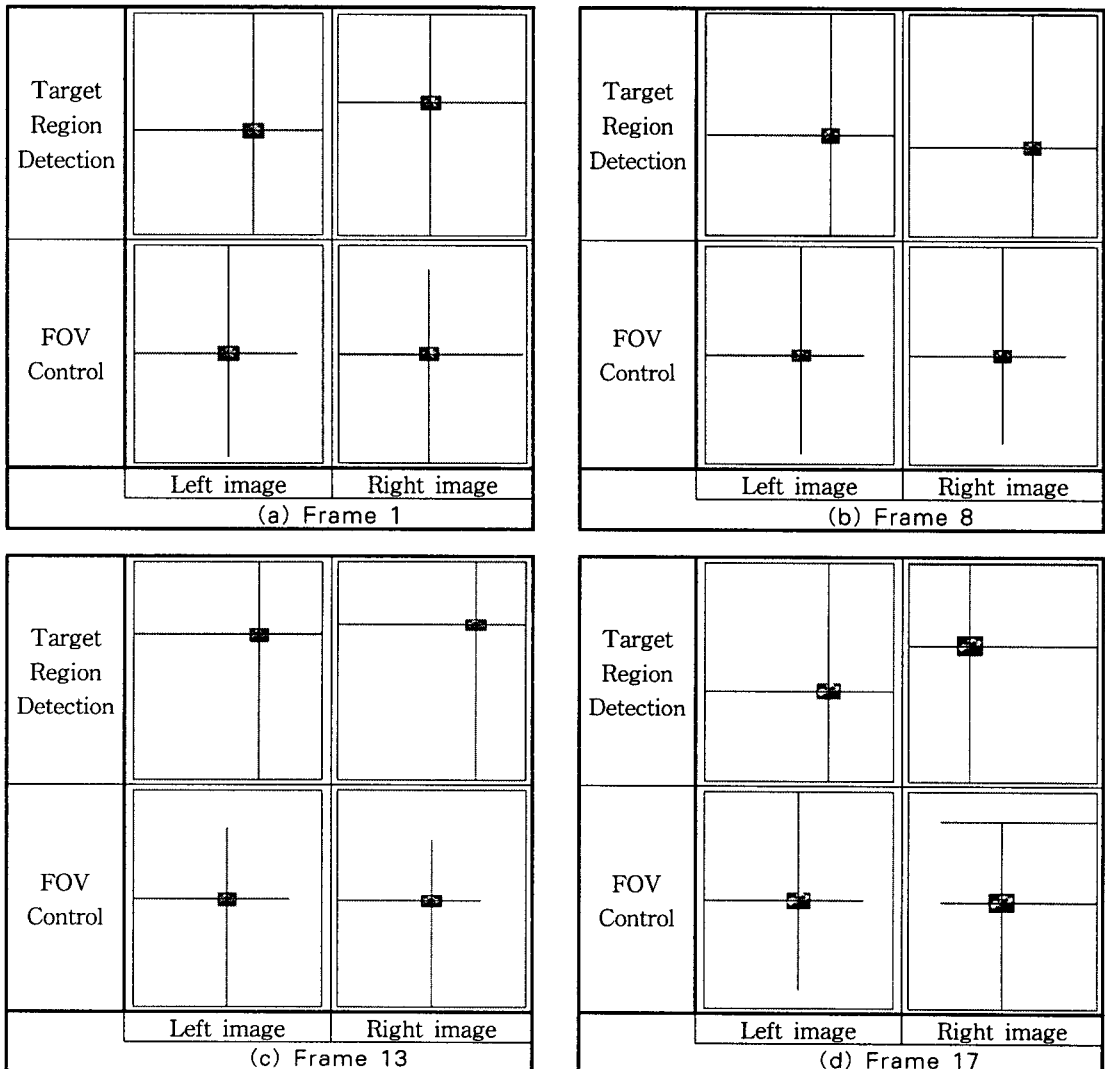


그림 8. 적응적 PID 제어기 기반의 FOV 제어  
 Fig. 8. The FOV control based on adaptive PID Controller

응적으로 표적물체의 위치를 검출하고 영역화하며, 적응적인 FOV 제어를 수행하고 있음을 볼 수 있다.

표 2는 그림 8을 통해 검출된 표적물체 영역 마스크의 크기를 나타낸 것이다. 여기에서 수평 쪽에서의 영역화 오차는 평균 1.3픽셀의 낮은 값을 보이고, 수직 쪽에서도 0.3픽셀의 미세한 오차를 보이고 있어 제안한 알고리즘의 정확한 표적 영역화 성능을 볼 수 있다.

표 2. 검출된 표적 마스크의 크기  
Table 2. The dimension of detected target mask

Frame	Image[pixel]		Error[pixel]	
	Left	Right	X axis	Y axis
1	23×17	24×18	1	1
8	26×15	23×15	3	0
13	26×17	28×17	2	0
17	31×18	30×18	1	0

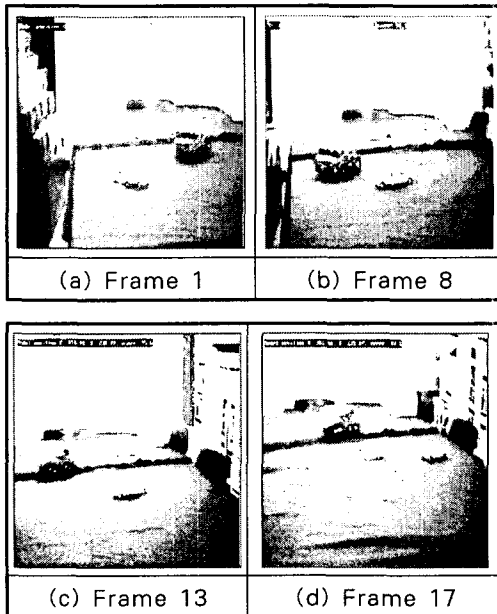


그림 9. 주시각이 제어된 표적물체의 스테레오 합성영상  
Fig. 9. The stereo composited image of convergence angle controlled target object

그림 9는 전체 50프레임 중 4프레임의 좌, 우측 입력영상에 대하여 제안한 알고리즘을 적용하였다. 즉 영역화된 표적 마스크를 중심으로 주시각 제어를 수행한 후의 합성한 스테레오 영상을 나타낸 것이다.

그림 9에서 영역화된 좌, 우 표적물체의 주시각 제어전의 마스크 위치와 주시각이 제어된 후의 마스크 위치를 볼 수 있다. 그리고 영역화된 표적 마스크를 중심으로 전, 후 배경이 존재하는 이동물체는 2개로 보여 주시점이 일치하지 않고 있지만, 추적하고자 하는 표적물체는 정확히 그 영역을 유지하며 주시각 제어가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 더욱이 프레임 17과 같이 급격한 조명변화와 표적물체의 수직적 이동에도 불구하고 1픽셀의 적은 수평오차를 유지하며 이동표적 영역화가 이루어지는 것으로 보아 표적의 회전 및 크기의 변형에도 적응적인 이동물체 추적이 수행되고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 영역기반의 MAD(Mean Absolute Difference) 알고리즘과 스테레오 카메라의 기하학적 정보를 이용하여 이동물체의 위치좌표를 추출하였다.

그리고 Kanatani의 영상보정 알고리즘으로 팬/틸트 변환 각도를 산출하고, 산출된 팬/틸트 제어각과 변형된 PID 기반의 제어를 이용하여 적응적인 스테레오(3D) 물체추적을 수행하였다.

50프레임의 스테레오 입력영상을 사용하여 실험한 결과 주시각이 제어된 스테레오 표적물체의 수평시차 및 수직시차 오차가 평균 1.3픽셀, 0.3픽셀 이하로 유지되고, 평균 0.08초의 빠른 검출속도를 보여줌으로써 정밀한 스테레오 물체추적 시스템의 구현 가능성을 확인하였다.

본 논문은 2005학년도 인하공업전문대학의 해외연수 프로그램에 의해 수행된 논문임.



## References

- [1] 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.
- [2] K. H. Bae, J. H. Ko and E. S. Kim, "Stereo Image Reconstruction using Regularized Adaptive Disparity Estimation", *IJAP*, Vol. 45, no. 5a, pp. 4107-4114, 2006.
- [3] D. J. Coombs and C. M. Brown, "Cooperative gaze holding in binocular vision", *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 11, pp. 24-33, 1991.
- [4] David Coombs and Christopher Brown, "Real-time binocular smooth pursuit", *International Journal of Computer Vision*, vol. 11, no. 2, pp. 147-164, 1993.
- [5] J. H. Ko, and E. S. Kim, "Stereo Video Surveillance System for Detection of Target's 3D Location Coordinates and moving Trajectories", *Optics Communications*, vol. 266, pp. 67-79, 2006.
- [6] K. Kanatani, "Constraints on length and angle", *Computer Vision Graphics Image Process*, Vol. 41, pp. 28-42, 1988.
- [7] G. F. Franklin, J. D. Powell and A. Emami-Naeini, *Feedback Control of Dynamic Systems*, 4th edition, Prentice Hall, 2002.
- [8] <http://www.metricanet.com/bvs.htm>.
- [9] [http://www.svs-vistek.com/camera/svcam/SVCAM%20CP-Line/svs\\_cp\\_line.php](http://www.svs-vistek.com/camera/svcam/SVCAM%20CP-Line/svs_cp_line.php).
- [10] [http://www.matrox.com/imaging/products/solios\\_xcl/home.cfm](http://www.matrox.com/imaging/products/solios_xcl/home.cfm).
- [11] 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.
- [12] J. S. Lee, C. W. Seo, and E. S. Kim, "Implementation of opto-digital stereo object tracking system", *Optics Communications*, vol.200, pp.73-85, 2001.

## ◆ 저자소개 ◆

### 신현재 (愼賢宰)

1958년 8월 22일생. 1984년 인하대학교 기계공학과 졸업. 1986년 인하대학교 기계공학과 졸업(석사) 1995년 인하대학교 기계공학과 졸업(박사). 1986~1989년 대한항공(주) 한국항공 기술연구소 연구원 근무. 1993년~현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 교수.

### 이재수 (李在洙)

1964년 5월 5일생. 1987년 광운대학교 전자공학과 졸업. 1989년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1989~1994년 갑을전자(주) 부설연구소 근무. 1994~1995년 한전 KDN(주) 근무. 1996년 동양공업전문대학 강사. 1996년~현재 김포대학 IT학부 정보통신과 부교수.

### 김수인 (金洙仁)

1959년 1월 17일생. 1984년 광운대학교 전자공학과 졸업. 1991년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2003년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1984~1991년 갑을전자(주) 부설연구소 근무. 1991~1996년 유켄컴퓨터 근무. 1996년~현재 김포대학 IT학부 인터넷정보과 부교수.

### 최인호 (崔寅浩)

1966년 4월 25일생. 1990년 경희대학교 전자공학과 졸업. 1992년 경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2000년 경희대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1996년~현재 김포대학 IT학부 정보통신과 부교수.

### 손영우 (孫英羽)

1957년 8월 18일생. 1981년 광운대학교 전자공학과 졸업. 1983년 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2000년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1991~1997년 산업기술정보원 책임연구원. 1998년~현재 김포대학 IT학부 멀티미디어과 부교수.

### 안영환 (安英煥)

1960년 5월 19일생. 1983년 인하대학교 기계공학과 졸업. 1990년 Univ. of Maryland 기계공학과 졸업(석사). 1998년 Univ. of West Virginia 기계공학과 졸업(박사). 2000년~현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 부교수.

### 김대욱

1973년 2월 15일생. 1995년 성균관대학교 기계설계학과 졸업. 1998년 성균관대학교 기계설계학과 졸업(석사). 2002년 Mechanical Engineering, Univ. of Washington-Seattle(박사). 2003년~현재 School of Engineering and computer science at washington state Univ. 조교수.