

팬/틸트 탑재형 스테레오 카메라를 이용한 지능형 이동표적 추적 및 감시 시스템의 구현

정희원 고정환*, 이준호*, 김은수*

Implementation of Intelligent Moving Target Tracking and Surveillance System Using Pan/Tilt-embedded Stereo Camera System

Jung-Hwan Ko*, Jun-Ho Lee*, Eun-Soo Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 팬/틸트가 탑재된 스테레오 카메라를 이용한 새로운 지능형 이동표적 추적감시 시스템을 제안하고 구현하였다. 제안된 시스템은 먼저, 스테레오 카메라에서 입력된 영상으로부터 YCbCr 컬러 임계치 기법을 사용하여 표적 얼굴영역을 검출한 다음, 지능형 시각 시스템에 기반한 팬/틸트 탑재형 스테레오 카메라의 능동적인 제어를 통해 표적의 다양한 변화에 관계없이 표적의 거리정보 및 3차원적 이동 정보를 실시간적으로 검출함으로써 표적의 적응적 추적감시를 수행하게 된다. 80 프레임의 스테레오 영상을 사용한 실험 결과, 이동표적에 대한 실시간 위치정보 검출 및 적응적 추적을 확인하였으며 특히, 팬/틸트 추적후 표적 중심좌표의 수평, 수직 표준편차가 매우 작은 값인 1.82, 1.11로 각각 유지되고, 표적의 3차원적 위치 좌표값의 오차 역시 평균 0.5% 이하로 유지됨이 분석됨으로써 이를 통한 새로운 실시간 스테레오 표적 감시추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

Keywords : pan/tilt, surveillance, stereo camera, stereo tracking

ABSTRACT

In this paper, a new intelligent moving target tracking and surveillance system basing on the pan/tilt-embedded stereo camera system is suggested and implemented. In the proposed system, once the face area of a target is detected from the input stereo image by using a YCbCr color model and then, using this data as well as the geometric information of the tracking system, the distance and 3D information of the target are effectively extracted in real-time. Basing on these extracted data the pan/tilted-embedded stereo camera system is adaptively controlled and as a result, the proposed system can track the target adaptively under the various circumstance of the target. From some experiments using 80 frames of the test input stereo image, it is analyzed that standard deviation of the position displacement of the target in the horizontal and vertical directions after tracking is kept to be very low value of 1.82, 1.11, and error ratio between the measured and computed 3D coordinate values of the target is also kept to be very low value of 0.5% on average. From these good experimental results a possibility of implementing a new real-time intelligent stereo target tracking and surveillance system using the proposed scheme is finally suggested.

I. 서론

국가, 사회 및 개인의 안전을 위한 보안, 감시 기

* 광운대학교 전자공학과 국가지정 3차원 영상미디어 연구실
(misagi@explore.kwangwoon.ac.kr, love2me@hanmir.com, eskim@daisy.kwangwoon.ac.kr)

논문번호 : 040044-0202, 접수일자 : 2004년 2월 2일

※ 본 연구는 정보통신부 ITRC 사업 및 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 사업의 지원아래 수행되었습니다.

술은 지난 수십년 동안 여러 응용분야에서 많은 연구가 이루어져 왔으며, 최근에는 전자 정보기술의 급격한 발전으로 각종 범죄가 고도로 지능화됨에 따라 국가경제 및 안전에 심각한 위협이 되고 있으며 또한, 공공시설 및 주택의 고급화 및 대단지화 등에 따른 방범, 방재의 수요확대 및 사회전반에 보안시스템의 요구가 높아짐에 따라 이에 대한 관심이 고조되고 있다¹⁾.

특히, 지난 미국 911 테러사건 이후, 공공 건물에 대한 보안감시 요구가 증대되고 있으며, 감시 카메라로부터 획득되는 실시간 영상의 분석을 통해 표적 대상인의 얼굴 인식과 3차원 위치정보 검출을 통한 표적의 실시간적 추적 및 감시 기술은 이미 널리 설치되어 있는 감시용 CCD 카메라에 보다 지능적인 인식 및 추적 모듈의 추가로 가능하다는 점에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

그러나 기존의 단안식 감시 카메라에 기반하여 개발된 대부분의 비전 알고리즘들은 같은 시야의 카메라를 통해 입력되는 연속적인 영상들의 비교분석만을 통하기 때문에 표적의 자세, 회전, 크기, 그리고 조망 방향 변화 등에 능동적으로 대처하는데 많은 어려움이 있다. 더욱이, 상대적으로 많은 계산 시간이 요구되는 표적인식 및 추적 알고리즘의 수행시 실시간 처리, 시스템의 강건성 및 감시범위의 제한 등의 문제점이 나타나게 된다²⁾.

이러한 기존 보안감시 시스템의 한계를 극복하기 위한 새로운 접근방식으로 3차원적 표적인식 시스템이 제시되고 있는데 이는 기존의 자동 물체추적 시스템에 인간의 시각계를 모방한 스테레오 카메라를 탑재하여 표적 대상을 정확히 감시 추적하여 표적의 움직임 및 이동경로 까지도 분석해내는 지능형 시각 시스템으로, 오작동 및 사각지대(occlusion region)의 발생을 방지함은 물론, 가스발포와 같은 원격격퇴로 2차적인 행동을 조기에 방어할 수 있고 즉각적인 상황대처가 가능함은 물론 침입위치 및 이동경로에 대한 원격 모니터링의 가능성을 제시해 주고 있다³⁻⁴⁾.

일반적으로 자동 표적 감시추적 시스템은 3차원 물체를 인식하는데 있어서 다양한 각도에서 보여지는 2차원 영상의 조합으로 물체를 인식해야 한다. 또한, 입력되는 물체영상에서 목표 지향적인 작업을 수행하여 특정한 물체의 추적과 인식이 동시에 이루어져야 하며 특히, 감시추적 시스템의 시각 기능을 이용하여 표적물체의 회전, 크기, 그리고 시선 각도에 무관하게 물체를 인식하며 추적해야 한다.

즉, 표적 감시추적 시스템의 성능을 극대화하기 위해서는, 표적의 이동경로를 추적하기위한 표적의 3차원적 위치정보와 표적의 정확한 인식을 위한 표적과의 거리정보가 필요하고 결과적으로 이를 위한 지능형 카메라 시각 시스템의 구현이 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 이를 위한 새로운 접근 방법으로 팬/틸트가 탑재된 스테레오 카메라 기반의 새로운 지능형 이동표적 추적 및 감시 시스템을 구현하고자 한다. 먼저, 스테레오 카메라에서 입력된 영상으로부터 YCbCr 칼라 임계치 기법과 무게 중심법을 사용하여 표적의 얼굴영역과 좌표계를 검출한다. 다음, 지능형 시각 시스템에 기반한 팬/틸트 탑재형 스테레오 카메라의 능동적인 제어를 통해 표적의 다양한 변화와 무관하게 표적과의 거리정보는 물론 움직이는 표적의 3차원적 정보를 검출함으로써 실시간으로 표적의 인식과 추적을 동시에 수행할 수 있는 새로운 형태의 지능형 스테레오 물체 감시추적 시스템을 제안하고자 한다.

그리고, 30 frame/sec씩 실제 이동경로를 달리하며 각기 다른 2사람을 대상으로 획득한 80 프레임의 테스트용 스테레오 입력영상에 대한 표적영상의 실시간적 감시 및 추적 실험을 통해 표적에 대한 위치 정보 검출 및 추적 성능을 분석함으로써 본 논문에서 새로이 제안한 실시간적 스테레오 표적 감시추적 시스템의 실질적인 구현 가능성을 제시하고자 한다.

II. 제안된 스테레오 카메라 기반의 지능적 표적 감시추적 시스템

일반적으로, 스테레오 카메라를 이용한 물체 감시 추적 시스템이란 좌, 우측 카메라로부터 입력되는 순차적인 입력영상에서 표적물체의 일치점(correspondence point)에 대한 주시각 제어를 통해 표적물체를 항상 영상의 중앙에 위치하도록 제어하는 시스템이다. 그러나 실제 시스템의 구현시 배경, 조명상태, 얼굴과 카메라의 거리, 얼굴의 상하좌우 각도, 카메라 시야 내에서의 얼굴 위치 등의 변수를 시스템에 부합되게 제어하는 데에는 많은 어려움이 있으며, 더욱이 기존에 제안된 제어기법들은 영상에 대한 처리 기법이 복잡하고 많은 계산시간이 요구되기 때문에 시스템의 실시간적 구현에는 많은 어려움이 있다.

따라서, 본 논문에서는 실시간 처리 및 상황변화에 강건한 시스템의 구현을 목적으로 팬/틸트가 탑재

재된 스테레오 카메라를 이용한 새로운 지능형 이동표적 추적 및 감시 시스템을 구현하고자 한다. 그림 1은 본 논문에서 새로이 제안한 실시간 스테레오 표적 감시추적 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것으로 크게 2단계로 이루어진다.

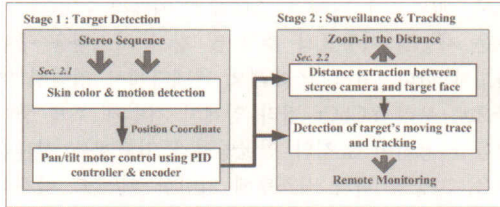


그림 1. 제안된 스테레오 물체 추적 시스템의 흐름도

즉, 1 단계에서는 실시간으로 입력되는 좌, 우 스테레오 입력영상으로부터 YCbCr 칼라 모델과 영상 차분필터를 이용하여 표적의 움직임 성분만을 검출한 뒤, 검출된 움직임 성분의 무게중심 값으로 얼굴 중심좌표를 검출하게 된다. 검출된 이들 좌, 우 얼굴영상의 중심좌표 값에 의해 스테레오 카메라의 팬/틸트가 제어되어 결과적으로 표적얼굴에 대한 카메라 시야(FOV:field of view) 및 주시각이 동시에 제어되게 된다. 2 단계에서는 주시각이 제어된 스테레오 카메라의 팬/틸트 움직임 각도와 3차원 구면 좌표계(three-dimensional spherical polar coordinate)를 이용하여 표적까지의 거리정보 및 표적의 이동 경로를 추적할 수 있는 3차원 좌표계상의 실제 위치값을 산출하게 된다. 여기서, 산출된 거리정보는 얼굴 인식이 가능한 최대 거리값을 기준거리로 설정하여 얼굴 표적이 기준거리보다 떨어져 인식이 불가능한 상태가 되면 적응적인 줌인(zoom-in) 기능이 수행되며, 추정된 표적의 3차원 좌표계상의 이동 경로는 원격 모니터링(remote monitoring) 기능을 이용한 표적의 감시추적에 사용되게 된다.

1. 표적얼굴 영역 및 중심좌표계 검출 (1 단계)

일반적으로 스테레오 영상은 좌, 우 카메라의 이격 거리가 현격이 떨어지지 않는 한 거의 유사하므로, 상대적으로 많은 계산시간이 소모되는 좌, 우 영상간의 정합 방법이 아닌, 획득된 좌, 우 얼굴영역에 대해 각각 독립적으로 연산을 수행한 뒤 연산된 결과값의 중복된 한 점을 스테레오 영상의 일치점으로 도출하여 획득된 위치 좌표값에 따라 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어하게 된다.

그림 2는 본 논문에서 구현한 얼굴 후보영역 검

출부터 중심좌표 검출까지의 알고리즘 흐름도를 나타낸 것이다.

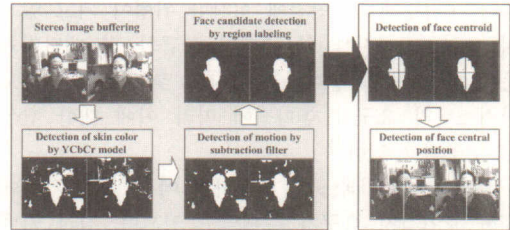


그림 2. 표적얼굴의 중심좌표 검출 흐름도

1) 표적얼굴 후보영역 검출

본 논문에서 제안한 표적 감시추적 시스템에서는 표적의 얼굴 영역을 검출하기 위해 YCbCr 체계의 칼라 모델을 이용하여 일반적인 조명상태에서의 피부색과 피부색이 아닌 영역으로 분리하게 된다^[5]. 여기서, 광도는 Y로 기호화되고, 푸른 정보는 Cb, 붉은 정보는 Cr로 기호화되며, 카메라로부터 입력되는 RGB 체계의 칼라 모델은 식 (1)과 같은 변환 행렬을 이용하여 얼굴영역을 분리하게 된다.

$$\begin{pmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.16874 & -0.33126 & 0.5 \\ 0.5 & -0.41869 & -0.08131 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

한편, 영상간의 공통된 움직임을 검출하기위한 방법으로 영상 차분필터를 사용하였으며, 그 결과는 식 (2), (3)와 같이 두 영상간의 움직임 성분으로 나타나게 된다.

$$d_n(x, y) = |I_t(x, y) - I_{t-1}(x + \Delta x_{Bt}, y + \Delta y_{Bt})| \quad (2)$$

$$d_e(x, y) = |I_t(x, y) - I_{t+1}(x - \Delta x_{Bt}, y - \Delta y_{Bt})| \quad (3)$$

다음으로, 영상 차분필터의 결과로부터 공통된 움직임을 구별해 내기 위하여 d_n 과 d_e 의 값을 서로 논리곱 연산(AND operation)을 취함으로써 표적영상을 검출할 수 있다. 이런 과정을 통하여 연속으로 입력되는 두 영상으로부터 운동성분을 찾아내게 된다. 즉, 표적 운동 성분값을 $T_m(x, y)$ 라고 하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며 식에서 B_t 는 이진화 과정을 의미한다.

$$T_m(u, v) = B_t \{ d_n(x, y) \} AND \{ B_t d_e(x, y) \} \quad (4)$$

마지막으로, 분리된 영역들 중 얼굴이 아닌 영역을 제거하기 위해 그림 2와 같이 영역 라벨링(region labeling) 기법을 사용하여 영역을 구분 짓고, 각 영역별 픽셀의 평균값을 구하여 최대의 평균값을 갖는 영역부터 차례로 얼굴 후보영역으로 검출할 대상 영역을 제한하게 된다.

2) 표적 얼굴 중심좌표 결정

표적 영상의 위치추정을 위한 좌표 검출을 위해 선행되어야 할 팬/틸트 제어값의 획득을 위해서는 좌, 우 영상에서 검출된 얼굴 후보영역의 중심좌표 추출이 필수적이다.

그러나 일반적으로 카메라에서 멀리 떨어진 표적 영상의 경우, 그 대상체가 사람인지를 검증하는 데에는 많은 어려움이 존재하게 된다. 더욱이 얼굴임이 확실되지 않은 상황에서 스테레오 추적을 위한 얼굴 영상의 중심좌표를 획득하는 것은 얼굴의 특징점 분석 자체가 불가능하므로, 본 논문에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해, 식 (5)와 같이 2.1.1에서 추출된 비대칭 형태의 얼굴의 후보영역에 대한 기하 무게 중심법을 이용하여 좌, 우 얼굴 영상의 중심좌표를 검출하게 된다.

식 (5)는 검출된 움직임 성분의 얼굴 후보영역을 각각 n_x 개의 x , y 화소값으로 나눈 값으로 얼굴영역의 무게 중심값을 정의할 수 있으며, 이는 표적 얼굴영상의 중심좌표로 설정하여 스테레오 카메라 시야(FOV:field of view)의 중심으로 이동시키기는 주시각 제어를 위한 팬/틸트 제어값으로 변환된다.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{n_x} x_i}{n_x}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{j=0}^{n_y} y_j}{n_y} \quad (5)$$

2. 표적거리 측정 및 표적 영상의 3차원 위치좌표 추출 (2 단계)

적응적인 PID 제어기와 인코더를 통해 획득된 표적영상의 팬/틸트 제어값은 스테레오 카메라의 시야를 중심으로 좌, 우측 팬/틸트를 이동시키는 주시각 제어와 표적추적을 동시에 수행하게 된다. 이때 획득된 좌, 우 카메라의 팬/틸트값은 스테레오 카메라와 표적 대상체간의 기하학적인 관계에 의해 표적의 거리정보는 물론 이동 경로까지도 추정할 수 있다.

1) 표적영상의 얼굴 거리 측정

본 논문에서 이용한 스테레오 카메라 방식은 그림 3과 같이 카메라의 광축이 표적영상의 주시점에 일치하도록 하는 교차식(towed-in) 스테레오 카메라로써, 표적영상의 거리 변화에 따라 카메라의 광축을 이동시켜 주시각을 제어하는 카메라 방식이며[6] 삼각법(triangulation)에 의해 표적영상까지의 거리 정보를 구할 수 있다.

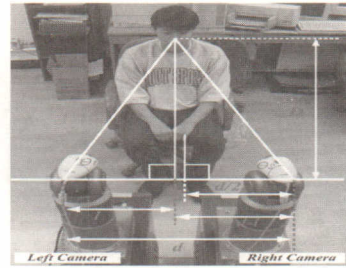


그림 3. 팬/틸트에 탑재된 교차식 스테레오 카메라 구조

그림 3에서 좌, 우측 카메라의 팬 각도인 θ_1 과 θ_2 는 팬/틸트 제어 시스템의 인코더에 의해 구할 수 있으며 식 (6)과 같이 주어진다.

$$\tan \theta_1 = \frac{D}{d-l}, \quad \tan \theta_2 = \frac{D}{l} \quad (6)$$

표적영상까지의 거리인 D는 식 (6)과 좌, 우 카메라 사이의 이격 거리 d를 이용하여 식 (7)을 사용하여 구할 수 있다[7].

$$D = \left(\frac{\tan(\theta_1) \times \tan(\theta_2)}{\tan(\theta_1) + \tan(\theta_2)} \right) \times d \quad (7)$$

식 (7)으로부터 표적 영상까지의 거리 D와 스테레오 카메라 사이의 이격거리 d는 정비례 관계에 있음을 알 수 있으며, 카메라 시야에서 떨어진 표적 영상이라도 카메라 사이의 이격거리를 크게 함으로써 적응적인 거리 검출이 가능하게 됨을 알 수 있다.

2) 표적 영상의 이동경로 검출

감시추적 대상인 표적물체의 이동경로는 스테레오 카메라로부터 입력된 좌, 우 입력영상에 대한 팬/틸트 이동각도 및 카메라로부터 얼굴 중심좌표까지의 광축 거리를 이용한 구면 좌표계에서 직교 좌표

계로의 변환을 통해서 구할 수 있다. 우선, 표적이 그림 4와 같이 임의의 공간 안에서 있다고 가정했을 때, 주시각이 제어된 스테레오 카메라의 팬/틸트의 각도는 각각 θ_1 과 θ_2 및 ϕ_1 과 ϕ_2 로 주어지며, 이를 이용하여 산출된 스테레오 카메라의 수평선상으로부터 표적 영상의 얼굴 중심좌표까지의 수직 거리는 식 (7)과 같이 D로써 표현할 수 있다.

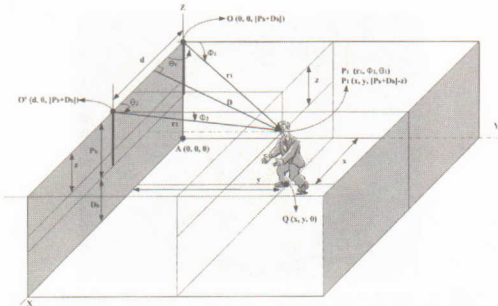


그림 4. 표적의 이동경로 추적을 위한 3차원 공간모형도

그림 4와 같은 사각공간 안에서 감시추적 시스템과 표적간의 기하학적 파라미터들은 표 1과 같이 정의할 수 있다.

표 1. 감시추적 시스템의 기하학적 파라미터

파라미터	파라미터의 정의
$\theta_{1,2}$	좌, 우측 팬 각도
$\phi_{1,2}$	좌, 우측 틸트 각도
d	스테레오 카메라 사이의 거리
D	스테레오 카메라와 표적얼굴 사이의 수직거리
Ph	팬/틸트 높이
Dh	팬/틸트를 올려놓은 단상 높이
O	직교 좌표계에서의 좌측 카메라 위치점 (0,0,[Ph+Dh])
O'	직교 좌표계에서의 우측 카메라 위치점 (d,0,[Ph+Dh])
P1, P2	구면 좌표계에서의 얼굴 영상의 중심점 (r1,φ1,θ1), (r2,φ2,θ2)
Q	직교 좌표계에서 표적이 서 있는 점 (x',y',0)

그림 4에서 각각 θ_1 과 ϕ_1 의 각도를 갖은 팬과 틸트에 탑재된 우측 카메라의 위치가 점 O라고 했을 때, 이는 어떤 임의의 점의 위치를 하나의 길이와 두개의 각으로 나타낼 수 있는 3차원 구면 좌표계로 표현될 수 있으며, 공간 안에서 얼굴영상의 중심좌표를 점 P라고 하면, 이는 (r1, ϕ_1 , θ_1)의 좌표

계로 표현될 수 있다. 즉, 폐쇄된 사각 공간 안에서 스테레오 카메라가 탑재된 팬/틸트 높이를 P_h 라고 하고, 팬/틸트 시스템을 D_h 의 높이를 가진 곳에 설치하였을 때, 점 O(0, 0, [$P_h + D_h$])는 직교 좌표축의 원점이 되며, 공간 안의 얼굴 중심좌표인 점 P(x, y, z)에 대하여 수직각도인 틸트 각도는 $\angle OP = \phi_1$ 라고 하고, XY평면에 표적 대상체가 현재 서 있는 위치인 Q(x, y, 0)에 수선 PQ를 내려서 $\angle XOQ = \theta_1$ 라고 하면 점 P는 (r1, ϕ_1 , θ_1)가 된다.

또한, 팬/틸트 제어각도와 표적 영상까지의 거리 값은 움직이는 직교 좌표계로 정의하여 사용할 수 있다. 즉, X_r 축은 반경축으로 표적 영상의 반경 방향의 운동을 의미하며, X_ϕ 과 X_θ 는 X_r 축에 직교하는 축으로 표적 영상의 회전운동으로 표시할 수 있다. 여기서, r은 좌, 우 팬/틸트와 표적 영상까지의 거리이므로 스테레오 카메라의 수평축과 표적 영상까지의 수직 거리인 D를 이용하여 식 (8)과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$r_1 = \frac{D}{\sin \theta_1}, \quad r_2 = \frac{D}{\sin \theta_2} \quad (8)$$

따라서, 표적 영상의 얼굴 중심좌표인 점 P(r, θ , ϕ)는 식 (9)와 같은 단위벡터를 포함하며 식 (10), (11), (12)과 같이 OX, OY, OZ가 서로 직교하는 3차원 직교좌표인 P(x, y, z)로써 변환될 수 있다. 또한, 표적 영상의 중심좌표인 점 P(x, y, z)에 수선을 내린 점 Q(x, y, 0)는 표적 대상물이 현재 서 있는 X, Y 좌표계상의 점이므로 표적이 이동하는 움직임 경로를 추정하는데 이용되게 된다.

$$r = \frac{dr}{dr} = \begin{pmatrix} \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi \\ \cos \theta \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\theta = \frac{d\theta}{d\theta} = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \phi \\ \cos \theta \sin \phi \\ -\sin \theta \end{pmatrix}, \quad \phi = \frac{d\phi}{d\phi} = \begin{pmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$x = r_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = \frac{D}{\sin \theta_1} \cos \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = D \cdot \cot \theta_1 \cdot \sin \phi_1 \quad (10)$$

$$y = r_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = \frac{D}{\sin \theta_1} \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = D \cdot \sin \phi_1 \quad (11)$$

$$z = r_1 \cdot \cos \theta_1 = \frac{D}{\sin \theta_1} \cdot \cos \theta_1 \quad (12)$$

$$= D \cdot \frac{\cos \theta_1}{\sin \theta_1}$$

따라서, 식 (10), (11), (12)에서 검출된 직교 좌표계의 Q(x, y, o)는 실시간으로 표적 물체의 실제 위치를 파악할 수 있으며, 원격 모니터링을 통해 표적 물체의 실제 이동경로를 추정할 수 있는 정보로 이용 될 수 있다.

III. 실험 및 결과분석

본 논문에서 새로이 제안한 지능형 스테레오 표적 감시추적 시스템의 실험 시나리오는 그림 6과 같이 일정한 사각 공간 안에서 표적의 얼굴 인식을 통해 미리 설치된 스테레오 감시 카메라로부터 표적의 얼굴 영상까지의 거리 산출 및 추적된 팬/틸트 제어각도를 이용하여 표적의 구면 좌표계를 검출한 후, 직교 좌표계로의 변환을 통해 실제 표적영상의 3차원 정보 및 이동 경로를 검출하는 것이다.

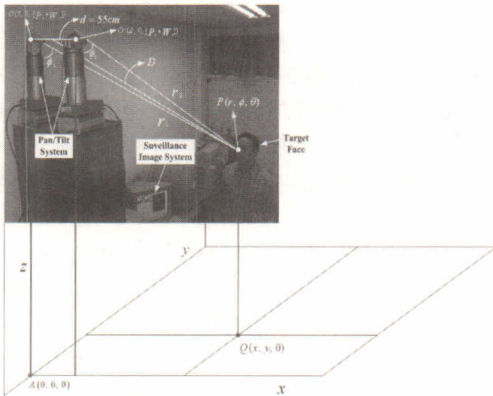


그림 6. 팬/틸트 기반의 스테레오 표적 감시추적 실험 시스템도

먼저, 스테레오 영상 획득용 카메라로는 320×240 픽셀의 해상도와 30 frame/sec의 촬영속도를 갖는 웹 카메라를 사용하였으며, 팬/틸트 제어장치는 한울 로보틱스사의 HWR-PT1 시스템 2개를 사용하였다. 또한, 좌, 우 카메라 사이의 이격 거리는 55cm로 고정하였으며, 디지털 시스템은 512MB 메모리의 팬티엄 1.8GHz를 사용하였다.

1. 실시간 표적 감시추적을 위한 영상시스템

그림 7은 본 논문에서 구현된 실시간 표적 감시

추적을 위한 화상 시스템으로 그래픽 카드로 입력되는 스테레오 영상 시퀀스에 대해 실시간으로 팬과 틸트의 제어를 통해, 표적 대상체에 대한 적응적인 3차원 좌표 검출 및 이동 궤적을 추정할 수 있다.

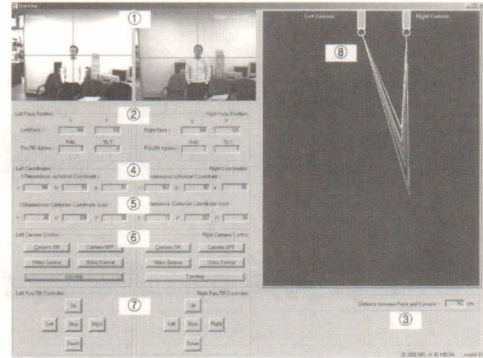


그림 7. 실시간 표적 감시추적 시스템에 사용된 팬/틸트 화상 시스템

그림 7의 추적 시스템에서 ①은 현재 입력되는 좌, 우 스테레오 입력영상에 대해 주시각이 제어된 상태의 화면이며, ②는 검출한 얼굴영상을 토대로 좌, 우 얼굴영상의 중심좌표와 이를 위해 제어된 팬/틸트 각도를 나타낸 것이다. 그리고 ③은 식 (4)와 같이 스테레오 카메라의 주시각 제어를 위한 좌, 우 팬 각도를 통해 산출된 스테레오 카메라로부터 얼굴표적의 중심좌표까지의 수직거리(D)를 나타낸 것이며, ④는 식 (5), (6)과 같이 주시각 제어를 통해 산출된 거리 D와 좌, 우 팬/틸트 제어 각도를 이용하여 산출한 구면 좌표계상의 (r, φ, θ)를 나타낸 것이다. 또한, ⑤는 식 (7), (8), (9)와 같이 구면 좌표계상의 (r, φ, θ)을 현재 표적 영상이 위치한 직교 좌표계상의 (x, y, z)으로 변환한 값을 나타낸다. 또한, ⑥은 실시간으로 입력되는 카메라 제어기능과 검출된 표적영상에 따라 수행되는 추적 명령버튼이며, ⑦은 스테레오 카메라의 주시각 제어를 위한 PID 제어기 및 팬/틸트 각도를 산출을 할 수 있는 엔코더의 초기화를 위한 제로 리턴(zero-return) 기능의 버튼이며, 최종적으로 ⑧에서는 현재 위치한 표적 대상 물체의 움직이는 이동 경로를 실시간으로 표현해주는 그래픽 기능을 나타낸 것이다.

2. 얼굴 중심좌표 검출 및 주시각 제어 실험

본 논문에서는 실시간으로 획득되는 스테레오 입력영상 시퀀스에 대해 감시 및 추적 성능을 검증하

기 위해 두 사람의 서로 다른 이동경로를 320×240 픽셀의 해상도를 갖는 스테레오 입력영상을 초당 30 프레임의 속도로 처리하여 총 80프레임의 테스트 영상을 가지고 실험을 수행하였다. 그림 8은 전체 80 프레임의 테스트 실험영상 중 4 프레임(1, 7, 50, 68 번째 프레임)에 대한 좌우 스테레오 입력영상 샘플을 나타낸 것이다.

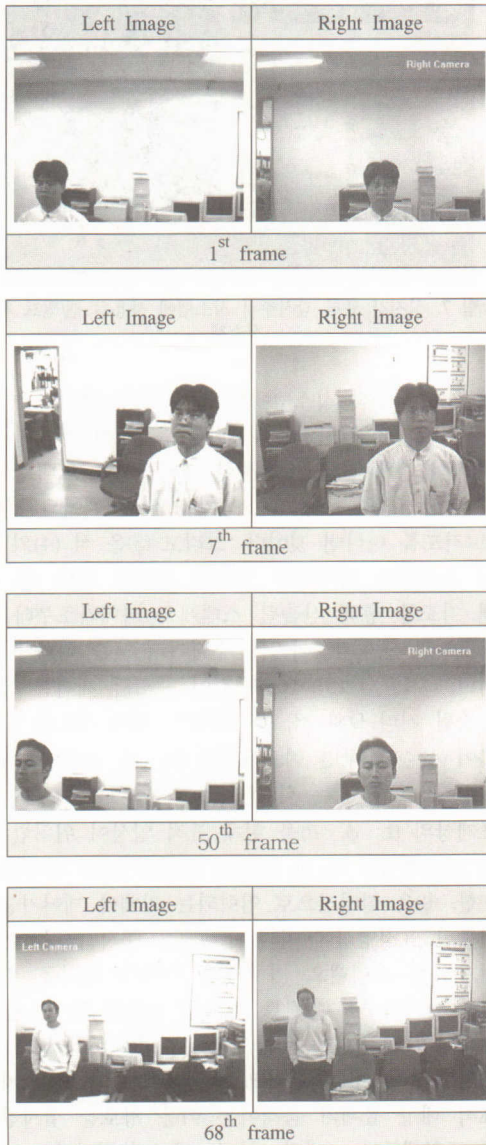


그림 8. 실험에 사용된 80프레임 중 4 프레임의 스테레오 입력영상 샘플

표 2는 실험에 사용된 4개의 샘플 스테레오 입력 영상에 대해 식 (1)과 같은 얼굴 피부색 변환 행렬을 적용하여 얼굴 후보영역을 추출하고, 기하 무게 중심법을 이용하여 중심좌표(160, 120)을 기준으로 x, y축 방향으로 이동된 표적 얼굴영상의 위치좌표값을 나타낸 것이다.

표 2. 좌, 우 얼굴 영상의 중심좌표 [단위: 픽셀]

프레임	좌측 얼굴 중심좌표	우측 얼굴 중심좌표
1 st	(45, 196)	(177, 200)
7 th	(241, 113)	(227, 104)
50 th	(17, 186)	(165, 194)
68 th	(47, 115)	(66, 101)

표 2에서 획득된 4 프레임에 대한 위치좌표들은 조명의 밝기 및 명암도 차이에 따라 약간의 차이는 있으나 초당 30 프레임의 영상 처리 속도에도 적응적으로 위치정보를 검출함으로써 실시간적 처리의 가능성을 보여주고 있다.

또한, 표 2에서 획득된 위치 좌표값은 각각의 프레임에서 입력된 표적영상의 실제 이동값인 (Δx , Δy)를 의미하며, 이 값은 실험결과 측정된 픽셀당 0.038 의 팬/틸트 제어각도로 변환되며, 변환된 제어값에 따라 카메라의 주시각이 제어됨으로써 이동 표적이 카메라 시야의 중심으로 이동하게 된다.

본 논문에서는 카메라의 광축이 표적영상의 주시점에 일치시키는 교차식 카메라 설정법을 사용하였고, 이에 따라 표적영상까지의 수직거리(D)는 식 (8)에 의해 구할 수 있으며, 팬/틸트 각도와 함께 구면좌표계를 형성하기 위한 각 카메라와 표적 영상까지의 광축 주시점 거리(r)를 식 (9)를 통해 산출할 수 있다.

또한, 표적영상의 실제 이동값인(Δx , Δy)을 통해 제어될 팬/틸트 각도 θ 와 ϕ 는 각 시스템 엔코더를 사용하여 표 3과 같이 구할 수 있다.

표 3에서, 광축거리(r)과 팬/틸트 제어각도(θ , ϕ)는 표적 영상의 중심점에 대한 구면좌표계를 형성할 수 있으며, 이는 직교 좌표계로의 변환을 통해 표적물체의 현재의 직립 위치를 추정할 수 있는 정보로 제공된다.

표 3. 표적 중심좌표에 대한 구면좌표 파라메타

프레임	좌측 카메라		우측 카메라	
	광축거리 [cm] (r_1)	팬/틸트 제어각도 [°] (θ_1, ϕ_1)	광축거리 [cm] (r_2)	팬/틸트 제어각도 [°] (θ_2, ϕ_2)
1 st	156	(72, 77)	149	(86, 77)
7 th	115	(91, 74)	128	(63, 75)
50 th	140	(69, 79)	130	(87, 76)
68 th	344	(83, 81)	342	(87, 80)

그림 9는 실시간으로 입력되는 4 프레임의 스테레오 입력영상에 대해 중심좌표인 (160, 120)을 기준으로 표 3의 좌, 우 팬/틸트 각도를 통해 주시각이 제어된 좌, 우 영상을 나타낸 것이다. 그림 9에서 보면 320×240 해상도의 중심좌표인 (160, 120)을 기준으로 표적영상은 정확히 카메라 시야의 중앙에 위치하는 것을 볼 수 있으며, 실내 조명과 밝기의 영향으로 ±2 픽셀의 오차를 보이고 있지만, 실험에 사용한 전체 프레임에 대한 표준 편차는 각각 1.82 및 1.11을 유지하며 얼굴 피부색이 서로 다른 사람에게도 적응적으로 주시각이 제어됨을 볼 수 있다. 또한, 입력되는 스테레오 영상 시퀀스에 대해 프레임 당 0.06초의 처리시간을 가지고 평균 2 프레임 이내에 추적이 이루어짐으로 제한된 감시추적 알고리즘의 실시간적 처리가 가능함이 분석되었다.

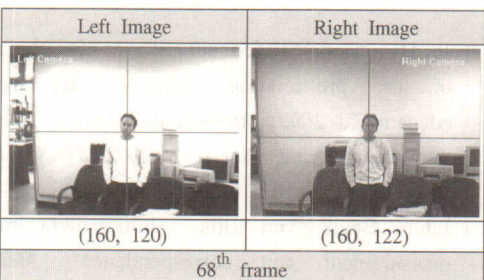
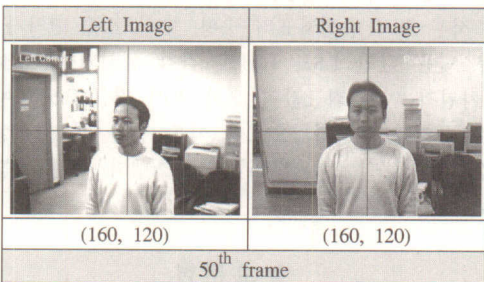
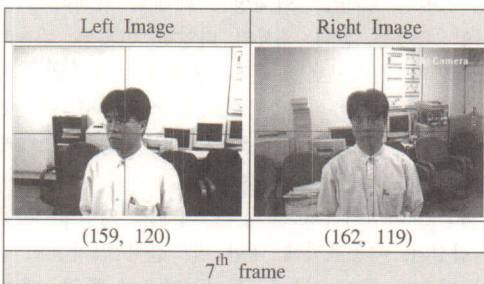
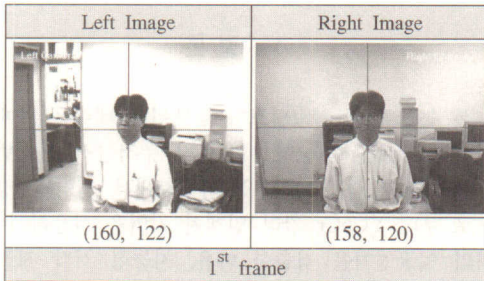


그림 9. 주시각이 제어된 스테레오 영상과 중심좌표

3. 표적 영상의 3차원 위치좌표 검출 실험

표 4와 5는 제한된 알고리즘을 통해 산출된 값과 실제 측정된 값과의 오차를 분석하기 위해, 표 3에서 검출된 구면 좌표계를 직교 좌표계로 변환한 표적영상의 3차원 정보와 실험환경에서 측정된, 실제 좌표를 나타낸 것이다. 즉, 스테레오 카메라와 표적 영상까지의 수직 거리(D) 및 좌, 우 카메라의 광축 주시 거리(r)을 이용하여 구면 좌표계상의 (r, θ, φ)을 구성한 뒤, 식 (10), (11), (12)를 이용하여 직교 좌표계상의 (x, y, z)로 변환한 값이다.

표 4. 표적 영상의 3차원 좌표검출 [단위:cm]

프레임	표적 측정좌표 (x, y, z)	계산치와 측정시간 오차
1 st	(45, 146, 165)	x =1, y =0, z =1
7 th	(-1, 110, 165)	x =1, y =1, z =2
50 th	(49, 127, 170)	x =0, y =1, z =3
68 th	(40, 337, 170)	x =0, y =1, z =23

표 4에서 보면 좌, 우측 영상 간에 존재하는 직교 좌표계의 오차는 평균 1.5cm 미만의 작은 오차가 존재함을 알 수 있는데, 이는 불규칙한 조명, 동일하지 않은 영상밝기 및 저가의 웹 카메라의 사용임을 고려할 때, 우수한 실험결과로 분석된다.

특히, 68 번째 프레임과 관련하여 그림 9와 표 4

를 보면, 현재 서 있는 사람이 약간 주춤거리고 있으며, 이에 따라 z 값 역시 약 20cm 증가하는 것을 알 수 있으며, 제안된 시스템에서 계산된 좌표값과 실제 실험대상으로 참여한 사람의 정확한 실제 위치와의 차이 역시 평균 1.2cm 미만의 오차와 전체적으로 0.5 %의 오차를 보임으로써 보다 적응적인 감시추적 시스템의 실시간적 구현 가능성을 제시하고 있다.

표 5. 좌, 우측 카메라의 직교 좌표검출 [단위:cm]

프레임	좌측 카메라의 표적 직교좌표 (x_1, y_1, z_1)	우측 카메라의 표적 직교좌표 (x_2, y_2, z_2)	좌, 우측 영상간 오차
1 st	(44, 146, 33)	(47, 145, 33)	$ x =3,$ $ y =1, z =0$
7 th	(-2, 111, 30)	(0, 111, 32)	$ x =2,$ $ y =0, z =2$
50 th	(49, 128, 30)	(51, 127, 31)	$ x =2,$ $ y =1, z =1$
68 th	(40, 338, 50)	(38, 337, 52)	$ x =2,$ $ y =1, z =2$

그림 10은 표 4와 5에서도 알 수 있듯이 우측 카메라에서 획득한 좌표값에 비해 실제 좌표와의 오차율이 상대적으로 작은 좌측 카메라에서 획득한 직교 좌표값을 이용하여 표적물체의 현재위치와 이동 궤적을 3차원 공간상에 각각 나타낸 것이다. 즉, 실험에 참여한 두 사람의 표적에 대해, 감시추적 시스템을 향한 수평이동(1, 7 프레임)과 수직이동(50, 68 프레임)을 중심으로 이동된 궤적을 검출된 좌표계에 따라 나타낸 것이다.

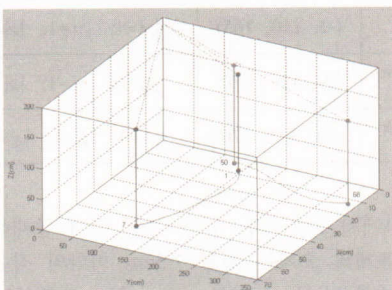


그림 10. 감시추적 중인 두 표적의 이동 궤적도

따라서, 검출된 직교 좌표계상의 (x, y) 점만을 추적하게 되면 표적 대상체의 이동 경로 및 궤적을

쉽게 추정할 수 있음을 알 수 있다.

이상의 실험결과, 본 논문에서 새로이 제시된 팬/틸트가 탑재된 지능형 스테레오 이동표적 감시추적 시스템은 스테레오 입력영상에서 얼굴 색상정보와 스테레오 카메라 기하학을 이용하여 표적 대상체의 위치를 정확히 검출할 수 있었으며, 제안된 적응적 팬/틸트 제어 시스템을 통해 스테레오 카메라의 주시각 제어와 이동 표적의 실시간적 감시 및 추적이 가능함을 분석함으로써 실질적인 스테레오 표적 감시추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

V. 결론

본 논문에서는 팬/틸트가 탑재된 스테레오 카메라 기반의 새로운 지능형 이동표적 추적감시 시스템을 구현하였다. 즉, 스테레오 카메라에서 입력된 영상으로부터 YCbCr 칼라 임계치 기법을 사용하여 표적의 얼굴영역을 검출한 다음, 지능형 시각 시스템에 기반한 팬/틸트 탑재형 스테레오 카메라의 능동적인 제어를 통해 표적의 다양한 변화와 무관하게 표적과의 거리정보는 물론 움직이는 표적의 3차원적 위치 정보를 검출함으로써 실시간적 표적인식 및 추적이 가능한 새로운 형태의 지능형 스테레오 감시추적 시스템을 제시하였다.

80 프레임의 테스트용 스테레오 영상을 사용한 실험결과, 이동표적에 대한 실시간적 위치정보 검출 및 적응적 추적 성능을 확인하였으며 특히, 팬/틸트 추적후 표적 중심좌표의 수평, 수직 표준 편차가 매우 낮은 값인 1.82, 1.11로 각각 유지되고, 표적의 3차원적 위치 좌표값의 오차 역시 평균 0.5% 이하로 유지됨이 분석됨으로써 이를 통한 새로운 실시간 스테레오 표적 감시추적 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

참고 문헌

[1] P. Danielson, "Video surveillance for the rest of us: proliferation, privacy, and ethics education", *2002 International Symposium on Technology and Society, 2002(ISTAS' 02)*, vol.1, no.1, pp.162-167, 2002

[2] James Black, Tim Ellis, "Multi-camera image measurement and correspondence", *Measurement*, vol.32, pp.61-71, 2002

[3] J. S. Lee, J. H. Ko, E. S. Kim, "Real-time stereo object tracking system by using block matching algorithm and optical binary phase extraction joint transform correlator", *Optics Communication*, vol.191, pp.191-202, 2001

[4] 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

[5] D. Chai and A. Bouzerdoum, "A Bayesian approach to skin color classification in YCbCr color space", *IEEE Region Ten Conference(TENCON' 2000)*, vol.2, no.1, pp.421-424, 2000

[6] Douglas Chai, "Face segmentation using skin-color map in videophone applications," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.9, no.4, pp.551-564, 1999

[7] Cohen, I., Medioni, G., "Detecting and tracking moving objects for video surveillance", 1999' *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.2, pp.23-25, 1999

[8] S. S. Blackman, R. J. Dempster, T. J. Broida, "Multiple hypothesis track confirmation for infrared surveillance systems", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol.29, no.3, pp. 810-824, 1993

[9] T. Darrell, G. Gordon, M. Harville, J. Woodfill, "Integrated person tracking using stereo, color, and pattern detection," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.1, no.1, pp. 601-608, 1998

[10] D. Tzovaras, N. Grmmiidis and M. G. Strintzis, "Three-dimensional camera motion estimation and foreground/background separation for stereoscopic image sequences", *Optical Engineering*, vol.36, no.2, pp.574-579, 1997

[11] J. H. Ko, E. S. Kim, "Opto-digital implementation of pan/tilt-controlled stereo object tracking system", *Proc. of 2002 FIRA Robot World Congress*, vol.1, no.1, pp.439-444, 2002

[12] Qielu Pan, Jianbo Su, Yugeng Xi, "Uncalibrated 3D robotic visual tracking based on artificial neural network", *Acta Automatica Sinica*, vol.27, no.6, pp.194-199, 2001

[13] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple view geometry*, Cambridge University Press, 2000

고 정 환(Jung-hwan Ko)

정회원



1999년 2월 : 광운대학교
제어계측공학과 학사
2001년 8월 : 광운대학교
전자공학과 석사
2003년 8월 : 광운대학교
전자공학과 박사수료
2004년 3월~현재 :
동아방송대학 정보통신
계열 겸임교수

<관심분야> 3D 로봇비전, 스테레오 카메라,
영상 통신

이 준 호 (Jun-Ho Lee)

정회원



2003년 2월 : 광운대학교
제어공학과 학사
2003년 3월~현재 : 광운대
학교 전자공학과 석사
과정

<관심분야> 스테레오 영상처리, 로봇비전,
얼굴인식

김 은 수(Eun-Soo Kim)

정회원

광운대학교 국가지정 3차원 영상미디어 연구실
(<http://3dmedia.kwangwoon.ac.kr>)

한국통신학회지 Vol.28, No. 4c 참조