

적응적인 스테레오 카메라 기반의 팬/틸트 제어를 통한 표적 감시-추적 시스템

*조도현, **고정환, ***원영진
인하공업전문대학 디지털전자정보과
e-mail : *dhcho@inhatic.ac.kr* , *misagie@kw.ac.kr*

Stereo Camera-based Target Surveillance-Tracking System through an adaptive Pan/tilt Control

*Do-Hyeoun Cho
Department of Digital Electronics & Information,
Inha Technical College
**Jung-Hwan Ko
School of Electronic Eng., Kwangwoon University
***Young-Jin Won
Department of Electronics,
Bucheon College

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.

영상으로부터 YCbCr 칼라 모델과 무게 중심법을 사용하여 표적의 얼굴영역과 좌표계를 검출한 다음, 추적 물체의 움직임에 의해 발생하는 상대적 이동거리 값에 따라 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 frame의 스테레오 영상에 대한 표적영상의 실시간적 감시 및 추적 실험을 통해 표적에 대한 위치 정보 검출 및 추적 성능을 분석함으로써 본 논문에서 새로이 제안한 실시간적 스테레오 표적 추적-감시 시스템의 실질적인 구현 가능성을 제시하고자 한다.

I. 서론

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

따라서, 본 논문의 적응적인 팬/틸트 제어를 통한 스테레오 표적 감시-추적 시스템에서는 스테레오 카메라에서 입력된

II. 제안된 스테레오 카메라 기반의 지능적 표적 추적-감시 시스템

본 논문에서는 실시간 처리 및 상황변화에 강건한 시스템의 구현을 목적으로 팬/틸트가 탑재된 스테레오 카메라를 이용한 이동표적 감시-추적 시스템의 구성 파라미터를 상호 보완적으로 이용함으로써 복잡한 배경 잡음 하에서 표적 물체를 효과적으로 검출하고 추적할 수 있는 새로운 알고리즘을 제시하였다. 그림 1은 본 논문에서 새로이 제안한 실시간

스테레오 표적 감시-추적 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것으로 첫 번째, 표적 얼굴 탐지와, 두 번째, 표적 감시와 추적으로 크게 2단계로 이루어진다.

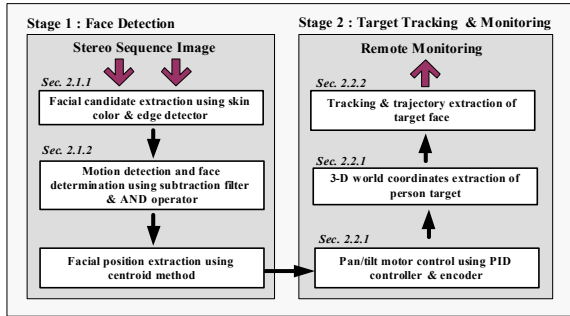


그림 1. 제안된 얼굴 감시 추적기의 흐름도

2.1 표적얼굴 영역 및 중심좌표계 검출

그림 2는 본 논문에서 구현한 얼굴 후보영역 검출부터 중심좌표 검출까지의 알고리즘 흐름도를 나타낸 것이다.

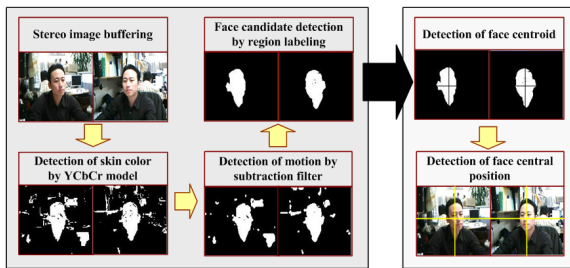


그림 2. 표적얼굴의 중심좌표 검출 흐름도

1) 표적얼굴 후보영역 검출

제안한 표적 감시추적 시스템에서는 표적의 얼굴 영역을 검출하기 위해 YCbCr 칼라 모델을 이용하여 일반적인 조명상태에서의 피부색과 피부색이 아닌 영역으로 분리하게 된다^[1]. 한편, 영상간의 공통된 움직임을 검출하기위한 방법으로 영상 차분필터를 사용하였으며, 그 결과는 식 (1), (2)와 같이 두 영상간의 움직임 성분으로 나타내게 된다.

$$d_n(x, y) = |I_t(x, y) - I_{t-1}(x + \Delta x_B, y + \Delta y_B)| \quad (1)$$

$$d_e(x, y) = |I_t(x, y) - I_{t+1}(x - \Delta x_B, y - \Delta y_B)| \quad (2)$$

또한, 위의 (1), (2) 식으로부터 표적 운동 성분값을 유도할 수 있다.

$$T_m(u, v) = B_i\{d_n(x, y)\} \text{AND} \{B_e d_e(x, y)\} \quad (3)$$

2) 표적 얼굴 중심좌표 결정

일반적으로 카메라에서 멀리 떨어진 표적 영상의 경우, 그 대상체가 사람인지를 검증하는 데에는 많은 어려움이 존재

하게 된다. 더욱이 얼굴임이 확인되지 않은 상황에서 스테레오 추적을 위한 얼굴 영상의 중심좌표를 획득하는 것은 얼굴의 특징점 분석 자체가 불가능하므로, 본 논문에서는 이러한 한계점을 극복하기 위해, 식 (4)와 같이 추출된 비대칭 형태의 얼굴의 후보영역에 대한 기하 무게 중심법을 이용하여 좌, 우 얼굴 영상의 중심좌표를 검출하게 된다.

식 (4)는 검출된 움직임 성분의 얼굴 후보영역을 각각 n_x 개 x , y 화소값을 나눈값으로 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.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{n_x} x_i}{n_x}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^{n_y} y_i}{n_y} \quad (4)$$

2.2 표적거리 측정 및 표적 영상의 3차원 위치좌표 추출

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 카메라 방식으로써, 표적영상의 거리 변화에 따라 카메라의 광축을 이동시켜 주시각을 제어하는 카메라 방식이며^[2] 삼각법(triangulation)에 의해 표적 영상까지의 거리 정보를 구할 수 있다.

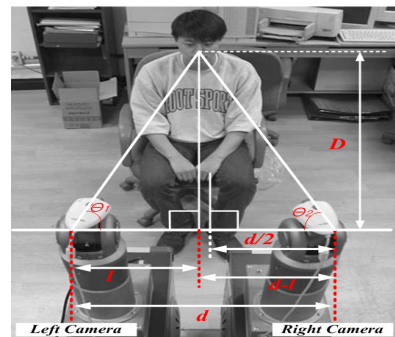


그림 3. 팬/틸트에 탑재된 교차식 스테레오 카메라 구조

그리고, 그림 3에서 좌, 우측 카메라의 팬 각도인 θ_1 과 θ_2 는 팬/틸트 제어 시스템의 인코더에 의해 구할 수 있으며 식 (5)과 같이 주어진다.

$$\tan \theta_1 = \frac{D}{d-l}, \quad \tan \theta_2 = \frac{D}{l} \quad (5)$$

또한, 표적영상까지의 거리인 D는 식 (5)와 좌, 우 카메라 사이의 이격 거리 d를 이용하여 식 (6)으로 유도 할 수 있다^[3].

$$D = \left(\frac{\tan(\theta_1) \times \tan(\theta_2)}{\tan(\theta_1) + \tan(\theta_2)} \right) \times d \quad (6)$$

2) 표적 영상의 이동경로 검출

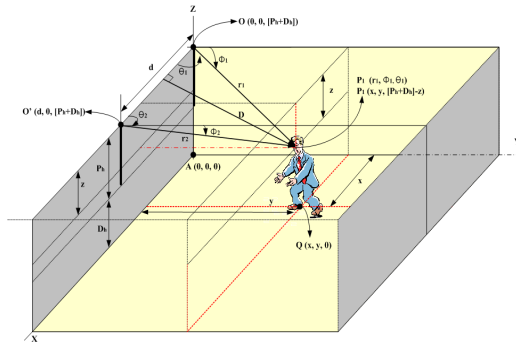


그림 4. 표적의 이동경로 추적을 위한 3차원 공간모형도

그림 4와 같은 사각공간 안에서 감시추적 시스템과 표적간의 기하학적 파라메타들은 표 1과 같이 정의할 수 있다. 여기서 r은 좌, 우 팬/틸트와 표적 영상까지의 거리이므로 스테레오 카메라의 수평축과 표적 영상까지의 수직 거리인 D를 이용하여 식 (7)과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$r_1 = \frac{D}{\sin \theta_1}, \quad r_2 = \frac{D}{\sin \theta_2} \quad (7)$$

표 1. 감시추적 시스템의 기하학적 파라메타

| 파라메타 | 파라메타의 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 (r_1, ϕ_1, θ_1), (r_2, ϕ_2, θ_2) |
| Q | 직교 좌표계에서 표적이 서 있는 점 (x',y',0) |

그리고, 표적 영상의 얼굴 중심좌표인 점 P(r, θ, ϕ)는 식 (8), (9), (10)과 같이 OX, OY, OZ가 서로 직교하는 3차원 직각좌표인 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.

$$x = r_1 \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = \frac{D}{\sin \theta_1} \cos \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = D \cdot \cot \theta_1 \cdot \sin \phi_1 \quad (8)$$

$$y = r_1 \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = \frac{D}{\sin \theta_1} \cdot \sin \theta_1 \cdot \sin \phi_1 = D \cdot \sin \phi_1 \quad (9)$$

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

III. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 스테레오 카메라의 팬/틸트 시스템을 위해 (주)한울 로보틱스사의 HWR-PT1 시스템 2개를 사용하였고, 스테레오 영상 획득용 카메라로는 320×240픽셀의 해상도와 30 frame/sec의 촬영속도를 갖는 웹 카메라 2대를 교차식 방식으로 구성하였다. 또한, 좌, 우 카메라 사이의 이격 거리는 55cm로 고정 하였으며, 디지털 시스템은 512MB 메모리의 펜티엄 1.8GHz를 사용하였다.

3.1 얼굴 중심좌표 검출 및 주시각 제어 실험

본 논문에서는 실시간으로 획득되는 스테레오 영상 시퀀스에 대해, 감시 및 추적 성능을 검증하기 위해 30 frame/sec의 처리속도를 통해 각기 다른 2사람의 실제 이동경로를 달리하며 획득한 전체 80 frame 중 2 프레임(1, 68번째 프레임)을 선정하여 감시, 추적 실험을 수행하여 표 2의 좌, 우 팬/틸트 각도를 통해 주시각이 제어된 좌, 우 영상을 나타낸 것이다.


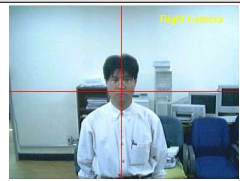
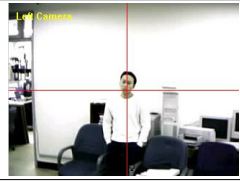
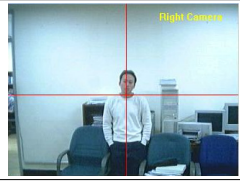
| 좌측 영상 | 우측 영상 |
|--|---|
|  |  |
| (160, 122) | (158, 120) |
| 좌측 영상 | 우측 영상 |
|  |  |
| (160, 120) | (160, 122) |

그림 5. 주시각이 제어된 스테레오 영상과 중심좌표

그리고, 표 2는 위의 영상으로부터 표적 중심좌표에 대한 구면좌표 파라미터를 나타낸 것이며 표 2에서 광축거리(r)과 팬/틸트 제어각도(θ, ϕ)는 표적 영상의 중심점에 대한 구면 좌표계 (three-dimensional spherical polar coordinate)를 형성할 수 있으며, 이는 직교 좌표계로의 변환을 통해 표적물체의 현재의 직립 위치를 추정할 수 있는 정보로 제공된다.

표 2. 표적 중심좌표에 대한 구면좌표 파라미터

| 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 | 156 | (72, 77) | 149 | (86, 77) |
| 7 | 115 | (91, 74) | 128 | (63, 75) |
| 50 | 140 | (69, 79) | 130 | (87, 76) |
| 68 | 344 | (83, 81) | 342 | (87, 80) |

3.2 표적 영상의 3차원 위치좌표 검출 실험

표 3은 제안된 알고리즘을 통해 산출된 값과 실제 측정된 값과의 오차를 분석하기 위해 구면 좌표계를 직교 좌표계로 변환한 표적영상의 3차원 정보와 실험환경에서 측정된 실제 좌표를 나눈 것이다.

표 3. 표적 영상의 3차원 좌표검출 [단위 : cm]

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

그리고 그림 6은 표 3에서도 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.

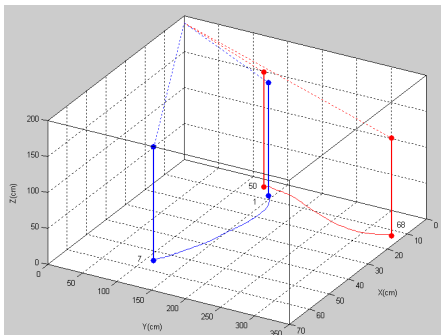


그림 6. 감시추적 중인 두 표적의 이동 궤적도

V. 결론

본 논문에서는 팬/틸트가 탑재된 스테레오 카메라 기반의 새로운 지능형 이동표적 추적감시 시스템을 구현하였다. 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] D. Chai and A. Bouzerdoum, "A Bayesian approach to skin color classification in YCbCr color space", *IEEE Region Ten Conference*, vol.2, no.1, pp.421-424, 2000
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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