

# 지상용 무인 차량의 경로 계획을 위한 적응적인 공간좌표 검출 기법

\*조도현, \*\*이종용, 고정환

\*인하공업전문대학 디지털전자정보과

\*\* 광운대학교 전자공학과

e-mail : *dhcho@inhac.ac.kr* , *misagie@kw.ac.kr*

## Adaptive Spatial Coordinates Detection Scheme for Path Planning of Unmanned Ground Vehicle

\*Do-Hyeoun Cho

Department of Digital Electronics & Information,  
Inha Technical College

\*\*Jong-Yong Lee Jung-Hwan Ko

School of Electronic Eng., Kwangwoon University

### 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.

### I. 서론

일반적으로, 지상용 무인 차량 시스템(UGV; unmanned ground vehicle)에서 경로 계획과 주행제어를 위해 차량 시스템의 전방 시야에 존재하는 지형지물을 판독하기 위한 표적 물체의 위치 검출은 필수적이다. 즉, 주어진 환경에서 주행 중인 무인 차량 시스템은 전방에 존재하는 물체들 간의 상대적인 위치 검출을 통해 충돌 없이 장애물을 피해서 이동해야 하며, 특히

보행자가 나타났을 경우 경보음을 통해 목적지까지 안전한 주행이 될 수 있는 경로를 찾아내야 한다.

따라서 본 논문에서는 다양한 환경에서도 전방에 존재하는 보행자 및 지형지물의 인식을 통해 지상용 무인차량 시스템의 적응적인 경로 탐색이 가능한 2차원 공간좌표 검출 기법을 제안하였다. 즉, 1단계에서는 실시간으로 입력되는 좌, 우 영상 중 좌 영상에서 사람의 얼굴 영역과 위치좌표를 검출하여, 검출된 위치좌표에 따라 스테레오 카메라의 팬/틸트를 제어하여 보행자의 얼굴을 카메라 시야(FOV; field of view)의 중앙으로 놓기 위한 추적 제어가 이루어진다. 2단계에서는 팬/틸트에 의해 제어된 좌, 우 영상의 시차지도 및 깊이 정보가 검출되고, 검출된 깊이 정보와 스테레오 카메라의 기하학적인 관계를 이용하여 실제 좌표에 대한 2차원 공간좌표를 구성하게 되며, 이는 무인 차량 시스템의 주행 경로를 추정하는데 이용된다.

### II. 제안된 보행자 검출 기법

그림 1은 본 논문에서 제안한 보행자 검출 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다. 즉, 1단계에서는 스테레오 입력 영상 중 좌영상에 YCbCr 컬러 모델과 무

계 중심법을 이용하여 보행자의 얼굴 영역에 대한 위치좌표를 추출한 다음, 팬/틸트의 능동적인 제어를 통해 이동하는 보행자를 실시간으로 추적하게 되며, 2 단계에서는 팬/틸트에 의해 추적 제어된 좌, 우 영상간의 시차지도 검출 및 카메라 좌표계와 영상 좌표계간의 원근 변환을 이용하여 깊이 정보 검출 및 실제 좌표에 대한 산출이 이루어지며, 검출된 얼굴 영역의 깊이 정보에 대한 임계값 할당을 통해 보행자 영역만을 분할함으로써 보행자의 전체 폭을 추정하게 된다.

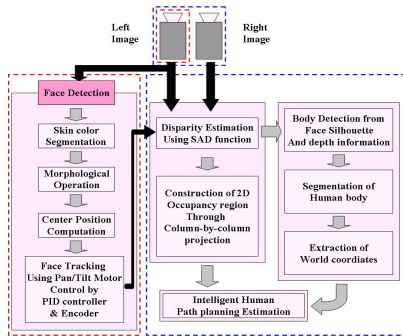


그림 1 제안된 보행자 검출 알고리즘

또한, 동시에 검출된 영상 전체의 시차지도의 각각의 열(column) 마다 최대값을 검출하여 무인 차량 전방에 존재하는 모든 물체들과의 상대위치 관계를 분석할 수 있는 2차원 공간좌표를 산출함으로써 주행 경로를 추정하게 된다.

2.1 보행자의 얼굴좌표 검출 및 팬/틸트 제어

본 논문에서는 일반적인 조명상태에서 실시간으로 입력되는 스테레오 입력 영상 중 좌 영상에 대해 YCbCr 컬러모델[1]을 통해 얼굴 피부색으로 간주되는 모든 영역을 검출한 뒤, 상대적으로 움직임이 가장 많이 존재하는 영역만을 보행자의 얼굴 영역으로 간주하였다. 그림 2는 실시간으로 입력되는 좌 영상으로부터 보행자의 얼굴영역을 분할하는 과정을 보여준 것이다.

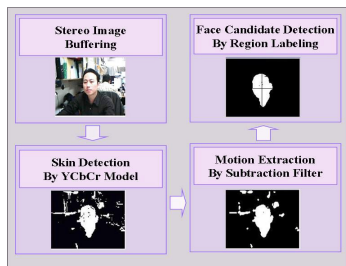


그림 2. 보행자의 얼굴 검출을 위한 흐름도

여기서, 이동하는 보행자를 추적하기 위한 팬/틸트 제어 값은 식(1)과 같이, 무게중심(centroid method) 기법을 이용하여 분할된 얼굴 영역의 중심좌표를 검출하게 되며, 이를 토대로 스테레오 카메라의 팬/틸트 상하, 좌우 회전각을 능동적으로 제어하여 얼굴 영역에

대한 적응적인 추적을 수행하게 된다.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{n_x} x_i}{n_x}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{j=0}^{n_y} y_j}{n_y} \quad (1)$$

팬/틸트 시스템을 구동하기 위해 선행되어야 할 것은 영상에서 표적물체의 이동거리만큼 모터의 각도를 제어하는 일이다. 따라서 전방시야에 존재하는 보행자를 카메라 시야(FOV)의 중앙에 놓이게 하기 위한 팬/틸트 시스템은 영상 평면의 원점 (0, 0)을 중심으로 2차원 영상 평면으로 사상된 표적물체의 위치 변이 ( $\Delta x, \Delta y$ )를 팬/틸트 시스템의 제어 값인 각도 값으로 환산하여 추적 기능을 수행하게 된다.

2.2 스테레오 카메라와 보행자간 상대좌표 검출

일반적으로, 인간의 시각 시스템(HVS; Human visual system)은 대부분 수평시차에 의해 물체의 원근을 감지하게 되므로, 본 논문에서는 이상적으로 수직시차가 거의 없고 수평시차만이 존재하는 평행식 스테레오 카메라를 사용하였다.

팬/틸트에 의해 추적 제어된 스테레오 카메라 시스템의 좌, 우 영상은 식(3)와 같이 SAD(Sum of Absolute Difference) 비용 함수를 이용하여 블록 간의 정합 과정을 수행한 뒤, 시차지도를 검출하게 된다.

$$\min_{d=d_{\min}}^{d_{\max}} \sum_{i=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} \sum_{j=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} |I_L[x+i][y+j] - I_R[x+i+d][y+j]| \quad (3)$$

여기서,  $I_L$ 과  $I_R$ 은 각각 좌, 우 영상을 나타낸 것이고,  $\frac{m}{2}$ 은 각 블록간의 크기를 나타낸 것이다. 또한,  $d_{\max}$ 와  $d_{\min}$ 는 각 블록 간 탐색할 수 있는 시차의 최대, 최소 범위를 나타낸 것이다.

그림 3은 본 논문에서 사용한 평행식 스테레오 카메라 기하학을 나타낸 것이다. 투영된 영상의 깊이 정보를 의미하는 Z값은 식(4), (5), (6), (7)으로부터 검출된 시차값을 중심으로 카메라 좌표계와 영상 좌표계간의 원근 변환에 의해 산출될 수 있으며, 검출된 얼굴 영역의 깊이 정보에 대한 임계값 할당을 통해 보행자 영역만을 분할함으로써 보행자의 전체 폭을 추정하게 된다.

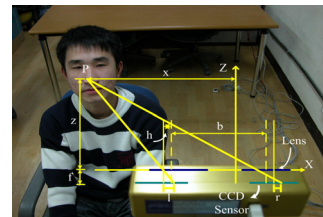


그림 3. 평행식 스테레오 카메라의 기하학적 모델

$$\frac{x - \frac{b}{2}}{z} = \frac{x - \frac{b}{2} - h + l}{f + z} \quad (4)$$

$$l = \frac{fx}{z} - \frac{fb}{2z} + h, \quad r = \frac{fx}{z} + \frac{fb}{2z} - h \quad (5)$$

$$d = (l - r) = 2h - \frac{fb}{z} \quad (6)$$

$$z = \frac{fb}{2h - d} \quad (7)$$

식 (7)에서,  $f$ 와  $b$ 는 스테레오 카메라의 초점거리 (focal length)와 카메라 사이의 거리(baseline)를 각각 나타낸 것이며,  $h$ 와  $d$ 는 CCD 카메라 센서의 이격거리와 스테레오 영상간의 시차를 각각 나타낸 것이다. 또한, 3차원 공간상에 있는 보행자는 그림 4와 같이  $f$ 를 중심으로 한 원근 변환을 통해 2차원 영상 평면으로 사상되므로, 이는 식(8)와 같이 영상 좌표계에서 검출된 위치 좌표와 닮은꼴 삼각형(similar triangles)을 이용하여 실제 좌표( $X, Y$ )가 검출될 수 있다.

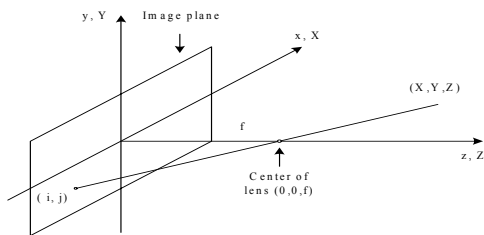


그림 4. 카메라 좌표계와 실 좌표계의 원근 변환 기법

$$X = \frac{iZ}{f}, \quad Y = \frac{jZ}{f} \quad (8)$$

2.2.3 무인 차량 시스템의 2차원 공간 좌표( $X, Z$ ) 검출

그림 5는 2.2.1에서 검출된 전체 시차지도의 각각의 열(column)에 존재하는 최대값을 검출하여 무인 차량 전방에 존재하는 모든 물체들과의 상대위치 관계를 분석하기 위해 구성된 2차원 공간좌표( $X, Z$ )를 나타낸 것이다.

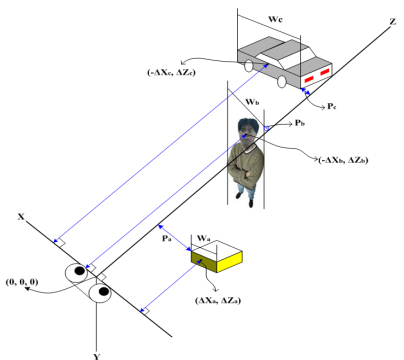


그림 5. 경로 계획을 위한 2차원 공간좌표 ( $X, Z$ )

그림 5에서 산출된 2차원 공간좌표는 2.2.2에서 검출된 보행자의 위치좌표( $X, Z$ )와의 관계를 통해 무인 차량 시스템과 전방에 존재하는 보행자를 포함한 다른 장애물들 사이의 거리 검출은 물론 보행자와 물체들 상호간의 상대적인 거리까지도 분석이 가능함으로써 무인 차량 시스템의 충돌위험을 조기에 대처할 수 있는 효율적인 주행 경로 계획(path planning)을 추정할 수 있다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 팬/틸트 탑재형 스테레오 카메라 시스템을 위해 (주)한울 로보틱스사의 팬/틸트 시스템 (HWR-P T1) 1대와 영상 획득 장치로는 평행식 스테레오 카메라인 bumblebee(Point Grey Inc.)를 이용하였으며, 512MB 메모리와 펜티엄 1.8GHz의 디지털 시스템을 통해 320×240 픽셀의 해상도와 30 frame/sec의 촬영 속도를 가지고 실험을 수행하였다. 그림 6은 240프레임 중 임의로 추출된 4 프레임의 이미지를 보여준 것이다.

	1 <sup>st</sup> frame	2 <sup>nd</sup> frame	3 <sup>rd</sup> frame	4 <sup>th</sup> frame
Left Image				
Right Image				

그림 6. 실시간으로 입력된 좌, 우 영상

3.1 얼굴 중심좌표 검출

실시간으로 입력된 스테레오 영상 중 좌 영상을 중심으로 YCbCr 컬러 모델과 무게 중심법을 이용하여 보행자의 얼굴 영역과 중심좌표를 검출하였다. 표 1은 실시간으로 입력되는 좌 영상에서의 얼굴 영역의 중심좌표를 나타낸 것이다.

표1. 얼굴 영역의 중심좌표( $X, Y$ )

Frame	Center coordinates of face region( $X, Y$ )
1 <sup>st</sup> frame	(262, 164)
2 <sup>nd</sup> frame	(282, 140)
3 <sup>rd</sup> frame	(120, 151)
4 <sup>th</sup> frame	(196, 140)

3.2 시차지도 및 깊이 정보( $Z$ ) 검출

팬/틸트에 의해 제어된 스테레오 카메라 시스템의 좌, 우 영상은 SAD 비용 함수를 이용하여 블록 간의 정합 과정을 수행한 뒤, 시차지도가 검출되고, 평행식 스테레오 카메라의 기하학적 모델과 이에 따라 설정된 삼각법(trigonometric principle)을 이용하여 깊이 정보( $Z$ )

가 검출된다. 그림 7은 팬/틸트에 의해 제어된 후의 좌 영상과 시차지도를 보여준 것이다.

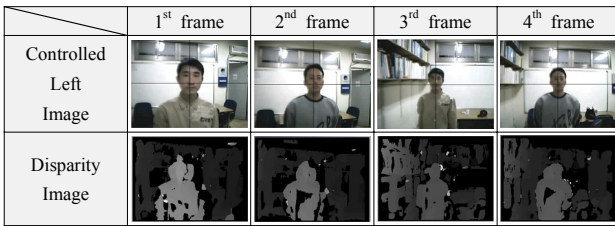


그림 7. 팬/틸트에 의해 제어된 후의 좌영상과 시차지도

표2는 보행자의 실제좌표(X, Y) 및 무인 차량의 경로 계획을 위해 사용될 카메라 시스템으로부터 보행자의 얼굴 영역까지의 거리와 실제 측정된 값과의 오차를 나타낸 것으로 평균 오차가 1.8% 이하로 유지되고 있는 것을 알 수 있다.

표 2. 시차지도와 원근변환을 이용하여 검출된 실제 좌표

frame	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)		Error ratio(%)
			Calculation	Measurement	
1st frame	0.36	0.36	95	98	3.0612
2nd frame	0.43	0.43	115	115	0
3rd frame	0.58	0.58	155	152	1.9354
4th frame	0.53	0.53	141	138	2.1276
Average					<b>1.781</b>

### 3.3 2차원 공간 좌표 구성 및 주행 경로 추정

그림 8은 3.2에서 검출된 전체 영상에 대한 시차지도를 중심으로 각각의 열(column)에 존재하는 최대값의 검출을 통해 무인 차량 시스템과 보행자간의 위치 관계를 분석할 수 있는 2차원(X, Z) 공간 좌표를 나타낸 것이다.

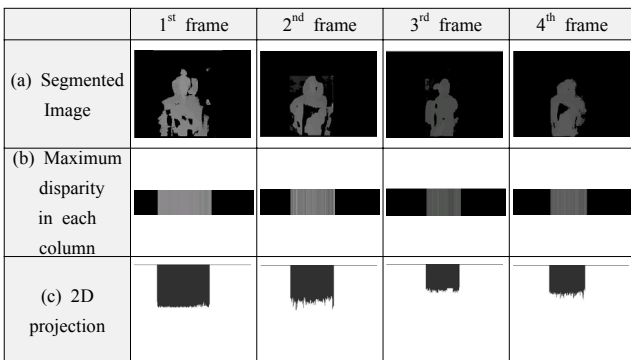


그림 8. 무인 차량 시스템의 경로 계획을 위한 공간좌표 검출

표 3은 그림 8의 (a)에서 분리된 시차지도를 토대로 산출된 보행자의 폭과 실제 측정된 값과의 오차를 나타낸 것으로 평균 오차가 1.8% 이하로 유지되고 있는 것을 알 수 있다.

표 3. 검출된 보행자의 좌, 우 폭에 대한 계산치와 측정치

frame	Width(cm)		Error ratio(%)
	Calculation	Measurement	
1st frame	50.29	49.3	2.01
2nd frame	51.05	50.8	0.492
3rd frame	50.48	49.3	2.39
4th frame	51.87	50.8	2.11
Average			<b>1.75</b>

## V. 결론

본 논문에서는 지상용 무인 차량시스템의 보다 지능적인 경로 계획을 위한 팬/틸트 탑재형 스테레오 카메라에 기반을 둔 새로운 공간좌표 검출 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 통해 산출된 2차원 공간좌표는 검출된 보행자의 위치좌표와의 관계를 통해 무인 차량 시스템과 전방에 존재하는 보행자의 거리 및 보행자의 좌, 우 폭의 계산치와 측정치간의 오차가 평균 1.78%와 1.75%이하로 각각 유지되었으며, 보행자와 물체들 상호간의 상대적인 거리까지도 분석이 가능하고, 무인 차량 시스템의 충돌위험을 조기에 대처할 수 있는 효율적인 주행 경로 계획(path planning)을 추정함으로써 공간좌표 검출에 기반을 둔 실질적인 지상용 무인차량의 구현 가능성을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 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
- [2] I. Haritaoglu, D. Harwood, L. Davis, "W4S: A real time system for detecting and tracking people in 2.5D", *Proc. of 5th European Conference on Computer Vision*, Freiburg, 1998
- [3] 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*, pp. 601-608, 1998
- [4] Kazumi Fujimoto, Hideo Muro, "A study on pedestrian detection technology using stereo images" , *Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. and Elsevier Science B.V.*, 2002
- [5] Don Murray , "Using real-time stereo vision for mobile robot navigation", *Workshop on Perception for Mobile Agents at CVPR'98 in Santa Barbara, CA*
- [6] Wladyslaw Skarbk, Andreas Koschan, "Colour Image Segmentation" , *Technischer Bericht 94-32 Technische Universitat Berlin*, 1994