

논문 2012-49-9-40

AGV의 작업자 식별 및 회피를 위한 2D 공간 지도 구성 (2D Spatial-Map Construction for Workers Identification and Avoidance of AGV)

고 정 환*

(Jung-Hwan Ko)

요 약

본 논문에서는 지능적인 경로 계획을 위한 스테레오 카메라 기반의 AGV의 작업자 식별 및 회피를 위한 2D 공간 지도 구성 기법을 제안하였다. 우선 스테레오 카메라로부터 입력된 영상 중 좌 영상에 YCbCr 컬러 모델 및 무게 중심법을 이용하여 이동 중인 작업자의 얼굴 영역과 중심좌표를 검출하고, 검출된 좌표 값에 따라 스테레오 카메라 제어를 통해 이동하는 작업자를 실시간적으로 검출하게 된다. 다음으로, AGV 구동에 의해 추적 제어된 스테레오 카메라의 좌, 우 영상간의 시차정보와 카메라 내부 변환관계를 통해 깊이 정보를 검출한 후, 검출된 깊이 지도로부터 각 열에 존재하는 최소값을 이용한 2차원 공간좌표를 검출하여 AGV와 작업자간의 거리와 실제좌표는 물론 다른 물체들과의 상대 거리를 산출하게 되며, 산출된 위치 좌표를 토대로 AGV의 지능적인 경로 추정 및 판단에 따라 자율적인 주행을 수행하게 된다. 실시간적으로 입력되는 240 프레임의 스테레오 영상을 사용한 실험결과, 산출된 2차원 공간좌표는 검출된 작업자의 위치좌표와의 관계를 통해 작업자의 폭과 실제 측정된 값과의 오차율이 평균 1.8% 이하로 유지됨으로써 보다 지능적인 AGV 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, an 2D spatial-map construction for workers identification and avoidance of AGV using the detection scheme of the spatial coordinates based on stereo camera is proposed. In the proposed system, face area of a moving person is detected from a left image among the stereo image pairs by using the YCbCr color model and its center coordinates are computed by using the centroid method and then using these data, the stereo camera embedded on the mobile robot can be controlled for tracking the moving target in real-time. Moreover, using the disparity map obtained from the left and right images captured by the tracking-controlled stereo camera system and the perspective transformation between a 3-D scene and an image plane, depth map can be detected. From some experiments on AGV driving with 240 frames of the stereo images, it is analyzed that error ratio between the calculated and measured values of the worker's width is found to be very low value of 2.19% and 1.52% on average.

Keywords : AGV, stereo camera, disparity, spatial map

I. 서 론

컴퓨터 비전 시스템을 산업용 AGV(automatic ground vehicle)에 응용하기 위해서는 복잡한 주변 환

경의 완전한 인식이나 재구성 보다는 실제공간에서의 물체 위치, 크기 및 방향 등과 같은 간단한 3차원 정보의 실시간적 추출이 요구된다. 이러한 3차원 정보들은 궁극적으로 물체의 각 점들에 대한 3차원 좌표 즉, 깊이지도(depth map)로부터 구할 수 있으며 이는 획득된 영상으로부터 3각 측량법을 통해 구할 수 있고^[1~2] 또한, 레이저 거리 측정기에 의해서도 얻을 수 있다. 그러

* 정회원, 인하공업전문대학 메카트로닉스과
(Department of Mechatronics, Inha Technical College)
접수일자: 2012년5월4일, 수정완료일: 2012년9월6일

나 이러한 방법들을 사용하려면 특수한 조명장치와 주위환경이 필요하거나 레이저 장비와 정밀 측정 장치가 요구된다. 그러나 스테레오 비전 기법을 이용하면 정상적인 조명하에서 쉽게 이용가능한 장치들을 사용하여 물체의 깊이 지도를 얻을 수 있으나 특징추출과 스테레오 정합 과정을 거치게 된다. 스테레오 정합에 필요한 물체의 특징들이 스테레오 영상들로부터 추출되는데 영상 내에서 분산이 큰 점이나 물체의 윤곽선(edge) 정보등이 특징으로 많이 사용된다[3]. 이렇게 얻어진 특징들의 상호관계가 스테레오 정합에 의해 얻어지고 물체점들에 대한 거리는 이러한 스테레오 정합에 의하여 얻어진 대응점들의 시차로부터 계산되어질 수 있다. 그러나 종래의 방법들은 스테레오 영상 각각에 대한 특징을 추출함으로써 계산시간이 많이 걸리고 특징들의 유사성 때문에 스테레오 정합과정에서 명료하지 않다는 점 등의 단점이 있다[4~5]. 최근에는 이러한 스테레오 비전 기법을 기존의 AGV 시스템에 응용하고자 하는 많은 연구가 진행 중인데 이를 위해서는 스테레오 비전으로부터 얻은 정보를 통한 3차원 물체인식 연구가 요구된다. 최근 들어 하나의 영상으로부터 물체인식을 위한 3차원 물체의 모델링(modelling)이나 정합(matching)에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 그러나 대부분의 연구에서는 물체에 대한 절대적인 거리정보가 포함되지 않고, 영상처리 과정이 매우 복잡하여 계산시간 또한 오래 걸리므로 AGV 작업에 직접 적용하기에는 적합하지 않았다. 따라서 이를 해결하기 위한 새로운 접근방법으로 최근 스테레오 비전에서 얻은 정보자체를 AGV 작업에 직접 응용하기 위한 연구들이 수행 되고 있다 [6~7].

따라서 본 논문에서는 산업용 AGV 시스템의 보다 지능적인 경로 계획을 위한 평행식 스테레오 카메라에 기반을 둔 작업자 식별 및 회피를 위한 2D 공간 지도 구성 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 통해 산출된 2차원 공간좌표는 검출된 작업자의 위치좌표와의 관계를 통해 작업자의 폭과 실제 측정된 값과의 오차율이 평균 1.8% 이하로 유지되었으며, 작업자와 장애물 상호간의 상대적인 거리까지도 분석이 가능하고, AGV 시스템의 충돌위험을 조기에 대처할 수 있는 효율적인 주행 경로를 추정함으로써 실질적인 자율형 AGV 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

II. 제안된 2D 공간 지도 구성 기법

그림 1은 본 논문에서 제안한 스테레오 카메라 기반 AGV 시스템의 작업자 식별 및 회피를 위한 2D 공간 지도 구성의 흐름도를 나타낸 것이다. 즉, 스테레오 입력 영상 중 좌측 영상에 YCbCr 컬러 모델과 무게 중심법(centroid method)을 이용하여 작업자의 얼굴 영역에 대한 위치좌표를 검출한 다음, 스테레오 카메라 시야(FOV; field of view)의 중앙으로 놓기 위해 이동하는 작업자를 실시간으로 추적하게 되며, 추적 제어된 좌, 우 영상간의 비용함수로 MSE를 이용한 시차(disparity) 및 깊이(depth) 정보 검출과 실제 3차원 좌표 산출이 이루어지며, 검출된 얼굴 영역의 깊이 정보에 대한 임계값 할당을 통해 작업자 영역만을 분할함으로써 작업자의 전체 폭을 추정 및 동시에 검출된 영상 전체의 깊이 지도의 각각의 열(column) 마다 최소값을 검출하여 AGV 시스템 전방에 존재하는 모든 물체들과의 상대위치 관계를 분석할 수 있는 2D 공간좌표를 구성하게 된다.

본 논문에서는 1차적으로 YCbCr 컬러모델을 통해 얼굴 피부색으로 간주되는 모든 영역을 검출한 뒤, 상대적으로 움직임이 가장 많이 존재하는 영역만을 작업자의 얼굴 영역으로 간주하였다. 따라서 정지된 배경 영역을 포함한 검출된 모든 피부색 영역을 토대로 영상 차분필터와 AND 연산을 이용하여 공통된 움직임을 추

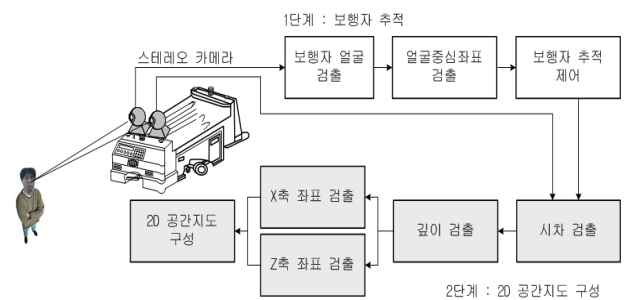


그림 1. 2D 공간 지도 구성의 흐름도
Fig. 1. Flowchart of the 2D spatial-map.

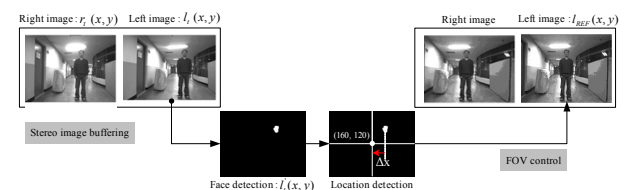


그림 2. 표적 이동에 따른 AGV의 FOV 제어
Fig. 2. FOV control of the AGV.

출함으로써 작업자로 판단하게 된다^[8].

그림 2는 검출된 작업자의 얼굴 좌표에 따라 카메라 시야의 중앙으로 놓기 위한 AGV에 탑재된 스테레오 카메라의 FOV(field of view) 제어 과정을 수평이동과 수직이동에 따라 각각 나타낸 것이다.

즉, 본 논문에서는 Kanatani의 영상보정 알고리즘^[9]을 응용하여 2차원 영상평면에서 검출된 작업자 얼굴 좌표값을 AGV의 제어각도로 변환하였다. 카메라 렌즈의 초점거리 f , 이전영상과 현재영상의 위치 좌표값으로 표현하면 식 (1)과 같이 스테레오 카메라의 제어 각도가 산출되고 이는 AGV에 탑재된 팬틸트 시스템의 엔코더를 통해 모터 제어각도로 구동될 수 있다.

$$\theta = \frac{fx_{t-1}y_t(y_{t-1}-y_t) + f(f^2 - y_{t-1}y_t)(x_{t-1} - x_t)}{f(y_t \sin \alpha - f \cos \alpha) + x_{t-1}x_t(y_{t-1}y_t \cos \alpha - y_t \sin \alpha + \cos \alpha)} \quad (1)$$

AGV 시스템의 FOV 제어된 스테레오 카메라의 좌, 우 영상으로부터 시차정보를 추출하기 위한 비용함수는 계산량은 늘어나지만 보다 정확한 시차 추출을 위해 MSE(mean square error)를 사용하였다^[7-8]. MSE 함수는 식 (2)와 같이 주어지며, 식에서 N_x , N_y 는 블럭 또는 화소의 크기를, I_L 과 I_R 은 좌영상의 블럭과 이에 대응하는 우영상의 블럭을 각각 나타낸 것이다.

$$MSE = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} |I_L(i, j) - I_R(i+d, j+l)|^2 \quad (2)$$

또한, 탐색범위 내에서 MSE를 최소화 하는 블럭을 좌영상과 정합된 우영상의 블럭으로 선택하게 되면, 우영상과 좌영상간의 좌표값 차이로 그 블럭을 대표하는 시차값을 얻게 된다. 즉, 좌측영상을 기준으로 한 우측영상과의 시차는 식 (3)과 같이 주어지게 된다.

$$d_{ij} = \operatorname{argmin} \frac{1}{N_x N_y} \sum_{(i, j) \in \beta_i} |I_L(i, j) - I_R(i+d, j)|^2 \quad (3)$$

여기서, I_R 은 우영상을, I_L 는 좌영상을, d 는 탐색범위 내의 시차값을 각각 나타내며, β_i 는 I_R 의 i 번째 $N_x \times N_y$ 크기의 블럭을 나타낸다. 식 (3)에서 얻어지는 시차벡터는 블럭을 대표하는 값으로 시차정보를 추출하는데 사용된다. 또한, 검출된 시차정보로부터 시차벡터간의 움직임 차이값인 적응적 시차 움직임 벡터 (ADMV : disparity motion vector)를 추출할 수 있으며, 검출된 ADMV 값을 효과적으로 이용함으로써 이동

중인 작업자의 영역과 그 좌표 값을 얻을 수 있다. 즉, T-1 프레임의 시차벡터와 T 프레임의 시차벡터 사이의 관계는 마치 기존의 2차원 비디오 영상 시퀀스에서 연속된 두 프레임 사이의 관계와 같기 때문에 ADMV 값은 물체에 대한 3차원 입체정보 뿐만 아니라 추적물체의 위치정보도 가지고 있다^[3].

한편, 그림 3과 같이 3차원 공간상의 물체점 $P = (X_p, Y_p, Z_p)$ 가 스테레오 카메라의 좌, 우측 영상에 투영된 영상점을 각각 $P_l = (x_l, y_l)$, $P_r = (x_r, y_r)$ 라고 하고, 영상 평면내의 대응하는 점 P_l 과 P_r 사이의 시차를 $d_p = x_l - x_r$ 이라 정의하면, d_p 는 식 (4)와 같이 3차원 공간상의 물체점 P 의 깊이 정보인 Z_p 에 반비례함을 알 수 있으며, 깊이정보 Z_p 는 스테레오 영상으로부터 시차가 결정됨에 따라 식 (5)를 통해 쉽게 산출될 수 있다^[8].

$$d_p = x_l - x_r = 2h - \frac{bf}{Z_p} \quad (4)$$

$$Z_p = \frac{bf}{2h - d_p} \quad (5)$$

또한, 3차원 공간상의 물체점 P의 좌표, Z_p 및 x_p 와 Y_p 는 그림 3과 같이 x_l , y_l 과 거리 Z_p 로부터 식 (6)과 (7)로 나타낼 수 있으며, 이는 AGV 시스템의 전방 시야에 존재하는 작업자는 물론 장애물의 실제 3차원적 위치 좌표를 검출하는데 이용된다^[9].

$$X_p = \frac{Z_p}{f} x_l - b \quad (6)$$

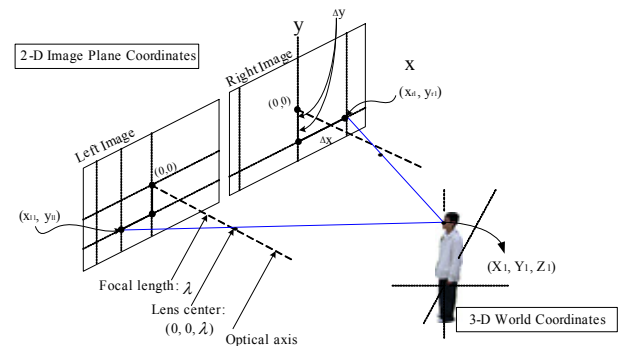


그림 3. 실제환경과 영상사이의 스테레오 영상 모델링
Fig. 3. Model of the stereo image mapping between the 3-D scene and the image plane.

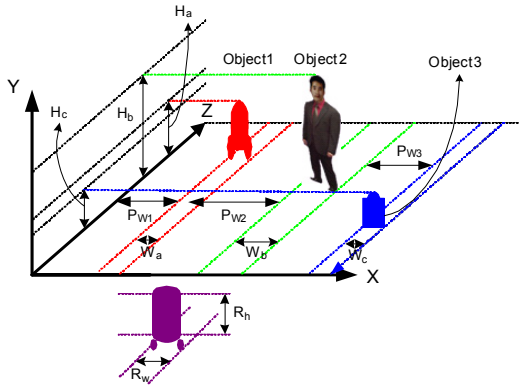


그림 4. 2D 공간 지도 구성
 Fig. 4. Constructioent of the 2D spatial-map.

$$Y_p = \frac{Z_p}{f} y_i \tag{7}$$

따라서, 구성된 2차원 공간좌표는 검출된 작업자를 중심으로 그림 4와 같이 AGV 시스템과 전방에 존재하는 작업자를 포함한 다른 장애물들 사이의 거리 검출은 물론, 식 (6)과 (7)을 통해 작업자와 물체들 상호간의 상대적인 거리까지도 분석이 가능함으로써 AGV 시스템 시스템의 충돌위험을 조기에 대처할 수 있는 효율적인 주행 경로 계획(path planning)을 추정할 수 있다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안된 알고리즘의 효용성을 분석하기 위한 실험 시나리오는 평행식 스테레오 카메라인 Point Grey Inc.의 Bumblebee^[10]를 AGV 시스템에 탑재하여 그림 5와 같이 카메라 시야에 나타나는 작업자 및 측면

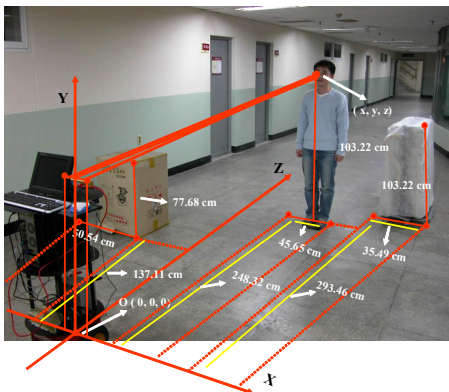


그림 5. AGV의 주행을 위한 실험 환경
 Fig. 5. Experimental setup for navigation of the AGV.

에 존재하는 장애물 각각의 절대좌표 및 상대좌표 검출을 통해 AGV의 충돌 위기를 조기에 대처하며, 적응적인 경로 계획의 수립을 목적으로 하는 것이다.

그림 6은 전방 시야에 작업자가 나타났을 경우 AGV의 적응적인 충돌 회피 성능을 검증하기 위한 시나리오로써, AGV에 탑재된 평행식 스테레오 카메라를 통해 입력된 240 프레임 중 2 프레임에 대해 검출된 얼굴 영상 및 그에 따른 좌, 우 영상간의 검출된 시차 지도(disparity map)를 나타낸 것이다. 즉, 실시간으로 입력된 좌, 우 영상 중 좌 영상에 YCbCr 컬러 모델 및 무게 중심 기법을 이용하여 검출된 작업자의 얼굴 영상과 검출된 얼굴 영상의 중심좌표를 토대로 FOV 제어룰 수행한 후의 영상에 대해 검출된 시차지도들 각각 보여준 것이다. 여기서, 좌측 영상의 검출된 얼굴 중심좌표 (160, 10)과 (167, 24)는 표적 영상의 위치좌표를 검출할 때 기준 좌표로써 얻어지며, 검출된 위치좌표는 스테레오 카메라가 탑재된 AGV를 제어하는 제어값으로 사용된다.

따라서 팬/틸트에 의해 제어된 스테레오 카메라 시스템의 좌, 우 영상은 MSE 비용 함수를 이용하여 블록간의 정합 과정을 수행한 뒤 검출된 시차지도와 실제 평행식 스테레오 카메라의 기하학적 모델과 이에 따라 설정된 삼각법(trigonometric principle)을 이용하여 깊이 정보(Z)가 검출된 깊이지도(depth map)를 통해 AGV 전방에 존재하는 물체들의 3차원 위치좌표 및 물

	#1	#2
(a) Left image	 (160, 10)	 (167, 24)
(b) Disparity map		

그림 6. 검출된 얼굴 입력영상과 팬/틸트 제어후의 시차 지도

Fig. 6. Input face images and disparity images after controlling the pan/tilt system.

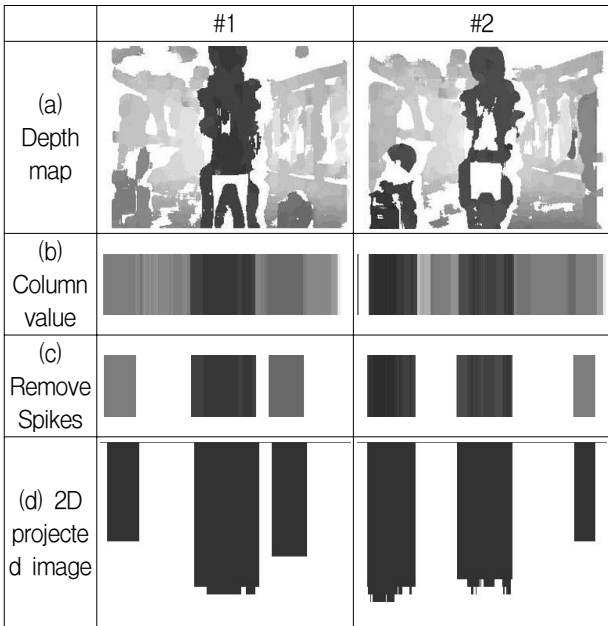


그림 7. AGV의 주행을 위한 깊이지도와 2차원 공간지도
Fig. 7. Extraction of the depth map and 2D occupancy map for driving of the mobile robot.

체간의 상대좌표를 검출할 수 있는 단서를 제공할 수 있다.

그림 7은 팬/틸트 제어된 후의 스테레오 영상과 깊이 지도를 보여준 것이다.

그림 7에서 (a)의 깊이지도의 경우, AGV와 물체들 간의 수직거리는 그레이 레벨(gray level)로 표시되어지며, AGV에서 가장 가까운 거리일수록 어두워지는 것을 알 수 있다. 또한, (b)는 시차지도의 깊이 정보를 토대로 각각의 열(column)마다 깊이 정보의 최소값을 검출한 것을 보여준 것이며, (c)는 열(column)에서 발생한 오차를 제거한 영상을 보여준 것이고, (c)는 AGV 전방에 존재하는 작업자를 포함한 3개의 물체들에 대해 검출된 깊이 정보의 최소값과 그에 대응하는 X좌표를 사상하여 2차원 공간 좌표(X, Z)를 구성한 것을 나타낸 것으로, AGV 시스템의 폭과 전방 시야에 존재하는 환경이나 물체의 상대 위치를 고려한 주행 경로를 추정하여 장애물과의 충돌 없이 주행할 수 있게 하는 역할을 하게 된다.

그림 8은 검출된 얼굴 영역의 중심좌표와 검출된 얼굴 영역의 깊이 정보를 토대로 깊이 정보의 최대, 최소 범위의 임계값을 주어 작업자 영역만을 추출 하여 분리한 것이고 이는 실제 좌, 우 쪽을 산출하는데 이용된다.

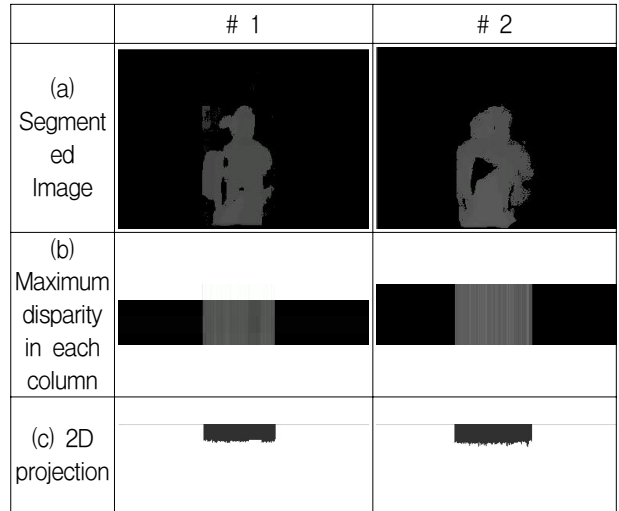


그림 8. 분할된 얼굴 영역과 그에 따른 2차원 공간지도
Fig. 8. Segmented face region and 2D Spatial coordinates.

표 1. 검출된 작업자의 좌, 우 쪽에 대한 계산치와 측정치

Table 1. Calculation and Measurement for width between left and right of detected pedestrian.

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	50.9225	50.05	1.75

표 2. 시차지도와 원근변환을 이용하여 검출된 실제 좌표

Table 2. 3D coordinates detected by disparity and perspective transformation.

3D parameter	Frame	Object (1)	Object (2)	Object (3)
Distance	# 1	386	268	344
	# 2	260	420	283
Width	# 1	40	45	42
	# 2	38	50	32
Height	# 1	89	178	48
	# 2	90	173	178

또한, 그림 8 (b)는 열(column)마다 존재하는 최대 시차를 나타낸 것이고, 그림 8의 (c)는 그에 따른 검출된 작업자의 폭(X)과 카메라간의 거리(Z)를 나타낼 수 있는 2차원 공간 좌표(X, Z)를 나타낸 것이다.

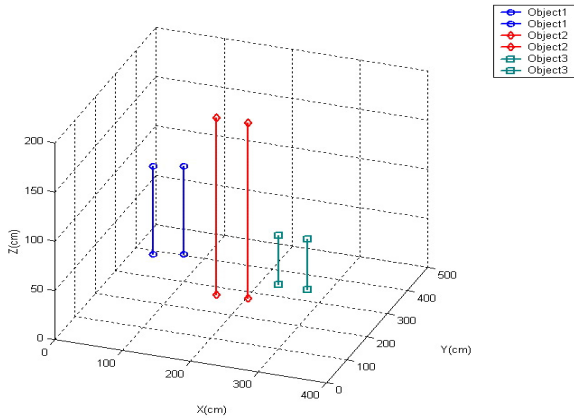


그림 9. 추정된 물체들의 3차원 공간지도
 Fig. 9. 3D plot of the estimated locations of objects.

표 1은 그림 8의 (a)에서 분리된 시차지도를 토대로 산출된 작업자의 폭과 실제 측정한 값과의 오차를 나타낸 것으로 평균 오차가 1.8% 이하로 유지되고 있는 것을 알 수 있다.

표 2는 검출된 2차원 공간 좌표(X, Z)을 토대로 AGV의 경로 계획을 위해 사용될 카메라 시스템으로부터 얼굴 영역까지의 거리 및 작업자의 좌, 우 폭을 나타낸 것이다.

따라서 표 2와 같이 AGV과 작업자간의 위치 관계를 분석할 수 있는 2차원(X, Z) 공간 좌표를 검출함으로써 AGV의 주행 경로를 추정하게 된다. 그림 9는 표 2를 이용하여 검출된 AGV 전방에 존재하는 3개의 물체들의 3차원 좌표값과 각 물체간의 상대좌표를 3차원 공간 상에 나타낸 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 산업용 AGV 시스템의 보다 지능적인 경로 계획을 위한 평행식 스테레오 카메라에 기반을 둔 작업자 식별 및 회피를 위한 2D 공간 지도 구성 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 통해 산출된 2차원 공간좌표는 검출된 작업자의 위치좌표와의 관계를 통해 작업자의 폭과 실제 측정한 값과의 오차가 평균 1.8% 이하로 유지되었으며, 작업자와 장애물 상호간의 상대적인 거리까지도 분석이 가능하고, AGV 시스템의 충돌위험을 조기에 대처할 수 있는 효율적인 주행 경로를 추정함으로써 실질적인 산업용 AGV 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] T. Kanade, A. Yoshida, K. Oda, H. Kano, and M. Tanaka, "A stereo machine for video-rate dense depth mapping and its new applications" Proc. of IEEE CVPR '96, pp. 196-202, 1996.
- [2] 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.
- [3] K. H. Bae, J. S. Koo, E. S. Kim, "A New Stereo Object Tracking System using Disparity Motion Vector", *Optics Communications*, vol.221, no 13, pp.23-35, 2003.
- [4] James Black, Tim Ellis, "Multi-camera image measurement and correspondence", *Measurement*, vol. 32, pp.61-71, 2002.
- [5] J. H. Ko, E. S. Kim, "Stereoscopic Video Surveillance System for Detection of Target's 3D Location Coordinates and Moving Trajectories", *Optics Communications*, Vol. 266, pp. 67-79, 2006.
- [6] D. Murray and Anuo Basu "Motion tracking with an active camera", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 5, pp. 449-459, 1994.
- [7] 고정환, "산업용 AGV 시스템의 적응적 경로설정을 위한 지능형 시각 시스템의 구현", *대한전자공학회 논문지(IE)*, vol. 46, no. 1, pp. 23-30, 2009.
- [8] 서준원, 노희정, 원영진, "스테레오 비전 시스템을 이용한 문자 특징 추출", *대한전자공학회 논문지(TE)*, 40권, 4호, 41-47쪽, 2003년.
- [9] Cucchiara. R, Perini. E and Pistoni. G, "Efficient Stereo Vision for Obstacle Detection and AGV Navigation", *ICIAP 2007*, vol. 14, pp. 291-296, 2007.
- [10] <http://www.ptgrey.com/products/stereo.asp>

저 자 소 개

고 정 환(정회원)
 현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 조교수
 대한전자공학회논문지 제48권 IE편 제4호 참조