

논문 2017-54-4-15

지능형 무인반송시스템을 위한 적응적 경로설정

(An Adaptive Path-Planning for Intelligent AGV System)

고 정 환*

(Jung-Hwan Ko[Ⓢ])

요 약

본 논문에서는 실제 공장환경에서 상용화되고 있는 AGV 시스템의 효과적이고 지능적인 경로설정을 위한 스테레오 카메라 시스템 기반의 지능형 시각 시스템을 제안하였다. 즉, 평행식 스테레오 카메라를 이용하여 좌, 우 입력 영상간의 시차지도와 깊이정보를 검출하고, AGV 시스템과 장애물간의 거리와 위치좌표인 2차원 경로좌표를 산출하여 장애물과 다른 물체들과의 상대 거리를 산출하였다. 산출된 2차원 경로좌표를 토대로 AGV 시스템의 효과적이고 지능적인 경로설정에 따라 자율적으로 주행하게 된다. 실 시간적으로 입력되는 스테레오 영상을 사용하여 실험한 결과 AGV 시스템과 전방에 존재하는 장애물까지의 거리 오차가 평균 2% 이하로 유지됨으로써 AGV 시스템의 실제 상용화 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, the intelligent vision system for an effective and intelligent path-planning of an industrial AGV system based on stereo camera system is proposed. The depth information and disparity map are detected in the inputting images of a parallel stereo camera. The distance between the industrial AGV system and the obstacle detected and the 2D path coordinates obtained from the location coordinates, and then the relative distance between the obstacle and the other objects obtained from them. The industrial AGV system move automatically by effective and intelligent path-planning using the obtained 2D path coordinates. From some experiments on AGV system driving with the stereo images, it is analyzed that error ratio between the calculated and measured values of the distance between the objects is found to be very low value of 2% on average, respectably.

Keywords : AGV(Automatic Guided Vehicle), Stereo Camera, Depth Map, 2D path coordinates

I. 서 론

일반적으로, 자동화를 채용한 기업에서도, 대부분 웨도나 사전에 설치된 유도라인을 따라 이동되는 AGV (Auto mated Guided Vehicle)를 활용하고는 있으나, 이러한 수단에는 웨도나 가이드의 시공, 경로변경이나 새로운 목적지의 증설에 많은 코스트와 수고가 뒤따르게 되며, 특히 반도체, 디스플레이, 2차 전지, 나노기술 제품 생산기업에서는 클린 환경을 위해 유도라인의

매설에 심각한 제한적 요소가 작용되고 있다^[1].

이를 극복하기 위해 자기위치 인식기술과 상대좌표 인식기술을 이용한 유도기술이 활용되고 있으며, 주로 LASER 유도, 초음파유도, Stargazer 등 실내측위 기술이 활용되고 있으나, 기 경쟁기술들은 주요 구성에 필요한 부품과 시스템 엔지니어링 비용이 고가이며, 또한 정밀 위치제어, 고속주행, 회전주행 등 여러 가지 제약 조건 존재하여, 특수목적용을 제외하면 시스템의 보급화가 어려운 한계점에 있다. 따라서 이러한 AGV 시스템의 시각성능을 극대화하기 위해서는, 표적의 위치정보와 정확한 표적인식을 위한 거리정보의 검출을 통해 AGV 시스템에 장착된 카메라로부터 받아들인 영상의 자체적인 분석은 물론 인식과 추적이 가능한 AGV 시

* 평생회원, 인하공업전문대학 메카트로닉스과
(Department of Mechatronics, Inha Technical College)
© Corresponding Author (E-mail : jhko@inhac.ac.kr)
Received ; November 19, 2016 Revised ; December 7, 2016
Accepted ; March 22, 2017

시스템을 위한 비전 기술이 필요하고 결과적으로 이를 위한 지능형 카메라 시각 시스템의 구현이 요구된다^[2-3]. 또한, AGV 시스템의 유연성을 증가시키기 위해 다양한 환경에서 물체를 인식할 수 있는 신뢰도나 명료성, 획득된 영상에 대한 처리속도 그리고 조명의 용이성이 요구되어 이러한 요구조건을 충족하기 위해 많은 방법이 연구되었으나 낮은 해상도의 이진 영상처리, 구조적 조명과 같은 개발 초기의 방법들은 현재의 복잡한 산업계에 적용하기에는 그 한계점에 이르렀다. 따라서, 인식하고자 하는 물체가 배경 잡음뿐만 아니라 전경 잡음에 의해 왜곡되거나 신호 대 잡음비(SNR)가 극히 작은 경우에도 매우 높은 물체인식 성능이 필요하다. 따라서 시각을 산업용 AGV 시스템에 응용하기 위해서는, 복잡한 주변 환경을 인식하거나 물체를 완전하게 재구성하기 보다는 목적에 적합한 물체의 3차원 위치, 크기 및 방향 등과 같은 간단한 3차원 정보를 빨리 알아내는 일이 필요하다^[4]. 따라서 본 논문에서는 스테레오 비전의 양안시차 원리를 이용하여 전방에 존재하는 이동 물체 및 장애물 등을 인식하고, 3차원 좌표값을 얻어 효과적이고 지능적인 경로를 설정이 가능한 2차원 경로설정 및 추정 기법을 제안하고자한다. 즉, 스테레오 비전의 양안시차 원리를 이용하여 전방에 존재하는 이동 물체 및 장애물 등을 인식하고, 3차원 정보를 얻어 AGV 시스템이 효과적이고 지능적인 경로를 설정을 할 수 있는 2차원 경로좌표 검출 기법을 사용하였다. 실험결과 장애물과의 거리 오차가 2% 이하를 유지하고, 2차원 경로좌표를 토대로 AGV 시스템의 지능적인 경로설정 및 판단에 따라 자율적으로 주행함으로써 스테레오 카메라 시스템의 2차원 경로좌표 검출에 기반을 둔 산업용 AGV 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

II. 제안된 적응적 경로 설정 기법

일반적으로 AGV 시스템에서 경로설정 및 주행을 제어하기 위해서는 전방 시야에 존재하는 적재되어있는 물류들이나 장애물의 위치를 검출하고 판독하여 충돌 없이 장애물을 피해서 이동해야 한다. 특히 보행자나 이동물체가 나타났을 경우에는 경보음을 내는 등 시스템이 목적지까지 안전한 주행을 될 수 있는 경로를 찾아내야 한다^[9]. 지능형 카메라 시각 시스템을 AGV 시스템에 응용하기 위해서는 복잡한 주변 환경을 인식하거나 물체를 완전하게 재구성하기 보다는 이동하는 목

적에 적합한 물체의 3차원 위치나 크기 및 방향 등과 같은 간단한 3차원 정보를 빠른 방법으로 알아내는 것이 필요하다.

그림 1은 본 논문에서 제안한 AGV 시스템의 경로 검출을 위한 스테레오 카메라 기반의 2차원 경로좌표 검출의 흐름도를 나타낸 것이다.

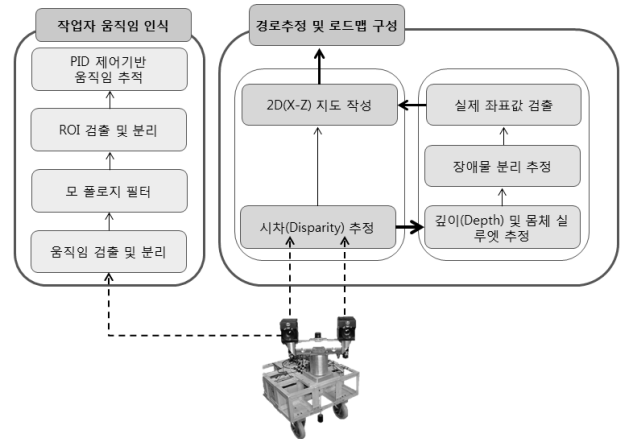


그림 1. 스테레오 시차를 이용한 2차원 경로좌표 구성의 흐름도

Fig. 1. Flowchart for composition of 2D spatial map using a stereo disparity.

첫 번째 단계에서는 AGV 시스템에 장착된 평행식 스테레오 카메라로 획득한 좌, 우 영상에서 폐색영역(occlusion region)을 검출한다. 검출된 폐색영역을 제외한 좌, 우 후보 영역에서 스테레오 영상 정합을 위한 일치점을 트리(tree) 구조 및 MAD 비용함수를 이용하여 시차지도(disparity map)를 작성하게 된다.

두 번째 단계에서는 검출된 시차지도와 카메라 좌표계 간의 기하학적 관계를 이용하여 3차원적인 깊이정보와 실제좌표를 산출한다. 일반적으로, 입체영상의 시차지도에서 광축 교차점의 시차값은 0이므로 표적물체는 영상의 중심에서 0에 가까운 시차값을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 스테레오 영상의 시차지도를 이용하여 표적물체와 배경 또는 전경과의 시차의 크기 차이를 이용하여 시차지도에서 배경 분리를 통해 표적물체의 영역을 검출하였다. 스테레오 영상에서 시차를 추출하는 다양한 방법들이 제시되고 있지만, 본 논문에서는 식 (1)과 최소 평균절대오차(MAD: minimum mean absolute difference) 함수를 이용하여 기준 영상의 마스크 영역과 입력 영상 간의 일치정도를 검사하였다^[5].

$$MAD(i, j) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{m=1}^{N_x} \sum_{n=1}^{N_y} |I_L(m, n) - I_R(m+i, n+j)| \quad (1)$$

식 (1)에서 N_x, N_y 는 블록의 크기를, $I_L(m, n), I_R(m+i, n+j)$ 은 좌측영상의 좌표와 그것에 대응되는 우측영상의 좌표를 각각 나타낸 것이다.

그림 2는 입력된 에피플라 선상의 대응되는 블록을 알아보기 위한 복도(corridor) 영상의 일부분을 나타낸 것이다. 여기서 예측하고자 하는 영상을 N_x, N_y 크기의 블록으로 나눈 후, 시차의 수평 성분만 고려하여 에피플라 선상에 존재하는 일정한 탐색 범위($\pm S_x$)내의 블록에서 일치점을 찾는 과정을 보여주고 있다^[10].

그림 2는 스테레오 영상의 일치점(correspondence point)을 결정하기 위한 전 처리 과정으로 좌, 우 영상의 최대 유사성(maximum similarity)을 갖는 열을 검출하고, 좌, 우 영상에서 그 열까지 폐색(occlusion)영역 시작점을 구별하여 폐색 영역은 무시한다^[6].

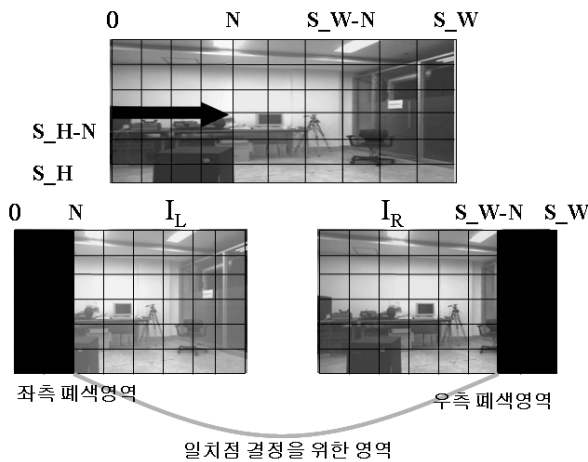


그림 2. 전 처리 과정에 대한 도식화
Fig. 2. Diagram for pre-processing stage.

그림 2에서 I_L 과 I_R 은 각각 좌, 우 영상을 나타낸 것이고, S_H 와 S_W 는 각각 영상의 세로와 가로 크기이며, N 은 최대 유사성을 갖는 열을 검출하기 위한 탐색 범위를 나타낸 것이다. 이러한 전처리 과정이 완료하고 식 (2)을 통해 일치점 영역을 검출하면 다수의 일치점이 얻어진다. 식 (2)는 일치점 검출을 위한 것으로, M 은 일치점을 결정하기 위한 범위를 나타내고, T 는 일치점임을 판별하는 임계값이며, N 은 폐색 영역을 나타낸 것이다.

$$S_{(j,i)} \ni [abs(I_R[j][i+m] - I_L[j][i-N])|_{m=0}^M < T] \quad (2)$$

(If, $0 \leq S_{(j,i)} \leq S_W$)

그림 3은 평행식 카메라에 대한 영상 기하학을 나타낸 것이다. 일반적으로 본 논문에서 사용한 평행식 카메라는 카메라 교정(calibration) 과정과 깊이(depth) 정보의 결정 과정을 단순화 하기 위해 양쪽 카메라의 수평 주사선이 기준선과 평행한 카메라를 의미한다^[7].

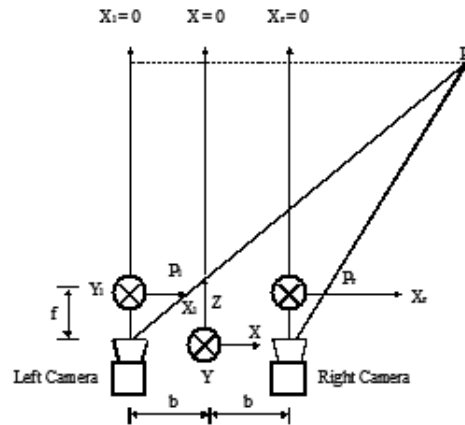


그림 3. 평행식 카메라 좌표계
Fig. 3. Parallel stereo camera coordinates.

그림 3에서 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, 깊이 정보 Z_p 는 스테레오 영상으로부터 시차가 결정됨에 따라 식 (5)를 통해 쉽게 산출될 수 있다^[7].

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

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

또한, 3차원 공간상의 물체점 P 의 좌표, X_p 와 Y_p 는 x_l, y_l 과 거리 Z_p 로부터 식 (6)과 (7)로 나타낼 수 있으며, 이는 AGV 시스템의 전방 시야에 존재하는 보행자는 물론 장애물의 실제 3차원적 위치 좌표를 검출하는데 이용된다^[7].

$$X_p = \frac{Z_p}{f} x_l - b \tag{6}$$

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

그림 4는 AGV 시스템 전방에 존재하는 모든 물체들과의 상대위치 관계를 분석하기 위해 식 (5)에서 검출된 전체 깊이지도의 각각의 열에 존재하는 최소값의 검출을 통해 구성된 2차원 공간좌표(X, Z)의 검출과정을 나타낸 것이다^[8].

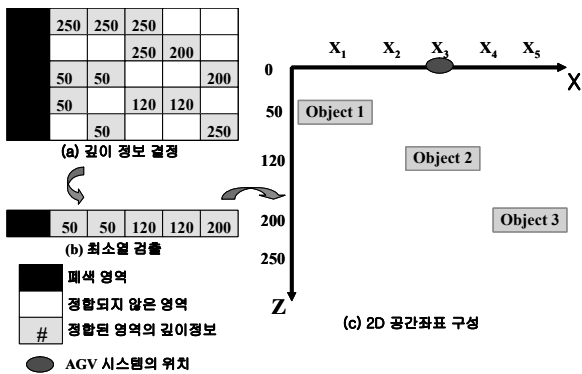


그림 4. 2차원(X, Z) 공간좌표의 검출 과정에 대한 도식화
Fig. 4. Detection of 2D(X-Z) spatial map.

따라서, 그림 4를 통해 구성된 2차원 공간좌표는 AGV 시스템과 전방에 존재하는 장애물들 각각의 거리 검출은 물론, 식 (6)과 (7)을 통해 물체들 상호간의 상대적인 거리까지도 분석이 가능함으로써 AGV 시스템의 충돌위험을 조기에 대처할 수 있는 효율적인 주행 경로 계획(path planning)을 추정할 수 있다.

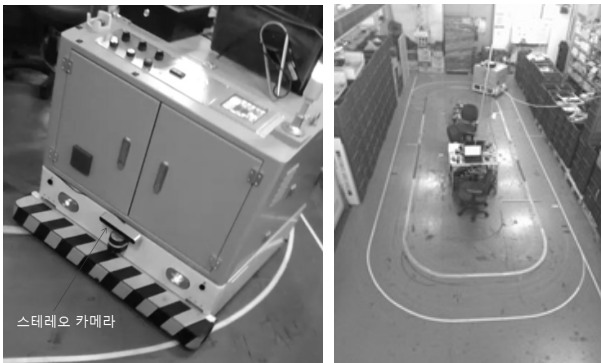


그림 5. 실험에 사용된 AGV 시스템
Fig. 5. AGV system used the experiment.

III. 실험 및 결과분석

본 실험에서는 그림 5와 같이 실제 공장환경에서 평행식 스테레오 카메라가 탑재된 상용화된 (주) 대성에스이의 AGV 시스템^[9]을 이용하였으며, 이를 위한 평행식 스테레오 카메라인 Stereolabs Inc.의 ZED^[10]와 2GB 메모리와 2.6GHz의 CPU를 탑재하여 640×480 픽셀의 해상도와 25frame/sec의 촬영속도를 가지고 실험을 수행하였다.

특히, 실험에 사용된 AGV 시스템은 그림 6과 같이 전방 7.75m 지점 및 R800의 회전 반경을 목표점으로 설정하였고, 최대 속도는 20m/min로 제한하였으며, 직선 구간 및 곡선 구간과 전방 장애물의 인식 여하에 따라 AGV의 속도를 제어하며 실험에 사용하였다.

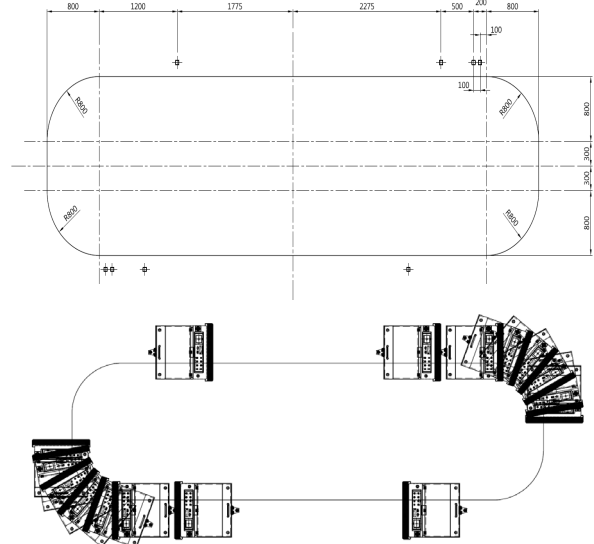


그림 6. AGV 시스템의 주행 동선 크기
Fig. 6. Route size of AGV system.

스테레오 비전 기반의 로드맵 기술 개발을 위해 Labview 2014 및 Labview Vision Assistant를 이용하여 그림 7과 같이 사용자 인터페이스(UI 프로그램)를 구성하였으며, 이를 통해 스테레오 비전의 선행적 알고리즘인 깊이지도(Depth Map) 및 이를 통한 AGV의 로드맵 구성을 위한 2차원(X-Z) 공간지도를 구성하고 있으며, AGV 시스템의 기본 제어기인 PLC 시스템과의 상호 통신을 위한 모듈도 포함되어 있다.

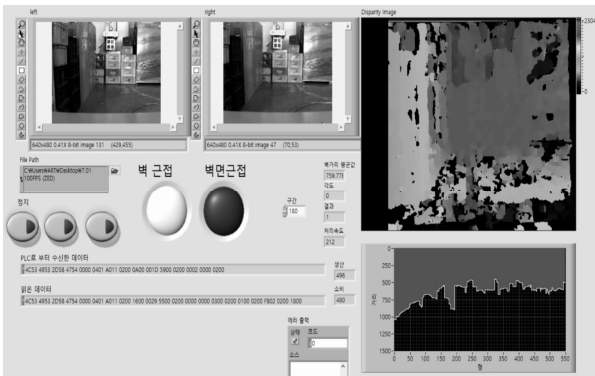


그림 7. 개발된 UI(User Interface) 프로그램
Fig. 7. Developed UI(User Interface) program.

그림 8은 실험에 사용된 스테레오 영상 프레임 중 임의의 4 프레임을 나타낸 것으로, 실시간으로 입력되는 640×480의 그레이 레벨 영상을 나타낸 것이다.

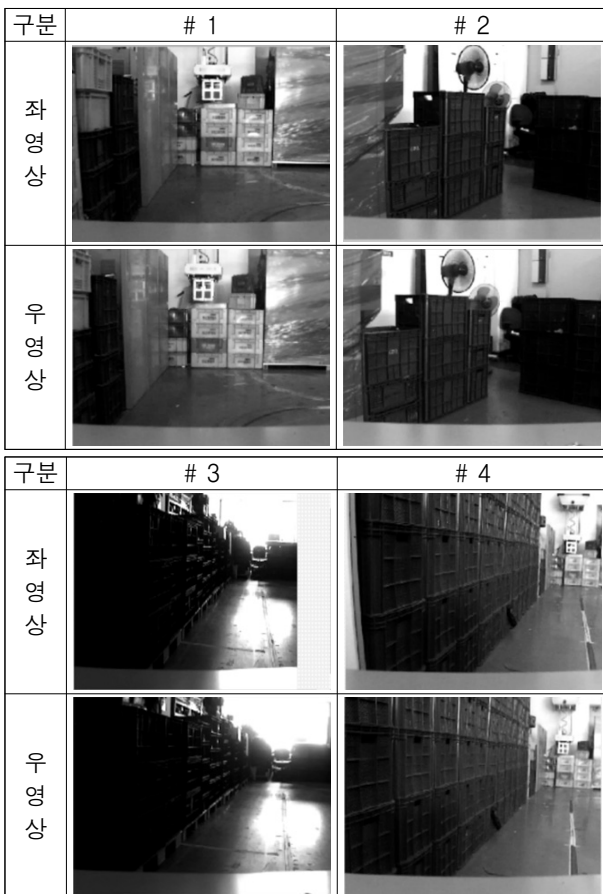


그림 8. 실시간으로 입력된 스테레오 영상
Fig. 8. Real time stored stereo image.

본 논문에서는 식 (4)에서 요구되는 초점 거리(f)와 기준선(b)은 평행식 스테레오 카메라로 사용된 ZED의 자체 사양인 4mm의 초점거리와 120mm의 기준선을 적

용하여 깊이 정보검출에 이용하였다. 제안한 알고리즘 및 시스템은 미리 설정된 유도라인의 주행 도중 스테레오 카메라 시야에 나타나는 이동 물체나 측면에 존재하는 장애물 각각의 절대좌표 및 상대좌표를 자체적으로 검출하여 AGV 시스템의 충돌위기를 조기에 대처함으로써 효과적이고 지능적인 경로설정을 수립하는 것이 최종 목표이다.

그림 9는 좌측영상과 깊이지도를 보여준 것으로 폐색 영역과 정합되지 않은 영역으로 인해 드문드문 채워진 지도를 나타낸 것이다. 그림 9에서 검정색 영역은 폐색 영역이거나 정합되지 않은 영역이며, AGV 시스템으로부터 가장 가까운 장애물의 경우 녹색으로 표현된 95cm 이었으며, 가장 먼 거리에 있는 장애물은 청색으로 3m로 검출됨을 알 수 있다.

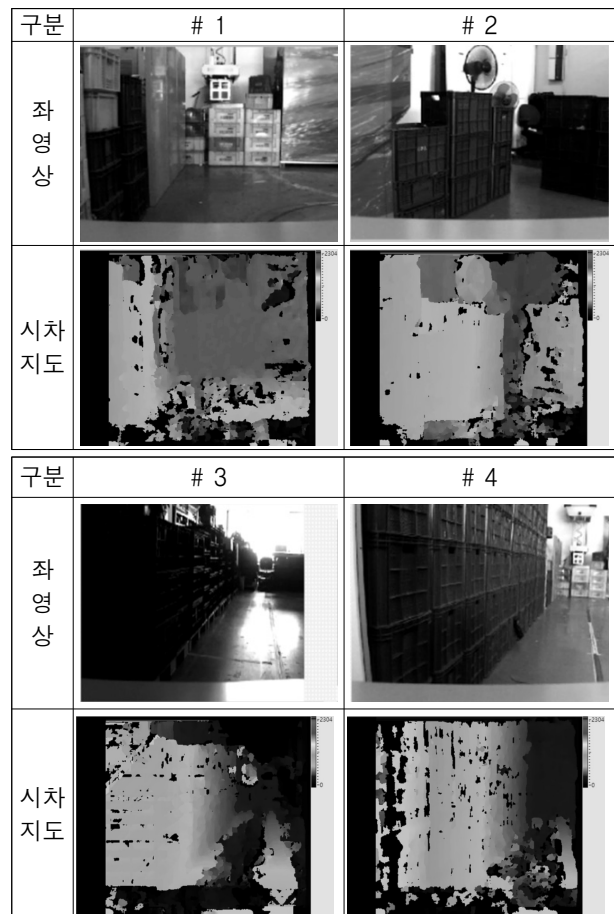


그림 9. 좌측 입력영상과 검출된 깊이지도
Fig. 9. Left input image and detected depth map.

또한, 3m를 초과하는 경우에는 결정할 수 없는 배경 영상으로 간주하여 현재 프레임의 장애물 통과 후 차후 검출 대상 영역으로 설정하였다. 따라서 검출된 깊이지

도의 최소열에 있는 값을 그 점에서의 수직거리로 간주하여 X 좌표의 산출을 유도할 수 있으며, 이는 이동 물체 및 장애물의 실제 좌·우 폭을 산출하고 장애물간의 거리를 산출하는데 이용되며, 그림 10은 AGV 시스템의 전방 시야의 장애물에 대한 좌, 우 폭을 의미하는 X좌표와 수직거리를 의미하는 Z좌표로 구성된 2차원 공간 지도를 구성함으로써 장애물과의 충돌 없이 안전한 주행을 위한 판단 근거로 이용된다.

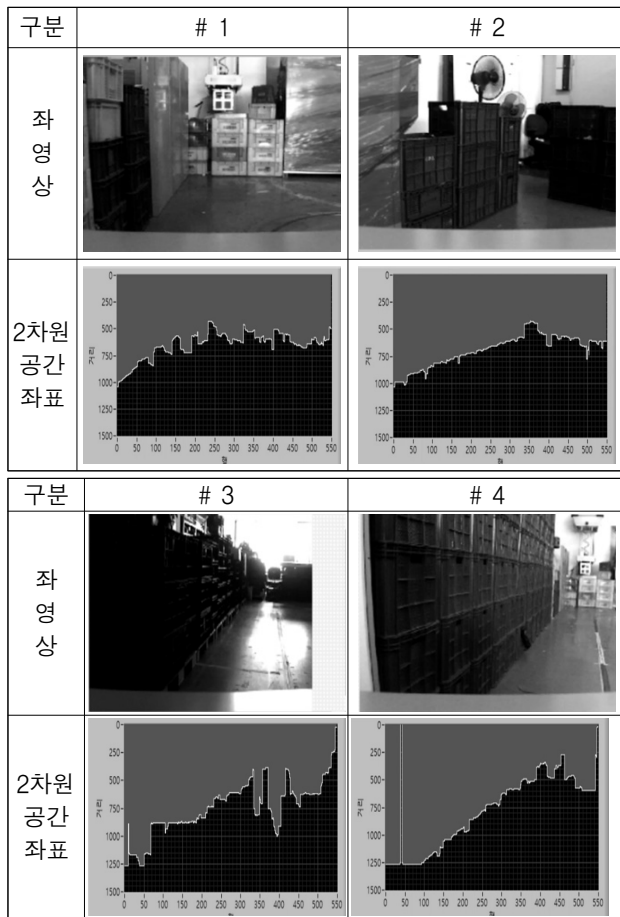


그림 10. AGV 시스템의 경로설정을 위한 경로좌표
Fig. 10. Spatial map for path-planning of AGV system.

표 1은 AGV 시스템의 효과적인 경로설정을 위해 그림 11을 통해 검출된 경로좌표로부터 AGV에 장착된 스테레오 카메라 시스템과 전방 시야의 가장 멀리 있는 장애물간의 거리를 나타낸 것이다.

표 1에서보면, 본 논문에서 제안한 깊이정보와 카메라 내부 변환관계를 통해 검출된 2차원 경로좌표의 오차는 평균 2% 미만의 작은 오차가 존재함을 알 수 있는데, 이는 불규칙한 조명, 동일하지 않은 영상밝기 및 좌, 우 영상 간에 존재하는 폐색영역에 따른 오류를 감안할 때, 우수한 실험결과로 분석된다.

표 1. AGV 시스템과 장애물간 상대거리에 대한 계산치와 측정치

Table1. Measured and calculated value of relative distance between AGV system and object.

프레임	전방 물체 거리 (cm)		오차율 (%)	평균 [%]
	계산치	측정치		
# 1	464.5	459.8	1.011841	1.31
# 2	332.6	327.8	1.443175	
# 3	718.9	710.6	1.154542	
# 4	641.4	630.9	1.637044	

그림 11은 그림 10의 2차원 공간좌표를 통해 미리 설정된 AGV 시스템의 유도 경로를 따라 주행하였을 경우의 오차를 나타낸 것이며, 타원형의 유도 라인을 4회 진행하였을 경우를 각각 나타낸 것이다.

즉, AGV 시스템의 모터 엔코더에 따른 유도 라인의 좌, 우 이탈 정도를 차트를 통해 보여준 것이며, 각각의 지점에서 존재하는 피크(peak) 및 지점별 간격을 고려할 때 2% 미만의 오차율을 보여주고 있다.

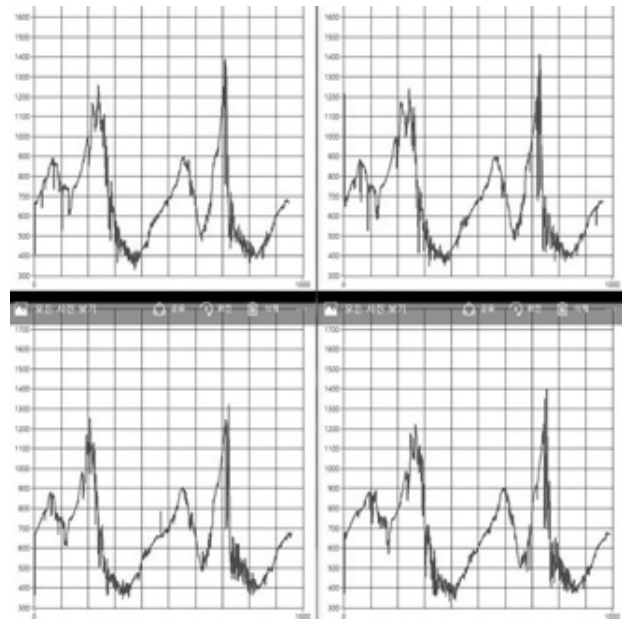


그림 11. AGV 시스템의 주행 경로 오차
Fig. 11. Driving path-error of AGV system.

IV. 결 론

본 논문에서는 실제 공장환경에서 구동되는 AGV 시스템의 보다 효과적이고 지능적인 경로 설정을 위해 평행식 스테레오 카메라 기반의 지능형 시각 시스템을 제안하였다. 즉, 제안된 알고리즘을 통해 AGV 시스템이 장애물과 충돌 없이 안전한 주행을 하기 위한 경로설정

을 위해 검출된 스테레오 정보로부터 장애물의 위치좌표와 상대적 거리까지 검출하여 2차원 경로좌표를 구성하였다. 실험결과 장애물과의 거리 오차가 2% 이하를 유지하고, 2차원 경로좌표를 토대로 AGV 시스템의 지능적인 경로설정 및 판단에 따라 자율적인 주행함이 가능함을 분석하게 되었고, 이를 통해 본 논문에서 제안한 스테레오 카메라 기반 AGV 시스템의 상용화 가능성을 제시하였다.

REFERENCES

- [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. Fujimoto, H. Muro, N. Shimomura, T. Oki, K. Maeda, Y. Kishi and M. Hagino, "A study on pedestrian detection technology using stereo images", JASE Review, vol. 1, pp. 1-3, 2002.
- [4] James Black, Tim Ellis, "Multi-camera image measurement and correspondence", Measurement, vol. 32, pp. 61-71, 2002.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Jong Shill Lee, Eung Hyuk Lee, In Young Kim, and Sun I. Kim, "Vision-based Obstacle Detection using Geometric Analysis", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 43, no. 3, pp. 8-15, 2006.
- [8] Jung-Hwan Ko, "2D Spatial-Map Construction for Workers Identification and Avoidance of AGV", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, vol.49, no. 3, pp. 41-47, 2012
- [9] <http://www.e-agv.com>
- [10] <https://www.stereolabs.com>

저 자 소 개

고 정 환(평생회원)

현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 부교수
대한전자공학회논문지 제53권 제4호 참조