

로봇의 시각시스템을 위한 물체의 거리 및 크기 측정 알고리즘 개발

Development of a Robot's Visual System for Measuring Distance and Width of Object Algorithm

김 회 인, 김 갑 순*
(Hoi In Kim¹ and Gab Soon Kim¹)
¹Gyeongsang National University

Abstract: This paper looks at the development of the visual system of robots, and the development of image processing algorithm to measure the size of an object and the distance from robot to an object for the visual system. Robots usually get the visual systems with a camera for measuring the size of an object and the distance to an object. The visual systems are accurately impossible the size and distance in case of that the locations of the systems is changed and the objects are not on the ground. Thus, in this paper, we developed robot's visual system to measure the size of an object and the distance to an object using two cameras and two-degree robot mechanism. And, we developed the image processing algorithm to measure the size of an object and the distance from robot to an object for the visual system, and finally, carried out the characteristics test of the developed visual system. As a result, it is thought that the developed system could accurately measure the size of an object and the distance to an object.

Keywords: robot's visual system, multi camera, image processing, distance measurement, visual system calibration

I. 서론

인간형 로봇, 이동로봇 등이 인간과 같이 안전하게 이동하기 위해서는 도로의 폭, 도로 위의 장애물(물체)의 크기와 거리 등을 알아야 하고, 가정, 공장, 사무실 등에서 사람이 지시하는 작업을 수행하기 위해서 또한 물체의 크기와 거리를 정확하게 측정해야 한다. 이를 위해 사용되는 시각시스템으로는 카메라, 레이저센서, 초음파센서 등이 있는데 카메라가 가격이 저렴하고 비교적 정확하게 물체를 인식할 수 있어 가장 많이 사용하고 있다.

[1]은 카메라 1대를 이용하여 실외환경에서 이동로봇이 물체를 찾는 영상처리 프로그램을 제작하였고, 이것은 바닥에 놓인 물체의 거리나 크기를 판단할 수 있으나 물체가 공중에 있거나 멀리 있을 경우에는 거리 및 크기를 측정하지 못하는 단점이 있다. [2]는 역시 카메라 1대를 이용하여 바닥 면에 놓인 물체의 거리와 크기를 측정할 수 있는 이동로봇의 시각시스템을 설계 및 제작하였고, 시각시스템의 교정방법을 제시하였으며, 이 시각시스템은 이동로봇이 도로상에 놓인 물체의 크기와 거리를 측정하는데 유용하게 사용할 수 있으나 카메라의 고정위치를 변경할 경우에는 교정을 다시 해야 하고, 놓은 위치에 있는 물체의 크기와 거리는 측정할 수 없다는 문제점이 있다. [3]은 카메라에 부착된 블록렌즈로부터 발생하는 영상의 왜곡을 보정해 주는 카메라 교정방법(camera calibration method)을 제시하였다. [4]는 2대의 카메라를 이용하여 목표 물체를 찾아내는 프로그램을 제작 하였으나 물체의 거리와 크기를 동시에 파악하는 알고리즘은 개발되지 않았

다. [5-12]에서도 멀티 카메라를 이용하여 인간형 로봇의 시각시스템을 구성하였고, 이것들은 사람의 얼굴을 인식하고 인식된 사람의 말을 수행하는 기능, 물체의 크기와 거리 측정의 기능을 가진다. 그러나 이들 시각시스템들은 물체의 크기와 거리를 정확하게 측정할 수 없다. 그러므로 이동로봇, 인간형 로봇이 이동 및 작업을 위해 물체의 정확한 거리와 크기를 측정할 수 있는 시각시스템 개발, 알고리즘개발 및 프로그램 제작이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 실내의 환경에서 물체의 크기와 거리를 측정할 수 있는 시각시스템과 영상처리 알고리즘을 개발하였다. 카메라 2대와 모터 등을 이용하여 2자유도 기구를 가진 시각시스템을 개발하였고, 물체의 거리와 크기를 측정하는 영상처리 알고리즘을 개발 하였으며, 개발된 알고리즘을 이용하기 위해 영상처리 프로그램을 제작하였다. 그리고 개발한 시각시스템을 이용하여 물체의 크기와 거리를 측정하는 특성실험을 실시하였다.

II. 카메라 2대를 이용한 시각시스템의 물체의 거리 및 크기 측정의 원리

그림 1은 카메라 2대를 이용한 물체의 거리 및 크기를 측정하는 원리를 나타내고 있다. 그림 1(a)와 같이 카메라 1과 2를 평행하게 고정하고 물체를 카메라 1과 2로 순차적으로 촬영하면, 카메라 1의 영상은 그림 1(b)와 같이 물체의 중심이 사진의 중심으로부터 우측에 나타나고, 카메라 2의 영상은 그림 1(c)와 같이 사진의 중심으로부터 좌측에 나타난다. 이와 같이 2대의 고정된 카메라로 물체를 촬영하면, 사진의 중심으로부터 물체의 중심까지의 화소수(pixel)가 다르게 되고, 카메라로부터 물체까지의 거리가 가까우면 화소수는 많게 되고, 멀면 화소수가 적게 된다. 물체의 크기도 카메라와

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 11. 15., 수정: 2010. 12. 5., 채택확정: 2010. 12. 20.

김회인, 김갑순: 경상대학교 제어계측공학과, ERI
(goodfeel13@naver.com/gskim@gnu.ac.kr)

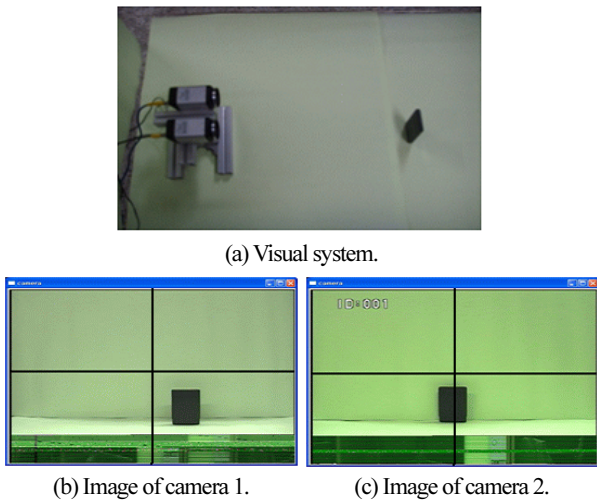


그림 1. 카메라 2대를 이용한 물체의 거리 및 크기 측정원리.
Fig. 1. Principle of distance and size of a object using two cameras.

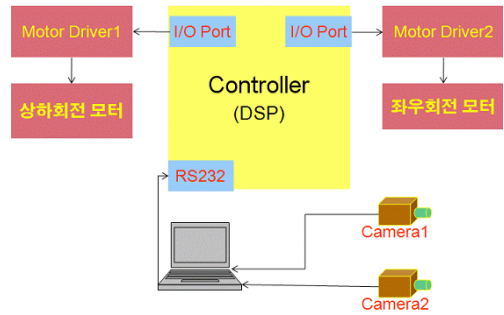
물체까지의 거리가 가까우면 화소수는 많게 되고, 멀면 화소수가 적게 된다. 카메라와 물체 사이의 거리 및 물체의 크기를 정확하게 측정하기 위해서는 카메라 자체의 영상왜곡 교정과 2대의 카메라로 구성되는 시각시스템을 교정해야 한다.

III. 로봇의 시각시스템

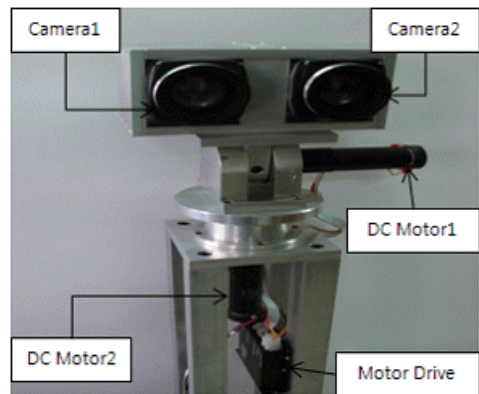
그림 2는 카메라 2대를 이용한 로봇의 시각시스템을 나타내고 있고, 이것은 카메라1(SDZ-375)과 2, 카메라 고정기구, 2자유도 로봇기구, 기동, 제어장치, 컴퓨터 등으로 구성되어 있다. 좌우회전기구는 기동과 고정되고, 기동은 이동로봇의 몸체에 고정된다. 2자유도 로봇기구는 카메라 좌우회전기구, 좌우회전 모터1(MAXON RE 30) 및 모터 드라이버(EPOS 24/5), 카메라 상하회전기구, 상하회전모터2(MAXON RE 30) 및 모터 드라이버(EPOS 24/5)로 구성되어 있다. 2대의 카메라는 카메라 고정기구에 카메라 중심선의 거리가 100mm떨어지도록 고정되었고, 고정기구는 2자유도 로봇기구의 상하회전기구에 고정되며, 이것은 상하회전모터에 의해 상하로 160°로 회전할 수 있다. 2자유도 로봇기구의 상하회전기구는 좌우회전기구에 연결되어 있고, 이것은 좌우회전모터에 의해 좌우로 360° 회전할 수 있다.

동작은 카메라를 동작시키면서 제어장치가 2자유도 로봇기구를 이용하여 카메라들을 좌우 및 상하로 조정하여 물체를 발견하고, 카메라 1과 2로 촬영된 영상들을 순차적으로 컴퓨터로 받아 영상처리를 하여 카메라로부터 물체까지의 거리 및 크기를 계산한다.

그림 3(a)는 DSP를 이용한 고속제어장치의 블록도이고, (b)는 제작된 고속제어장치이다. 이것은 DSP (Digital Signal Processor), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP (TMS320F2812(32bit/150MHz/150MIPS/150MMAC)는 128kword 용량의 플래시 롬(flash read only memory(ROM)), 1Mword 용량의 램(RAM: Random Access Memory) 등으로 구성되었다. 이것은 전원부로부터 3.3V와 1.8V의 전압을 받아 동작되고, 크리스탈로부터 30MHz의 클럭을 받아 내부에서 5배 증폭하여 150MHz로 동작하며, 내부플래시 롬 혹은 외부 확장램에 저장된 프로그램의 명령에 따라 DSP의 내부에 장착되어 있는



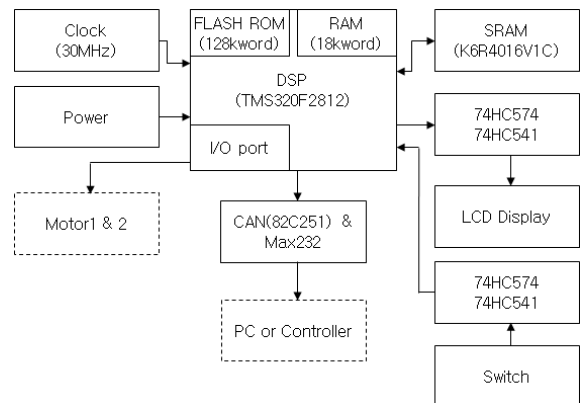
(a) Block diagram.



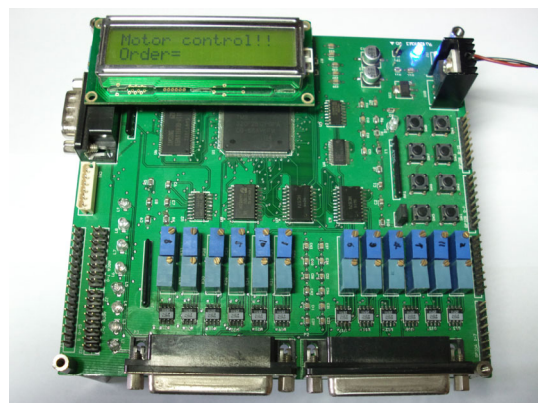
(b) Visual system.

그림 2. 카메라 2대를 이용한 로봇의 시각시스템.

Fig. 2. Visual system of robot using two cameras.



(a) Block diagram of high-speed controller.



(b) Manufactured high-speed controller.

그림 3. 고속제어장치.

Fig. 3. Manufactured high-speed measuring device.

주변장치들을 동작시킨다. 스위치의 동작에 따라 I/O (input/output) 포트 통해 펄스를 좌우 및 상하모터에 입력하고 한다. 그리고 통신부는 CAN (Controller Area Network) 통신과 RS232C 통신을 이용하여 컴퓨터나 다른 제어장치와 통신을 하고, 전원부는 DSP와 다른 주변장치들에 전압 9V, 5V, 3.3V, 1.8V를 각각 공급하고, 스위치부는 리셋 혹은 전원을 끄는데 사용된다.

IV. 카메라 왜곡 교정

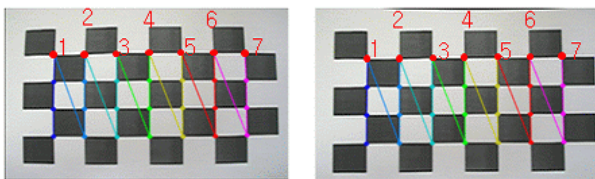
카메라를 이용하여 로봇의 시각시스템을 구성하고 이것을 이용하여 물체까지의 거리와 물체의 크기를 정확하게 측정하기 위해서는 먼저 카메라 렌즈에 의해 영상 화면이 왜곡되거나 굴절되는 현상이 발생되어 직선을 촬영하더라도 화면 상에서 직선이 왜곡되어 표현되는 것을 소프트웨어적으로 보정하는 교정을 해야 한다.

카메라의 왜곡보정은 체크보드와 같은 패턴 이미지를 여러 방향에서 찍어서 그 특징들을 이용하여 각 카메라의 파라미터들을 추출하여 실행한다[13].

그림 4(a)는 카메라 왜곡 보정에 사용된 이미지 패턴인 체크보드이고, (b)는 카메라 왜곡 보정 전 영상, (c)는 카메라 왜곡 보정 후 영상, (d)는 카메라 왜곡 보정 전과 후의 1-7까지 점들의 높이로 왜곡된 상태를 나타내주는 그래프이다. 교정 전에는 왜곡된 것으로 나타났고, 교정 후에는 일직선으로 나타났다. 이와 같이 일직선으로 나타난 것은 왜곡이 완전히 교정되었기 때문이고, 교정 후의 그래프가 화소수로 6개정도

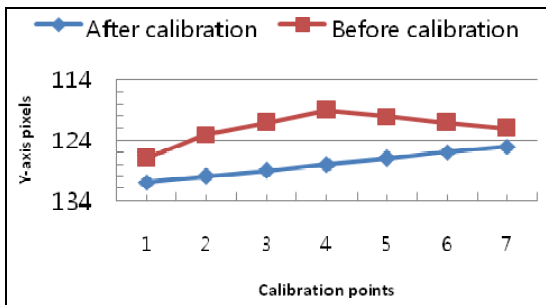


(a) Original check board.



(b) Image before calibration.

(c) Image after calibration.



(d) Graph of 1 to 7 point before calibration and after calibration.

그림 4. 카메라 영상의 교정.

Fig. 4. Calibration of camera image.

경사진 것은 사진을 촬영할 때 완전한 정면이 아니고 좌우로 미소하게 기울어졌기 때문이다. 따라서 본 논문에서 카메라 왜곡을 보정하는 프로그램은 로봇의 시각시스템을 위해 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

V. 시각시스템 실험장치

1. 시각시스템의 영상처리 알고리즘개발

그림 5는 본 논문에서 개발한 로봇의 시각시스템을 이용하여 물체의 거리와 크기를 측정하기 위한 영상처리 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 영상처리는 다음과 같은 순서로 진행된다. (1) 시스템을 초기화 한다. (2) 카메라 1과 카메라 2로부터 영상을 입력한다. (3) 각각의 카메라로부터 입력한 칼라영상을 흑백영상으로 변환한다. (4) 각각의 영상을 가우시안기법을 적용하여 스무딩한다. (5) 각각의 영상에서 물체를 찾는다. (6) 각각의 영상에서 물체의 중심점들을 찾는다. (7) 물체의 중심과 각각의 영상의 중심점을 비교한다. (8) 중심점들 간의 화소수를 이용하여 물체까지의 거리와 물체의 크기를 계산한다. (9) 종료한다.

2. 시각시스템의 교정

본 논문에서 개발한 로봇의 시각시스템을 이용하여 물체까지의 거리와 물체의 크기를 정확하게 측정하기 위해서는 시각시스템의 교정을 실시해야 한다. 그림 6은 로봇 시각시스템을 교정하기 위한 실험장치를 나타내고 있으며, 이것은 로봇 시각시스템, 이동로봇, 기준물체, 물체 고정대 등으로 구성되어 있다. 이동로봇은 로봇 시각시스템을 고정하고, 크기, 즉 폭이 630mm, 길이가 800mm, 높이가 1310mm이다. 기준물체는 시각시스템으로부터 물체까지의 거리와 물체의 크기를 교정하기 위해 사용되고, 크기는 직경이 240mm이다. 물체 고정대는 시각시스템으로 사진을 촬영할 때 기준물체의 정확한 위치에 고정하기 위해 사용되고, 크기는 폭이 480mm, 높이가 1880mm, 길이가 700mm이며, 이것은 상하로 700mm에서 1880mm까지 상하로 움직일 수 있다.

로봇 시각시스템의 교정을 위해서 시각시스템으로부터 기

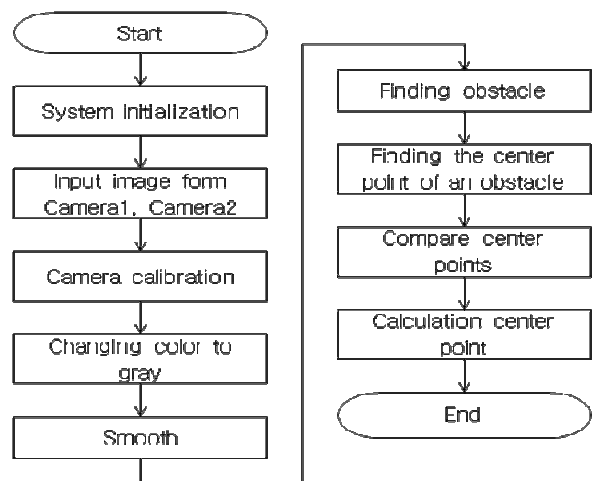


그림 5. 물체의 거리와 크기를 측정하기 위한 영상처리 알고리즘의 흐름도.

Fig. 5. Flow chart of image processing algorithm for measuring distance and width of object.

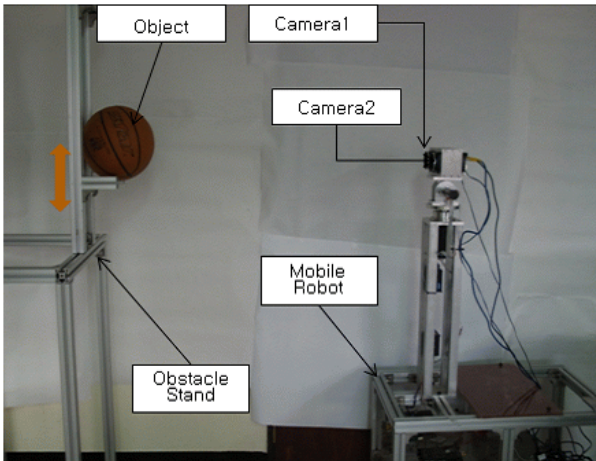
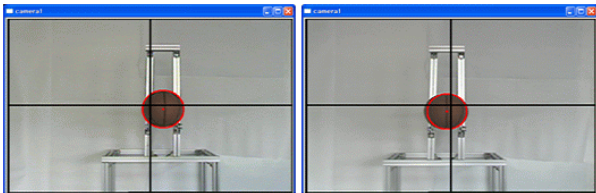


그림 6. 로봇 시각시스템을 교정하기 위한 실험장치.
Fig. 6. Experimental equipment for calibrating robot's vision system.



(a) Camera 1. (b) Camera 2.

그림 7. 2000mm에서 촬영한 카메라 1과 2의 영상.
Fig. 7. Images of camera 1 and camera 2 at distance 2000mm.

준물체까지의 거리를 2000mm에서 6000mm까지 1000mm 간격으로 이동시키면서 카메라 1과 2로 순차적으로 사진을 촬영하였다. 이때 영상은 가로방향으로는 1280의 화소수, 세로방향으로는 960의 화소수로 구성하였다. 그림 7은 시각시스템과 기준물체까지의 거리가 2000mm 떨어진 위치에서 촬영한 카메라 1과 2의 영상을 나타내고 있다. 카메라 1과 2의 중심과 기준물체의 중심이 다른 위치인 것을 알 수 있고, 이것을 화소수로 몇 개인가를 알아내어 물체까지의 거리와 물체의 크기를 알 수 있다.

그림 8은 시각시스템으로부터 2000mm에서 6000mm까지 1000mm 간격으로 기준물체를 촬영하여 영상처리 후 거리에 따른 화소수와 물체의 크기(넓이와 높이)에 따른 화소수를 나타낸 것이며, 실험결과는 거리는 1000mm당 12 화소수, 넓이와 높이는 24 화소수의 차이를 나타냈다. 이 결과를 이용하여 거리를 측정하는 일차방정식 (1)과 넓이와 높이를 측정하는 일차방정식 (2)와 (3)을 유도하였고, 이것을 이용하여 시각시스템으로부터 물체까지의 거리와 물체의 크기를 측정하는 프로그램을 제작하였다. 거리를 측정하는 식은 다음과 같다.

$$X = (129 - Y) \times 83.33 + 2000 \quad (1)$$

여기서 X는 시각시스템으로부터 물체까지의 거리이고, Y는 두 카메라 사이의 화소수의 차이다.

물체의 넓이(W)와 높이(H)를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$W = \{[(X - 2000) + 1000] / 24 + Z\} \times 2.07 \quad (2)$$

$$H = \{[(X - 2000) + 1000] / 24 + h\} \times 2.07 \quad (3)$$

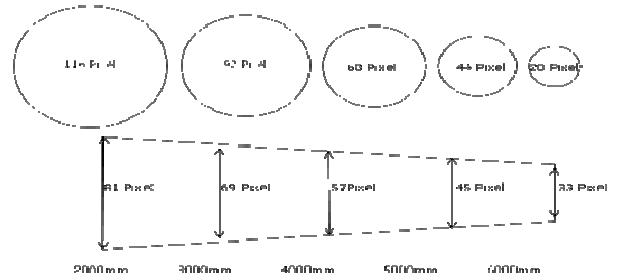


그림 8. 시각시스템과 물체사이의 거리와 물체 크기에 따른 화소수.

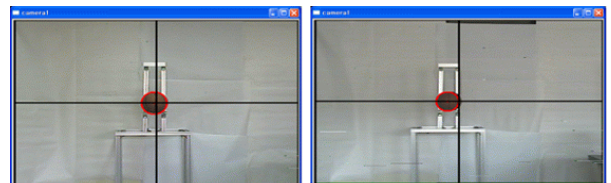
Fig. 8. Number of pixels according to size of object and distance between visual system and object.

여기서 Z는 물체 넓이의 화소수이고, h는 물체 높이의 화소수이다.

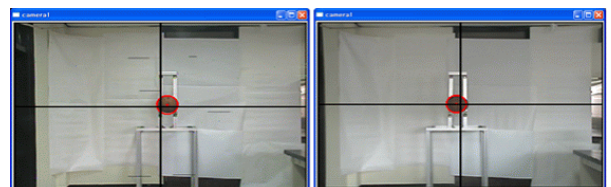
3. 시각시스템의 특성실험

개발된 로봇 시각시스템이 물체까지의 거리와 물체의 크기를 측정할 수 있는지를 평가하기 위해 특성실험을 실시하였다. 실험을 위해 직경이 240mm인 공을 시각시스템으로부터 물체까지의 거리는 각각 3500mm, 4500mm, 5500mm, 물체의 높이는 지면으로부터 1310mm의 위치에 놓고 시각시스템을 이용하여 각각 3회씩 측정하였다. 그림 9는 물체까지의 거리 및 물체의 크기를 측정하기 위한 영상처리 결과를 나타내고 있다.

표 1은 특성실험에서 측정한 물체까지의 거리와 물체의 크기를 나타내고 있고, 각각의 측정값은 3번을 측정한 후 평균한 것이다. 시각시스템으로부터 물체까지의 거리오차는 최대 0.79%이었고, 물체의 넓이와 높이의 최대오차는 1.11%이었다. 이 결과에 의하면 카메라의 왜곡 및 굴절 교정과 시각



(a) Image of camera 1 at 3500mm. (b) Image of camera 2.



(c) Image of camera 1 at 4500mm. (d) Image of camera.



(e) Image of camera 1 at 5500mm. (f) Image of camera.

그림 9. 물체까지의 거리 및 물체의 크기를 측정하기 위한 영상처리 결과.

Fig. 9. Result of image processing of distance and width of object.

표 1. 특성실험에서 측정된 거리와 크기의 결과.

Table 1. Measurement results of distance and size in characteristic test.

Real distance	3500mm		4500mm		5500mm	
	Dis (mm)	W/H (mm)	Dis (mm)	W/H (mm)	Dis (mm)	W/H (mm)
Test no.						
1	3500	242	4500	238	5583	240
2	3417	238	4500	242	5500	242
3	3500	240	4417	236	5500	240
Avg.	3472	240	4472	239	5527	241
Error (%)	0.79	0.7	0.61	1.11	0.5	0.27

시스템의 교정이 정확하게 이루어진 것으로 평가되며, 로봇이 이동시 장애물의 크기와 떨어진 거리를 비교적 정확하게 측정할 수 있을 것으로 생각된다.

VI. 결론

본 논문에서는 카메라 2대를 이용하여 로봇의 시각시스템을 개발하고 물체까지의 거리 및 물체의 크기를 측정할 수 있는 영상처리 알고리즘을 개발하였다. 개발한 시각시스템은 2자유도 로봇기구가 좌우로 360°, 상하로 160° 회전할 수 있고, 제작한 프로그램을 이용하여 물체까지의 거리 및 물체의 크기를 측정할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제작한 시각시스템은 인간형 로봇, 이동로봇 등이 이동시 장애물까지의 거리 및 물체의 크기를 측정하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 연구로는 다양한 환경에서 다양한 종류의 물체까지의 거리 및 물체의 및 크기를 정확하게 측정할 수 있도록 알고리즘을 개선하는 것이다.

참고문헌

[1] B. Y. Jung and G. S. Sukhatme, "Detectinmodet objects using a single camera on a mobile robot in an outdoor environment," *Proc. of the 8th conference on Itelligent Autonomous System.*, pp. 980-987, 2004.

[2] G. S. Kim, "Recognition method of small-obstacles using a camera for a mobile robot," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, vol. 23, no. 9, pp. 85-92, 2005.

[3] J. Y. Weng, P. Cohen, and M. Herniou, "Calibration of sereo cameras using a non-linear distortion model," *IEEE*, vol. 1, pp. 246-253, 1990.

[4] T. K. Nummiaro, E. K. Meier, T. Svoboda, D. Roth, and L. V. Gool, "Color-based object tracking in multi_camera environments," Springer Berlin/Heidelberg, vol. 2781, pp. 591-599, 2003.

[5] T. Xu, K. K'uhnlenz, and M. Buss, "A view direction planning strategy for a multi-camera vision system," *Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation*, pp. 320-325, Zhangjiajie, China, June 2008.

[6] M. J. Milford and G. F. Wyeth, "Single camera vision-only SLAM on a suburban road network," *2008 IEEE International*

Conference on Robotics and Automation, pp. 3684-3689, Pasadena, CA, USA, May 2008.

[7] W. Dai, A. Cuhadar, and P. X. Liu, "Robot tracking using vision and laser sensors," *4th IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, pp. 169-174, Washington DC, USA Aug. 2008.

[8] E. Schneider, S. Kohlbecher, T. Villgratner, K. Bartl, S. Bardins, T. Poitschke, H. Ulbrich, and T. Brandt, "Vision System for Wearable and Robotic Uses," *Proc. of the 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 53-58, Technische Universität München, Munich, Germany, Aug. 2008.

[9] X. Wang, Y. Zhang, X. Fu, and G. Xiang, "Design and kinematic analysis of a novel humanoid robot eye using pneumatic artificial muscles," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 264-270, 2008.

[10] K. Okada, M. Kojima, S. Tokutsu, T. Maki, Y. Mori, and M. Inaba, "Multi-cue 3D object recognition in knowledge-based vision-guided humanoid robot system," *Proc. of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3217-3222, San Diego, CA, USA, Oct.-Nov. 2007.

[11] M. Ruchanurucks, S. Kudoh, K. Ogawara, T. Shiratori, and K. Ikeuchi, "Humanoid robot painter: Visual perception and high-level planning," *2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3028-3033, Roma, Italy, April 2007.

[12] D. W. Duhon, J. J. Weinman, and E. Learned-Miller, "Techniques and applications for persistent backgrounding in a humanoid torso robot," *2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3034-3040, Roma, Italy, April 2007.

[13] Z. Zhang, "A flexible new technique forcamera calibration," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, 2000.



김 회 인

2009년 경상대학교 제어계측공학과 졸업. 2009년~현재 경상대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 로봇 비전, DGPS를 이용한 이동 로봇의 자율주행.



김 갑 순

1999년 8월 한양대학교 공과대학 자동화시스템전공(공학박사). 현재 경상대학교 제어계측공학과 교수. 관심분야는 로봇용 센서, 인간형 로봇, 서비스로봇, 이동로봇, 재활로봇의 설계 및 제어, 산업체의 지능시스템 설계 및 제어.