

단일 카메라의 스테레오 비전을 이용한 거리측정에 관한 연구

Distance Measurement of a Single Camera System by Using Stereo Vision

김해성*	민병로*	김동우*	서광욱*	홍준택*	이민영*	이대원*
	정회원	정회원				정회원
H. S. Kim	B. R. Min	D. W. Kim	K. W. Seo	J. T. Hong	M. Y. Lee	D. W. Lee

1. 서론

인간의 두 눈을 모방한 스테레오 비전 시스템은 로봇의 엔드이펙터의 위치 추적, 차량에서의 차선의 위치 파악 등 기본적인 3차원 위치 정보 획득에 용이하여 널리 이용되고 있다. 그러나 카메라를 이용하여 얻어진 영상은 실제 정보와는 많은 차이를 가진다.

3차원 위치 정보를 획득하는데 있어서 2대의 카메라를 이용하는 방법은 가장 널리 알려지고, 또 사용되어지고 있는 방법이다. 하지만 같은 카메라라 할지라도 카메라마다 물리적 특성이 다르기 때문에 두 대의 카메라를 이용하는 것은 쉽지 않은 일이다. 두 카메라의 CCD 센서는 서로 위치 차이가 있기 때문에 서로 다른 영상을 갖게 되어 각각 카메라의 보정이 필요하다. 센서의 위치는 민감한 부분이기 때문에 미세한 오차라 할지라도 영상에서는 많은 픽셀차이를 나타내고 또 그만큼 큰 실제거리 오차를 불러오게 된다. 같은 이유로 카메라 자체를 동시에 정확한 위치에 정렬시키기도 어려운 일이다.

따라서 본 연구는 카메라 1대를 이용하여 카메라 2대의 몫을 하는 비전시스템을 설계하고 그에 맞는 캘리브레이션 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 재료 및 방법

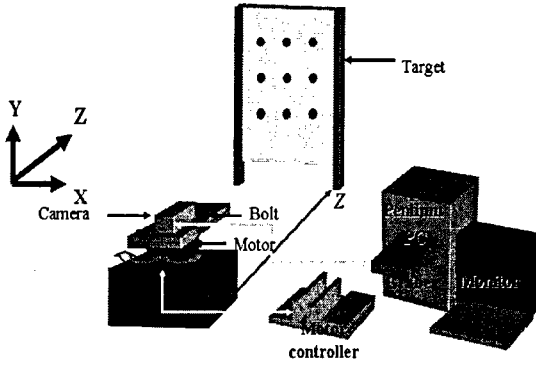
가. 실험재료

본 시스템은 카메라 1대를 가지고 일정한 각도를 주어 2개의 영상을 받을 수 있도록 하는 1개의 모터로 이루어졌다. 카메라 거치대와 타겟 프레임은 4x4 Profile로 제작을 하였다. 카메라는 일정 높이에 고정을 시키고 좌우로 회전할 수 있게 한다. 전면에 10mm 간격의 일정한 격자가 있는 지면에 수직한 타겟을 구성하였다. <Fig. 1>은 PC에 장착된 영상수신 카드와 Motor controller등 카메라가 작동되는 전체 시스템의 개략도를 보여주고 있다. <Fig. 2>는 완성된 시스템의 실제 모습이다.

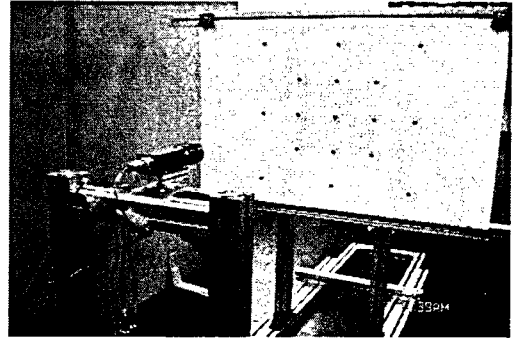
나. 거리측정 알고리즘

카메라가 좌우로 일정 각도만큼 회전하며 목표물 P를 인식했을 때 <Fig. 3>과 같이 각

* 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

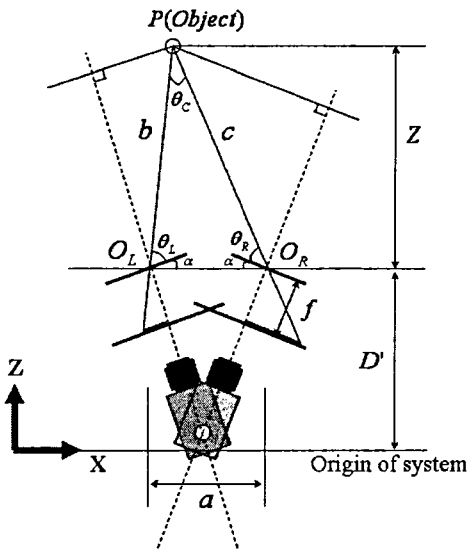


<Fig. 1 Block diagram of the system>



<Fig. 2 Single vision system>

위치에서 P의 상이 맺힘으로써 각도 θ_L, θ_R 을 초점거리와 CCD의 단위 소자 크기에 의하여 구할 수 있다. 식(1), 식(2)는 θ_L, θ_R 를 구하는 식을 나타내고 있다. 여기서, f 는 초점거리(Focal length : mm)이며, u 는 CCD 단위소자 크기(Cell size : mm)를 나타낸다. 또, P_L, P_R 은 영상의 중심에서 P까지 픽셀거리(Pixel)이다.



$$\theta_L = \tan^{-1}\left(\frac{f}{P_L \times u}\right) \quad (1)$$

$$\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{f}{P_R \times u}\right) \quad (2)$$

또한, 영상 위치 차이에 의하여 $\triangle PO_L O_R$ 이 생성된다. 따라서, 카메라의 각 위치에서의 중심과 P가 이루는 삼각형에 의하여 다음과 같은 식이 성립한다.

$$a = b \cos(\theta_L + \alpha) + c \cos(\theta_R + \alpha) \quad (3)$$

$$b = a \cos(\theta_L + \alpha) + c \cos(\theta_C) \quad (4)$$

$$c = a \cos(\theta_R + \alpha) + b \cos(\theta_C) \quad (5)$$

여기서, a 는 두 카메라의 중심간 거리(mm), b 는 좌측 카메라 중심에서 대상체 P까지 거리(mm), c 는 우측 카메라

<Fig. 3 Method of find the Z>

중심에서 대상체 P까지 거리(mm), θ_C 는 b 와 c 가 이루는 각도(deg.)를 나타낸다. α 는 영상의 차이를 두기 위하여 좌·우로 설정된 일정한 각도이다. 위의 식(3), 식(4), 식(5)에 의해서 다음과 같은 행렬식이 완성되고 b, c 가 구해진다.

$$\begin{bmatrix} b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \cos\theta_2 \\ 1 & -\cos\theta_C \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} a \\ a \cos\theta_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

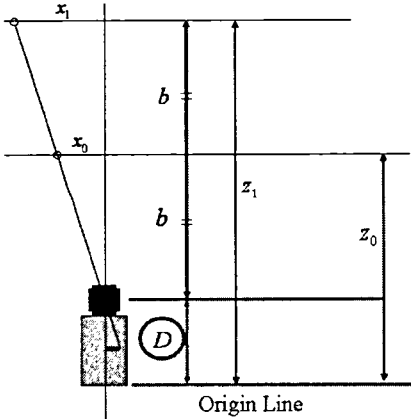
여기서, $\theta_1 = \theta_L + \alpha, \theta_2 = \theta_R + \alpha$

따라서, 식(3.6)에 의해서 b, c 가 구해지면 다음 식과 같이 카메라의 중심(회전중심)에서 P까지의 수직거리 Z 를 구할 수 있다.

다. 실험방법

1) 초점의 위치 결정

실험에 사용되는 렌즈는 4.8mm의 고정된 초점거리를 가지는 렌즈이다. 하지만 실제로 카메라의 CCD의 위치와 렌즈의 위치를 정확히 찾아내기 어렵기 때문에 거리 측정에 어려움이 따르게 된다. 그러므로 거리를 측정하고자 하는 기준으로부터 초점의 위치까지의 거리를 찾아내야 한다.



타겟의 중심과 카메라를 일치 시키고 초점으로부터 거리가 2배 되는 점은 CCD상에서 같은 Pixel을 차지한다. 따라서 다음과 같은 식(9)와 식(10)을 이용하여 시스템의 기준에서 초점의 위치까지 거리 측정을 할 수 있다.

$$b = z_1 - z_0 \quad (9) \quad D = z_0 - b \quad (10)$$

여기서 z_0, z_1 은 동일한 픽셀 좌표를 갖는 서로 다른 거리이다.

<Fig. 5> Find the focal point

2) 초점거리 캘리브레이션

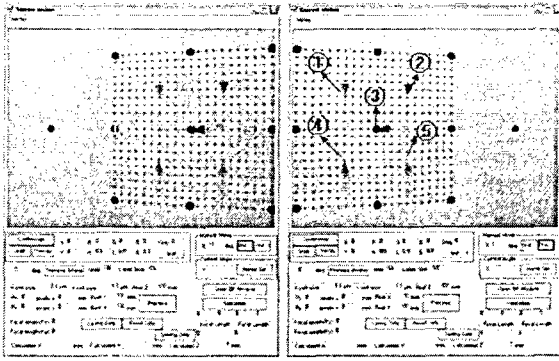
초점의 위치를 결정한 후에는 카메라로부터 얻어지는 영상에서 픽셀의 좌표값에 따라 초점거리가 어떠한 패턴으로 나타나는지 확인해 볼 필요가 있다. 타겟을 기준으로부터 일정한 거리로 이동 시켜 놓고 타겟의 중심을 (0,0)으로 잡고 x좌표 -100~100mm, y좌표 -100~100mm 사이의 점들을 동일한 간격(20mm)으로 두고 총 100개의 점을 측정하였다. 카메라를 좌우로 회전하여 거리를 측정하게 되므로 x방향에 관한 초점거리만 고려하여 초점거리 f 를 찾아낼 수 있다. 그리고 100개의 Data Set을 가지고 전체 영상으로의 적용을 위해 BP를 통한 학습을 하였다. 학습을 마친 결과와 실제 초점을 계산했던 결과를 비교하여 은닉층의 개수, System Error 등을 결정하여 실제 거리 측정 시 최대한 오차를 줄이도록 한다.

3) 거리 측정 방법

측정거리는 300mm~600mm를 50mm의 구간으로 나누었다. 각 측정거리당 한 평면에 4개 사분면의 각 한점과 타겟의 원점을 포함하여 총 5개의 포인트를 측정하였다. <Table 1>은 실험에 사용될 포인트의 실제 거리 좌표값을 나타낸 것이다. <Fig. 6>은 실제 거리 측정에 사용된 프로그램 화면이다. 좌, 우 영상에서 각각 포인트의 픽셀 좌표를 획득하고 학습된 BP 알고리즘을 통하여 초점거리를 찾아내어 시스템의 기준으로부터 대상체까지의 거리를 찾아내었다.

Point No.	Coordinates (mm)	
	x	y
①	-40	40
②	40	40
③	0	0
④	-40	-40
⑤	40	-40

<Table 1> The experimental points



3. 결과 및 고찰

BP 알고리즘을 통하여 Data set 100개로 학습을 시킨 후, 실제 거리를 측정하였다. 실제 거리 300mm일 때 <Table. 1>의 점들의 거리를 측정한 결과 최소 6mm에서 최대 15mm의 오차를 보였다. 100개의 데이터 중에서 실제로 타겟의 중심에서 -20~20mm에 해당하는 data들이 없었고 또 간격 20mm 사이의 data값들이 없었기 때문에 오차가 크게 나온 것으로 판단되었다.

<Fig. 9> Main Program

따라서 간격을 10mm로 하여 다시 400개의 Data set을 만들어 학습을 시킨 후 거리 측정 실험을 하였다.

<Table 2>에서 측정 거리별로 오차를 살펴보면 300mm의 거리에서는 최소 0.23mm의 오차를 보이며 평균 1.162mm의 오차를 나타냈다. 350mm에서 550mm까지는 최대 3.8mm이 내의 오차를 보였으며 600mm부터는 최대오차가 9.62mm로 급격히 증가함을 보였다.

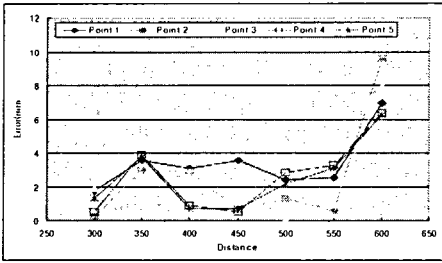
<Table. 2> Errors of the experimental results

(unit : mm)

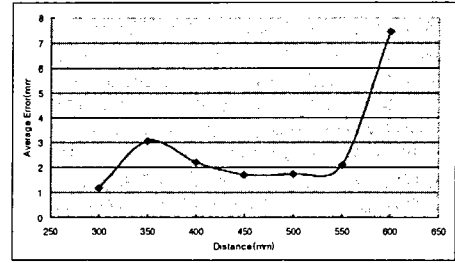
	300	350	400	450	500	550	600
Point 1	1.7726	3.5711	3.0507	3.5663	2.4158	2.5559	6.9311
Point 2	0.2316	3.0048	2.8752	0.6367	1.2996	0.6013	9.6283
Point 3	1.9182	1.0739	3.5468	3.0882	0.0269	0.9581	7.9727
Point 4	0.5405	3.8713	0.9048	0.5454	2.829	3.2803	6.4013
Point 5	1.3469	3.7426	0.7097	0.6943	2.1655	3.0919	6.2683

<Fig. 10>은 <Table. 2>를 그래프로 나타낸 것이다. 550mm 이내의 거리에서는 4mm 이내의 오차를 보이다가 600mm 거리가 되면 오차가 급격히 증가하는 것을 보여주고 있다. 거리마다 평균을 계산하여 오차를 분석해 보면 <Fig. 11>과 같이 300mm거리에서 가장 적은 1.162mm의 평균오차를 보였고, 거리 600mm에서 평균 7.4403mm의 오차를 보였다. 400mm와 450mm의 거리에서는 1.7062mm와 1.7474mm의 평균 오차를 보여 이 시스템으로 거리를 측정할 경우 300mm를 제외한 거리에서 신뢰성이 가장 높은 구간으로 판단되었다.

거리가 멀어질수록 1개의 픽셀이 나타내는 거리 정보는 크게 나타난다. 따라서 정확한 위치에 대한 픽셀거리의 획득이 어려워지기 때문에 오차가 커지는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험장치의 한계 거리는 550mm로 판단되었다. 또한 실험상 각 거리마다 평면을 정확히 위치시키지 못하는 실험오차를 줄이면 더 정확하게 거리 측정이 될 수 있으며 영상의 해상도와 모터 각도의 정밀도를 높이면 많은 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.



<Fig. 10> Errors of the experimental results



<Fig. 11> Mean errors an interval

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 카메라 2대를 이용하는 스테레오 비전이 아닌 단일 카메라를 이용한 3차원 거리 측정을 시도해 보았다. 스테핑 모터로 좌우로 각각 일정한 각도로 카메라를 회전시켜 2개의 영상을 얻게 되는 방식이다. 따라서, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 픽셀에 따른 초점거리를 캘리브레이션을 하는 것만으로도 550mm 이내의 거리에서 오차 3mm이내의 거리 측정 결과를 얻을 수 있었다.

둘째, 카메라와 렌즈가 선정된 후 단 한 번의 카메라 캘리브레이션을 통해 거리 측정이 가능하다.

셋째, 시스템 오차와 실험오차를 감소시키면 550mm이내의 범위에서는 거리 측정용으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 서광욱, 민병로, 김웅, 정문영, 이대원. 2005. 내시경을 이용한 근거리 3차원 정보 획득 알고리즘. 한국농업기계학회 하계 학술대회 논문집. 10(2):376-380
2. 김종원. 1992. 수직인 두 벡터를 이용한 카메라 보정 기법에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
3. 이광진. 1999. 렌즈 왜곡 영상을 위한 자동 보정 방법. 한양대학교 석사학위 논문.
4. Ying B, Hanqi Z. 2004. On the Comparison of Model-Based and Modelless Robotic Calibration Based on the Fuzzy Interpolation Technique. Proceeding of the 2004 IEEE 1(3):892-897.
5. Kwan-Yee K. W, Paulo R. S. M and Roberto C. 2003. Camera Calibration from Surfaces of Revolution. Proceeding of the 2003 IEEE 25(2):147-161