

화소간격 파라미터 교정에 의한 비정렬 스테레오 카메라의 거리오차 보정

Depth error correction for maladjusted stereo cameras with the calibrated pixel distance parameter

⁰김종만*, 손홍락*, 김형석*, 김성중*

* 전북대학교 전기전자제어공학부

Abstract

Error correction effect for maladjusted stereo cameras with calibrated pixel distance parameter is presented. The camera calibration is a necessary procedure for stereo vision-based depth computation. Intra and extra parameters should be obtain to determine the relation between image and world coordination through experiment. One difficulty is in camera alignment for parallel installation: placing two CCD arrays in a plane. No effective methods for such alignment have been presented before. Some amount of depth error caused from such non-parallel installation of cameras is inevitable. If the pixel distance parameter which is one of intra parameter is calibrated with known points, such error can be compensated in some amount. Such error compensation effect with the calibrated pixel distance parameter is demonstrated with some experimental results.

Keywords

error correction effect, calibrated pixel distance parameter, intra and extra parameter, camera alignment

I. 緒 論

스테레오 카메라를 이용한 응용시스템이나 로봇 비전등의 응용시에 거리 계측을 위해서는 측정된 거리의 정확성을 얻기 위해 카메라 캘리브레이션은 필수적이다.

이 캘리브레이션은 2차원 영상정보로부터 3차원 정보를 추정하는 과정에서 필요한 외부 파라미터와 내부 파라미터를 결정하는 일을 의미한다. 외부 파라미터는 기준 좌표계에 대한 카메라의 위치와 방향을 결정하는 인수이며, 내부 파라미터는 3차원 위치와 카메라 영상 평면상의 위치와의 관계를 규정하는 파라미터이다.

스테레오 비전 시스템에서 일단 좌,우 영상의 일치점 파악이 완료되면 주어진 공식에 대입함으로써 3차원 거리를 계산할 수 있다.[1,2] 이 식은 카메라의 평행 설치를 가정한 식이므로 설치상의 오류로 인한 거리 측정 오차가 발생할 수 있다. 이러한 측정오차를 줄이기 위한 방법으로, 카메라 설치후 생기는 오차에 대하여 초점 거리와 광학 중심점 등의 내부 파라미터를 교정하여 사용하였다.[4-7]

Puget과 Skordas[4]은 움직이는 카메라에 대한 다양한 영상으로부터 독립적인 변수를 사용하여 내부 및 외부 캘리브레이션을 수행하는 방법을 제시하였다. 여기엔 다양한 영상 추출등의 실험조건들이 수반된다. Zhang과 Faugeras[5]는 세계의 카메라 시스템을 이용한 두개의 스테레오 시스템 방식을 취하여 내부 및 외부 캘리브레이션 방법을 실시하였는데 이 방법은 카메라의 내부 캘리브레이션시 카메라가 평행하다는 조건하에서 실험하였다. Tsai와 Lenz[6]는 고정된 기하학적 조건과 선형대수적 특성을 이용한 카메라의 내부 및 외부 파라미터를 간소화시켜 계산하는 소영역 카메라 알고리즘을 제시하여 로봇 캘리브레이션을 수행하였는데 이 방법은 파라미터 모델링 상의 오차가 존재하였다. Kim[7]등은 컴퓨터로 움직이는 카메라 시스템을 이용하여 비선형 방정식을 푸는 방법과 투사변환 모델을 동시에 고려하여 초점거리와 스케일 계수를 고려한 파라미터 추정하고, 칼만 필터를 적용하는 등 내부 및 외부 캘리브레이션을 수행하였다. 이때 내부 캘리브레이션의 스케일 계수는 CCD센서 소자의 간격과 화소의 갯수를 이용하여 측정하므로 두 카메라의 완전한 평행조건이 수반되지 않을 때나 CCD 센서 소자에 온도 등의 영향

으로 인한 오차들에 의해 부정확한 교정이 될 수 있다.

본 연구에서는 스테레오 거리 계산 식에서 사용하고 있는 화소간의 거리 파라미터를 CCD의 크기와 화소수의 관계에서 구하지 않고, 실제 아는 위치점에 대한 화소 이격 수와 거리 계산식에서 구한 교정된 화소의 간격 파라미터를 이용하는 캘리브레이션 방법을 제시한다. 또한 이렇게 교정된 파라미터를 사용할 경우, 비 평형상태 등의 잘못 설치된 카메라 시스템에 대한 거리 측정 실험에서의 오차 보정 효과를 제시하였다.

2. 일반 카메라 캘리브레이션 모델링

2.1 일반 카메라의 투사 시스템

카메라의 일반적 투사과정은 임의의 3차원 공간상의 점을 평면에 투사시키는 투사 변환법을 이용하는 핀홀 모델을 이용한다. 이 핀홀 모델을 이용한 두대의 카메라를 사용하는 스테레오 카메라의 영상처리 과정은 그림 1과 같이 일정 거리의 3차원

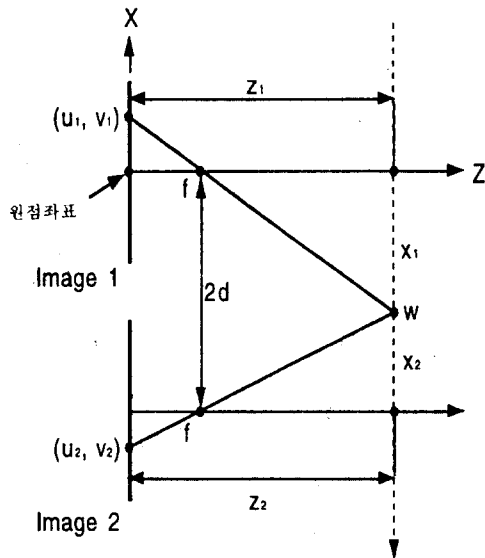


그림 1 스테레오 비전의 기하학적 구조

Fig. 1 Geometric schematic of the stereo vision

공간상의 점의 거리 정보가 스테레오 카메라를 통하여 투사된 두개의 영상 평면으로 나타나는 원리를 이용한다.

여기서 z (distance 혹은 depth)는 물체의 위치에서 영상면까지의 거리를 의미하며, $2d$ 는 epipolar선 즉, 두카메라의 중심과 중심을 연결한 선분을 의미한다. 물체의 좌표를 $P_1(x_1, y_1, z_1)$, 좌측 영상에 대한 투사되는 좌표를 (u_1, v_1) , 물체의 우측영상에 대한 투사되는 좌표를 (u_2, v_2) 라 하면 앞의 기하학적 구조는 다음과 같은 관계식으로 표현된다.

$$x_1 = \frac{(f-z_1)u_1}{f} \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{(f-z_2)u_2}{f} \quad (2)$$

이 식과 $x_2 = x_1 + 2d$ 및 $z_1 = z_2 = z$ 라는 조건을 이용하면 다음과 같은 관계식을 쉽게 얻을 수 있다.[1]

$$z = f - \frac{2df}{u_2 - u_1} \quad (3)$$

이 식은 초점거리와 두 영상좌표의 x 좌표의 화소 차이 $u_2 - u_1$ 만 알면 거리 " z "를 산출해낼 수 있음을 의미한다.

2.2 스테레오 카메라 캘리브레이션

스테레오 카메라의 캘리브레이션이 되어 있지 않으면 整合 및 산출된 거리 데이터의 정확성 여부를 보장할 수 없다. 이 과정에서 필요한 외부 파라미터는 카메라의 위치를 기준 좌표계로 변환할 때 나타나는 오차를 보정하기 위한 목적과 카메라들의 수평 및 평행 정렬과정에서 나타나는 오차를 보정하거나 자동 정렬을 위한 목적으로 사용된다. 또한 내부 파라미터는 카메라의 화소당 거리 인수를 의미한다. 외부 파라미터 교정 과정이 완료되어 카메라가 수평 및 평행으로 정렬되어 있다는 가정하에서는 카메라로부터 물체까지의 거리가 식(3)으로 표현 된다. 여기서 분모는 실제 거리로 표현되는 좌,우 영상에서의 이격거리로 표현되는 값인데, 영상에서 구할 수 있는 이격값은 화소의 수일 뿐이므로 화소 수로 표현된 이격값으로부터 영상의 실제 이격 거리를 알아 내야 한다. 영상의 실제 이격 거리는 다음과 같이 이격 화소의 수와 화소간의 거리를 곱함으로써 구할 수 있다. 즉 이격 화소의 수를 n 개라 하고 화소간의 거리를 k_u (pixel), 실제의 이격 거리를 D_p (mm)라 하면

$$k_u = \frac{D_p}{n} [mm/pixel]$$

$$D_p = nk_u \quad (4)$$

이다. 여기서 화소간의 거리 k_u 를 구하는 것이 문제인데, 일반적으로 CCD 카메라의 구조로 보터 계산이 가능하다. CCD 소자의 가로 축 갯수를 N_h 라 하고, CCD 소자의 가로 길이가 L_h 라 하면 화소당의 거리 k_u' 는

$$k_u' = \frac{L_h}{N_h} \quad (5)$$

로서 구할 수 있다.

이 k_u' 값을 구하여 식 (4)을 이용하여 식(3)의 $u_2 - u_1$ 에 대입하여 3 차원 공간 거리를 계산할 수 있다.

그러나 이러한 계산 방식을 이용하여 캘리브레이션을 수행할 경우, CCD 소자가 온도나 좌우 CCD 카메라의 비평행성 등의 영향으로 정확한 값이 아니라면 오차가 발생할 수 있다는 문제점이 있다.

여기서 평행의 의미는 두 CCD 센서소자의 평면의 법선들 간에 평행을 이루는 것을 의미하므로 두 카메라의 몸체를 평행으로 정렬하는 것만으로는 해결되지 않는다. 이를 위해서 무한원점이 두 화면의 동일한 위치에 착상해야 한다는 원리를 이용하여 카메라를 정렬시키는 방법을 사용하고 있으나[8,9], 무한원점 선정시에 오류가 있을 경우 거리 측정오차는 피할 수 없게 된다.

3. 화소 간격 파라미터의 교정

앞절에서의 CCD 계산 방식을 이용할 때의 나타나는 오차를 보정하기 위해서, 본절에서는 다음과 같은 3차원 거리와 스테레오 화상 평면의 화소와의 관계성을 이용하여 교정된 화소간격 파라미터를 사용하였다.

먼저 거리를 알고 있는 3차원 물체에 대해서 좌우 화상 평면에 나타나는 화소 이격수를 구하여 식(3)에 대입하면 교정된 화소간 거리 파라미터 k_u 를 구할 수 있게 된다. 즉 물체와의 측정 거리가 z' 로서 알고 있는 거리이고, 이격 화소의 수를 n' 라고 하면 식 (3)은

$$z' = f - \frac{2df}{u_2 - u_1} = f - \frac{2df}{k_u n'} \quad (6)$$

가 되어

$$k_u = \frac{2df}{(f - z')n'} \quad (7)$$

로서 교정된 화소 간격 파라미터를 얻는다.

4. 實驗 및 結果

캘리브레이션을 위해서 두대의 스테레오 카메라(PANASONIC社, wv-BP100)와 Frame Grabber(Data Transration社, DT3851) 보드를 사용하여 영상을 획득하였다. 임의의 거리에 대한 화소의 수를 이용한 거리공식을 적용하기 위하여, 스테레오 영상 획득에 사용된 좌우 양 카메라의 간격은 50mm 였고, 사용된 카메라 렌즈의 초점거리 F는 9mm 였다.

본 실험에서는 화소간의 간격 k_u 값에 CCD의 길이를 배열 화소의 수로 나눈 값을 사용하지 않고, 거리를 알고 있는 물체의 화소 이격 갯수와 식(7)을 이용하여 계산한 보정된 k_u 값을 사용하여 카메라의 비평행에 의한 오류 보정 효과를 제시하였다. 이를 위해서 제안한 방법에 의한 교정된 k_u 값과 교정되지 않은

k_u 값을 사용했을 때의 각 경우에 대하여 여러 가지의 평행 오차를 갖는 스테레오 비전 상황에서 거리 측정 오차를 비교 실험하였다.

그림 2와 그림 3은 스테레오 카메라가 “^”형으로 각도를 이루며 잘못 정렬된 경우에 대한 제안 방식에 의한 보정된 k_u 값과 보정되지 않은 기존 방식과의 측정된 오차 결과 비교치이다.

그림 4와 그림 5는 스테레오 카메라가 “v”형태로 각도를 이루며 잘못 정렬된 경우의 보정된 k_u 값과 보정되지 않은 k_u 값을 사용한 경우에 대한 거리계산 오차 비교값이다.

여기서 카메라 각도의 (-) 값은 좌우 카메라의 정렬이 “^”형태인 경우로써 두 평행선의 안쪽으로 향하는 경우이며, (+) 값은 “v”형태의 경우로써 두 평행선의 밖으로 향하는 각도를 갖는다. 두가지 경우 측정거리가 증가할 수록 오차가 증가하지만, 보정되지 않은 k_u 값을 사용한 경우가 제안 방법에 의하여 보정된 k_u 값을 사용한 경우보다 오차의 증가율이 훨씬 크다는 사실을 알 수 있다.

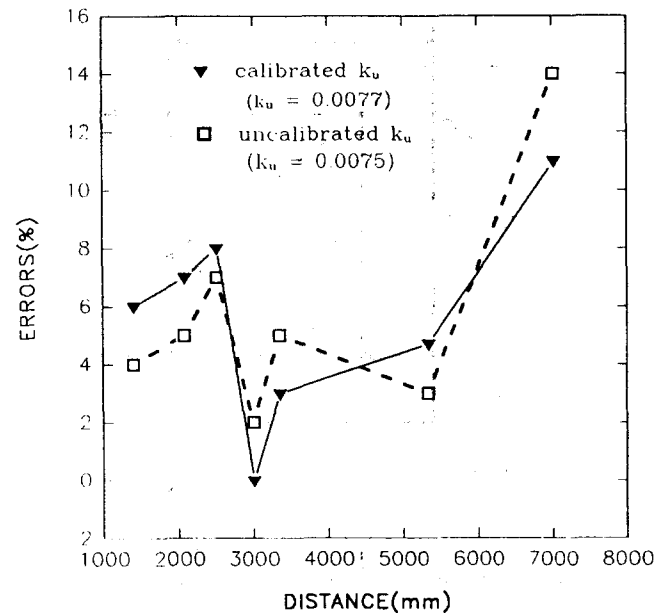


그림 2 잘못 정렬된 스테레오 카메라에 대한 보정 및 비보정된 화소 간격 파라미터 사용시의 거리오차 비교 (평행과 -0.5116° 인 경우)

Fig. 2 A comparison of depth computation error for maladjusted stereo cameras between cases with calibrated and without calibrated pixel distance parameters. (-0.5116° case)

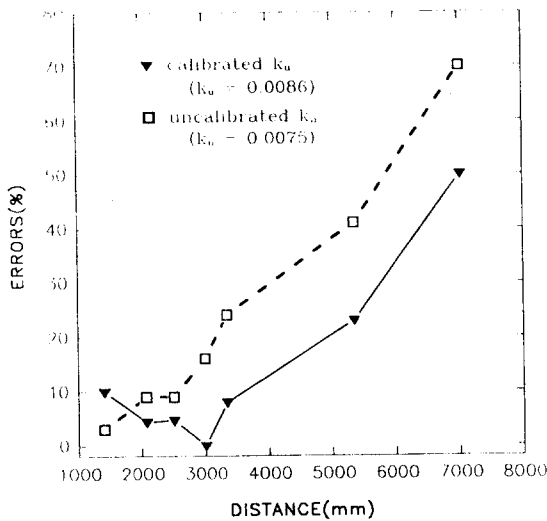


그림 3 잘못 절렬된 스테레오 카메라에 대한 보정 및 비보정된 화소 간격 파라미터 사용시의 거리오차 비교 (평행과 -1.02515° 인 경우)
 Fig. 3 A comparison of depth computation error for maladjusted stereo cameras between cases with calibrated and without calibrated pixel distance parameters. (-1.02515° case)

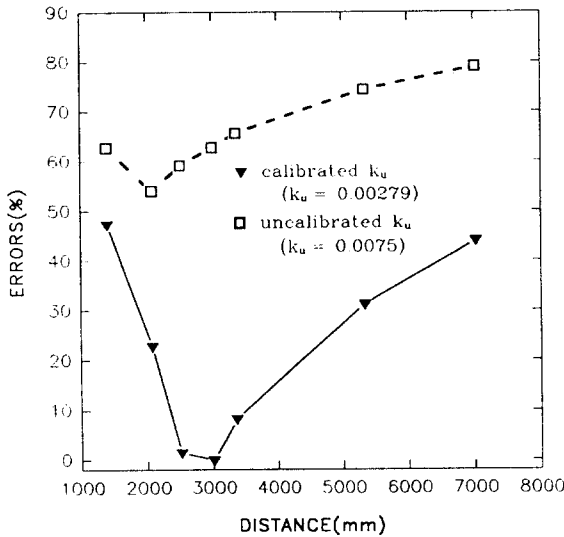


그림 4 잘못 절렬된 스테레오 카메라에 대한 보정 및 비보정된 화소 간격 파라미터 사용시의 거리오차 비교 (평행과 $+2.1487^\circ$ 인 경우)
 Fig. 4 A comparison of depth computation error for maladjusted stereo cameras between cases with calibrated and without calibrated pixel distance parameters. ($+2.1487^\circ$ case)

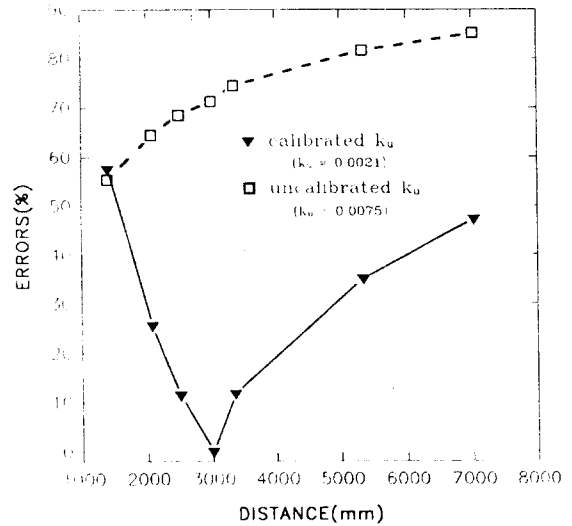


그림 5 잘못 절렬된 스테레오 카메라에 대한 보정 및 비보정된 화소 간격 파라미터 사용시의 거리오차 비교 (평행과 $+3.6839^\circ$ 인 경우)
 Fig. 5 A comparison of depth computation error for maladjusted stereo cameras between cases with calibrated and without calibrated pixel distance parameters. ($+3.6839^\circ$ case)

그림 6은 물체가 7 m 거리에 있을 경우 카메라가 평행으로부터의 이격 각도별 평균오차율을 보여 주고 있는데, 비평행 정도가 커질 수록 보정계수 k_u 사용 경우는 오차가 증가하지만 보정 계수 k_u 의 사용 경우는 완만한 증가 추세를 유지함을 알 수 있다.

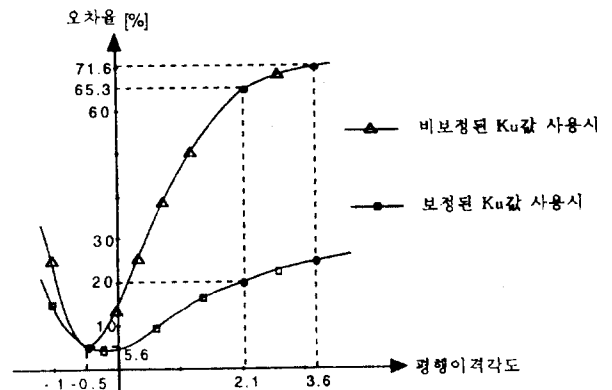


그림 6 잘못 절렬된 스테레오 카메라의 평행 이격 각도에 대한 보정 및 비보정 k_u 사용시의 평균 거리 오차율 비교
 Fig. 6 A comparison of average error rate for maladjusted stereo cameras between the cases with calibrated and uncalibrated k_u

5 장 結 論

본 연구에서는 스테레오 비전 거리 계측시 필수적인 캘리브레이션 과정으로 스테레오 카메라의 거리 환산식에 교정된 화소 간격 파라미터를 사용할 경우 카메라 정렬오차가 얼마나 보정될 수 있는지를 실험적으로 확인하였다. 스테레오 영상에 의한 거리 측정방법은 두 카메라 CCD 판의 동일 평면상 정렬을 전제로 하고 있으며, 일반적으로 외부 몸체의 정렬이 내부 CCD 판의 정렬을 의미하는 것은 아니므로 육안에 의한 스테레오 카메라 정렬은 거리 계산 오차를 유발하고, 두 카메라가 평행하게 정렬시켜 무한대 거리에 일정한 점을 위치시키는 캘리브레이션 방법 등도 기계적 오차를 피할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 스테레오 계산식의 화소간 거리 파라미터 산정방법을 3차원 공간상의 스테레오 카메라가 갖는 기하학적 관계식에 의해 교정된 화소 간격 파라미터를 이용하는 방식의 캘리브레이션을 수행하였다. 실험 방법은 두 카메라의 각도가 평행한 조건으로 부터 여러각도로 벗어나 있는 경우에 대하여 기존의 교정되지 못한 경우와 제안 방식에 의한 교정된 경우와의 오차를 산출하여 결과를 비교하였다. 이러한 파라미터 교정방식에 의해 보정한 거리계산 결과 값은 보정되지 않은 기존의 방식의 결과에 비해 최대 3배 이상 오차 저감효과를 가져왔다. 화소거리 파라미터에 대한 교정은 카메라가 완전한 평형상태를 이루지 못할 경우 등 외부 파라미터의 불완전한 교정에 의한 거리 계산 오차를 보정할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Yakimovsky & R. Cunningham, "A System for Extracting Three-Dimensional Measurements from a Stereo Pair of TV Cameras", *Computer Graphics and Image Processing* 7, pp.195-210, 1978
- [2] G. Borgfors, "Distance Transformations in Digital Images", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 34, pp. 344~371, 1986.
- [3] R.Y.Tsai, "A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off the shelf T.V. Cameras and lenses," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 323-344, Aug. 1987.
- [4] P. Puget and T. Skordas, "An optimal solution for mobile camera calibration", *Proc. IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 19(6), 1426-1445 (November/December 1988)
- [5] Z. Zhang and O.D. Faugeras, "Calibration of a mobile robot with application to visual navigation", *Proc. IEEE Work. Visual Motion*, Irvine, California, pp. 306-313, March(1989)
- [6] R.Y.Tsai and R. K. Lenz, "A new technique for fully autonomous and efficient 3D robotics hand/eye

calibration", *IEEE Trans. Robotics Automation* 5(3), 345-358 (June 1989)

- [7] J. K. Kim and B. H. Lee, "직선 대응관계를 이용한 카메라 캘리브레이션에 관한 연구", *Trans. KIEE*, Vol. 40, No. 11, Nov. 1991.
- [8] William Chen and Bernard C. Jiang, "3-D Camera Calibration using Vanishing Point Concept", *Pattern Recognition*, vol. 24, no. 1, pp.57~67. 1991.
- [9] A. Tai, J. Kittler, M Petrou and T Windeatt, "Vanishing Point Detection", *Image and Vision Computing*, vol. 11, no. 4, may, 1993.