

스테레오 카메라에서 투명 인터페이스 왜곡으로 인한 거리 측정 오차 발생 분석에 관한 연구

*최태현, 윤성욱, 설상훈
고려대학교 전기전자공학부

e-mail : *thchoi@mpeg.korea.ac.kr, swyoon@mpeg.korea.ac.kr, sull@korea.ac.kr*

A Study on the Error Generation of Distance Measurement due to Transparent Interface Distortion in a Stereo Camera

*Taehyeon Choi, Seongwook Yoon, Sanghoon Sull
School of Electrical Engineering
Korea University

Abstract

Research of self-driving are a rapidly evolve in intelligent transportation systems. In this research field safety is most important. For the increasing safety, stereo camera more accurate and efficient to measure depth than single camera. In addition, many stereo cameras mounted in the housing is frequently used such as underwater camera, catadioptric camera and so on. In these cases, due to the refractive effects of the transparent interface, depth error occurs. In this paper, we shows the error generation of distance measurement also analyze causes of this error.

I. 서론

최근 초음파나 레이저 센서 등을 활용한 거리 측정이 아닌 카메라만을 이용하여 물체와의 거리를 측정하는 연구들이 감시카메라, 자율주행 차량, 수중카메라 등의 분야에서 활발하게 진행되고 있다[1-3]. 카메라를 이용한 거리 측정 시, 일반적으로 단안카메라에서는 관찰평면과 카메라간의 관계를 직·간접적으로 알고



그림 1. 투명 인터페이스 내 카메라 설치의 예

있어야 물체와 카메라 간의 거리 측정이 가능하다. 그러나 이와 같은 방식은 추정에 근거하기 때문에 정확한 거리 측정이 어렵다. 반면 스테레오 카메라(양안 카메라)는 물체의 좌표를 계산하기 위하여 관찰평면이 필요하지 않기 때문에 정확하면서 간단하게 거리 측정이 가능하다. 즉, 스테레오 카메라에서 물체의 좌표는 두 카메라와 관찰점 간의 직선들의 교점으로 정해진다 [4]. 그런데 그림 1과 같이 렌즈 오염, 외부 환경으로부터 보호 등의 목적으로 카메라를 차량의 실내 또는 하우징(housing)내에 설치한 경우에 카메라와 물체 사이의 투명 인터페이스로 인해 빛의 굴절이 일어나 왜곡되는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 이와 같은 왜곡으로 인해 발생하는 거리 측정 오차 결과를 보여주고

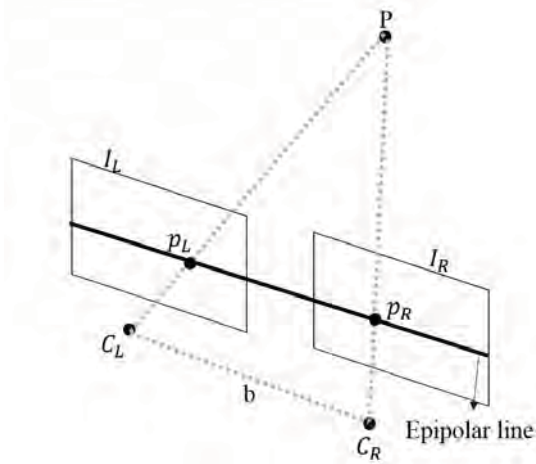


그림 2. 이상적인 경우의 epipolar geometry

오차 발생 요인들에 대해 분석한다.

본 논문의 구성은 스테레오 카메라에서 거리 측정 방법, 거리 측정 오차 발생원인, 실험 환경 및 거리 측정 오차 결과에 대해 설명하며 마지막으로 결론 및 향후 연구방향을 기술한다.

II. 스테레오 카메라에서의 거리 측정 방법

2.1 Epipolar Geometry

Epipolar geometry는 그림 2에서와 같이 두 카메라가 동일한 사물 또는 장면에 대한 영상을 서로 다른 두 지점에서 획득하였을 때, 왼쪽(C_L)과 오른쪽(C_R) 카메라에서 획득된 영상(I_L, I_R)간의 매칭쌍들 사이의 기하학적 관계를 다루는 것이다. 일반적으로 epipolar geometry에서는 epipolar constraint와 triangulation을 다루는데 본 논문에서는 투명 인터페이스의 영향으로 인한 거리 왜곡에 초점을 맞추기 때문에 생략하도록 한다. 삼각측량법(Triangulation)에 대한 내용은 다음 단락에서 다루도록 한다.

2.2 삼각측량법(Triangulation)

이상적인 경우 (왼쪽과 오른쪽 카메라의 optic axis가 평행하다는 가정) 3D 포인트 P 의 좌표는 아래와 같은 수식을 통해 계산된다.

$$x = x_L \cdot \frac{z}{f} \text{ or } b + x_R \cdot \frac{z}{f} \quad (1)$$

$$y = y_L \cdot \frac{z}{f} \text{ or } y_R \cdot \frac{z}{f} \quad (2)$$

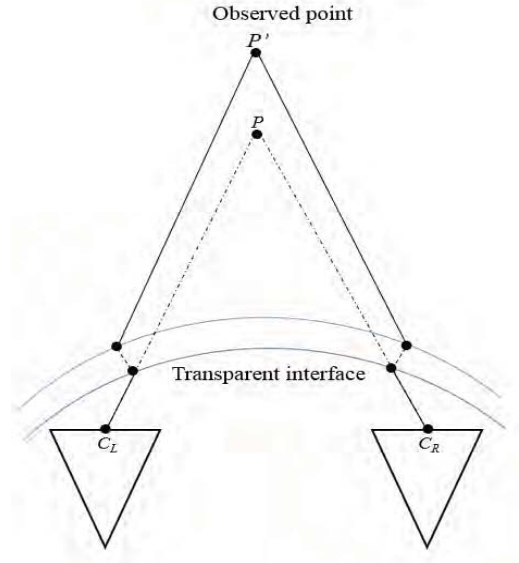


그림 3. 투명 인터페이스로 인한 굴절 경로 변경

$$z = \frac{f \cdot b}{x_L - x_R} \quad (3)$$

여기에서 x_L, y_L 은 왼쪽 카메라 영상 포인트 p_L 의 x, y 좌표를 의미하며, x_R, y_R 은 오른쪽 카메라 영상 포인트 p_R 의 x, y 좌표를 의미한다. 또한 f 는 focal length, b 는 base line을 의미한다. 본 논문에서는 투명 인터페이스가 없는 상태의 카메라 calibration 방법 [5-6]을 이용하여 focal length와 base line은 계산된 상태라고 가정한다.

III. 거리 측정 오차 발생원인

이상적인 스테레오 카메라에서의 거리 측정 방법인 삼각측량법은 앞서 서론에서 언급한 것과 같이, 차량의 실내 또는 수중 카메라에서의 housing 등과 같은 이상적인 경우가 아닌 경우, 즉 투명 인터페이스 내에 카메라를 설치 시 이 인터페이스로 인해 측정 오차가 발생한다. 이와 같은 거리 측정 오차는, 빛의 굴절로 발생하는데 그림으로 표현하면 그림 3과 같다. 점선은 투명 인터페이스가 없는 경우 빛의 경로를 표시하며 실선은 굴절이 발생한 경우를 나타낸다. 투명 인터페이스로 인한 빛의 굴절로 3D 포인트는 P 에서 P' 으로 변경된다.

빛의 굴절 경로를 결정하는 요인에는 투명 인터페이스의 두께, 형태(곡면, 평면), 카메라와 인터페이스 간의 거리 및 기울기 등이 있다.

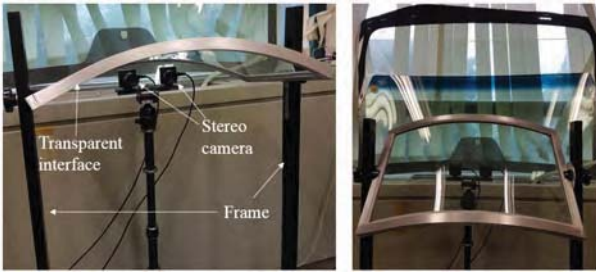


그림 4. 실험 환경 구축

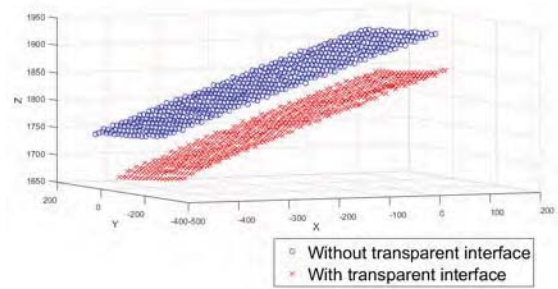


그림 5. 거리 측정 결과

IV. 실험환경 및 거리 측정 오차 결과

본 논문에서는 거리 측정 왜곡이 발생하는 원인에 대한 분석을 위하여 그림 4와 같은 실험 장비를 제작하였다. 투명 인터페이스는 유리 재질로 두께 10mm, 곡면 형태이며 인터페이스의 기울기를 조절할 수 있도록 하였다. 카메라는 IDS사의 UI-1490-LE 카메라 2개를 사용하였으며 calibration은 MATLAB에서 제공하는 Stereo Calibration App[7]을 이용하였다.

측정 방법은 카메라로부터 약 2m의 거리에 checkerboard를 두고, checkerboard로부터 추출된 포인트들과 카메라 간의 거리를 측정하였다. 투명 인터페이스가 없는 상태에서 우선 카메라 calibration을 수행하여 내/외부 파라미터들을 계산한 후, checkerboard들의 포인트들과 카메라와의 거리를 계산한 결과는 그림 5와 같다. 그림 5에서 'o'로 표기한 결과가 투명 인터페이스가 없는 상태의 거리 측정 결과이고 'x'로 표기한 결과는 투명 인터페이스가 있는 상태의 결과를 나타낸다. 약 2m의 거리에서 약 20cm의 거리 측정 오차가 발생하는 것을 확인하였다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 스테레오 카메라에서 투명 인터페이스로 인해 약 2m의 거리에서 약 20cm 거리 측정 오차가 발생한다는 것을 실험을 통하여 확인하였다. 오차가 발생하는 원인에는 투명 인터페이스의 재질, 기울기, 두께 등의 요인들이 있으며 본 논문에서는 기울기에 대한 실험을 진행하였다. 추가적으로 다른 요인들에 대한 실험을 통해 확인할 예정이다. 또한 투명 인터페이스의 모양을 추정하여 빛의 굴절 경로를 인터페이스가 없는 상태와 동일하게 보정할 수 있는 연구도 진행할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2016-0-00152, Deep Learning 기반의 보행자 안전 지원 스마트카 비전 기술의 개발)

참고문헌

- [1] Y.Zheng and S.Peng, "A Practical Roadside Camera Calibration Method Based on Least Squares Optimization," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 15, No. 2, pp. 831-843, 2014.
- [2] A.A.Ali and H.A.Hussein, "Distance Estimation and Vehicle position detection Based on Monocular Camera," in *Proc. AIC-MITCSA*, 2016, pp.1-4.
- [3] X.Chen and Y.H. Yang, "A Closed-Form Solution to Single Underwater Camera Calibration Using Triple Wavelength Dispersion and Its Application to Single Camera 3D Reconstruction," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 26, No. 9, pp. 4553-4561, 2017.
- [4] G. Bradski and A. Kaehler, "Learning OpenCV : Computer Vision with the OpenCV Library," O'Reilly, Sebastopol, CA, 2008.
- [5] Zhang, Z. "A Flexible New Technique for Camera Calibration." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 11, pp. 1330 - 1334, 2000.
- [6] Heikkila, J, and O. Silven. "A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction." in *Proc. CVPR*, 1997.
- [7] <https://mathworks.com>