

자율주행을 위한 이중초점 스테레오 카메라 시스템을 이용한 깊이 영상 생성 방법

이은경*

Depth Generation using Bifocal Stereo Camera System for Autonomous Driving

Eun-Kyung Lee*

요약

본 논문에서는 이중시점 스테레오 이미지와 그에 상응하는 깊이맵을 생성하기 위해 서로 다른 초점거리를 가지고 있는 두 카메라를 결합한 이중시점 스테레오 카메라 시스템을 제안한다. 제안한 이중초점 스테레오 카메라 시스템을 이용해 깊이맵을 생성하기 위해서는 먼저 서로 다른 초점을 가진 두 카메라에 대한 카메라 정보를 추출하기 위한 카메라 보정(Camera Calibration)을 수행한다. 카메라 파라미터를 이용해 깊이맵 생성을 위한 공통 이미지 평면을 생성하고 스테레오 이미지 정렬화(Image Rectification)를 수행한다. 마지막으로 정렬화된 스테레오 이미지를 이용하여 깊이맵을 생성하였다. 본 논문에서는 깊이맵을 생성하기 위해서 SGM(Semi-global Matching) 알고리즘을 사용하였다. 제안한 이중초점 스테레오 카메라 시스템은 서로 다른 초점 카메라들이 수행해야 하는 기능을 수행함과 동시에 두 카메라를 이용한 스테레오 정합(Stereo Matching)을 통해서 현재 주행 중인 환경에서의 차량, 보행자, 장애물과의 거리 정보까지 생성할 수 있어서 보다 안전한 자율주행 차량 설계를 가능하게 하였다.

ABSTRACT

In this paper, we present a bifocal stereo camera system combining two cameras with different focal length cameras to generate stereoscopic image and their corresponding depth map. In order to obtain the depth data using the bifocal stereo camera system, we perform camera calibration to extract internal and external camera parameters for each camera. We calculate a common image plane and perform a image rectification for generating the depth map using camera parameters of bifocal stereo camera. Finally we use a SGM(Semi-global matching) algorithm to generate the depth map in this paper. The proposed bifocal stereo camera system can performs not only their own functions but also generates distance information about vehicles, pedestrians, and obstacles in the current driving environment. This made it possible to design safer autonomous vehicles.

키워드

Depth Map Generation, Stereo Camera System, Bifocal Camera, Autonomous Driving
깊이맵 생성, 스테레오 카메라 시스템, 이중 시점 카메라, 자율 주행

* 교신저자 : 호남대학교 미래자동차공학부
• 접수일 : 2021. 09. 28
• 수정완료일 : 2021. 11. 07
• 게재확정일 : 2021. 12. 17

• Received : Sep. 28, 2021, Revised : Nov. 07, 2021, Accepted : Dec. 17, 2021
• Corresponding Author : Eun-Kyung Lee
Dept. Automotive Engineering, Honam University,
Email : ek.lee@honam.ac.kr

I. 서 론

최근 자율주행 자동차와 자율주행 서비스에 대한 관심이 증가하면서 딥러닝 기술을 이용한 자율주행 인지 및 제어 성능을 높이기 위한 노력이 많은 분야에서 진행되고 있다[1-4]. 안전한 자율주행이 가능해지기 위해서는 카메라를 통해 실시간으로 입력되는 영상에 대한 인지 정확도도 중요하지만 주변 환경에 대한 정확한 깊이 정보를 생성해 내는 것도 역시 매우 중요하다.

차량 규정의 조화를 위한 세계 포럼인 유엔 유럽 경제 위원회(United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) 산하 자동차 기준 국제 조화 회의인 Working Party 29 GRVA 전문기술 분과에서는 자율차 기능 기술 기준과 자율차 검증 방법, 사이버보안, OTA(Over the Air, 무선 소프트웨어 업데이트) 그리고 자율주행 데이터 저장시스템에 대한 기준을 마련하면서 다가올 자율주행 시대에 대한 관련 법규 및 안전 규정을 정의하고 있다[5]. 해외뿐만 아니라 국내에서도 자동차전용도로에서 자율주행 레벨 3 주행 시 흐름도 정상 상황과 이상 상황에 대한 시나리오와 함께 대응하는 기준을 정의하여 2020년 7월부터 적용하고 있다.

자율주행 분야의 기술 발전과 함께 관련 규정이 체계를 갖추게 되면 머지않은 미래에 사람들은 일상에서 자율주행 서비스를 경험해 볼 수도 있을 것이다.

자율주행 기술을 정의하는 방법은 크게 카메라를 중심으로 한 자율주행 기술과 카메라와 라이다, 레이더 센서 정보를 결합한 자율주행 기술이 있다. 카메라 중심의 자율주행 기술은 실제 주행을 통해 획득한 빅데이터를 기반으로 훈련된 딥러닝 기반의 자율주행 기술을 적용하는 것이 가장 큰 특징이다. 다른 센서에 비해 상대적으로 가격이 저렴하고, 영상 안에 많은 정보를 포함하고 있는 것이 카메라 센서의 장점이다. 그러나 카메라 센서만을 이용할 경우 정확한 3차원 깊이 정보를 획득하는데 어려움이 있다.

이에 반해 다중 센서를 결합한 자율주행 기술은 각 센서마다의 장점을 극대화하면서 각 센서의 부족한 부분을 다른 센서의 장점으로 극복하는 방법을 사용한다. 예를 들면 카메라만을 이용해서는 차량 주변 물체에 대한 깊이 정보 획득이 어렵기 때문에 이런 부

족한 부분을 라이다나 레이저를 통해 보완하는 방법이 대표적인 예라고 할 수 있다. 그러나 센서 결합 방식의 경우 라이다와 같이 고가의 센서를 사용해야 한다는 단점을 가지고 있다.

최근 자율주행 자동차에는 모두 2대 이상의 카메라를 장착하여 사용한다. 그 이유는 각 카메라마다 목표로 하는 기능과 주시하는 대상이 다르기 때문이다. 자율주행에서 주로 사용하는 카메라의 시야각을 살펴보면 크게 협각 카메라와 광각 카메라로 나누어서 정의할 수 있다. 협각 카메라는 시야각은 좁지만 멀리 있는 물체에 대한 영상을 획득할 수 있는 카메라이다. 반면에 광각 카메라는 가까운 곳에 있는 물체에 대한 정보를 폭넓게 인식할 수 있어서 측면에서 갑작스럽게 등장하는 보행자나 차량을 인지할 수 있는 장점이 있지만, 영상 자체에 왜곡이 많고 객체가 작게 보이는 단점을 가지고 있다[6].

본 논문에서는 서로 다른 초점을 가지고 독립적인 기능을 하는 두 대의 카메라를 이용해서 카메라 중심 기술의 단점이라고 할 수 있는 거리 정보를 생성하는 부분을 보완하고자 한다. 이중초점 카메라 두 대를 스테레오 시스템으로 결합하여 깊이맵을 생성할 수 있는 이중초점 스테레오 카메라 시스템을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안하는 이중초점 스테레오 카메라 시스템의 구조와 깊이맵을 생성하는 방법을 단계적으로 설명한다. III장에서 제안한 시스템을 통해 생성한 깊이맵 결과를 분석하고 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 이중초점 스테레오 카메라 시스템

그림 1은 제안하는 이중초점 스테레오 카메라 시스템과 구성을 보여준다. 제안하는 이중초점 스테레오 카메라 시스템은 1대의 광각 카메라와 1대의 협각 카메라로 이루어진다. 표 1은 이중초점 스테레오 카메라 시스템의 구성을 보여준다. 제안한 카메라 시스템은 매 프레임마다 협각 카메라 영상과 광각 카메라 영상을 획득한다. 그림 2는 깊이맵 생성을 위한 전체 구성도이다. 서로 다른 초점을 가진 카메라 간의 깊이맵을 생성하기 위해서 먼저 두 카메라에 대한 정보를 획득하기 위해서 카메라 보정(Camera Calibration)을 수

행한다[7]. 카메라 보정 시 두 카메라의 시야각이 다르기 때문에 두 영상이 모두 포함되어 있는 위치에 대한 가상 카메라 정의가 필요하다. 두 카메라 영상을 가상 카메라 위치에 맞게 워핑(Warping)을 수행하고 스테레오 정합이 가능하도록 이미지 평활화[8]를 수행한다. 평활화된 두 영상을 이용해서 스테레오 정합을 수행하여 최종 깊이맵을 생성한다.

표 1. 이중초점 스테레오 카메라 시스템 구성
Table 1. System Configuration of Bifocal Stereo Camera System

Device	Information	
Wide Angle Camera	Resolution	1920(h) X 1080(v)
	Focal Length	6mm
Narrow Angle Camera	Resolution	1920(h) X 1080(v)
	Focal Length	16mm

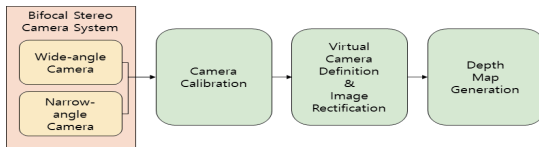


그림 1. 깊이맵 생성을 위한 전체 구성도
Fig. 1 Overall framework of depth map generation

2.1 카메라 보정 단계

이중초점 카메라 시스템을 이용하여 서로 다른 시야각을 갖는 스테레오 영상을 획득하고 스테레오 정합을 수행하기 전에 전처리 단계를 수행한다. 전처리 단계는 크게 카메라 보정 단계와 이미지 평활화 단계로 나뉜다. 카메라 보정은 각기 다른 초점거리를 갖는 두 대의 카메라의 내부 인자와 인자를 계산하는 과정이다. 카메라 보정을 통해 두 카메라의 내부 행렬 K_w 와 K_n , 회전 행렬 R_w 와 R_n , 이동 행렬 t_w 와 t_n 을 계산한 후에 각 카메라에 대한 투영 행렬인 P_w 와 P_n 를 계산한다. 식 (1)과 식 (2)는 계산한 투영 행렬을 정리한 식이다.

$$P_w = K_w [R_w | t_w] \quad (1)$$

$$P_n = K_n [R_n | t_n] \quad (2)$$

2.2 가상 카메라 정의 및 이미지 평활화 단계

카메라 보정을 하고 나면 서로 다른 시야각을 가지고 있는 두 카메라에서 공통으로 존재하는 영역을 정

의하는 가상 카메라 정의 과정을 거치게 된다. 그림 2에서 보는 것처럼 두 카메라는 서로 다른 관심영역 (Region of Interest, RoI)를 갖는다. 이러한 두 영상을 이용해서 스테레오 정합을 수행하기 위해서는 서로의 공통된 영역에 대한 가상 카메라 정의가 필요하다.

가상 카메라는 시야각이 광각보다 넓은 영역에 대한 관심영역을 갖기 때문에 협각 카메라를 기준으로 해서 평행한 위치에 동일 시야각을 갖는 가상 카메라를 정의하고 광각 카메라의 카메라 보정 결과를 이용해 이미지 워핑을 수행하여 스테레오 영상을 생성한다. 스테레오 정합을 위해서는 두 카메라는 반드시 평행해야 하기 때문에 두 가상 카메라의 내부 행렬과 회전 행렬은 같다. 단지 카메라 간의 간격을 의미하는 이동 행렬만 다르게 정의한다.

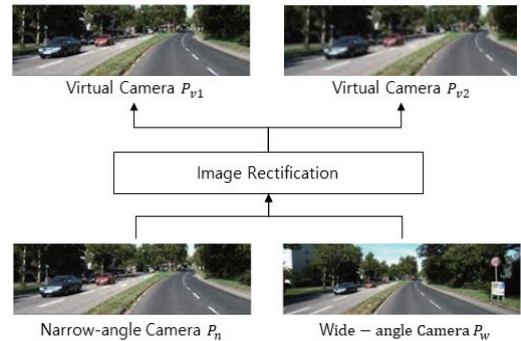


그림 2. 가상 스테레오 카메라 생성
Fig. 2 Virtual stereo camera generation

$$P_{vw} = K_v [R_v | t_{vw}] \quad (3)$$

$$P_{vn} = K_v [R_v | t_{vn}] \quad (4)$$

가상 스테레오 카메라의 카메라 정보를 생성하는 과정을 수식으로 나타내면 식(3), 식(4)과 같다. P_{vw} 은 광각 카메라 P_w 에 대응하는 가상 카메라 정보이고, P_{vn} 은 P_n 에 대응하는 가상 카메라 정보이다. K_v 와 R_v 는 두 카메라에 공통으로 적용되는 내부 행렬과 회전 행렬은 의미한다. 이렇게 생성한 카메라 파라미터를 이용해 스테레오 이미지 평활화를 수행한다.

2.3 깊이맵 생성 단계

본 논문에서는 이미지 평활화를 마친 스테레오 영

상을 이용해서 깊이맵을 생성한다. 현재 많은 연구분야에서 깊이맵을 생성하기 위한 다양한 방법들이 제안되었다. 그러나 이러한 깊이맵 생성 방법을 실제 자율주행 시스템에 적용하기 위해서는 실시간 처리가 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 향후 제안한 시스템을 이용한 실시간 처리를 구현하는 것을 향후 연구 목표로 하고 있기 때문에 GPU를 이용한 병렬처리 구현에 적합한 깊이맵 생성 방법인 SGM (Semi-Global Matching) 방법을 선택하였다[9]. SGM 방법은 이미지에서 여러 방향에 대한 비용함수를 계산하는 matching cost를 계산하는 단계와 각 방향별 cost를 종합하여 최적의 변이를 찾는 cost aggregation 과정을 통해서 최적의 깊이 정보를 추출하는 방법이다. SGM 방법은 깊이맵 정확도를 평가하는 Middlebury 사이트[10]에서 이미 정확도 성능이 검증된 방법이다.

III. 실험 결과

제안한 깊이맵 생성 방법을 평가하기 위해 2대의 서로 다른 초점거리를 갖는 이용하여 이중초점 스테레오 카메라 시스템을 구성하였다. 그림 3은 제안한 이중초점 스테레오 카메라 시스템이고, 그림 4는 제안한 시스템을 이용해 획득한 입력 영상들이다.



그림 3. 이중초점 스테레오 카메라 시스템
Fig. 3 Bifocal stereo camera system



(a) 6mm Camera (b) 16mm Camera

그림 4. 이중초점 스테레오 카메라 입력영상
Fig. 4 Input images of bifocal stereo camera

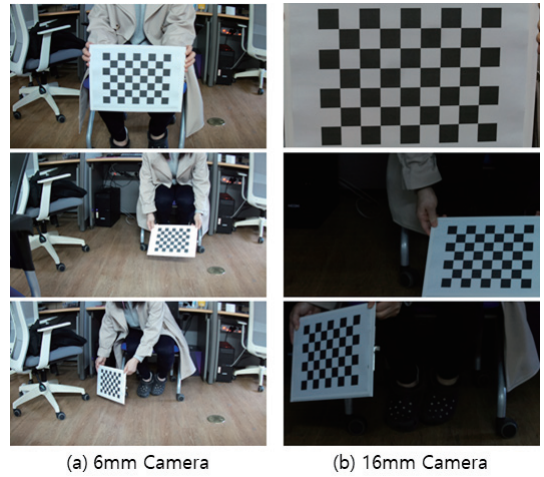


그림 5. 카메라 보정을 위한 패턴 영상 획득
Fig. 5 Pattern image acquisition for camera calibration

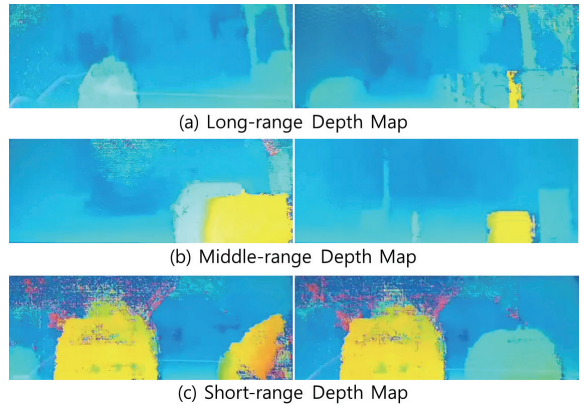


그림 6. 생성한 깊이맵 생성 결과
Fig. 6 Generated depth map results

그림 5는 카메라 보정을 위해 서로 다른 시야각을 갖는 두 카메라를 이용해 동시에 동일한 패턴 영상을 획득한 결과이고, 그림 6은 SGM 방법을 이용하여 깊이맵을 생성한 최종 결과 영상이다. 가까운 거리는 빨간색, 중간거리는 노란색 그리고 거리가 멀어질수록 진한 파란색으로 표현하는 컬러맵 방법을 사용하여 거리를 표현하였다. 결과를 통해 알 수 있듯이 제안한 시스템을 통해 주행 중 필요한 주변 자동차와 나무, 장애물 등에 대한 거리 정보를 생성할 수 있었다. 이는 긴급제동이나 앞차와의 차간 거리를 유지하는 자율주행 기술에서 활용될 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 이중초점 스테레오 카메라 시스템을 이용하여 깊이맵을 생성하는 방법을 제안하였다. 기존의 동일한 초점거리를 사용한 스테레오 카메라와의 차별성은 각각 두 대의 카메라가 목표로 하는 인지 거리영역이 다르기 때문에 두 대의 카메라가 각자의 영역에 대한 기능을 수행함과 동시에 깊이 정보까지 생성하는 새로운 시스템을 제안하였다. 기존의 카메라 기반의 자율주행 시스템에서 거리정보 획득이 어려웠던 문제점을 해결할 수 있었다. 실험 결과를 통해서 알 수 있듯이 제안한 방법을 통해서 생성한 거리 정보를 이용하여 자율주행 주행 중에 존재하는 장애물 또는 주변 차량과의 거리 추정에 이용하여 좀더 안전한 자율주행 차량 설계가 가능할 것을 기대한다. 본 논문은 향후 시스템 설계에 있어서 두 카메라 간의 거리와 카메라 화각에 대한 체계적인 분석을 통해 시스템을 업데이트할 예정이며, 시스템의 실시간 처리를 위하여 GPU를 이용한 고속화 방법에 대한 연구를 계속적으로 진행할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 호남대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

References

[1] M. Buehler, K. Iagnemma, and S. Singh, *The 2005 DARPA Grand Challenge: The Great Robot Race*. Berlin: Springer, 2007.

[2] J. Levinson, J. Askeland, J. Becker, J. Dolson, D. Held, S. Kammel, J. Z. Kolter, D. Langer, O. Pink, V. Pratt, M. Sokolsky, G. Stanek, D. Stavens, A. Teichman, M. Werling, and S. Thrun, "Towards fully autonomous driving: Systems and algorithms," in *Proc. of IEEE Intell. Vehicles Symp. (IV)*, Baden-Baden, Germany, June 2011, pp. 163-168.

[3] T.-S. Kim, Y.-G. Kim, H.-W. Jeong, Y.-J. Kim, and Y.-W. Park, "Study of Autonomous Navigation for Path Guide System Using RFID," *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 213 - 218, Feb. 2019.

[4] Y.-S. Ahn and S.-W. Kwak, "Long Distance

Vehicle Recognition and Tracking using Shadow," *The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 251 - 256, Feb. 2019.

[5] Working Party on Automated/Autonomous and Connected Vehicles (GRVA), "Framework document on automated/autonomous vehicles," *Technical report*, Dec. 2019.

[6] D. Park and H. Kim, "Improved Object Recognition using Multi-view Camera for ADAS," *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 24, no. 4, July 2019, pp. 573-579.

[7] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, Nov. 2000, pp. 1330-1334.

[8] F. Andrea, T. Emanuele, and V. Alessandro, "A compact algorithm for rectification of stereo pairs," *Machine Vision and Applications*, vol. 12, Mar. 2000, pp. 16-22.

[9] H. Hirschmuller, "Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Batching and Mutual Information," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 2. 2005, pp. 807-814.

[10] D. Scharstein and R. Szeliski, "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms," *International Journal of Computer Vision*, vol 47, Apr. 2002, pp. 7-42.

저자 소개

이은경(Eun-Kyung Lee)



2002년 호남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

2004년 호남대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)

2011년 광주과학기술원 대학원 정보기전공학부 졸업(공학박사)

2020년 ~ 현재 호남대학교 미래자동차공학부 조교수

2021년 ~ 현재 한국전자통신학회 회원

※ 관심분야 : 자율주행SW, 인공지능

