

컬러와 다중 임계값 기반 영상 분할 기법을 통한 스테레오 매칭의 성능 향상

Performance Improvement of Stereo Matching by Image Segmentation based on Color and Multi-threshold

김은경* · 조현학** · 장은석* · 김성신***[†]

Eun Kyeong Kim, Hyunhak Cho, Eunseok Jang, and Sungshin Kim[†]

*부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, **부산대학교 로봇관련협동과정, ***부산대학교 전기컴퓨터공학부

*Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University

**Department of Interdisciplinary Cooperative Course: Robot, Pusan National University

***School of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University

요약

본 논문에서는 스테레오 매칭 시 발생하는 신뢰도가 낮은 부분을 컬러와 명도의 다중 임계값에 기반한 영상 분할 기법을 통해 보정하는 방법을 제안한다. 스테레오 매칭은 좌측 영상 위의 한 점과 대응하는 점을 우측 영상에서 찾는 과정이며, 이를 통해 스테레오 영상 내에서 거리 정보를 복원할 수 있다. 하지만 영상 내 특징이 불분명한 부분의 경우, 스테레오 매칭의 신뢰도가 낮기 때문에 Bad Pixel이 발생하게 된다. 제안하는 방법에서는 Bad Pixel을 보정하기 위해서 각 픽셀의 연관성을 고려하고자 한다. 일반적으로 동일한 물체는 비슷한 색상과 명도를 가진다. 따라서 컬러와 명도의 다중 임계값에 의해 각각 분할된 영역을 통해 영역 간의 연관성을 고려하여, 동일한 물체로 판단되는 부분을 재분할한다. 이후 분할된 픽셀들의 관계 정보에 따라 디스패리티 맵의 Bad Pixel을 보정하였다. 실험 결과, 제안하는 방법을 통해 기존 방법의 결과에서 Bad Pixel이 28% 감소함을 확인하였다.

키워드 : 스테레오 매칭, 영상 분할, 디스패리티 맵, 색상, 명도

Abstract

This paper proposed the method to improve performance of a pixel, which has low accuracy, by applying image segmentation methods based on color and multi-threshold of brightness. Stereo matching is the process to find the corresponding point on the right image with the point on the left image. For this process, distance(depth) information in stereo images is calculated. However, in the case of a region which has textureless, stereo matching has low accuracy and bad pixels occur on the disparity map. In the proposed method, the relationship between adjacent pixels is considered for compensating bad pixels. Generally, the object has similar color and brightness. Therefore, by considering the relationship between regions based on segmented regions by means of color and multi-threshold of brightness respectively, the region which is considered as parts of same object is re-segmented. According to relationship information of segmented sets of pixels, bad pixels in the disparity map are compensated efficiently. By applying the proposed method, the results show a decrease of nearly 28% in the number of bad pixels of the image applied the method which is established.

Key Words : Stereo matching, Image segmentation, Disparity Map, Color, Brightness

Received: Nov. 13, 2015

Revised : Dec. 21, 2015

Accepted: Dec. 23, 2015

[†]Corresponding author

sskim@pusan.ac.kr

1. 서론

스테레오 영상은 일반적인 2-D 영상과 달리 거리 정보를 구할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점 때문에 로봇 주행을 위한 맵 생성과 내비게이션 등의 분야에 사용된다[1-3]. 스테레오 영상에서 거리 정보는 좌측 영상 위의 한 점과 대응하는 점을 오른쪽 영상 내에서 찾는 스테레오 매칭을 통해 구할 수 있다. 스테레오 매칭을 통해 구한 좌,우 영상 간의 서로 대응하는 점의 x 좌표 차이 값을 디스패리티라 부르며, 이 값을 통해 스테레오 영상의 거리 정보를 구할 수 있다. 하지만 영상 내에 특징이 뚜렷하지 않은 부분의 경우, 정확한 스테레오 매칭이 어렵다. 이에 따라 해당 영역의 디스패리티의 정확도와 거리 정보의 신뢰도가 낮아진다[4-6].

본 논문은 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었으며, 산업통상자원부가 지원하는 산업융합·연계형 로봇장인재양성사업 연구결과로 수행되었음. (N0001126)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

따라서 본 논문에서는 스테레오 매칭으로 구한 디스퍼리티 맵에서 낮은 신뢰도를 갖는 Bad Pixel을 보정하는 방법을 제안한다. Bad Pixel의 효과적인 보정을 위해 영상 내 인접한 픽셀 간의 연관성을 고려하고자 한다. 이를 위해 픽셀의 색상과 명도 정보를 기반으로 한 영상 분할 기법을 접목한 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 스테레오 영상의 특징에 대해 언급하고, 3장에서는 컬러 기반 영상 분할 기법과 명도의 다중 임계값 기반 영상 분할 기법에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 스테레오 영상에 제안하는 방법을 적용한 시뮬레이션 결과와 분석을 다룬다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 제시한다.

2. 스테레오 영상

스테레오 영상은 좌,우 카메라로 입력받은 영상의 데이터를 통해 3차원 좌표를 구할 수 있다. 먼저 일반적인 영상의 투영 과정은 그림 1의 (a)와 같다. 점 p_w 는 광학 중심을 지나 영상 평면에 맺힌다. 이 때 P_i 의 좌표 (y_i, x_i) 는 초점 거리가 길수록 x, y 좌표 값이 작아지고, 초점 거리가 짧아질수록 x, y 좌표 값이 커진다.

스테레오 영상의 투영 과정은 그림 1의 (b)와 같다. 스테레오 영상에서 거리 정보를 구하기 위해서 스테레오 매칭을 수행한다. 스테레오 매칭은 3차원 상의 한 점이 좌측과 우측 영상에 맺힌 x 좌표의 차이 값을 나타내며, 이는 디스퍼리티라고 한다.

3차원 상의 한 점 p_w 는 좌측과 우측 렌즈를 통해 각각 좌,

우 이미지 평면에 맺힌다. 일반적으로 P_{left} 와 P_{right} 의 y 축 좌표 값은 다른 값을 가진다. 하지만 스테레오 영상의 전처리 과정인 Camera Rectification을 적용함으로써 P_{left} 와 P_{right} 는 동일한 에피폴라 라인에 맺히게 되고, 동일한 y 좌표를 갖는다. Camera Rectification은 카메라 내부 파라미터와 카메라 외부 파라미터를 통해 구한 카메라의 물리적인 특성, 배치 정보 등을 이용하여 왼쪽 영상의 점들과 대응하는 오른쪽 영상의 점들을 서로 동일한 선 상에 위치시키는 과정이다. 이 선을 에피폴라 라인이라고 하며, 이를 통해 그림 1.(b)를 그림 1.(c)와 같이 1차원으로 단순화할 수 있다[7].

거리 정보를 구하기 위해 그림 1.(c)에서 삼각형의 닮음비를 이용한다. x_{left} 와 f_1 , 그리고 p_w 가 이루는 두 삼각형의 닮음비를 통해 식 (1)을 구한다. 그리고 x_{right} 와 f_2 , 그리고 p_w 가 이루는 두 삼각형의 닮음비를 통해 식 (2)를 구한다. 식 (1)과 (2)를 정리하여 식 (3)을 구하고, 이 식을 통해 p_w 의 거리 정보인 z_w 를 구한다.

$$\frac{x_{left}}{f} = \frac{x_w}{z_w} \tag{1}$$

$$\frac{x_{right}}{f} = \frac{b+x_w}{z_w} \tag{2}$$

$$z_w = \frac{bf}{x_{right} - x_{left}} = \frac{bf}{d} \tag{3}$$

식 (1), (2), (3)의 f 는 초점 거리(Focal Length)를, b 는 카메라 간의 거리인 베이스라인(Baseline)을 뜻한다. 두 값은 모두 상수이고, 카메라 내부 파라미터이다. 식 (3)에서 알 수 있듯이, 거리 정보를 구하기 위해 필요한 정보는 초점 거리, 베이스라인, 그리고 d 를 뜻하는 디스퍼리티이다. 초점 거리와

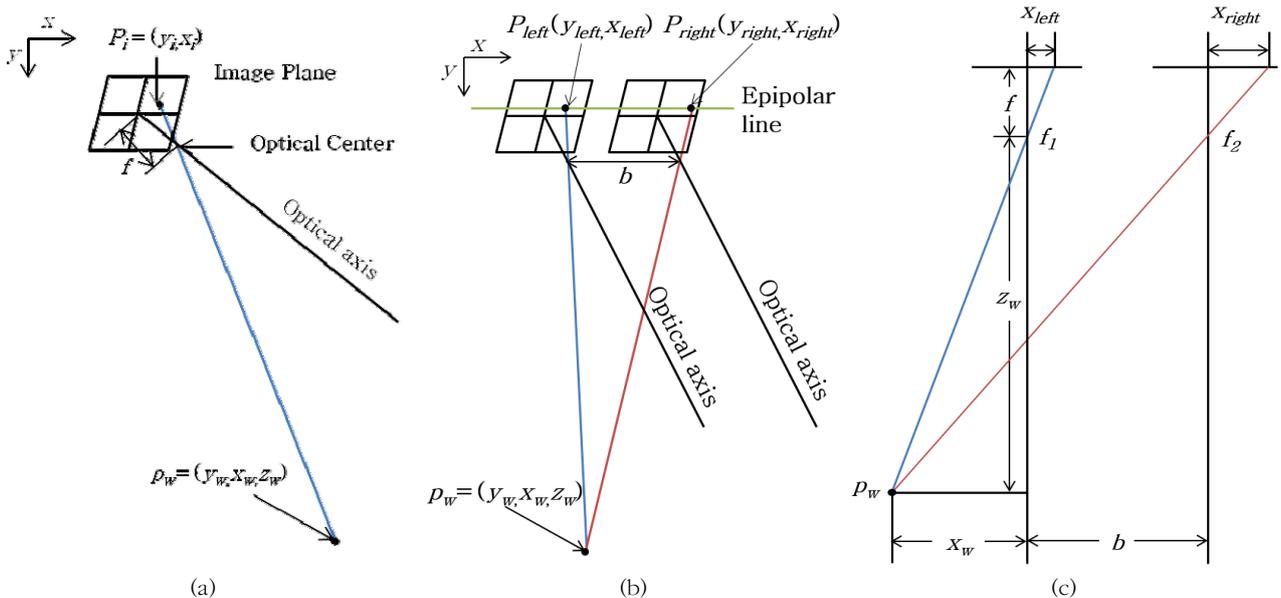


그림 1. 투영 과정 및 단순화

Fig. 1. Projection process and simplification: (a) Mono vision, (b) Stereo vision, (c) Simplification to 1-D

베이스라인은 상수이므로 디스패리티 값에 따라 거리 정보가 결정된다. 따라서 디스패리티의 신뢰도가 거리 정보의 신뢰도에 직결되므로, 정확도가 높은 디스패리티를 얻는 것이 중요하다.

이에 본 논문에서는 디스패리티의 신뢰도 높은 보정을 위해, 인접한 픽셀 간의 연관성을 고려하고자 한다. 이를 위해 픽셀의 특성을 나타내는 컬러와 명도 기반 영상 분할 기법을 제안한다.

3. 컬러 및 명도 기반 영상 분할 기법

영상 분할 기법은 Low-level Preprocessing에 사용되는 필수적인 절차이다. 또한 컴퓨터 비전과 패턴 인식 분야에서 영상을 분석하고 의미 있는 데이터를 추출해내기 위해 중요한 단계이다. 영상 분할은 픽셀의 명도, 색상, 그리고 질감 등 픽셀이 갖는 특징의 유사도에 따라 구분된다[8].

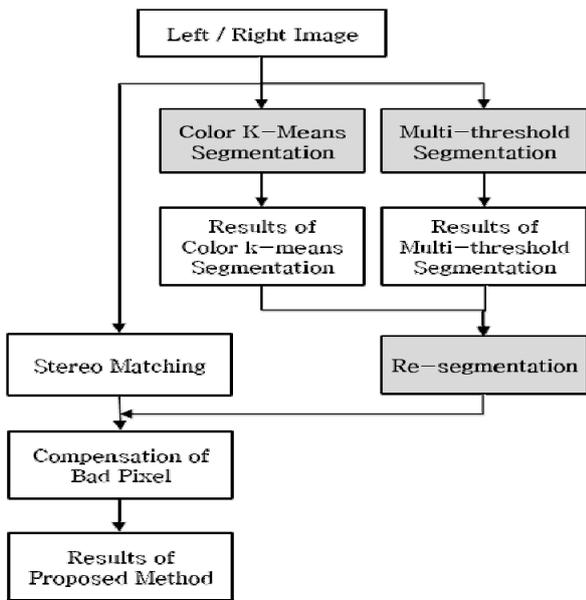


그림 2. 제안하는 방법의 순서도
Fig. 2. Flowchart of the proposed method

본 논문에서는 디스패리티 맵 보정을 위해 픽셀의 색상과 명도의 유사도를 모두 고려한 영상 분할 기법을 제안하며, 순서는 그림 2와 같다. 먼저 스테레오 매칭을 통해 디스패리티 맵을 구한다. 다음, 각 픽셀의 연관성을 고려한 디스패리티 맵 보정을 위해, 컬러와 명도의 다중 임계값 기반 영상 분할 기법을 적용하여 영상을 재분할한다. 이후 재분할된 영역 정보를 기반으로 영역 내의 Bad Pixel을 보정한다.

3-1. 컬러 기반 영상 분할

색은 색상(Color, Hue), 명도(Brightness, Value), 채도(Saturation) 세 가지 속성을 지닌다. 이 때 컬러는 어떠한 색

이 다른 색과 구별되는 속성을 나타내며, 명도는 색의 밝고 어두운 정도를 뜻한다. 그리고 채도는 색의 맑고 탁한 정도를 나타낸다. 이 중 컬러는 고유한 이름으로 구분지어 불리기 때문에, 세 가지 속성 중 가장 뚜렷한 특징을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 뚜렷한 특징을 나타내는 컬러를 기반으로 하여 스테레오 영상을 1차적으로 분할하고자 한다.

컬러 기반 영상 분할은 스펙트럼 성분들로부터 유도된 특징들을 기반으로 균일성을 만족하는 영역을 영상에서 추출하는 과정이다. 일반적으로 동일한 물체는 비슷한 컬러를 띠므로, 본 논문에서는 비슷한 컬러로 묶인 픽셀의 집합은 동일한 물체로 간주한다.

본 논문에서는 컬러 기반 영상 기법으로 Color K-Means 기법을 사용하였다. Color K-Means의 기반이 되는 K-Means 기법은 클러스터링을 위해 사용되는 알고리즘이며, 영상 분할을 위해서도 사용되고 있다. 여기서 클러스터링 기법은 다중의 클래스나 클러스터들을 정보의 연관성에 따라 그룹핑하는 과정이다[9-12].

본 논문에서 사용된 Color K-Means는 컬러의 유사성에 따라 픽셀들을 유사한 색상의 그룹으로 나누는 알고리즘이다. Color K-Means는 K-Means 알고리즘과 동일하게 k 를 지정해 주어야 한다는 단점이 있다. k 는 휴리스틱한 기법을 사용하여 20으로 결정하였으며, 사진 내의 복잡성과 연산 시간을 고려하였다.

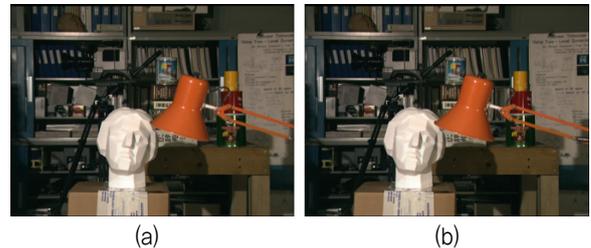


그림 3. 스테레오 영상
Fig. 3. Original stereo images: (a) Left, (b) Right



그림 4. 컬러 기반 영상 분할 결과
Fig. 4. Results of image segmentation based on color

그림 3은 스테레오 카메라를 통해 획득한 좌,우 영상을 나타낸다[13]. 그림 4는 Color K-Means 기법을 사용해 그림 3의 원본 영상을 컬러 정보 기반으로 분할한 결과이다. 복잡한 영상일수록 영상 내에서 비슷한 색의 분포가 많다. 따라서 그림 4에서 볼 수 있듯이, 영상 내의 컬러 정보만을 기반으로 한 영상 분할 결과는 정확하게 물체를 분할하지 못한다.

3-2. 명도 기반 영상 분할

색의 세 가지 속성 중 하나인 명도는 색의 밝기 정도를 나타낸다. 컬러와 같이 명도 역시 동일한 물체의 경우 비슷한 명도를 가진다. 따라서 명도에 따라 영상을 분할할 수 있기 때문에, 영상의 히스토그램을 토대로 임계값을 결정하였다. 이 때 임계값은 히스토그램 분포의 밀집도에 따라 설정하였다. 히스토그램은 영상 내에서 해당 명도값이 나타난 빈도수를 나타내며, 영상의 특성을 파악하기 위해 사용한다[14-16]. 영상 분할을 위한 임계값이 하나일 경우, 이진 영상과 같이 흑백으로 나누어진다. 본 논문에서는 비슷한 명도를 갖는 픽셀들의 집합으로 영상을 분할하기 위해서, 두 개의 임계값을 이용하여 구간에 따라 영상을 분할하였다. 그 결과는 그림 5에 나타내었다. 그림 5는 그림 4와 마찬가지로 각각의 물체들을 명확하게 분할하지 못한다.

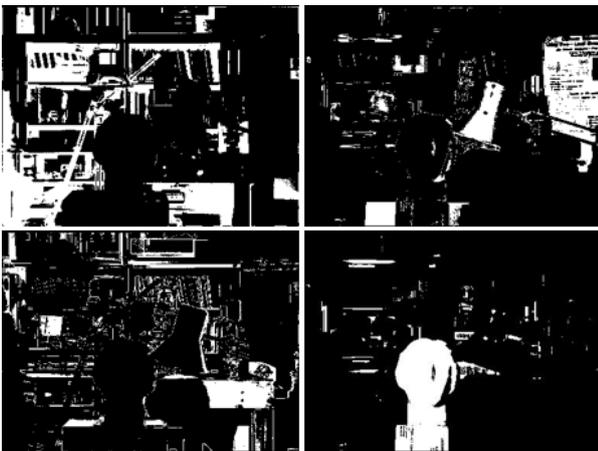


그림 5. 다중 임계값 기반 영상 분할 결과
Fig. 5. Results of image segmentation based on multi-threshold

이를 보완하기 위해 본 논문에서는 동일한 물체의 경우, 비슷한 컬러와 명도를 갖는다고 가정한다. 이 두 가지 기준을 접목시켜 동일하다고 판단되는 물체를 컬러와 명도 정보를 통해 분할하고, 해당 영역 내의 디스퍼리티 값을 보정하고자 한다.

4. 실험 결과

일반적으로 동일한 물체는 비슷한 거리를 갖는다고 가정할

수 있다. 따라서 동일한 물체로 판단되는 영역의 디스퍼리티 값을 참고하여 보정함으로써 디스퍼리티 맵의 신뢰도를 높일 수 있다. 이를 위해 영상 내의 동일한 물체를 구별해낼 수 있는 기준이 필요하다. 일반적으로 동일한 물체는 비슷한 명도와 비슷한 컬러를 가진다고 볼 수 있으므로, 두 가지 특징이 비슷한 값을 가질 경우, 픽셀 간 연관성이 높다고 판단할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 두 가지 기준을 함께 고려하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 방법은 먼저 스테레오 매칭을 통해 스테레오 영상의 디스퍼리티 맵을 구한다. 구해진 디스퍼리티 맵의 신뢰도를 높이기 위해, 각 픽셀의 연관성을 고려하고자 한다. 픽셀의 컬러와 명도가 비슷한 경우 픽셀 간의 연관성이 높다고 볼 수 있고, 이는 두 픽셀이 동일한 물체의 영역임을 암시한다. 따라서 먼저 원 영상에 컬러 기반으로 영상 분할을 진행하고, 원 영상에 명도 기반 영상 분할을 수행한다.

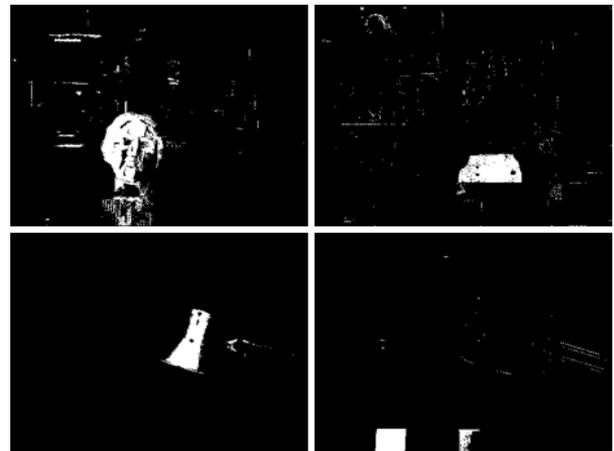


그림 6. 컬러와 다중 임계값 기반 영상 분할 결과
Fig. 6. Results of image segmentation based on color and multi-threshold

이후에 진행되는 두 기법의 결합을 위해, 컬러 및 명도 정보를 토대로 분할된 각 영역을 라벨링한다. 이를 기반으로 영상을 비슷한 컬러와 명도를 갖는 데이터의 결합으로 재분할한다. 그림 6은 재분할된 영상 결과의 일부이다. 그림 4와 5의 결과보다 물체를 세분화하여 분할하였음을 확인할 수 있다. 재분할한 영상을 토대로 다음과 같이 디스퍼리티 맵을 보정하였다.

재분할된 영역은 동일한 물체를 가진다고 가정하였으므로, 비교적 동일한 디스퍼리티를 가질 것으로 기대한다. 따라서 재분할된 영역 내의 픽셀들의 디스퍼리티의 평균을 구한 후, 이 값과 각 픽셀의 디스퍼리티의 차이가 2 이상인 값들을 Bad Pixel로 지정하였다. 이 때 재분할된 영역은 해당 영역의 픽셀 수가 100 이상인 영역들만 고려하였다. Bad Pixel로 판별된 픽셀은 영역 내의 디스퍼리티 값을 토대로 보정하였고, 실험 결과는 그림 7과 같다.

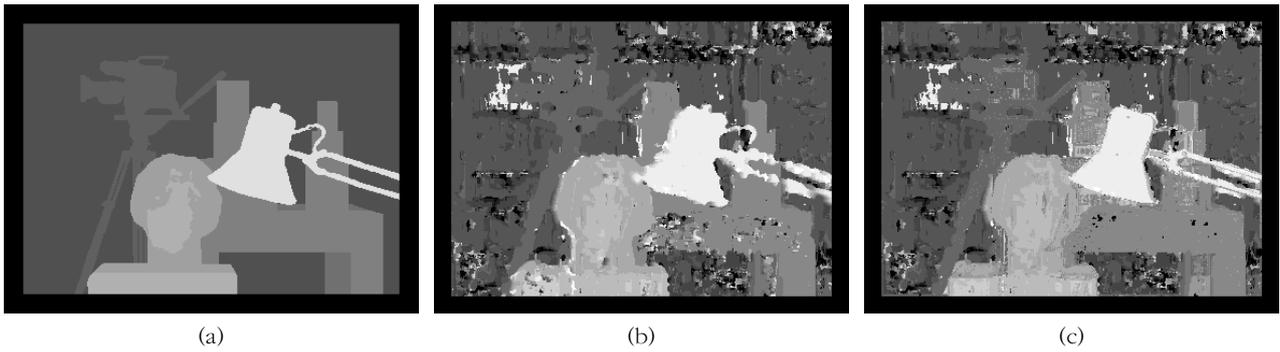


그림 7. 실험 결과 비교

Fig. 7. Comparison of experiment results: (a) Ground truth, (b) SAD, (c) Proposed method

그림 7.(a)는 실험에 사용된 영상의 Ground Truth이다. 그림 7.(b)는 기존 Block Matching 방법인 Sum of Absolute Difference(SAD)로 계산한 디스패리티 맵이며, 그림 7.(c)는 제안하는 방법의 결과로, 전체적인 물체의 윤곽선이 기존 방법보다 뚜렷해졌음을 확인할 수 있다.

표 1은 실험을 통해 구한 디스패리티 맵인 그림 7.(b)와 (c)의 Bad Pixel 비율을 나타낸다. 실험 결과, 제안하는 방법을 적용한 경우 대부분의 영역에서 Bad Pixel이 감소하였다. 영상 전체적으로는 Bad Pixel이 28% 더 감소하였음을 확인하였다.

표 1. Bad pixel 비교

Table 1. Comparison of bad pixel

	SAD	Proposed Method
Camera	9.43%	2.81%
Desk	11.54%	6.05%
Plaster Cast	3.05%	1.34%
All	7.98%	5.76%

5. 결론 및 향후 연구

스테레오 영상은 거리 정보를 구할 수 있기 때문에 로봇의 맵 생성과 내비게이션 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 스테레오 영상에서 거리 정보를 얻기 위해서는 초점 거리, 베이스라인, 그리고 디스패리티 값이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 정확도가 높은 거리 정보를 위해 디스패리티 값을 효과적으로 보정하기 위한 방법을 제안하였다. 이를 통해 스테레오 매칭으로 구해진 디스패리티 맵 내의 Bad Pixel을 보정하여 거리 정보의 신뢰도를 높이고자 하였다. 이를 위해 픽셀 간의 연관성을 고려하였다. 일반적으로 동일한 물체는 비슷한 컬러와 명도를 가지기 때문에 비슷한 디스패리티를 가질 것이라 가정할 수 있다. 따라서 컬러와 명도를 기준으로 영상을 재분할하였다. 재분할 결과, 컬러와 명도 정보를 기반으로 한 각각의 결과보다 물체를 더 세분화하여 분할할 수 있었다. 이를 기반으로 한 디스패리티 보정

실험 결과, 기존 방법보다 Bad Pixel이 28% 더 감소하였음을 확인하였다.

향후 연구에서는 디스패리티 보정 시 가중치를 둬으로써 신뢰도를 향상시킬 수 있는 연구를 진행하고자 한다.

References

- [1] G. N. DeSouza, and A. C. Kak, "Vision for mobile robot navigation: A survey," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 2, pp. 237-267, 2002.
- [2] C. Häne, et al., "Stereo depth map fusion for robot navigation," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1618-1625, 2011.
- [3] H. H. Min, D. S. Yoo, and Y. T. Kim, "Fuzzy Tracking Control Based on Stereo Images for Tracking of Moving Robot," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 198-204, 2012.
- [4] D. Scharstein, and R. Szeliski, "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms," *International Journal of Computer Vision*, vol. 47, no. 7, pp. 7-42, 2002.
- [5] F. Tombari, et al., "Classification and evaluation of cost aggregation methods for stereo correspondence," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, 2008
- [6] X. Sun, et al., "Stereo matching with reliable disparity propagation," *International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization and Transmission*, pp. 132-139, 2011.
- [7] I. Oh, *Computer Vision*, Hanbit Academy Inc., 2014.
- [8] T. Sağ, and M. Çunkaş, "Color image segmentation based on multiobjective artificial bee colony optimization," *Applied Soft Computing*, vol. 34, pp.

389-401, 2015

[9] W. Skarbek, et al., "Colour image segmentation-a survey," 1994.

[10] B. I. Choi, and C. H. Rhee, "Fuzzy Kernel K-Nearest Neighbor Algorithm for Image Segmentation," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 15, no. 7, pp. 828-833, 2005.

[11] P. Corke, *Robotics, Vision and Control*, Springer, 2011.

[12] H. Li, H. He, and Y. Wen, "Dynamic particle swarm optimization and K-means clustering algorithm for image segmentation," *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, pp. 4817-4822, 2015.

[13] D. Scharstein, and R. Szeliski, "Middlebury Stereo Vision Page", Available: <http://vision.middlebury.edu/stereo/>, 2002, [Accessed: November 03, 2015]

[14] Y. H. Cho, "Shape Image Recognition by Using Histogram-based Correlation," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 4, pp. 548-553, 2010.

[15] N. Duan, et al., "Multi-thresholds Selection Based on Plane Curves," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 2, pp. 279-284, 2010.

[16] S. B. Roh, et al., "Space Partition using Context Fuzzy c-Means Algorithm for Image Segmentation," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 3, pp. 368-374, 2010.

저 자 소 개



김은경(Eun Kyeong Kim)
 2014년 : 부산대학교 전자전기공학부
 공학사
 2014년~현재 : 부산대학교 대학원
 전자전기컴퓨터공학과
 석사과정

관심분야 : Intelligent System, Computer Vision
 Phone : +82-51-510-2367
 E-mail : kimeunkyeong@pusan.ac.kr



조현학(Hyunhak Cho)
 2011년 : 신라대학교
 컴퓨터정보공학부 공학사
 2013년 : 부산대학교
 로봇관련협동과정 공학석사
 2013년~현재 : 부산대학교 대학원
 로봇관련협동과정 박사과정

관심분야 : Image Processing, Intelligent Robot
 Phone : +82-51-510-2367
 E-mail : darkruby1004@pusan.ac.kr



장은석(Eunseok Jang)
 2015년 : 인제대학교
 전자지능로봇공학과 공학사
 2015년~현재 : 부산대학교 대학원
 전기전자컴퓨터공학과
 석사과정

관심분야 : Intelligent System, Computer Vision
 Phone : +82-51-510-2367
 E-mail : esjang@pusan.ac.kr



김성신(Sungshin Kim)
 1986년 : 연세대학교 전기공학과 공학석사
 1996년 : Georgia Inst. of Technology,
 전기 및 컴퓨터공학부 공학박사
 1998년~현재 : 부산대학교
 전기컴퓨터공학부 교수

관심분야 : Intelligent System, Intelligent Robot, Fault
 Diagnosis and Prediction
 Phone : +82-51-510-2374
 E-mail : sskim@pusan.ac.kr