

단일 스마트폰 카메라를 이용한 3D 거리 추정 방법

*배철균 **고영민 ***김승기 ****김대진

전남대학교

*bck2290@naver.com, **abc0202k@nate.com, ***seunggi_kim@naver.com ****djinkim@jnu.ac.kr

3D Depth Estimation by Using a Single Smart Phone Camera

*Bae, Chul Kyun **Ko, Young Min ***Kim, Seung Gi ****Kim, Dae Jin

Chonnam National University

요약

최근 VR(Virtual Reality)와 AR(Augmented Reality)의 발전에 따라 영상 또는 이미지에서 카메라와 물체 사이의 거리를 추정하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 카메라와 물체 사이의 거리 추정 방법 중에서 단일 카메라를 이용하여 촬영한 이미지의 흐림 정도를 분석하여 3D 거리를 추정하는 알고리즘을 연구한다. 특히 고가의 렌즈가 장착된 DSLR 카메라가 아닌 스마트폰 카메라 이미지에서 DFD를 이용한 거리 추정 방법 중 1개의 이미지를 이용한 3D 거리 추정 방법과 초점이 서로 다른 2개의 이미지를 결합하여 3D 거리를 추정하는 방법을 연구하고 최적화된 피사체 범위에 대해 연구하였다. 한 개의 이미지를 이용한 거리 추정에서는 카메라의 초점 거리를 200 mm로 설정할 때, 두 개의 이미지를 이용한 거리 추정에서는 두 이미지의 초점 거리를 각각 150 mm, 250 mm로 설정했을 때 가장 넓은 거리 추정 범위를 갖는다. 또한, 두 거리 추정 방법 모두 초점 거리가 가까울수록 가까운 물체의 거리 추정에 효율적인 것으로 나타났다.

1. 서론

최근 VR(Virtual Reality)와 AR(Augmented Reality)의 발전에 따라 영상 또는 이미지에서 카메라와 물체 사이의 거리를 추정하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 카메라와 물체 사이의 거리 추정 방법은 크게 카메라와 IR(Infrared ray) 프로젝터를 혼합하여 사용하는 방법, 물리적으로 거리가 있는 2개의 카메라(stereo camera)에서 촬영한 2개의 이미지를 사용하는 방법, 그리고 1개의 단일 카메라에서 촬영한 이미지를 사용하는 방법으로 나뉜다.

카메라와 IR 프로젝터를 혼합하여 사용하는 방법은 이미 상용화된 X-Box Kinect에 적용된 방법이다. 이는 IR 프로젝터에서 일정한 패턴으로 방사한 적외선이 물체에서 반사되며, 반사된 적외선 패턴을 IR 센서에서 분석하여 물체와의 거리를 추정한다. 간단한 원리이지만 IR 프로젝터와 IR 센서가 반드시 필요하고, IR 프로젝터의 해상도가 높지 않다는 단점이 있다. 스테레오 카메라는 사람의 눈처럼 2개의 카메라를 이용하는 방법이다. 마찬가지로 3D 촬영이 가능한 스마트폰에 탑재된 카메라는 대부분 스테레오 카메라를 이용하여 3D 이미지를 생성한다. 스테레오 카메라란 우리 인체의 눈을 모방한 방법으로 약간의 거리를 둔 2개의 카메라의 각도차이를 이용하여 거리를 계산한다. 스테레오 카메라 또한 2개의 카메라를 이용하기 때문에 한 개의 카메라를 이용하는 방법이 추가적으로 한 개의 카메라가 더 필요하며, 두 카메라가 위치해야 하기 때문에 크기적 제약이 따른다.

이에 반해 단일 카메라에서 촬영한 이미지를 이용한 거리추정은 흔히 우리가 볼 수 있는 사진을 이용하여 거리를 계산한다. 단일 카메라에 거리 계산을 위해 DFD(Depth from defocus)기법을 사용한다.

DFD는 그림 1처럼 초점면의 피사체와 초점면에서 떨어진 피사체의 흐림 정도 차이를 사용한다. 따라서 IR 프로젝터나 추가적인 장치 없이 촬영된 이미지만으로 거리 추정이 가능하기 때문에 손쉽게 응용할 수 있다. 심지어 최근 스마트폰 모델들은 수동 초점 변경 기능이 있어, 초점을 조절한 스마트폰 이미지를 이용하여 물체와의 거리를 추정하는 것도 가능하다. 스마트폰 이미지에 DFD를 적용하기 위해서는 스마트폰 카메라가 아웃포커싱 기능을 지원하거나, 수동 초점 조절 기능을 지원해야 한다.

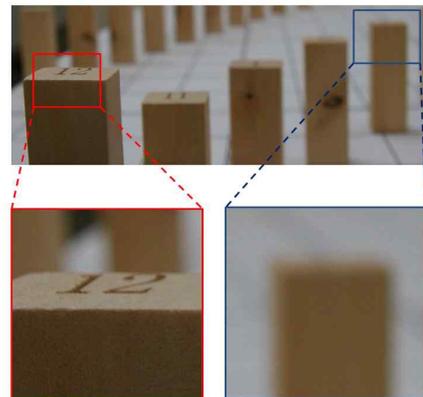


그림 1. 초점면에 있는 피사체(왼쪽)와 초점면에서 떨어진 피사체(오른쪽)의 맺히는 상 차이

본 논문에서는 스마트폰 카메라 이미지에서 DFD를 이용한 거리 추정 중 1개의 이미지를 이용한 거리 추정 방법[1]과 초점이 서로 다른

2개의 이미지를 결합하여 거리를 추정하는 방법[2]을 연구하고 최적화된 피사체 범위와 카메라 초점 거리 설정을 제안한다.

2. 3D 거리 추정 방법

가. Defocus를 이용한 거리 추정

그림 2는 카메라에서 상이 맺히는 기하학적 구조를 나타낸다. 피사체로부터 방사된 빛은 렌즈에 의해 굴절되어 초점면의 점 I_f 에 모아진다. 렌즈의 초점거리가 F 인 얇은 렌즈를 갖는 카메라의 경우 피사체와 렌즈와의 거리 D_{OL} 과 초점이 맞춰진 이미지에서 렌즈까지의 거리 D_{LF} 간의 관계는 얇은 렌즈 법칙에 의해

$$\frac{1}{D_{OL}} + \frac{1}{D_{LF}} = \frac{1}{F} \quad (1)$$

로 나타난다.

하지만 이미지 센서 평면이 초점면과 일치하지 않으면, 이미지 센서에 맺힌 상은 반지름이 R 인 원형으로 나타난다. 이 때, 렌즈와 피사체 사이의 거리 D_{OL} 과 R 사이의 관계는

$$D_{OL} = \frac{FD_{LS}}{D_{LS} - F - 2fR} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다.[3] 따라서 이미지에서 피사체의 흐림 정도를 분석하면 카메라와 피사체 사이의 거리를 추정할 수 있다. 여기에서 f 는 카메라의 f-넘버이며, D_{LS} 는 카메라 렌즈와 이미지 센서 사이의 거리를 나타낸다.

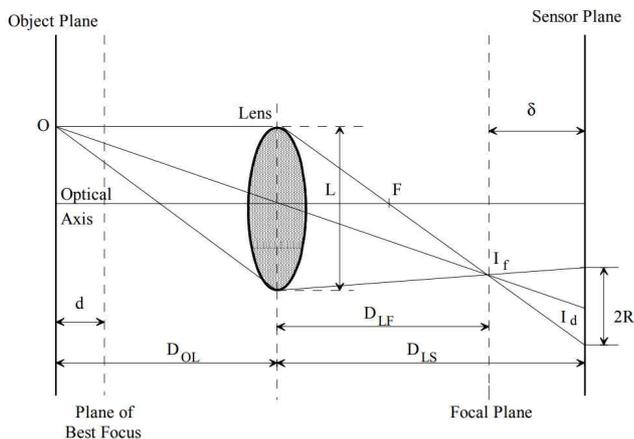


그림 2. 카메라에 상이 맺히는 기하학적 구조

나. 1개의 이미지를 이용한 DFD

비초점에서 흐림 현상은 일반적으로 샤프한 이미지와 점 확산 함수의 컨볼루션으로 모델링 된다. 이때 점 확산 함수가 가우시안 함수로 모델링 된다.

$$i(x) = f(x) \otimes g(x, \sigma) \quad (3)$$

$f(x)$ 는 샤프한 이미지이고, $g(x, \sigma)$ 는 표준 편차 σ 를 갖는 가우시안 함수이다.

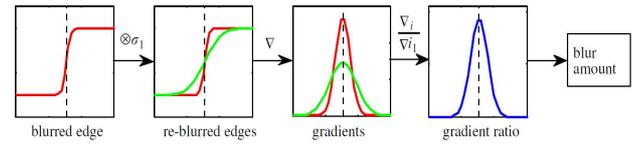


그림 3. 1개 이미지를 이용한 DFD에서 흐림 정도 계산 방법

물체의 경계가 아닌 표면에서는 흐림 정도를 계산하기 어렵기 때문에, 이미지에서 물체의 경계를 추출해야 한다. 초점이 맞는 물체의 경계는 경계면에서 흐림 효과가 전혀 없어서 계단함수 모양으로 모델링 되지만, 초점이 맞지 않는 물체의 경계는 경계면 주변이 흐려져 그림 3의 첫 번째 박스와 같은 모양을 갖는다. 흐림 효과를 명확하게 하기 위하여 추출된 경계는 가우시안 커널에 의해 더 흐려지게 된다. 이후 기존의 흐린 경계와 다시 흐려지게 한 이미지의 경계에서 미분을 계산하고, 계산된 미분값들의 비율을 통해 흐림 정도를 추정할 수 있다.

$$C = \frac{|D_{OL} - D_f|}{D_{OL}} \frac{F^2}{N(D_{OL} - F)} \quad (4)$$

추정된 흐림 정도와 거리와의 관계는 위의 식처럼 유도될 수 있다. 이때, C 는 점 확산함수에 의해 흐려진 점의 지름, N 은 카메라의 f-넘버이다.

다. 2개의 이미지를 이용한 DFD

1개의 이미지를 이용한 DFD에서는 가장 가까운 피사체에 초점을 맞추고 촬영을 해야 하는 제약이 있다. 예를 들어 카메라로부터 10cm, 20cm, 그리고 30cm에 물체가 놓여 있는 장면에서 20cm 거리에 있는 물체에 초점을 맞추고 촬영한 경우를 가정한다. 이때 10cm와 30cm 거리에 있는 물체 모두 흐림 효과가 발생하지만 흐림 효과가 초점면으로부터 가까운 쪽에 있는지 먼 쪽에 있는지 구분할 수가 없다.

이러한 단점을 극복하고 1개의 이미지를 이용한 DFD의 유효 범위를 넓히기 위하여 2개의 이미지에서 흐림 정도 차이를 이용한다. 2개의 이미지 흐림 정도 차이를 이용하면 거리 추정 범위를 넓히고 반드시 가장 가까운 물체에 초점을 맞추지는 않아도 되지만, 정확하게 같은 장면에 대해 다른 초점을 갖는 이미지 2장이 필요하기 때문에 삼각대와 같은 고정 장치가 필요하며, 물체가 움직임이 없어야 한다.

3. 실험 결과

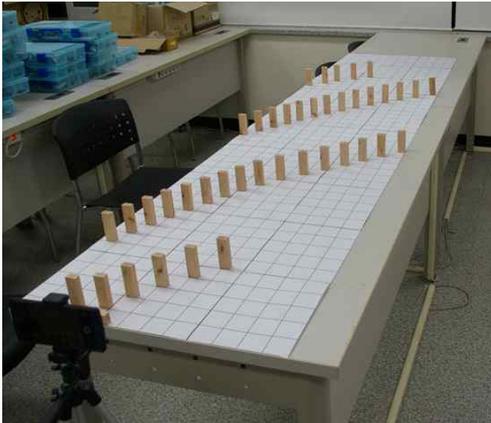


그림 4. 스마트폰 카메라로 부티의 100 mm부터 2000 mm 까지 50 mm 간격으로 피사체를 배치한 실험 환경

실험에 사용된 스마트폰은 LG V10기종이며, 전문가 촬영 모드로 초점 거리를 수동으로 조절할 수 있었다. 카메라의 f-넘버는 F/1.8, 초점거리 4 mm, 노출시간 1/60초, ISO 감도 50이다. 피사체는 카메라로부터 100mm 거리부터 50mm 간격으로 2000mm까지 셋팅하였다. 실험 환경은 그림 4와 같다.

표 1. 1개 이미지를 이용하여 추정된 3D 거리의 유효 범위

초점거리 (mm)	3D 거리 유효범위 (mm)	3D 거리 유효 범위의 길이 (mm)
100	100 ~ 450	350
150	150 ~ 500	450
200	200 ~ 750	550
250	250 ~ 800	550
300	300 ~ 800	500

표 2. 2개 이미지를 이용하여 추정된 3D 거리 유효 범위

초점거리 (mm)		3D 거리 유효 범위 (mm)	3D 거리 유효 범위의 길이 (mm)
이미지 1	이미지 2		
100	200	100 ~ 700	600
100	300	150 ~ 750	600
150	200	100 ~ 750	650
150	250	100 ~ 800	700
150	300	150 ~ 800	650
200	300	200 ~ 800	600

표 1과 표2는 각각 1개와 2개 이미지를 이용하여 DFD 방식으로 추정된 3D 거리의 유효 범위를 나타낸다. 실제 피사체 거리와 추정된 거리사이의 오차가 10% 이내인 경우에만 3D 거리 추정의 유효 범위로

고 판단하였다. 그림 5와 그림 6은 각각 1개와 2개 이미지를 이용하여 DFD로 추정된 3D 거리의 오류를 나타낸다. 이때, 3D 거리의 오류는 식(5)와 같이 정의한다. d 는 렌즈와 물체 사이의 실제 거리, \hat{d} 는 DFD 방식으로 추정된 거리를 나타낸다.

$$depth\ error = \frac{|d - \hat{d}|}{d} \quad (5)$$

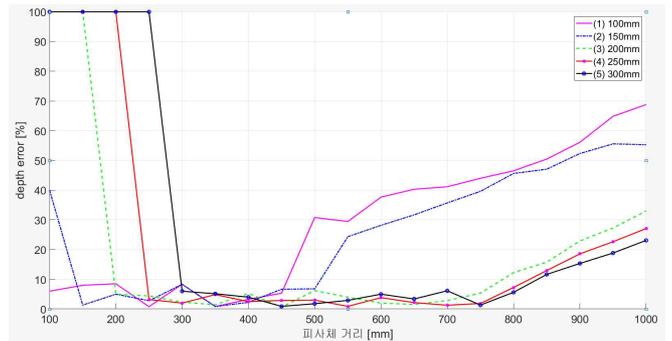
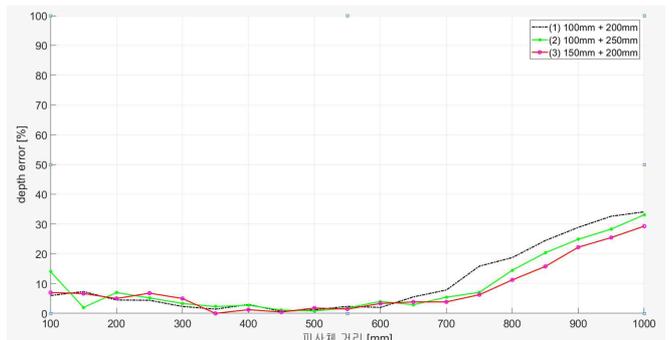
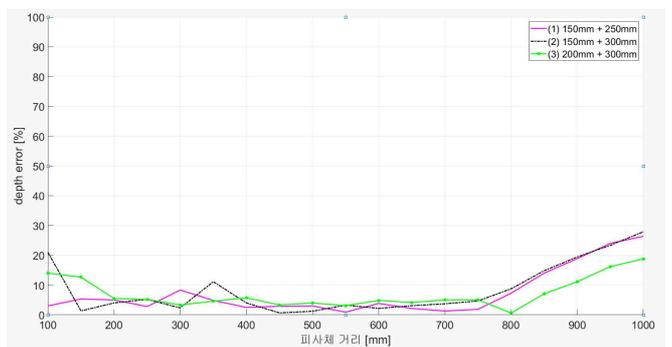


그림 5. 1개의 이미지를 이용하여 추정된 3D 거리에서의 오류 정도. 스마트폰 카메라의 초점을 100 mm부터 300 mm까지 50 mm 간격으로 측정.



(a)



(b)

그림 6. 2개의 이미지를 이용하여 추정된 3D 거리에서의 오류 정도. (a)는 이미지 1의 초점거리가 100, 100, 100, 100, 150 mm 이고 이미지 2의 초점거리가 150, 200, 250, 300, 200 mm 인 경우이며, (b)는 이미지 1의 초점거리가 150, 150, 200, 200, 250 mm 이고 이미지 2의 초점거리가 250, 300, 250, 300, 250 mm 인 경우이다. 범례는 첫번째 이미지의 초점거리 + 두 번째 이미지의 초점거리로 표시하였다.

실험결과 1장의 이미지를 이용한 3D 거리 추정에서는 피사체가 렌즈로부터 500 mm 이내에 가깝게 위치한 경우 스마트폰의 초점을 100 mm에 맞춘 후 촬영한 이미지로도 충분히 DFD를 이용한 거리 추정이 가능한 것으로 나타났다. 또한 250 mm 에 초점을 맞춘 이미지를 사용했을 때, 추정 가능한 거리가 250 mm부터 750 mm로 가장 넓게 분포되어 있었다.

1장의 이미지를 이용하여 추정한 거리 추정보다 2장의 이미지를 결합하여 추정한 거리 추정 방법이 유효범위가 더 넓은 것으로 나타났다. 첫 번째 이미지의 초점 거리를 150 mm, 두 번째 이미지의 초점 거리를 250 mm로 설정하여 촬영한 두 장의 이미지를 이용하면 가까운 물체부터 멀리 있는 물체까지 거리 추정이 가능한 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 스마트폰 카메라를 이용하여 촬영한 이미지에 DFD를 적용하여 3D 거리 추정하는 알고리즘에 관한 연구를 진행하였다. 실험에는 LG V10 기종, f-넘버가 1.8, 렌즈의 초점거리가 4mm인 전면 카메라를 사용하였다.

실험결과 한 장의 이미지를 사용한 DFD 추정에서는 스마트폰 카메라의 초점거리를 200 mm에 맞췄을 때 3D 거리 추정 유효 범위가 550 mm로 가장 넓었다. 2장의 이미지를 이용한 DFD 3D 거리 추정에서는 첫 번째 이미지의 초점거리를 150 mm, 두 번째 이미지의 초점 거리를 250 mm로 설정하였을 때 3D 거리 유효 범위가 700 mm로 가장 넓었다. 2장의 이미지를 이용한 DFD에서 3D 거리 추정이 측정 가능한 유효범위가 더 넓은 것으로 나타났다. 다만 한 장면에 대해 서로 초점이 다른 2장의 이미지를 촬영하기 위해서는 물체가 정적이어야 하며 카메라를 고정할 수 있는 장치가 필요하다.

5. 참고자료

- [1] H. Tang, S. Cohen, B. Price, S. Schiller and K. N. Kutulakos, "Depth from Defocus in the Wild," 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, Hawaii, USA, 2017, pp. 4773-4781.
- [2] Shaojie Zhuo, Terence Sim, "Defocus Map Estimation from a Single Image", Pattern Recognition, Volume 44, Issue 9, 2011, pp. 1852-1858.
- [3] V. Aslantas and D.T. Pham, "Depth from Automatic Defocusing," Opt. Express 15, 2007, pp. 1011-1023