

HDR 영상과 구조적 조명을 이용한 3차원 형상 취득 기법

박태장, 원재현, 이만희, 박인규

인하대학교 정보공학과

{taejang.park, won1425}@gmail.com maninara@inha.edu pik@inha.ac.kr

3D Shape Acquisition Using HDRI and Structured Lighting

Tae Jang Park, Jae Hyun Won, Man Hee Lee, and In Kyu Park

School of Information Engineering, Inha University

요 약

구조적 조명 기법은 그레이코드 패턴광을 물체에 투영시켜 정확하게 3차원 형상 정보를 복원 할 수 있는 방법이다. 그러나 물체에 투영되는 그레이코드 패턴광이 카메라에 정확하게 인식 되어야 보다 정밀하게 3차원 좌표를 추정할 수 있다. 즉, 주변광의 밝기가 패턴광의 밝기에 비해 무시할 수 없을 정도로 밝은 경우 카메라가 물체와 투영된 패턴을 정확히 인식하기 어렵다. 본 논문에서는 구조적 조명 기법이 주변의 밝기에 따라 제한적인 문제점을 해결하기 위해 High Dynamic Range Imaging (HDRI) 알고리즘을 적용시켜 보다 넓은 동적 범위의 밝기 영역에서 3차원 형상을 정확하게 복원하는 방법을 제안한다. 실험결과 HDRI를 이용하여 복원하였을 경우 그렇지 않은 경우에 비해 복원 정밀도가 크게 개선되는 것을 확인할 수 있다.

1. 서론

광학적 3차원 측정 기술은 3차원 물체 정보 인식의 가장 효율적인 방법 중 하나이다. 구조적 조명을 이용한 물체 복원 방법은 높은 정확성, 빠른 수행시간 그리고 저비용 때문에 3차원 물체 복원 분야에서 널리 사용되고 있다. 구조적 조명 알고리즘은 카메라와 프로젝터를 이용하여 3차원 물체를 복원한다. 그러나 이미지를 취득하는 장치는 모두 제한된 동적 범위를 가지고 있다. 디지털카메라의 경우는 CDD(Charge-coupled devices)센서에 의해 아날로그 카메라는 필름의 특성에 의하여 제한된 동적 범위를 가지고 있다. 따라서 카메라의 제한된 밝기 범위 때문에 기존의 구조적 조명 기법은 실내의 제한된 밝기 영역에서만 3차원 물체 복원이 가능하였다. 즉, 너무 밝은 영역에서는 카메라의 동적 범위를 초과하여 아주 밝은 부분의 정보를 손실하고 어두운 영역에서는 낮은 밝기를 가진 영역의 정보를 손실한다. 이러한 카메라의 제한된 동적 범위 때문에 3차원 물체에 투영된 특정패턴을 정확히 인식하지 못하게 되고 그 결과 구조적 조명을 이용하여 3차원 물체를 복원할 경우 복원의 정밀도가 감소하게 된다. 따라서 본 연구에서는 HDRI (high dynamic range imaging) 기법을 이용하여 보다 일반적인 환경에서 3차원 물체의 복원 정밀도를 향상시키는 새로운 방법을 제안한다. HDR이미지를 얻기 위해 본 연구에서는 오직 노출 값만 변화를 주어 손실될 영역의 정보를 줄여 카메라의 밝기범위를 증가시켰다. 그에 따라 기존의 밝기에 제한을 받은 구조적 조명의 3차원 복원 기술을 실외나 밝은 환경 또는 어두운 환경에서도 3차원 물체를 복

원 할 수 있다.

2. HDR 알고리즘

2.1 카메라 반응 함수를 이용한 HDRI

그림 1처럼 어떤 정적인 장면을 노출 값 t_i 에 의하여 다르게 취득한 N 장의 영상 중에서 각 i 번째 노출영상의 j 번째 화소의 값을 y_{ij} 라 하자. 각 영상의 노출 값들이 다르므로 y_{ij} 의 값은 노출 값 t_i 와 빛의 밝기 값 x_j 의 곱으로 표현 할 수 있다. 또한 카메라에서 영상을 취득할 때 발생하는 잡음 N_{ij} 를 고려하면 관측된 값은 식 (1)과 같다.

$$y_{ij} = f(t_{i,j}x_j + N_{ij}) \quad (1)$$

이때 f 가 선형 함수라 가정하면 식 (1)을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$f^{-1}(y_{ij}) = t_{i,j}x_j + N_{ij} \quad (2)$$

그러나 Roberson [2]은 화소 값이 0과 255인 점에서만 가중치를 0으로 하고 다른 모든 화소에 가중치를 주어 아주 어두운 부분과 밝은 부분처럼 정보가 실제로 없는 부분에서도 가중치를 적용하여 전반적인 영상의 결과에 왜곡을 줄 가능성도 발생할 수 있고 계산비용도 증가된다. 반면 Debevec[1]은 가중치를 선형적인 방법을 사용하였으나 전반적인 화소 값에 높은 가중치를 주지 못하였다. 따라서 가중치의 값이 임의의 최소값보다 큰 화소에만 가중치를 적용하였다.

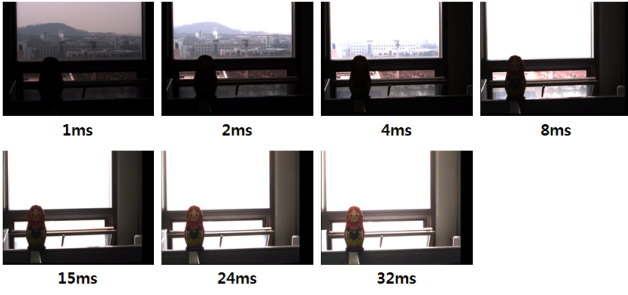


그림 1. 노출이 다른 7장의 LDR 영상

$$w_{ij}(y_{ij}) = \exp\left(-4 \frac{(y_{ij} - y_{mid})^2}{y_{mid}^2}\right) \quad (3)$$

$$w_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } w_{ij}(y_{ij}) < \delta_{MIN} \\ w_{ij}(y_{ij}) & \text{if } w_{ij}(y_{ij}) \geq \delta_{MIN} \end{cases}$$

여기서 y_{mid} 는 제일 낮은 노출에서 가장 낮은 값 y_{min} 과 가장 큰 노출 값에서의 가장 큰 값 y_{max} 의 중간 값이다. 이제 관측함수를 구하기 위해 Robertson[2] 방식을 적용하였다. 식(2)에서 N_{ij} 은 독립 가우시안 변수이고 결합확률밀도는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$P(g_y) \approx \exp\left(-\sum_{i,j} w_{ij}((g_y) - t_{i,j}x_j)^2\right) \quad (4)$$

$$o = \sum_{i,j} w_{ij}((g_y) - t_{i,j}x_j)^2 \quad (5)$$

이때 식 (5)를 관측함수라 하고 관측함수의 값이 최소로 되는 빛의 에너지 값 x_j 을 구하기 위해 로그 maximum likelihood를 적용하여 x_j 에 대한 식으로 나타내면 식 (6)과 같다.

$$x_j = \frac{\sum_i w_{ij} t_i g_y}{\sum_i w_{ij} t_i^2} \quad (6)$$

2.2 카메라 반응 함수

일반적으로 카메라마다 각자 고유의 반응함수를 가지고 있다. 따라서 카메라의 반응함수를 구하기 위해 $g(y_{mid}) = 1.0$ 으로 정의하고 반응함수는 선형적으로 증가하는 함수라 가정하자. 식 (5)을 g_y 에 대하여 부분 미분을 하면 아래와 같다.

$$g_y = \frac{\sum_{(i,j)=y} t_i x_j}{\sum y} \quad (7)$$

식 (7)로부터 구한 g_y 를 식 (6)에 적용하여 다시 새로운 x_j 를 구한다. 여기서 수렴하는 조건은 이전 반응함수 $g_y^{(i-1)}$ 와 현재 반응함수 g_y^i 의 차가 특정 임계값

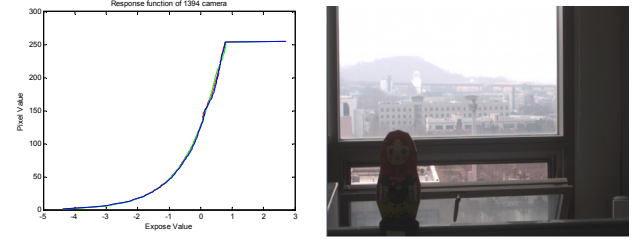


그림 2. 카메라 반응 함수와 추정된 HDR 영상

이하까지만 적용하였다.

3. 구조적 조명을 이용한 3차원 형상 복원

구조적 조명을 이용한 3차원 물체 복원은 카메라와 프로젝터를 이용하여 저비용에 높은 정확성을 가지는 3차원 형상 복원이 가능하다 [3][4]. 프로젝터를 이용하여 그림 3과 같은 그레이코드 패턴광을 연속적으로 투영하고 카메라가 투영된 장면의 영상을 획득하여 삼각법의 의해 3차원 위치를 추정하게 된다.

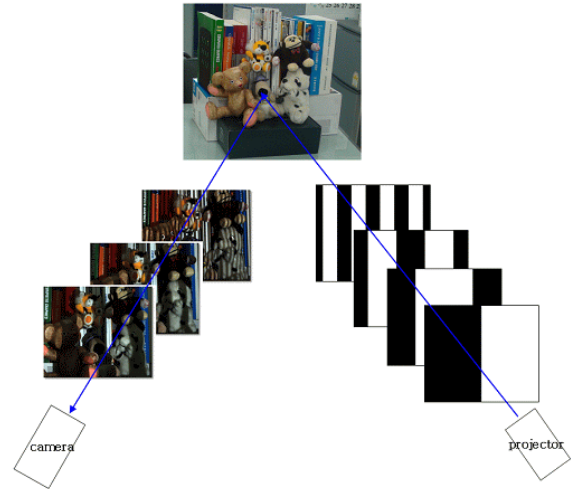


그림 3. 카메라와 프로젝터를 이용한 시스템 구성

3차원 위치 추정을 위해서는 카메라와 프로젝터간의 기하 관계를 알기 위해 보정이 필요하다. Bouguet [5]의 카메라 보정 툴박스와 Vibot [6]의 프로젝터-카메라 보정 툴박스를 이용하여 보정을 하면 각각의 내부 인자와 위치 및 회전 행렬을 구할 수 있다. 카메라가 획득한 영상의 각 화소에 대하여 카메라의 시선 벡터와 각 패턴의 공간 부호화 된 평면 간의 교차점을 구하여 물체의 3차원 좌표를 계산하면 그림 4와 같이 3차원 point cloud로 표현된 3차원 형상 및 그림 5와 같은 깊이 영상(depth image)을 복원할 수 있다.

4. 실험 결과

주변 환경의 밝기가 밝을 때와 어두운 조건에서 그림 6은 기존의 구조적 조명의 알고리즘과 HDR이 적용된 구조적 조명의 알고리즘을 적용했을 때의 성능 비교를 나타내고 있고, 그림 7은 LDR영상의 수의 변화에 따라 만들어진 HDR의 영상으로 3차원 물체를 복원했을 때 오차의 변화 추이를 보여주고 있다. HDR 영상을 적용한 경우



그림 4. 3차원 형상 복원 결과 (3D point cloud)

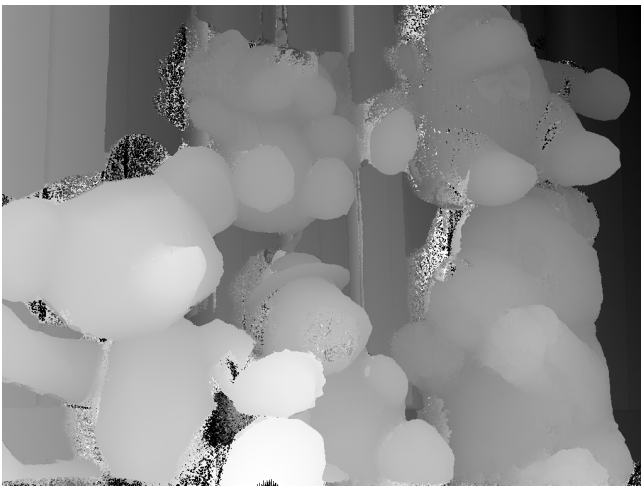


그림 5. 3차원 형상 복원 결과 (깊이 영상)

3차원 형상 복원 오차가 크게 감소함을 확인할 수 있다.

5. 결론

기존의 구조적 조명을 이용한 3차원 물체 복원 알고리즘은 통상적인 실내 밝기처럼 제한된 동적 범위에서만 정확한 3차원 물체를 복원할 수 있는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 영상의 취득 부분에 HDRI 알고리즘을 적용하여 카메라의 제한된 동적 범위를 늘려주어 조명의 밝기가 밝거나 어두운 환경에서도 3차원 물체를 정확하게 복원 할 수 있는 방법을 제안하였다. 실험결과 기존의 방법에 비하여 HDRI를 적용하였을 경우 복원 모델의 정확도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0083945).

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-(C1090-1011-0003)).

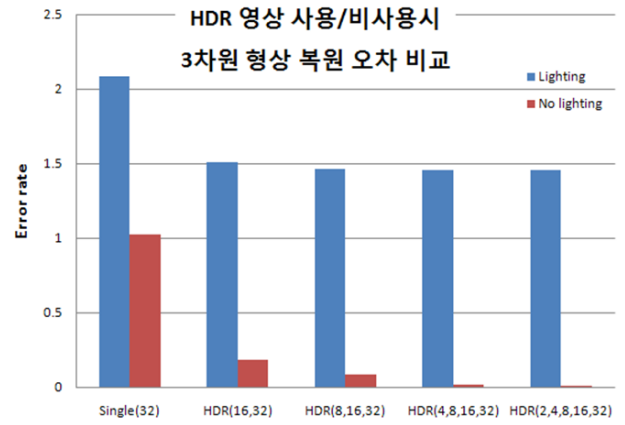


그림 6. HDR과 LDR 영상의 3차원 물체 복원 오차

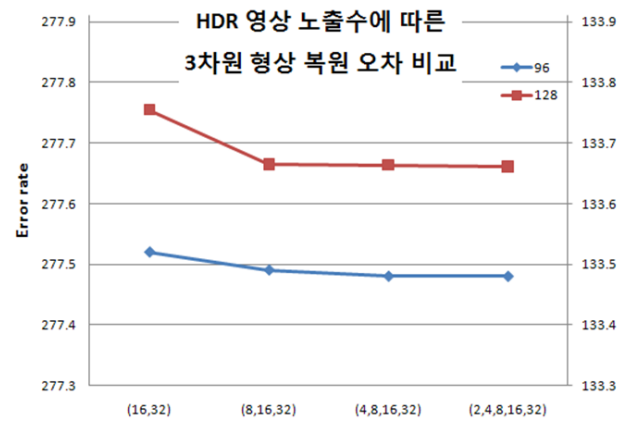


그림 7. LDR 영상의 수에 따른 3차원 물체 복원 오차

참고 문헌

- [1] P. Debevec and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs," *Proc. of SIGGRAPH*, pp. 369-378, August 1997.
- [2] M. A. Robertson, S. Borman, and L. Stevenson, "Dynamic range improvement through multiple exposures," *Proc. IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 159-163, October 1999.
- [3] D. Lanman and G. Taubin, *Build Your Own 3D Scanner: Optical Triangulation for Beginners*, SIGGRAPH Asia Course, December 2009.
- [4] S. Inokuchi, K. Sato, and F. Matsuda, "Range imaging system for 3-d object recognition," *Proc. of International Conference on Pattern Recognition*, pp. 806-808, July 1984.
- [5] *Camera Calibration Toolbox for Matlab*, http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/
- [6] *Projector-Camera Calibration Toolbox*, <http://code.google.com/p/procamcalib/>