

오류 보정을 이용한 초점 이미지들로부터의 깊이 추출

김진사, 노경완, 김충원
 조선대학교 공과대학 컴퓨터공학과
 전화 : (062) 230-7094 / 팩스 : (062) 224-5777

Depth Extraction From Focused Images Using The Error Interpolation

Chin-sa Kim, Kyeongwan Roh, Choongwon Kim
 Dept. of Computer Engineering, Chosun University
 E-mail : dogsbaby@www.kjssa.co.kr, archmul@chollian.net

Abstract

For depth extraction from the focus and recovery the shape, determination of criterion function for focus measure and size of the criterion window are very important. However, Texture, illumination, and magnification have an effect on focus measure. For that reason, depth map has a partial high and low peak. In this paper, we propose a depth extraction method from focused images using the error interpolation. This method is modified the error depth into mean value between two normal depth in order to improve the depth map.

1. 서론

볼록 렌즈와 같은 광학 시스템에 의해 형성된 이미지에서, 렌즈로부터 일정한 거리에 있는 물체들은 초점이 맞아 선명하게 나타난다. 이것으로부터 물체까지의 거리를 알기 위해서는 렌즈 공식에 따라 물체의 점이 초점이 맞을 때까지 이미지 평면의 위치나 초점 길이 등의 카메라 매개변수를 바꾸는 방법이 있다. 그러면, 물체까지의 거리는 렌즈 공식을 이용하여 얻을 수 있다. 이것은 원하는 물체가 초점이 맞도록 하는 카메라 세팅을 찾기 위한 카메라 매개변수 공간의 탐색이 요구된다. 그러므로, 이 방법은 대략 10장 이상의 많은 이미지들을 필요로 한다. 이러한 접근 방법을 물체의

초점과 관련되므로 Depth From Focus(DFE: 초점으로부터의 거리)라 한다. DFE는 스테레오 비전 방법에서와 같이 두 개의 이미지를 매칭하는 일치 문제(Correspondence Problem)를 고려할 필요가 없다. 그리고, 단지 하나의 카메라를 사용하므로 하드웨어 설치가 간단하다. 그러나 거리 측정의 정확성에서는 스테레오 비전이 DFE에 비해 보다 정확하다.

본 논문에서는 깊이 측정에서 텍스처와 물체의 확대에 따른 잘못 처리된 깊이 값을 수정하여 비교적 정확한 3차원 거리 정보를 구할 수 있도록 하였다.

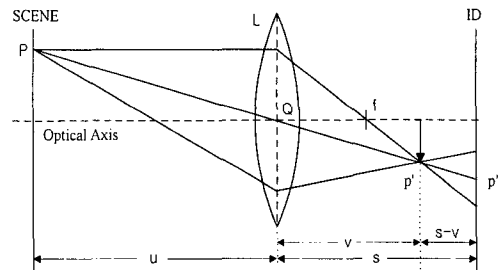


그림 1 볼록렌즈에서의 이미지 형성
 Fig. 1 Image Formation in Convex Lens

2. 카메라 모델과 이미지 형성

초점 분석에 의한 형태 회복 개념의 기본은 초점이

맞는 이미지와 맞지 않는 이미지 사이의 관계로 말할 수 있다. 그림 1과 같은 시스템 구성에 의해 이미지가 형성된다.

임의의 물체 위의 한 점 P에 의해 발산되는 빛이 렌즈의 굴곡에 의하여 이미지 평면상의 p'에 상이 생긴다. 점 P의 거리는 식 (1)과 같은 렌즈의 일반 공식으로 계산될 수 있다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (1)$$

그림 1에서, L은 렌즈를 나타내고, P는 물체면의 한 위치를 나타내고, ID는 CCD 이미지 평면을 나타낸다. 그리고, p'는 초점이 맞을 때의 이미지 $f(x, y)$ 를 나타내고, 이때 렌즈와의 거리를 v로 나타낸다. 그리고, p''는 초점이 맞지 않을 때의 이미지 $g(x, y)$ 를 나타내고, 이때 렌즈와의 거리를 s로 나타낸다. 그 외에 f는 렌즈의 초점 거리, u는 물체와 렌즈 사이의 거리를 의미한다. 렌즈 공식에 따라, s와 v가 같으면 초점이 맞은 이미지 p'가, 같지 않으면 열화된 이미지 p''가 얻어진다. 열화의 정도는 s와 v사이의 차이가 커짐에 따라 증가한다.

Auto-focusing에서는 점 P가 가장 잘 초점지어지도록 (s-v)의 값이 최소가 되도록 하는 위치를 찾는 작업인 반면에, DFF는 3차원 물체에 대한 깊이 정보를 얻는 작업이므로 획득된 이미지내의 특정 부분은 초점이 맞아있다는 가정을 두고 이루어진다.

DFF를 위한 이미지 획득 방법에는 렌즈와 이미지 평면 사이의 거리를 변경하는 것, 렌즈와 물체의 사이를 변경하는 것, 렌즈의 직경을 변경하여 초점 거리 f를 변경하는 것 등이 있다. 본 논문에서는 두 번째 경우를 사용하였다.

3. DFF와 Depth 이미지

Depth from Focus 방법에서는 원하는 물체에 초점이 맞아야 한다.[1,2,3] 가장 좋은 초점 위치를 찾게 되면 물체의 거리는 식 (1)의 렌즈 공식을 사용하여 계산할 수 있다. 카메라의 조작으로 이미지의 초점이 맞는 위치가 각각 다른 여러 장의 연속된 이미지를 얻을 수 있는데, 이러한 영상에서 부분적으로 초점 측정값을 계산할 수 있다. 가장 높은 초점 측정값을 가진 영상이 물체에 초점이 맞을 때의 영상이며, 이 때 설정된 카메라의 매개 변수의 값들로 영상의 실제 거리를 구하는데 사용된다. 이러한 DFF 방법에서 사용되는 일반적 초점 측정 조건은 잡음의 존재 유무에 관계없

이 좋은 결과 값을 갖도록 하는 것이다. 이처럼 카메라의 상태와 이미지의 초점이 맞는 부분과의 관계로 어떤 물체에 대한 이미지로부터 3차원 정보를 얻을 수 있다.

카메라의 고정으로 렌즈와 물체의 움직임에 의해 초점이 바뀌는 영상을 얻었을 때, 연속해서 얻은 영상은 물체의 위치가 각각 다른 위치에서 기록된다. 그러므로 전체 이미지로부터 일정한 초점 측정 값을 얻어낼 수 없다. 이 문제를 해결하기 위하여, 보통 윈도우내의 깊이가 일정하다는 전제를 두고 대부분 $5 \times 5 \sim 20 \times 20$ 크기의 작은 영역에서 초점 측정값을 구한다.

만약 윈도우의 크기가 작으면, 초점 측정은 지역적 최대치(local maxima)가 발생하는 문제가 따를 수 있다. 즉, 최대 값들이 가장 초점이 맞는 이미지들이라고 할 수 없다. 또한, 윈도우의 크기가 크면, 윈도우 내에 다른 깊이를 갖는 두 개 이상의 물체들이 포함되는 문제가 따른다. 그러므로, 초점 계산을 위해 알맞은 윈도우 크기를 선택하는 것은 중요한 일이다. 본 실험에서는 10×10 픽셀이 가장 적절한 크기로 나타났다. 각각의 이미지 영역에서 초점 측정치를 구한 다음 최대 측정치를 찾는다. 이러한 작은 영역들을 모아 초점이 맞은 하나의 전체 영상을 만들어 낸다. 즉, 연속되는 여러 장의 이미지에서 초점이 가장 잘 맞는 부분만을 모아서 전체적으로 초점이 맞는 하나의 이미지를 얻을 수 있다. 이때 초점이 맞은 영상의 각각의 윈도우 영역들은 본래의 이미지에 대한 스텝 (step) 또는 프레임 (frame) 번호를 가지고 있다. 이처럼 윈도우에 대한 각각의 이미지 번호를 가지고 하나의 초점 집합을 구할 수 있다. 그리고 이 초점 집합과 카메라의 매개변수와 연산을 통하여 하나의 깊이 맵 (Depth map)을 얻을 수 있다.

4. 초점 측정

초점 측정 연산자는 비초점 때문에 감소되는 초점이 맞은 이미지내의 주파수 성분만을 선택한다. 열화는 저역 통과 필터링을 위한 것과 비슷한 효과를 취하므로, 만약 이미지가 강한 고주파 성분을 포함하고 있다면 이미지내의 효과가 매우 잘 나타난다. 그러므로, 효과적인 초점 측정 연산자는 이미지를 고역 통과 필터링한 것이다. 이러한 초점 측정을 위해 사용되는 연산자들에는 Histogram entropy, Gradient magnitude, Sum-Modulus-Difference, Gray level variance, Laplacian, Band-pass filtering 등이 있다.[1] 이들은 실험에 따라 상대적인 우위를 나타내는데 본 실험에서는 Nayar가 제안한 SML(Sum-modified Laplacian) 연

산자를 이용하였을 때 가장 효과적인 실험 결과를 얻을 수 있었다. 사용된 SML은 다음과 같이 정의할 수 있다.[4]

$$\nabla^2 g(x, y) = \left| \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right| \quad (2)$$

$$\sum_x \sum_y \nabla^2 g(x, y), \quad \nabla^2 g(x, y) \geq T \quad (3)$$

5. Depth Map의 오류 보정

기본적으로 대부분의 초점으로부터의 깊이 획득이나 영상 복원에서는 확대 요소를 무시하고 있다. 이 확대 요소는 물체와 카메라 사이의 거리를 조정하거나, 렌즈와 이미지 평면사이의 거리를 조정하더라도 항상 발생하는 문제이다. 특히, 그 확대 비율이 3-5%이하인 경우에는 거의 무시되고 있다. 그러나, 경사가 큰 물체인 경우의 DFF에서 얻어진 영상들의 초점 값을 얻게 될 때에는 동일한 물체의 지점이 비교되지 못하여 초점 값이 잘못 추출되는 경우가 많다. 또한, 물체의 경사면에 텍스처에 따라서도 모호한 초점 측정이 이루어진다. 그리고 결국 depth map에 원하지 않는 오류를 발생시킨다. 이러한 문제는 어떠한 초점 측정 연산자를 이용하여도 해결되지 못한다.

본 논문에서는 이와 같은 오류를 보정하기 위해 미디언 필터의 기능과 유사한 방법을 기존 depth map 결과에 적용하여 불완전한 depth map을 거의 원형과 유사한 모형을 복원하였다. 미디언 필터는 어떤 점을 때 바로 옆의 점도 약간의 영향을 받는다. 여기에서는 지나치게 크거나 작은 값을 갖는 점 하나에만 영향을 미친다.

Depth map의 정보중 임의의 3점 N_{m-1} , N_m , N_{m+1} 을 대상으로 다음과 같은 가정을 할 수 있다.

$$\begin{aligned} O_1 &= N_m - N_{m-1} \\ O_2 &= N_m - N_{m+1} \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서, 만약 O_1 과 O_2 가 부호가 같고 식 (5)와 같은 조건을 만족하면, N_m 은 잘못 측정된 depth map이라 볼 수 있다.

$$|O_1| \geq n \quad \text{and} \quad |O_2| \geq n \quad (5)$$

그러므로, 이 잘못된 값을 갖는 N_m 은 인접한 두 점의

값의 평균을 취하도록 조정되어 갱신된다.

$$N_m = \frac{N_{m-1} + N_{m+1}}{2} \quad (6)$$

여기에서, 기호 n 은 오류 허용치를 나타낸다. 위의 방법으로 x 축 방향과 y 축 방향으로 연산을 수행하여 오류를 수정하도록 한다. 상세한 알고리즘은 아래의 그림에 나타나있다.

```

for i=1:h
  for j=1:w
    O1 = Nm - Nm-1;
    O2 = Nm - Nm+1;
    if (O1 > 0 and O2 > 0) or (O1 < 0 and O2 < 0)
      if (abs(O1) > n) and (abs(O2) > n)
        Nm = (Nm-1 + Nm+1) / 2;
      end if
    end if
  next j
next i
    
```

그림 2. depth 보정 알고리즘
Fig. 2. Algorithm for depth map

6. 실험

본 논문은 CCD 카메라와 렌즈 사이에 마이크로미터로 조정되는 주름상자를 설치하여 실험하였다. 3차원 물체에 대한 이미지들을 얻기 위해 Z축 스테이지를 이용하여 물체와 렌즈와의 거리를 조정하거나, 주름상자를 조정하는 방법으로 렌즈와 이미지 평면 사이의 거리를 변경시켰다. 영상을 얻고 처리하는 동안에 카메라의 초점 링이나 초점 거리는 고정시켜둔다. 다음으로 각 이미지에서 동일한 영역의 초점 값을 측정하여 영역에서 초점 값이 최대인 프레임의 번호를 기억시켜둔다. 이미지 전체에 대한 초점 측정이 끝나면, 각각의 영역은 최대 초점 값을 갖는 프레임 번호들을 갖게 된다. 해당 프레임의 이미지 영역을 옮겨놓으면 전체적으로 초점이 맞는 이미지를 생성할 수 있다. 또한, 각 프레임 번호들을 가지고 step map을 만들 수 있고, 이를 다시 실제 거리에 적용하면 depth map을 구성하게 된다.

실험에 사용된 시스템은 PULNIX TMS-7AS 흑백 CCD 카메라를 사용하였고, Lens는 Nikon 50mm를 사용하였다. 프레임 그래버는 Matrox Meteor 보드를 사용하였고, 조명은 렌즈 앞에 LED 링 조명을 설치하였다. 실험 물체는 약 6.5 cm 정도의 원뿔 모양의 물체를 사용하였고, 초점이 각각 다른 연속된 영상을 얻기 위해 물체를 5mm 간격으로 이동시켰으며, 카메라는 고정시켰다. 그리고 초점 측정을 하기 위한 이미지의 윈도우는 10×10의 크기를 사용하였으며 측정 연산자는 SML 방법을 사용하였다.

그림 3(a)처럼 초점이 맞지 않는 각각의 여러 이미지를 가지고 초점 측정을 하여 그림 3(b)와 같은 전체적으로 초점이 맞는 영상을 얻었다. (b)의 이미지가 가지고 있는 각 국부적인 영상의 step의 값으로 그림 4(a)와 같은 step map을 얻었다. 얻어진 맵에 실제로 이동한 거리를 적용하여 그림 4(b)와 같은 depth map을 얻었다. 마지막으로 그림 5(a)에서처럼 오류가 있는 불완전한 depth map에 오류 보정 알고리즘을 적용하여 보정한 그림 5(b)처럼 거의 완벽한 3차원 물체를 얻을 수 있었다.

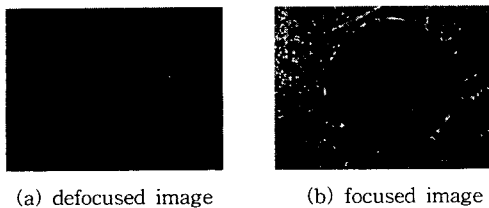


그림 3. 열화된 이미지와 초점이 맞은 이미지
Fig. 3. Defocused & Focused image

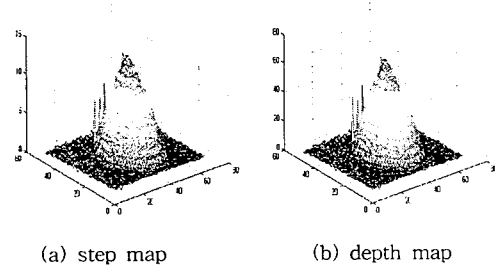


그림 4. 스텝 맵과 깊이 맵
Fig. 4. Step map과 Depth map

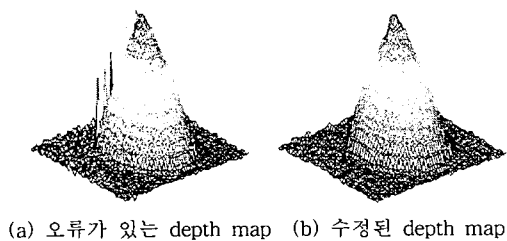


그림 5. 깊이 맵
Fig. 5. depth map

7. 결 론

초점으로부터의 깊이를 획득하고 3차원 형상을 복원하는 경우에는 효율적인 초점 측정 연산자의 사용과 적절한 평가 윈도우의 크기를 결정하는 것이 매우 중요하다. 그러나, 초점 측정 연산자의 문제가 아닌 텍스처, 조명, 그리고 거리 이동에 따른 물체의 크기 변화에 따라 상당한 오차를 발생시킨다. 이로 인하여 depth map으로 복원된 경우에서 갑자기 높게 또는 낮게 떨어지는 depth로 나타난다. 본 논문에서는 이 오류 값을 개선하기 위해 평균을 이용하는 방법으로 간단하게 개선시킬 수 있었다. 현재는 텍스처와 확대 비율을 초점 측정 전에 조정하여 보다 정확한 초점 측정이 이루어질 수 있도록 연구중이다.

참고문헌

- [1] Krotkov, E. P., "Focusing", International Journal of Computer Vision, Vol 1, No. 3, pp. 223-237, Oct., 1987.
- [2] R. A. Jarvis, "A Perspective on Range Sensing Finding Techniques for Computer Vision," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 5, pp. 122-139, Mar. 1983.
- [3] Grossman, P., "Depth from Focus", Pattern Recognition Letters, 5, pp. 63-69, Jan., 1987.
- [4] Shree K. Nayar and Yasuo Nakagawa. "Shape from Focus" IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence, VOL. 16, NO. 8, AUGUST 1994.