

저해상도 깊이맵으로부터 고해상도 깊이맵의 생성

장성은 김만배

강원대학교 IT대학 컴퓨터정보통신공학과

jse4485@kangwon.ac.kr, manbae@kangwon.ac.kr

Generating High Resolution Depth Map from Low Resolution Depth Map

Seong Eun Jang and Manbae Kim

Dept. of Computer and Communications Eng. IT Colleague, Kangwon National University

요약

최근 깊이센서가 컴퓨터비전 등의 영상처리 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 그러나 깊이센서에서 생성된 깊이맵의 해상도가 낮기 때문에 고해상도로 상향변환이 필요하다. 현재까지 저해상도의 깊이맵을 고해상도의 깊이맵으로 변환하는 방법들이 많이 제안되었다. 하지만 이러한 방법들은 객체의 에지 개선에만 국한되어 있다. 따라서 본 논문에서는 객체의 에지 뿐만 아니라, 객체의 내부를 개선하는 방법을 제안한다. 제안방법은 기존에서 활용되어 온 보간법들에 고주파 성분을 적용하여 개선된 고해상도 깊이맵을 얻는다.

1. 서론

최근 깊이센서가 컴퓨터비전이나 영상처리 분야에서 다양하게 활용되고 있다. 그러나 깊이센서의 깊이맵은 해상도가 낮기 때문에 고해상도로 상향 변환하는 것이 필요하다. 그러므로 저해상도 깊이맵을 고해상도로 변환할 수 있는 다양한 기법들이 제안되었다. 보간법중 하나인 양측보간법은 양선형보간과 고등차수보간법이 영상의 에지를 열화시키는 단점을 극복하고, 에지의 선명도를 유지할 수 있다 [1]. 그러나, 양측보간법 등의 에지를 보존하는 다양한 보간법들은 객체의 외부 에지 개선에만 국한되는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 객체의 에지 뿐만 아니라, 객체 내부의 선명도를 개선하는 방법을 제안한다. 제안 방법은 영상에 존재하는 고주파 성분을 이용함으로써 기존 방법의 단점을 극복하고, 보다 개선된 고해상도 깊이맵을 얻는다. 본 논문의 2절에서 깊이맵에 존재하는 고주파 성분을 추출한다. 3절에서는 고주파 성분을 양선형보간, 고등차수보간, 및 양측보간에 적용한다. 4절에서는 실험결과를 보여주고 5절에서 결론을 맺는다.

2. 깊이맵의 고주파 성분 추출

깊이맵에서 깊이값의 변화가 많은 고주파 성분을 가지는 픽셀을 얻기 위해 다양한 에지 추출 방법 등이 있는데, 본 논문에서는 다음과 같이 고주파성분 ΔD 를 얻는다.

$$\Delta D = D - G \otimes D \quad (1)$$

여기서 D 는 깊이맵, G 는 low pass filter의 한 종류인 Gaussian filter를 의미 한다. Gaussian filter를 D 에 적용한 값과 D 의 차이 값이 ΔD 이다. $G \otimes D$ 는 저주파 성분을 가지고 있고, 따라서 D 와의 차인 ΔD 는 고주파 성분을 가지게 된다 [2].

3. 고주파 성분을 적용한 보간법

가. 양선형 보간법(Bilinear Interpolation)

양선형 보간은 인접한 4개의 픽셀을 이용하여 보간 픽셀 D 을 채우는 방법으로 역 매핑(backward mapping)을 사용한다 [3]. ΔD 를 양선형 보간에 사용하여 고해상도 깊이맵을 생성한다. 저해상도 깊이맵 D_L 에 ΔD 를 더한 D_1 을 고해상도 깊이맵 D_H 로 확대했을 때 발생하는 보간 픽셀 D_m 는 인접한 4개의 ΔD 를 결합한 픽셀 $D_1 + \Delta D$, $D_2 + \Delta D$, $D_3 + \Delta D$, $D_4 + \Delta D$ 를 참조하여 식 (2)에서 처럼 보간된다.

$$\begin{aligned} D_{x1} &= (D_1 + \Delta D_1) + l_x \cdot [(D_2 + \Delta D_2) - (D_1 + \Delta D_1)] \\ D_{x2} &= (D_3 + \Delta D_3) + l_x \cdot [(D_4 + \Delta D_4) - (D_3 + \Delta D_3)] \\ D &= D_{x1} + l_y \cdot (D_{x2} - D_{x1}) \\ D_m &= D \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 l_x 는 D 과 D_1 사이의 수평 거리를 의미한다. l_y 는 세로 길이이다. $0 \leq l_x, l_y \leq 1$ 이다. D_{x1} , D_{x2} 는 수평방향의 보간 값이다. D_m 은 D_{x1} , D_{x2} 를 수직방향으로 보간한 최종 값이다. ΔD 로 인해 고주파 성분 픽셀에서의 고해상도 깊이맵이 윤곽선과 객체 내부가 선명도가 향상된다.

나. 고등차수 보간법 (Bicubic interpolation)

Bicubic interpolation은 4×4 의 16개의 pixel을 참조하여 보간한다 [4]. 식 (1)의 ΔD 를 이용하는 고해상도 깊이맵을 생성하기 위해서 깊이맵의 픽셀값 D_k 과 ΔD 를 결합하여 사용한다. P_k 는 $D_k + \Delta D_k$ 의 좌표이며, k 의 범위는 [1, 16]이다. 픽셀 D 의 좌표는 P 로 정의한다. 3차회선 보간방법은 다음과 같다. 수평의 4개의 픽셀을 참조하여 식 (3)에 의해 계산된다.

$$w(l_n) = \begin{cases} (a+2)|l_n|^3 - (a+3)|l_n|^2 + 1, & 0 \leq |l_n| < 1 \\ al_n^3 - 5al_n^2 + 8al_n + 4a, & 1 < |l_n| \leq 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

위 식의 w 는 3차회선 보간 함수로 픽셀 P 와 참조 픽셀간의 수평 거리 l_n 에 따라 차등적인 다항식이 적용된다. l_n 는 픽셀 P 와 참조 픽셀간의 수평 거리를 의미한다. n 은 $[1, 4]$ 범위를 가지며 P 는 $P_v < P < P_{v+1}$ 로 정의한다. 식 (3)을 이용하여 4개의 수평 보간값 $D_{h1}, D_{h2}, D_{h3}, D_{h4}$ 를 구할 수 있다. 이 4개의 수평 보간값을 다시 식 (3)에 적용하여 최종적으로 수직 보간값 D_H 를 구할 수 있다.

다. 양측 보간법 (bilateral interpolation)

그림 1은 ΔD 를 양측보간법에 적용하여 깊이맵에 존재하는 고주파 성분의 선명도를 개선하는 전체 블록도이다.

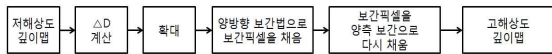


그림 1. ΔD 를 활용하는 양측 보간법의 블록도

식 (1)을 이용하여 저해상도 깊이맵 D_L 의 ΔD 를 구한다. 깊이맵 D 값에 ΔD 를 더한 깊이맵 D_L 을 영상 확대 (upsampling) 단계에서 확대한다. 다음 단계에서는 영상 확대시 생긴 보간 픽셀들을 D_L 을 사용하여 양선형 보간한다. 그 후 양측 보간으로 재보간하면 고해상도 깊이맵 D_H 가 얻어진다. D_L 은 양선형보간으로 보간된 픽셀이다. 이렇게 선형 보간으로 보간된 픽셀들을 양측보간으로 재보간한다. 여기서는 재보간되는 픽셀들은 D_L 의 픽셀들만을 사용한다.

$$D_H = \frac{\sum_{i \in S} w_i \cdot (D_i + \Delta D_i)}{\sum_{i \in S} w_i} \quad (4)$$

여기서 D_i 는 D_L 의 깊이값이고, D_H 은 고해상도 깊이맵의 보간 픽셀, S 는 가우시안 필터의 크기이다. 가중치 w_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$w_i = f(\|I - i\|)g((D + \Delta D) - (D_i + \Delta D_i)) \quad (5)$$

식 (5)에서의 w_i 는 가중치로서 좌표값 함수 f 와 깊이값 함수 g 의 곱으로 구성된다. $f(\|I - i\|)$ 는 식 (6)에서 계산된다.

$$f(\|I - i\|) = \exp\left(-\frac{\|I - i\|^2}{2\sigma_a^2}\right) \quad (6)$$

σ_a^2 는 픽셀 근접성의 크기를 조절한다. f 는 픽셀간의 거리가 작을수록 가중치가 커지며, 멀수록 커진다. 여기서 I 는 현재 픽셀의 좌표값 (I_x, I_y)이고, i 는 주변픽셀의 좌표값 (i_x, i_y)이다. $g(D - D_i)$ 는 중심 픽셀과 인접 픽셀간의 깊이값의 차이로 깊이맵 D 와 ΔD 가 더해진 값을 사용하며 식 (7)와 같이 표현된다.

$$g((D + \Delta D) - (D_i + \Delta D_i)) = \exp\left(-\frac{((D + \Delta D) - (D_i + \Delta D_i))^2}{2\sigma_b^2}\right) \quad (7)$$

4. 실험 결과

그림 2의 실험 영상인 200x200 해상도의 rabbit와 duck을 두 배로

확대했다. 원영상에 비해 고주파성분을 강조한 영상이 객체의 에지와 내부의 깊이맵이 개선되었다. rabbit의 다리 부분이나 귀 영역의 에지가 뚜렷해졌으며, duck의 경우에는 목부의 내부 또한 기존의 영상의 비해 개선되었다. 고등차수보간의 객체 에지와 내부보다 개선되었으며, 양측보간의 경우에는 객체 내부의 평탄한 영역이 다른 보간법들에 비해서 부드러워졌다.

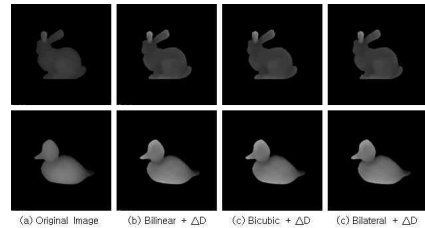


그림 2. 고주파 성분을 적용한 보간법. (a) 원깊이맵, 고주파 성분을 적용한 (b) 양선형보간, (c) 고등차수보간, 및 (d) 양측보간.

5. 결론

본 논문은 객체 에지만을 강조하는 기존 보간 방법들을 개선하기 위하여 고주파 성분을 보간 과정에 적용하여 객체 에지 뿐만 아니라 내부도 개선하는 방법을 제안했다. 저해상도 깊이맵 영상에서 저주파 필터를 이용해 고주파 성분 ΔD 를 추출한 후 양선형보간, 고등차수보간, 및 양측보간에 적용하였다. 고주파 성분을 적용한 보간법들은 기존의 보간법들의 단점을 개선하여 객체 에지와 내부가 뚜렷해졌다. 하지만 깊이맵 한 장만을 가지고 고해상도 영상을 만드는 것은 한계를 가지고 있기 때문에 추후 컬러 고해상도 영상을 함께 적용하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템]

참고문헌

[1] C. Tomasi, and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images". In Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision, pp. 836 - 846, 1998.
 [2] T. Luft, C. Colditz, and O. Deussen. "Image enhancement by unsharp masking the depth buffer". ACM Transactions on Graphics, 25(3):1206.1213, 2006.
 [3] R. Elmore, "Forward and Backward Mapping: Reversible Logic in the Analysis of Public Policy", Policy Implementation in Federal and Unitary Systems, pp. 33-70. 1985.
 [4] R. G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing", IEEE Trans, Acoustics, Speech, and signal Processing, vol. 29, pp.1153-1160, Dec. 1981.