특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제17권 제6호, 2012년 11월 (JBE Vol. 17, No. 6, November 2012)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2012.17.6.933>

ISSN 1226-7953(Print)

선명도를 향상시킨 깊이맵 업샘플링 방법

장 성 은^{a)}, 이 동 우^{a)}, 김 성 열^{b)}, 최 황 규^{a)}, 김 만 배^{a)*}

Depth Map Upsampling with Improved Sharpness

Seungeun Jang^{a)}, Dongwoo Lee^{a)}, Sung-Yeol Kim^{b)}, Hwang Kyu Choi^{a)}, and Manbae Kim^{a)*}

요 약

본 논문은 저해상도의 깊이맵을 고해상도의 깊이맵으로 변환하는 새로운 방법인 거리 변환 기반의 양측 업샘플링 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 깊이맵의 거리변환 값에 따라 공간 도메인 가중치 함수를 조절하기 때문에 에지의 선명도를 유지하면서 깊이맵의 해상도를 증가시킨다. 이를 위해, 제안하는 방법은 거리 변환 단계, 공간 가중치 조절 단계, 영상 보간 단계를 거친다. 다양한 실험 깊이맵을 통한 실험에서 제안하는 방법이 기존의 양측 업샘플링 방법보다 출력 깊이맵의 화질 관점에서 성능이 좋아짐을 확인했다.

Abstract

In this paper, we propose a new method to convert a low-resolution depth map into its high-resolution one called distance transform-based bilateral upsampling. Since the proposed method controls the spatial domain weighting function based on distance transform values of the depth map, it increases the input depth map resolution while preserving edge sharpness. The proposed method is composed of three main steps: distance transform, spatial weighting control, and image interpolation. Experimental results show that our method outperforms the conventional bilateral upsampling in terms of the quality of output depth maps.

Keyword : depth map upsampling, bilateral filter, distance transform

1. 서 론

깊이맵(depth map)은 카메라와 촬영하는 객체 사이의 거리 정보를 영상으로 표현한다. 다양한 3D 디스플레이 장치의 출현으로, 2D 영상과 깊이맵을 이용하여 입체영상 및 다시점 영상을 생성하는 기술이 주목받고 있다. 깊이맵을 획득하는 일반적인 방법은 스테레오 카메라로 획득한 좌우 영상을 스테레오 정합하여 얻는 것이다. 그러나 스테레오 정합 과정에서 동질 영역, 폐색(occlusion) 영역, 패턴이 반

a) 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과(Kangwon National University)

b) 광주과학기술원 (Gwangju Institute of Science and Technology)

* Corresponding Author : 김만배 (Manbae Kim)

E-mail: manbae@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-250-6390 Fax: +82-33-252-6390

※ 본 논문은 지식경제부 및 산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신) [KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리요소기술 및 하드웨어 IP 개발] 및 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 시스템반도체 상용화기술 사업 [10041082]의 지원을 받음.

Manuscript received September 3, 2012 Revised October 18, 2012

Accepted October 18, 2012

복되는 영역에서 정확한 깊이 정보를 측정하기가 매우 어렵다. 이를 극복하기 위해서, TOF(time-of-flight) 기반의 깊이 카메라(depth camera)을 사용하여 고품질의 깊이맵을 획득하는 방법이 개발되었다. 그런데 기존의 비디오카메라를 사용하여 HD급 이상의 고해상도 2D 영상을 획득하는 것은 용이하나, 깊이 카메라의 기술적 한계로 인해 이에 상응하는 고해상도 깊이맵을 획득하는 것은 어렵다. 이를 보완하기 위한 기술로 저해상도 깊이맵을 획득한 후에 영상 보간법(image interpolation)을 이용하여 고해상도 깊이맵을 얻는 기법들이 연구되고 있다^[1,2,3].

영상 보간법은 영상의 공간 해상도를 높이는 기술로, 불연속적인 영상 정보로부터 연속적인 보간 데이터를 예측하고, 보간할 픽셀의 값을 추정한다^[4]. 깊이맵 보간법과 관련하여 크게 두 가지 방법으로 분류할 수 있다. 첫 번째는 2D 영상의 색상 정보와 깊이맵 정보를 동시에 이용하여 깊이맵을 보간하는 방법으로서, 일반적으로 결합 양측 필터(joint bilateral filter)의 개념을 이용하여 깊이맵의 해상도를 변환하는 것과 확률을 이용한 보간법, 스테레오 정합 기술을 이용한 깊이맵 생성 방법이 존재한다. 양측 필터의 대표적인 예로, Kopf^[5]와 Yang^[6]은 먼저 고해상도 색상 영상을 이용하여 범위 도메인(range domain)의 필터 커널을 결정한다. 다음에 저해상도 깊이맵의 픽셀 위치 정보를 이용하여 공간 도메인(spatial domain)의 필터 커널을 결정하여 최종적으로 고해상도의 깊이맵을 생성한다. 확률을 이용한 보간방법은 Markov 랜덤필드에 기반을 두어 저해상도 깊이맵으로부터 확률적 유사도를 고려해 색상 영상의 불연속 정보를 토대로 고해상도 깊이맵을 생성한다^[7]. 스테레오 정합기술을 이용한 방법은 위핑을 이용해 저해상도 깊이맵을 스테레오 카메라의 좌영상에 대해 매핑 시켜 정보를 얻은 후에 스테레오 정합을 수행하여 깊이정보를 측정을 토대로 고해상도 깊이맵을 제작한다^[8]. 두 번째 방법은 색상 정보의 도움 없이 깊이 정보만을 이용하여 고해상도로 변환하

는 방법으로서 본 논문에서 제안하는 고해상도 깊이맵 생성은 후자에 속한다.

기존의 방법들은 고해상도 깊이맵을 얻기 위해서 저해상도 깊이맵에 존재하는 픽셀의 깊이 값들을 활용하여 보간하는 방식을 이용하고 있다. 본 논문의 제안 방법은 기존의 양측 업샘플링(bilateral upsampling)에 거리변환(distance transform, DT)^[9] 정보를 추가적으로 활용하여 선명도가 향상된 고해상도 깊이맵을 생성한다. 제안하는 방법은 다음과 같이 구현한다. 1) 저해상도 깊이맵에서 에지를 추출하여, 에지맵(edge map)을 생성한다. 2) 에지맵을 입력으로 거리변환하여 거리변환 맵(DT map)을 획득한다. 3) 거리변환 맵 정보를 양측 업샘플링에 적용하여 최종적인 고해상도 깊이맵을 생성한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 양측 업샘플링 방법의 문제점을 분석한다. III장에서는 제안하는 거리변환을 이용한 양측 업샘플링 방법에 대해 설명한다. IV장에서 실험결과를 분석한 후, V장에서 결론을 맺는다.

II. 양측 업샘플링의 문제점

그림 1은 양측 업샘플링(upsampling)을 이용한 고해상도 깊이맵 생성 과정을 보여준다. 우선, 저해상도 깊이맵을 전 방향 매핑(forward mapping)하여 깊이맵을 확대한다. 그런 다음, 전 방향 매핑 후 발생하는 깊이맵의 빈 픽셀(missing pixel)을 양선형 보간법으로 채운다. 마지막으로, 양측필터를 적용하여 고해상도 깊이맵을 생성한다.

1. 확대

확대 단계는 전 방향 매핑 과정을 통하여 깊이맵의 픽셀 그리드를 확장한다. 목적 해상도에 따라 저해상도 깊이맵

그림 1. 양측 업샘플링의 블록도

Fig. 1. Block diagram of bilateral upsampling

의 픽셀은 확장된 픽셀 그리드에 할당된다. 이때 픽셀이 할당되지 않은 고해상도 픽셀 위치는 빈 픽셀(missing pixel)이 된다.

2. 양선형 보간

양선형 보간 단계는 빈 픽셀들이 할당된 픽셀 정보를 고려하여 채워지는 과정으로, 역방향 매핑으로 고해상도 깊이맵의 빈 픽셀들을 저해상도 깊이맵에서 찾는다. 저해상도 영상에 매핑 되는 보간 픽셀이 D일 때 보간식은 다음과 같다.

$$D = A \cdot (1 - s) + B \cdot s \quad (1)$$

여기서, A 와 B는 D의 인접 픽셀이고 s는 A와 D사이의 거리이다. 식 (1)을 가로 2번 세로 1번, 총 세 번의 선형보간을 수행한다.

3. 양측 보간^[10]

양측 보간 단계는 양선형 보간에서 보간했던 픽셀들을 다시 재보간 하는 단계이다. 전 방향 매핑을 통해 매핑된 저해상도의 깊이맵의 원 픽셀은 보간하지 않고, 양선형 보간을 통해 보간된 빈 픽셀들만 양측 필터를 이용하여 다시 보간한다. 양측 보간은 그림 2와 같은 과정으로 진행된다.

그림 2와 같이 저해상도 깊이맵이 입력되면, 공간 도메인 g와 범위 도메인 f의 곱으로 최종 가중치를 계산한 후 가중치를 사용해 깊이 값을 보간한다. 보간식은 다음과 같다.

$$D_p^H = \frac{\sum_{q \in S} w_q D_q^L}{\sum_{q \in S} w_q} \quad (2)$$

여기서 보간해야 할 픽셀 D_p^H 는 고해상도 깊이맵 D^H 의 픽셀 p의 깊이 값이며, 보간에 사용되는 D_q^L 는 저해상도 깊이맵 D^L 의 픽셀 q의 깊이 값이다. 보간 값은 D_q^L 과 가중치(weight) 함수를 이용하여 구해진다. S는 필터 크기이다. 가중치로 사용되는 w_q 는 다음과 같이 정의된다.

$$w_q = f(\|p - q\|) \cdot g(D_p^H - D_q^L) \quad (3)$$

식 (3)과 같이, 가중치 w_q 는 공간 도메인 가중치 함수 f와 범위 도메인 가중치 함수 g의 곱으로 구성된다. 공간 도메인 가중치 함수 f는 식 (4)와 같이 가우시안 함수로 정의한다.

$$f(\|p - q\|) = \exp\left(\frac{-\|p - q\|^2}{2\sigma_a^2}\right) \quad (4)$$

$$\|p - q\| = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad (5)$$

공간 도메인 가중치 함수는 픽셀간의 거리에 따라 가중치 값이 달라진다. 중심픽셀과 인접픽셀간의 거리가 짧을수록 가중치가 커지며, 멀어질수록 가중치는 작아진다. 픽셀간의 거리는 식 (5)처럼 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 사용하여 구한다. 범위 도메인 가중치 함수도 식 (6)과 같이 가우시안 함수로 계산한다.

$$g(|D_p^H - D_q^L|) = \exp\left(\frac{-|D_p^H - D_q^L|^2}{2\sigma_b^2}\right) \quad (6)$$

범위 도메인 가중치 함수는 픽셀간의 깊이 값의 차이를

그림 2. 양측 필터 과정
Fig. 2. Bilateral filter process

그림 3. 양측 업샘플링의 결과. (a) 확대, (b) 양선형 보간, (c) 양측 보간

Fig. 3. Results of bilateral upsampling. (a) upsampling, (b) bilinear interpolation, and (c) bilateral interpolation

사용한다. 인접한 픽셀과 중심 픽셀의 깊이 값의 차이가 적을수록 가중치가 커지며, 차이가 클수록 가중치는 작아진다. 함수에 사용되는 σ_a , σ_b 는 각각의 도메인의 비중을 조절하는 파라미터로, 가우시안 함수의 표준편차 값이다. 그림 3은 양측 업샘플링의 단계별 결과를 보여준다.

그림 3(a)는 전방향 매핑을 통해서 확대되었기 때문에 빈 픽셀들로 인하여 영상이 어두워 보인다. 그림 3(b)는 빈 픽셀들을 일차적으로 양선형 보간한 영상이다. 그림 3(c)는 양선형 보간을 한 픽셀을 양측필터를 이용하여 재보간한 결과 영상이다.

양측 필터는 에지 부분의 깊이맵 정보를 보존하면서 잡음을 효과적으로 제거하기 때문에, 기존의 선형 보간법(bilinear interpolation), 고등차수 보간법(bicubic interpolation)에 비해 성능이 우수하다. 그런데, 양측 필터는 다음과 같은 문제

가 있다. 가중치 함수의 하나인 공간 도메인의 경우 에지의 유무에 상관없이 거리에 비례하여 가중치가 적용되기 때문에 낮은 그라디언트(gradient)의 에지의 경우 에지보전이 잘 되지 않는다. 그림 4는 그림 2에서의 과정을 토대로 에지의 위치에 따른 가중치 변화를 그래프로 보여준다. 임의의 저해상도 깊이 값이 입력되었을 때 양측 필터의 범위 도메인, 공간 도메인, 최종 가중치가 가지는 가중치를 나타낸다.

그림 4는 보간할 중심픽셀의 좌측에 에지 영역이 있을 경우의 양측 필터에서 사용되는 함수들의 그래프를 보여준다. 점선은 에지 영역을 나타내고 실선은 중심픽셀의 위치를 나타낸다. 그림 4(a)는 픽셀의 깊이 값이며, 그림 4(b)는 그림 4(a)에 따른 범위 도메인의 가중치 함수 g , 그림 4(c)는 공간 도메인의 가중치 함수 f 이다. 그림 4(d)는 그림 4(b)와 그림 4(c)의 곱인 가중치 함수 w_q 를 나타낸다. 그림 4(b)에

그림 4. 에지영역이 중심 픽셀 좌측에 있을 때의 함수들의 그래프. (a) 깊이 값, (b) 범위 도메인 가중치함수 g , (c) 공간 도메인 가중치함수 f , (d) 가중치 w_q
Fig. 4. The graphs of functions when an edge region is at the left side of a center pixel. (a) pixel depth, (b) range domain weighting function g , (c) spatial domain weighting function f , and (d) weighting function w_q

서 보듯이, 범위 도메인 가중치 함수는 에지의 위치에 따라 중심픽셀이 위치한 우측에 있는 픽셀 값을 참조한다. 하지만, 그림 4(c)처럼 공간 도메인 가중치 함수는 에지의 위치와 상관없이 거리에 따라 가중치를 가진다. 결과적으로, 최종 가중치 함수의 그래프는 그림 4(d)와 같이 중심픽셀의 가중치가 최대이며 거리에 따라서 차등적인 가중치를 가지게 된다. 보간할 중심픽셀이 에지영역의 좌측에 있는 경우도 동일한 결과를 얻게 된다.

깊이맵의 에지는 객체의 경계에 해당되기 때문에 상당히 중요하다. 그림 4에서 보듯이, 기존의 양측 필터는 에지영역이 중심픽셀의 우측 또는 좌측에 위치했을 때, 두 최종 가중치 함수가 비슷하게 계산된다. 깊이맵을 보간하는 과정에서 에지를 경계로 어느 부분의 깊이 값을 참조하는가에 따라 깊이의 변화가 확연히 달라진다. 본 논문은 이러한 기존 양측 업샘플링의 한계를 보완하는 거리변환 기반 양측 업샘플링을 제안한다.

III. 거리변환 기반 양측 업샘플링

1. 거리변환

거리변환은 한 영상에서 추출한 에지들과 그 영상에 존

재하는 픽셀 사이의 최단 거리를 나타낸다. 거리변환은 각 픽셀들의 에지의 위치를 바탕으로 시작 위치에서부터 근처에 있는 여덟 방향의 픽셀 중에서 에지에 가장 가까운 픽셀로 이동하는 동작을 반복하여 최종 거리변환 값을 구한다. 깊이맵의 거리변환은 다음과 같이 수행된다. 우선, 깊이맵으로부터 에지맵 E_D 를 추출한다. 그런 다음, E_D 의 에지픽셀은 0, 나머지 픽셀은 영상의 최대값으로 초기화한다. 마지막으로 a-b 거리변환에 의한 깊이 픽셀의 거리변환 값 p_k 는 식 (7)과 같이 계산한다.

여기서, k 는 반복 횟수이고, a 와 b 는 거리변환의 강도를 조절하는 인수이다. 그림 5는 a 는 1, b 는 2를 적용한 1-2 거리변환의 과정을 보여준다.

거리변환을 적용할 픽셀을 중심으로 상, 하, 좌, 우의 픽셀에는 1의 값을 더해주고, 대각선의 픽셀들은 2의 값을 더해준다. 마지막으로 9개의 픽셀 중 최소값을 중심 픽셀의 거리변환 값으로 설정하는 과정을 반복하여 수행한다. 그림 6은 깊이맵에서 1-2 거리 변환을 도식화 하여 보여준다. 그림 4에서 어두운 영역은 거리변환 값 0을 갖는 에지 픽셀이다. 한 픽셀이 에지 픽셀에서 멀리 떨어져 있으면 큰 거리변환 값을 가진다. 따라서 큰 거리변환 값을 갖는 픽셀은 경계에서 떨어져 있기 때문에 동질 영역에 속할 가능성이 높다. 반면에 거리변환 값을 0 또는 1을 갖는 픽셀은 경계에서 가깝게 위치하기 때문에 비동질 영역에 속할 가능성

$$p^k(i, j) = \min \begin{pmatrix} q^{k-1}(i-1, j-1) + b & q^{k-1}(i-1, j) + a & q^{k-1}(i-1, j+1) + b \\ q^{k-1}(i, j-1) + a & q^{k-1}(i, j) & q^{k-1}(i, j+1) + a \\ q^{k-1}(i+1, j-1) + b & q^{k-1}(i+1, j) + a & q^{k-1}(i+1, j+1) + b \end{pmatrix} \quad (7)$$

그림 5. 1-2 거리변환 과정
Fig. 5. Process of 1-2 distance transform

이 높다.

그림 6. 깊이맵의 거리변환

Fig. 6. Distance transform of a depth map

2. 거리변환 기반 양측 업샘플링

그림 7은 제안하는 거리변환에 기반을 둔 양측 업샘플링 과정을 보여준다. 입력 저해상도 깊이맵을 확대하고, 깊이맵의 빈 픽셀을 양선형 보간법으로 채우는 단계는 II 장에서 소개한 양측 업샘플링 방법과 같다. 제안하는 방법은 양측필터를 그대로 사용하는 대신에 거리변환 맵 정보를 고려하여 공간 도메인 가중치 함수를 교정한다. 최종적으로 교정된 공간 도메인 가중치 함수를 범위 도메인 가중치 함수와 결합하고 적용하여 고해상도 깊이맵을 생성한다. 거리변환을 위한 에지맵은 저해상도 깊이맵에서 소벨 에지 검출기를 적용하여 획득한다.

식 (8)은 제안하는 거리변환에 기반을 둔 양측 업샘플링을 표현한다.

$$D_{dt}^H = \frac{\sum_{q \in S} w_q \cdot D_q^L}{\sum_{q \in S} w_q} \quad (8)$$

여기서, D_{dt}^H 는 제안하는 방법으로 계산한 최종 픽셀 값이고, S 는 저해상도에서의 필터 커널 크기이다.

가중치 w_q 는 식 (9)에 의해 정의한다.

$$w_q = f(e_{dt} \cdot \|p - q\|) \cdot g(|D_p^L - D_q^L|) \quad (9)$$

식 (9)에서 f 는 공간 도메인 가중치 함수, g 는 범위 도메인 가중치 함수를 의미한다. 가중치 w_q 는 공간 도메인과 범위 도메인 가중치 함수의 곱으로 계산된다. 기존의 양측 필터는 에지인 경우와 비에지(non-edge) 경우에 대해서, 거리에 비례하여 동일한 공간 도메인 가중치가 적용된다. 하지만 깊이맵은 중심픽셀의 에지 여부에 따라서 값의 차이가 생기기 때문에 에지에 적응적인 f 는 식 (10)과 같이 정의한다.

$$f(e_{dt} \cdot \|p - q\|) = \exp\left(\frac{-e_{dt} \cdot \|p - q\|^2}{2\sigma_a^2}\right) \quad (10)$$

여기서, e_{dt} 는 거리변환 값에 따라 범위 도메인 가중치 함수를 조절하는 가중치 조정 함수 (weighting control function)로 식 (11)과 같이 거리변환 값 τ 의 지수함수로 계산한다.

그림 7. 거리변환을 이용한 양측필터

Fig. 7. Bilateral filter using distance transform

$$e_{dt} = \exp(-\tau) \quad (11)$$

e_{dt} 는 거리변환 값을 지수함수에 적용하여 값이 거리변환 값이 커질수록 작은 가중치를 가지는 가중치 조정 함수이다.

$$g(|D_p^H - D_q^L|) = \exp\left(\frac{-|D_p^H - D_q^L|^2}{2\sigma_b^2}\right) \quad (12)$$

범위 도메인 가중치 함수 g 는 기존의 방법인 양측 업샘플링의 식 (6)과 같다.

e_{dt} 에 따라 공간 도메인 가중치 함수가 달라진다. 그림 8은 중심픽셀 좌측에 에지가 위치할 때의 거리변환 기반의 양측 업샘플링의 그래프이다. 그림 8(a)는 픽셀의 깊이 값을 그림 8(b)는 범위 도메인 가중치 함수 그래프, 그림 8(c)는 e_{dt} 의 그래프로 에지에서 최대값을 가지고 에지외의 영

역에서는 가중치가 감소하는 형태를 보여준다. 그림 8(d)는 그림 8(c)의 e_{dt} 와 그림 4(c)의 공간 도메인 가중치 함수를 결합한 그래프를 보여준다. 그림 8(b)는 기존의 양측 업샘플링의 범위 도메인 가중치 함수 그래프와 동일하다. 하지만 그림 8(d)의 공간 도메인 가중치 함수의 경우 참조하지 않는 에지에서 최소 가중치를 가지고 중심픽셀이 위치한 에지의 우측 영역에 대해서 최대 가중치를 가진다.

그림 9는 중심픽셀 우측에 에지가 위치할 때의 거리변환 기반의 양측 업샘플링의 그래프를 보여준다. 그림 9(a)는 픽셀 값을 그림 9(b)는 그림 9(a)에 따른 범위 도메인 가중치 함수의 그래프로 좌측에 있는 픽셀 값만을 참조한다. 그림 9(d)는 그림 9(c)의 e_{dt} 와 공간 도메인 가중치 함수를 결합한 그래프이다. 그림 9(d)에서 보듯이, 참조하지 않는 에지 픽셀에서는 최소 가중치를, 참조하는 에지 픽셀과 좌측 영역에서는 최대 가중치를 가진다.

그림 10은 그림 8과 그림 9의 최종 가중치 함수 w_q 를

그림 8. 에지영역이 중심 픽셀 좌측에 있을 때의 함수들의 그래프. (a) 픽셀 값, (b) 범위 도메인 가중치 함수, (c) DT의 가중치 조정 함수 (d) DT기반 공간 도메인 가중치 함수

Fig. 8. The graphs of functions when an edge region is at the left side of a center pixel. (a) pixel intensities, (b) range domain weighting function, (c) DT-based weighting control function, and (d) DT-based spatial domain weighting function

그림 9. 에지영역이 중심픽셀 우측에 있을 때의 함수들의 그래프. (a) 픽셀 값, (b) 범위 도메인 가중치 함수, (c) DT의 가중치 조정 함수, (d) DT기반 공간 도메인 가중치 함수

Fig. 9. The graphs of functions when an edge region is at the right side of a center pixel. (a) pixel intensities, (b) range domain weighting function, (c) DT-based weighting control function, and (d) DT-based spatial domain weighting function

그림 10. 최종 가중치 그래프. (a) 에지가 중심픽셀에 좌측에 위치한 가중치 w_q , (b) 에지가 중심픽셀 우측에 위치한 가중치 w_q

Fig. 10. The graph of final weighting function, (a) w_q when edge is at the left side of a center pixel, (b) w_q when edge is at the right side of a center pixel

보여준다. 그림 10(a)는 중심픽셀의 좌측에 에지가 위치할

때이며, 그림 10(b)는 우측에 에지가 위치할 때이다. 그림 10(a)의 경우는 우측의 픽셀만을 참조하며, 그림 10(b)의 경우에는 에지의 좌측픽셀만 참조한다. 이러한 가중치는 낮은 그라디언트에서도 효과적으로 에지가 보전된다.

IV. 실험 결과 및 분석

실험 깊이맵은 Middlebury Stereo^[11] 사이트에서 제공하는 깊이맵을 사용하였고, 그림 11은 실험에 사용한 입력 깊이맵을 나타낸다. 해상도는 모두 420 x 370이다. 저해상도 깊이맵을 생성하기 위해 실험영상을 다운샘플링(down-

그림 11 실험 깊이맵 (위 : aloe, bowling, cone, sawtooth, baby, 아래 : flowerpots, lampshade, locks, midd, monopoly)

Fig. 11. Test depth maps. (Top: aloe, bowling, cone, sawtooth, baby and Bottom: flowerpots, lampshade, locks, midd, monopoly)

그림 12. 실험 깊이맵의 추출된 에지맵

Fig. 12. Edge maps of test depth maps

sampling)하여 저해상도 깊이맵을 만들었다. 그런 다음, 제안하는 방법으로 업샘플링을 한 후 성능을 검증하였다.

소벨 에지연산자로 얻은 그림 11의 깊이맵의 에지맵들은 그림 12에서 보여준다. 에지는 255, 비에지는 0으로 표시하였다. 성능 검증을 위해서 에지맵의 성능이 좋도록 에지 크기에 임계치를 변경하면서 에지를 추출하였다. 이 에지맵에서 비에지마다 가장 가까운 에지까지의 거리인 거리변환 값을 grayscale값으로 표시한 DT map은 그림 13에서 보여준다. 에지는 0값을 가지게 되고, 비에지는 에지에서 멀어질수록 큰 값을 가진다.

실험 결과를 검증하기 위하여 객관적 화질평가로 다음의 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용했다.

$$PSNR = 10 \cdot \log\left(\frac{255^2}{MSE}\right) \quad (13)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i,j \in I} (D_O^H(i,j) - D^H(i,j))^2 \quad (14)$$

여기서 MSE(mean squared error)는 원영상 D_O^H 와 제안한 방법을 이용한 고해상도 영상 D^H 의 픽셀간의 차이의 합이며, N은 픽셀 개수이다.

각각 2배, 4배 축소후 양측 업샘플링과 DT기반 양측 업샘플링으로 얻어진 고해상도 깊이맵의 PSNR 값은 표 1, 2에서 보여준다. DT기반 양측 업샘플링은 선명도를 향상

표 1. 2배 확대 PSNR 비교 (단위: dB)

Table 1. PSNR comparison for the 2x upsampling (unit: dB)

실험 영상 및 해상도 확대율		bilateral upsampling		DT-based bilateral upsampling	
		전체	에지	전체	에지
2x	aloe	33.38	33.38	33.88	44.94
	bowling	35.84	35.85	35.77	49.30
	cone	34.56	34.57	34.57	44.15
	sawtooth	42.78	42.78	43.12	54.90
	baby	37.32	37.32	37.30	45.89
	flowerpots	31.54	31.54	31.50	41.92
	rock	34.89	34.89	34.95	45.82
	midd	34.82	34.82	34.88	43.38
	monopoly	35.26	35.26	35.35	45.26
평균		35.60	35.60	35.70	46.17

표 2. 4배 확대 PSNR 비교 (단위: dB)

Table 2. PSNR comparison for the 4x upsampling (unit: dB)

실험 영상 및 해상도 확대율		bilateral upsampling		DT-based bilateral upsampling	
		전체	에지	전체	에지
4x	aloe	24.90	26.54	24.96	27.29
	bowling	26.42	24.67	26.45	24.86
	cone	25.35	26.15	25.47	25.88
	sawtooth	33.40	37.18	33.60	37.28
	baby	30.46	32.73	30.73	30.89
	flowerpots	22.37	23.68	22.36	22.60
	rock	26.13	27.45	26.20	27.04
	midd	27.84	32.41	27.94	28.84
	monopoly	28.05	29.69	28.05	29.11
평균		27.21	28.94	27.31	28.20

그림 13. 거리변환으로 얻어진 DT맵

Fig. 13. DT maps generated by distance transform

시키면서 고해상도 깊이맵을 생성하는 것에 목적을 두고 있다. 영상의 선명도는 동질(homogeneous)영역보다 비동질 영역, 즉 에지와 같은 영역에서 큰 영향을 준다. 선명도를 측정함에 있어서는 에지영역에서의 PSNR을 측정 하는 것이 필요하다. 따라서 PSNR을 전체영역 및 에지영역으로 분리하여 계산하였다.

2배 확대한 전체 영상의 PSNR은 각기 35.60, 35.70 (dB)로 유사한 성능을 얻는다. 그러나 에지에서의 PSNR은 35.60, 46.17로 제안 방법에서 10.57 dB가 증가하였다. 4배 확대한 경우 전체영역에서는 27.21, 27.31로 2배 확대와 마찬가지로 유사한 값을 얻었고, 에지에서는 28.94, 29.20으로 거의 같은 PSNR을 가진다.

확대율이 증가하면 PSNR의 증가가 없는 이유는 다음과 같다. 제안 방법은 저해상도 깊이맵의 에지를 이용하는데, 고배율로 축소할수록 참조할 수 있는 픽셀들이 줄어든다. 픽셀들의 감소로 저해상도 영상에서는 정확한 에지의 추출이 어려워진다. 그림 14은 각각 2배, 4배, 8배로 축소된 깊이맵을 보여준다.

그림 14와 같이 원 깊이맵을 축소할수록 계단화 현상이 나타나게 된다. 즉 계단화 현상이 적은 영상일수록 효과적인 결과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 축소시 필터를 사용하지 않고, 다운샘플링을 하였기 때문에 계단화 현상이 심한 영상으로 실험을 하였다. 하지만 깊이센서를 통해 얻어지는 깊이맵의 대부분은 계단화 현상이 나타나지 않기 때

그림 14. 깊이맵 다운샘플링 결과. (a) 2배 다운샘플링, (b) 4배 다운샘플링, (c) 8배 다운샘플링

Fig. 14. Downsampled depth map. (a) 2x downsampling, (b) 4x downsampling, (c) 8x downsampling

그림 15. 2배 업샘플링의 결과 깊이맵. a) 원 깊이맵, b) 양측 업샘플링, c) 제안하는 DT기반 양측 업샘플링

Fig. 15. Resulting depth maps magnified by a factor of 2. (a) original depth maps, (b) bilateral upsampling and (c) proposed DT-based bilateral upsampling

그림 16. 그림 12의 박스의 확대 영상. a) 원 깊이맵, b) 양측 업샘플링, c) 제안하는 DT기반 양측 업샘플링
Fig. 16. Close up of Fig. 12. a) original depth map, b) bilateral upsampling, c) proposed DT-based bilateral upsampling

문에 실제 적용에는 더 나은 PSNR을 얻을 것으로 예상된다. 그림 15는 2배 축소후 확대된 깊이맵의 결과 비교를 보여준다.

그림 16은 각 그림 15에서 박스로 표시된 부분을 확대하여 보여준다. 양측 업샘플링에 비해서 *aloe*의 잎사귀, *cone*의 뿔 모양의 선명도가 증가함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 객체의 경계 영역 부분의 선명도를 증가시키면서 고해상도 깊이맵을 생성을 위해, 좋은 성능을 보여주는 양측 업샘플링 기법에 픽셀들의 거리변환을 결합한 고해상도 깊이맵 생성 기법을 제안하였다. 이를 위해서 깊이맵의 에지를 추출한 다음, 에지를 토대로 거리변환을 하여 DT맵을 생성하였다. DT맵을 기존 양측 업샘플링의 공간 도메인 가중치 함수에 결합함으로써, 에지에서 블러링되는 현상을 극복하였다. 실험에서는 다양한 깊이맵을 실험하여 성능을 검증하였는데, 에지에서의 2배 확대에서는 PSNR값이 10db 이상 증가하였다. 다만 확대율이 증가할수록, PSNR의 증가가 둔화하는 것은 향후 연구 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] O. P. Gangwal and R. P. Benetty, "Depth map post-processing for 3D-TV," IEEE Trans. on Consumer Electronics, pp. 1-2, 2009.
- [2] Y. Li, L. Sun, "A novel upsampling scheme for depth map compression in 3DTV system," Picture Coding Symposium(PCS), pp. 186-189, Dec. 2010.
- [3] J. Park, H. Kim, Y. Tai, M. Brown, I. Kweon, "High quality depth map upsampling for 3D-TOF cameras," IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 1623-6630, Nov. 2011.
- [4] R. G. Keys, "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing," IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-29, no. 6, pp. 1153-1160, 1981.
- [5] J. Kopf, M. Cohen, D. Kischinski, and M. Uyttendaele, "Joint Bilateral Upsampling," ACM Trans. on Graphics, vol.23, no.3, article 96, pp.2:1-2:9, 2007.
- [6] Q. Yang, R. Yang, J. Davis, and D. Nistér, "Spatial-depth super resolution for range images," Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, 2007.
- [7] J. Diebel and S. Thrun, "An application of markov random fields to range sensing," in NIPS, pp. 291 - 298, 2005.
- [8] E. Lee, S. Kim, Y. Jung, Y. Ho, "High-resolution depth map generation by applying stereo matching based on initial depth information," 3DTV Conference, pp. 201-204, May 2008.
- [9] G. Borgefors, "Hierarchical chamfer matching: a parametric edge matching algorithm," IEEE T. Pattern Anal. Mach. Intell., 10(6), pp.849-865, 1988.
- [10] Tomasi, C., and Manduchi, R. "Bilateral filtering for gray and color images," In Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision, 836-846, 1998.
- [11] D. Scharstein and R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms," International Journal of Computer Vision, vol. 47, no. 1-3, pp. 7-42, 2002.

— 저 자 소 개 —

장 성 은

- 2011년 2월 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사
- 2011년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3D영상처리, 3D 모바일프로세싱, 입체변환

이 동 우

- 2011년 8월 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사
- 2011년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3D입체영상처리, 3D 모바일

김 성 열

- 2001년 : 강원대학교 정보통신공학과 학사
- 2003년 : 광주과학기술원 정보통신공학과 공학석사
- 2008년 : 광주과학기술원 정보통신공학과 공학박사
- 2009년 ~ 2011년 : University of Tennessee 전기공학과 박사후연구원
- 2012년 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학부 박사후연구원
- 주관심분야 : 깊이영상기반렌더링, 3D영상처리, 3차원 TV, 실감방송

최 황 규

- 1984년 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1986년 : KAIST 전기및전자공학과 공학석사
- 1989년 : KAIST 전기및전자공학과 공학박사
- 1990년 ~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- 2012년 ~ 현재 : 강원대학교 IT대학 학장
- 주관심분야 : 데이터베이스, 3D멀티미디어통신, 클라우드컴퓨팅

김 만 배

- 1983년 : 한양대학교 전자공학과 학사
- 1986년 : University of Washington 전기공학과 공학석사
- 1992년 : University of Washington 전기공학과 공학박사
- 1992년 ~ 1998년 : 삼성종합기술원 수석연구원
- 1998년 ~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- 주관심분야 : 3D영상처리, 깊이맵처리, 입체변환