

# 경계 정보를 이용한 적응적 가중치가 적용된 깊이맵 업샘플링 방법

홍수민, 호요성  
광주과학기술원 정보통신공학부  
e-mail : sumin@gist.ac.kr, hoyo@gist.ac.kr

## Adaptive Weighted Upsampling of Depth Map using Edge Information

Su-Min Hong, Yo-Sung Ho  
School of Information and Communications  
Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

### 요 약

이 논문에서는 고해상도의 깊이맵을 얻기 위해 깊이맵의 경계 정보에 따라 세 가지의 가중치를 차등적으로 적용하는 깊이맵 업샘플링 방법을 제안한다. 기존의 알고리즘에서는 깊이맵을 업샘플링을 할 때 동일한 색상 가중치를 적용하지만, 이 논문에서 제안한 방법에서는 깊이맵의 경계 정보에 따라 차등 가중치를 적용한다. 이런 접근 방법은 경계 영역의 정보는 보존하면서 색상 영상의 질감이 깊이맵에 드러나는 문제를 해결할 수 있다. 우선 저해상도 깊이맵의 경계 영역을 찾기 위해 주변 화소와의 표준편차를 계산한다. 표준편차 값을 이용하여 블렌딩 함수를 만든 후 그 값이 문턱값보다 클 때에는 깊이맵과 색상 영상을 이용한 가중치를 적용하고, 문턱값보다 작을 때에는 블렌딩 함수의 값을 이용하여 평균 깊이맵과 색상 영상의 가중치 비율을 결정한다. 제안한 방법을 이용하여 깊이맵을 업샘플링한 결과, 기존 알고리즘에 비해 개선된 깊이맵을 얻을 수 있었다.

### 1. 서 론

최근 들어, 사용자에게 깊이감과 몰입감을 줄 수 있는 3차원 영상이 차세대 영상 서비스로 각광받고 있다 [1]. 촬영에 사용되는 카메라의 수에 따라 양안식(stereo) 영상과 다시점(multi-view) 영상으로 나누어지며, 양안식 영상은 고정된 두 시점 사이에 존재하는 시차 정보를 이용하여 입체 영상을 제공하고, 다시점 영상은 사용자가 원하는 시점에서 입체 영상을 제공해준다. 또한 양안식 혹은 다시점 영상과 함께 촬영된 깊이 정보를 가질 때 3차원 영상을 다양하게 활용할 수 있다.

깊이맵은 간접적으로 스테레오 정합(stereo matching) 방법을 이용하여 구할 수 있으며, 깊이 카메라를 이용하여 장면의 깊이 정보를 직접적으로 측정할 수도 있다. 최근 들어, 깊이맵을 얻기 위하여 Time-of-Flight (ToF) 깊이 카메라와 Kinect 깊이 카메라 같은 능동 센서를 이용하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 능동 센서 카메라를 이용하여 얻은 깊이맵은 기술적 한계로 인하여 색상 영상에 비해 낮은 해상도를 갖는다는 단점을 갖는다 [2]. 저해상도의 깊이맵을 색상 영상의 해상도에 맞게 업샘플링 하기 위해서 초기에는 양방향 보간법이나 정방향 보간법 등을 사용하였다. 이러한 방법들은 깊이맵 자체의 정보만을 이용하여 깊이맵을 업샘플링 하기 때문에 품질의 한계가 있으며, 최근에는 대응되는 색상 영상 정보

를 이용한 기술들이 많이 개발되고 있다.

깊이 영상의 업샘플링 방법은 크게 마르코프 랜덤 필드(Markov random field, MRF) 기반의 방법과 필터 기반의 방법으로 나눌 수 있다 [3]. 필터 기반의 대표적인 방법으로는 저해상도의 깊이맵을 업샘플링할 때 색상 영상의 정보를 참조하는 결합형 양방향 업샘플링(joint bilateral upsampling, JBU)을 들 수 있다 [4].

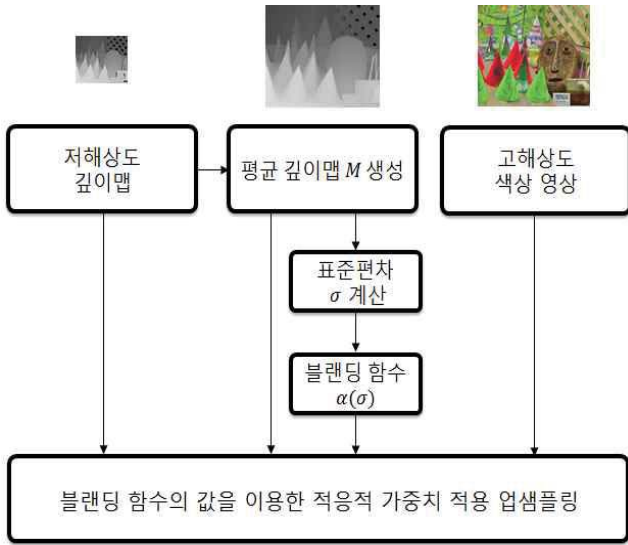
결합형 양방향 업샘플링 방법은 깊이맵을 업샘플링할 때, 색상 영상의 정보를 이용하여 가중치를 적용한다. 그 결과 업샘플링된 깊이 영상에서 색상 영상의 질감이 복사되는 문제가 발생하기도 하며, 깊이 정보의 불연속 지점에서 객체의 경계가 흐려지는 문제점이 발생하기도 한다. 깊이맵 업샘플링 결과에 색상 질감이 복사되는 문제를 막기 위해 NAFDU(noise-aware filter for real-time depth upsampling)가 제안되기도 하였다 [5].

### 2. 경계 정보를 이용한 깊이맵 업샘플링

본 논문에서는 저해상도 깊이맵의 주변 화소와의 표준편차 값을 이용하여 경계 영역을 결정한다. 중심화소의 표준편차 값을 얻기 위해 하나의 커널 안에서 인접화소들의 값을 이용하게 되며, 각 화소의 표준편차 값을 이용하여 블렌딩 함수를 정의한다. 블렌딩 함수는 경계 영역에 따라 어떠한 가중치를 적용할지 판단하고 어떻게 적응적으로

가중치를 부여할지에 대해 결정한다.

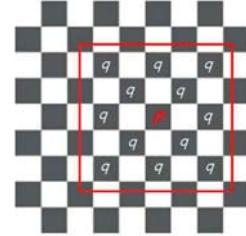
깊이맵을 업샘플링할 때 경계영역이 더욱 잘 보존된다.



(그림 1) 제안하는 방법의 순서도

## 2.2 깊이맵 경계 영역 탐색

제안하는 방법은 깊이맵의 경계 영역에 따라 적응적으로 가중치를 적용한다. 이를 위해, 화소별로 주변 화소 값을 고려한 표준편차 값을 구한다.



(그림 2) 저해상도 깊이맵의 주변 화소 관계성

그림 2는 저해상도의 깊이맵에서 표준편차를 계산할 때 중심 화소와 인접 화소 간의 관계성을 보여준다.

## 2.1 Joint bilateral upsampling

일반적인 JBU 알고리즘에서는 업샘플링된 깊이맵의 화소 값을 결정하기 위해 필터 커널 영역에 위치한 이웃 화소들의 거리의 차이와 색상의 차이에 대한 가우시안 가중합을 이용한다.

식 1은 일반적인 JBU의 계산식을 나타낸다.

$$\frac{1}{k_{p \downarrow q \downarrow}} I_{q \downarrow} f(\|p \downarrow - q \downarrow\|) g(\|I_p - I_q\|) \quad (1)$$

$p \downarrow$ 는 저해상도 깊이맵의 중심 화소 위치이고,  $q \downarrow$ 는 참조하는 화소의 위치이다. 두 화소의 거리는 유클리디안 거리를 사용해서 계산한다.

$$\|p \downarrow - q \downarrow\| = (p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 \quad (2)$$

공간 가중치는 가우시안 분포를 이용하여 계산한다.

$$f(\|p \downarrow - q \downarrow\|) = \exp\left(-\frac{\|p \downarrow - q \downarrow\|^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (3)$$

$I$ 는 참조하는 색상 영상을 의미하고 색상 가중치  $g(\|\tilde{I}_p - \tilde{I}_q\|)$ 는 공간 가중치와 마찬가지로  $\sigma_r^2$ 의 분산값을 갖는 가우시안 분포로 계산된다. 공간 가중치는 중심 화소와 이웃 화소 간의 거리가 가까울수록 가중치가 커지고 거리가 멀어질수록 가중치가 작아지는 특징을 보인다. 색상 가중치는 중심 화소와 이웃 화소 간의 색상차가 작을수록 가중치가 커지는 특징을 보인다. 이런 특징을 통해

$$M_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (4)$$

중심 화소  $p$ 의 위치에 대한 평균값은 식 1을 이용하여 계산된다.

$$\sigma_p = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - M_p)^2}{n} \quad (5)$$

식 5는 중심화소  $p$ 의 위치에서 표준편차 계산식을 나타낸다. 식 4를 이용하여 구해진 평균값을 이용하여 동일한 인접화소를 대상으로 표준편차를 구하게 된다.

## 2.3 적응적 가중치 적용을 위한 블랜딩 함수

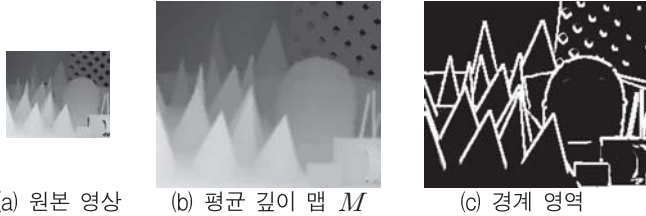
깊이 경계 영역 탐색을 위한 표준편차의 결과는 특정 커널 안에서 화소 값들이 얼마나 비슷한 크기를 갖고 있는지를 나타낸다. 그러므로 표준편차 값은 깊이맵의 경계영역을 결정짓는 지표로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 깊이 경계 영역의 정보에 따라 적응적으로 가중치를 적용한다. 이를 위하여 경계 영역의 정보를 담은 표준편차 값을 이용한 블랜딩 함수를 정의한다.

$$\alpha(\sigma) = \frac{1}{\sigma_{ax}} \sigma(x, y) \quad (6)$$

블랜딩 함수는 영상의 모든 화소의 표준편차 중에서 가장 큰 값을 고려하여, 표준편차 값들이 0에서 1의 분포를 갖게 한다. 블랜딩 함수의 결과는 경계 영역의 정보를 가지므로 일정 문턱값을 넘었을 때 경계 영역으로 볼 수 있

$$\frac{1}{k_{p,q} = \Omega} I_{q_i} f(\|p_{\downarrow} - q_{\downarrow}\|) [\alpha(\sigma) g(\|I_p - I_q\|) + (1 - \alpha(\sigma)) g(\|M_p - M_q\|)] \quad (7)$$

다. 그림 3은 실험에 사용된 저해상도 원본 깊이맵과 표준편차를 구할 때 계산된 평균 깊이맵 그리고 블렌딩 함수를 이용하여 얻은 경계 영역을 보여준다.



(그림 3) 경계 영역 탐색 결과

### 2.4 적응적 가중치 적용 깊이맵 업샘플링

JBU 방법을 통한 깊이맵 업샘플링은 색상 영상의 질감이 깊이맵에 복사되는 문제점을 갖고 있다. 이는 깊이맵이 평활한 값을 갖는 영역에서 참조하는 색상 영상의 정보가 불규칙적일 때 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 블렌딩 함수의 결과를 이용하여 적응적으로 가중치를 적용하는 업샘플링 방법을 제안한다. 식 7은 제안하는 방법의 계산식을 나타낸다.  $\tilde{M}$ 은 그림 3(b)와 같은 중심 화소와 이웃 화소의 깊이정보로 얻은 평균 깊이맵을 나타내며, 표준편차를 구할 때 계산된 것을 사용한다. 블렌딩 함수는 경계 영역일 경우 색상 가중치에 더 큰 가중치를 부여하고, 경계 영역이 아닌 경우에는 평균 깊이맵을 이용한 가중치에 더 큰 가중치를 부여한다. 이를 통해 경계 영역은 색상 영상을 참조하여 경계 정보를 보존하게 되고, 비경계 영역은 평균 깊이맵을 참조하여 색상 영상의 질감 복사 문제를 막고 깊이맵의 품질은 보존한다. 또한, 경계 정보를 더욱 보존하기 위하여 블렌딩 함수 결과가 임의의 문턱 값보다 클 경우에 블렌딩 함수의 계산 결과를 1로 대체하였다.

### 3. 실험 결과

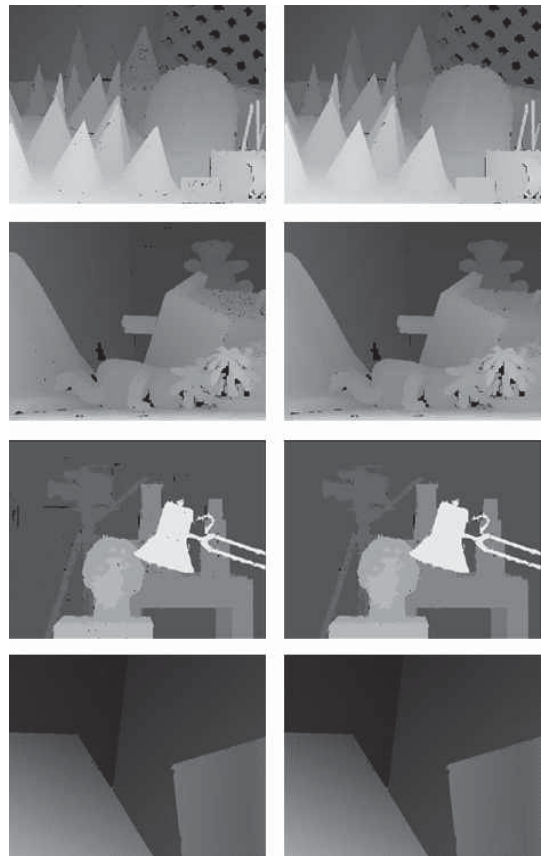
실험을 위하여 Middlebury에서 제공하는 테스트 영상 Cones, Teddy, Tsukuba, Venus를 사용하였다.



(그림 4) 실험에 사용된 색상 영상 및 원본 깊이 영상

그림 4는 실험에 사용된 색상 영상과 원본 깊이맵(Ground truth)을 보여준다.

제안하는 방법의 성능을 살펴보기 위해 원본 깊이맵을 각각 1/2배, 1/4배 그리고 1/8배로 다운샘플링 하였다. 다운샘플링 방법은  $n$ 배 다운샘플 깊이맵을 만들 때, 원본 깊이맵에서  $x$ 축과  $y$ 축에 대하여 각각  $n$ 번째 화소마다 그 값을 추출하였다. 실험에서는 업샘플링을 수행할 때 평균 깊이맵과 표준편차를 얻기 위한 커널 한 번의 크기, 가중치를 계산할 때 참조하는 커널 한 번의 크기, 공간 가중치  $f$ 를 위한  $\sigma_s$ 와 색상 가중치  $g$ 를 위한  $\sigma_r$ 을 1/2배 다운샘플인 경우 각각 7, 7, 1, 3 으로 1/4배 다운샘플인 경우 9, 7, 3, 8 로 1/8배 다운샘플인 경우 17, 11, 5, 10 으로 설정하였다. 또한 블렌딩 함수의 문턱 값은 0.1로 설정하였다. 그림 5는 1/4배 다운샘플링 영상을 기존의 JBU와 제안하는 방법을 이용하여 업샘플링을 수행한 결과 깊이맵이다.



(a) JBU (b) 제안하는 방법

(그림 5) 깊이맵 업샘플링 결과

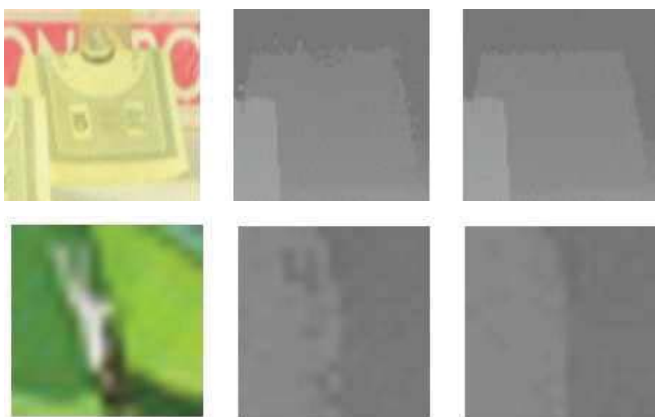
깊이맵의 품질을 정량적으로 평가하기 위하여 Bad Pixel Rate(BPR)을 비교하였다. BPR은 원본 깊이맵과 업샘플링을 수행한 깊이맵의 각 화소를 비교했을 때 깊이 값의 차이가 1보다 큰 화소의 전체 대비 비율이다. 이는 BPR의 값이 0에 가까울수록 원본 깊이맵에 가깝게 업샘플링이 수

행되었음을 뜻한다. 표 1은 각각의 실험 영상에 대해 1/2배, 1/4배, 1/8배 다운샘플링된 깊이맵을 업샘플링하여 BPR을 계산한 결과이다. 제안하는 방법이 모든 실험 영상에 대하여 기존의 방법보다 우수한 결과를 나타내었다.

(표 1) 업샘플링 결과 및 비교

Scaling factor	Image	BPR (%)	
		JBU	제안
2	Cones	2.50	1.74
	Teddy	4.41	3.92
	Tsukuba	3.42	2.98
	Venus	0.83	0.26
4	Cones	4.31	3.32
	Teddy	6.11	5.71
	Tsukuba	5.31	5.12
	Venus	0.92	0.34
8	Cones	10.02	9.51
	Teddy	11.11	11.09
	Tsukuba	8.82	8.34
	Venus	3.81	3.42

그림 6은 Monopoly와 Cones 영상을 이용해 업샘플링한 결과의 한 부분을 확대한 것이다. 그림 6(b)와 같이 기존의 JBU를 이용한 업샘플링 방법은 색상 영상의 질감이 복사되는 문제점을 보였다. 그러나 제안하는 방법을 이용하여 업샘플링을 수행한 결과 문제점이 해결되었음을 확인할 수 있었다.



(a) 색상 영상 (b) JBU (c) 제안하는 방법  
(그림 6) 색상 영상 질감 복사

#### 4. 결론

본 논문에서는 경계 영역의 정보를 이용한 깊이맵 업샘플링 방법을 제안하였다. 기존의 JBU를 사용하여 업샘플

링된 깊이맵은 경계 영역의 정보를 보존하기 위해 색상 영상의 정보를 참조했다. 이 방법은 업샘플링된 깊이 경계 정보 면에서는 우수한 성능을 보이지만 깊이맵의 평활한 영역에서 색상 영상의 질감이 복사되는 문제점이 있다. 제안하는 방법에서는 이 문제를 해결하기 위해 경계 영역의 정보에 따라 적응적으로 가중치를 적용했다. 경계 영역의 정보를 얻기 위해 이웃 화소와의 표준편차를 이용했으며, 그 값을 이용하여 블렌딩 함수를 구성했다. 이를 통해 경계 영역에서는 색상 영상의 정보를 참조하여 경계 정보를 보존할 수 있었으며, 비경계 영역에서는 색상 영상 정보보다 깊이맵의 정보를 참조하여 색상 영상의 질감 복사 문제를 해결할 수 있었다. 또한, 기존의 방법을 이용하여 업샘플링된 깊이맵과 제안하는 방법을 이용하여 업샘플링된 깊이맵의 정량적인 품질을 비교했을 때, 1/2배 다운샘플링 경우 평균 0.565, 1/4배 다운샘플링 경우 평균 0.54, 1/8배 다운샘플링 경우 평균 0.35의 BPR이 감소되었다. 이를 통해, 제안하는 업샘플링 방법이 기존의 방법에서 일어나는 색상 영상의 질감 복사 문제를 해결함과 동시에 업샘플링된 깊이맵의 품질도 더욱 나아진 것을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 ‘범부처 Giga KOREA 사업’의 일환으로 수행하였음. [GK13C0100, 기가급 대용량 양방향 실감 콘텐츠 기술 개발]

#### 참고 문헌

- [1] C. Fehn, R. Barre, and S. Pastoor, "Interactive 3DTV-concepts and key technologies," Proc. of IEEE, Vol. 94, No. 3, pp. 524-538, Mar. 2006.
- [2] C. Lee, H. Song, B. Choi, and Y. Ho, "3D scene capturing using joint stereo camera with time-of-flight camera for 3D displays," IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 57, No. 3, pp. 1370-1379, Aug. 2011.
- [3] J. Diebel and S. Thrun, "An application of markov random fields to range sensing," Proc. of Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 18, pp. 291-298, Dec. 2005.
- [4] J. Kopf, M. Cohen, D. Lischinski, and M. Uyttendaele, "Joint bilateral upsampling," ACM Trans. on Graphics. Vol. 26, No. 3, pp. 1-6, July 2007.
- [5] D. Chan, H. Buisman, C. Theobalt, and S. Thrun, "A noise-aware filter for real-time depth upsampling," Proc. of ECCV Workshop on Multi-camera and Multi-modal Sensor Fusion Algorithms and Applications, pp. 1-12, 2008.