

참조 화소의 신뢰성을 고려한 깊이맵 업샘플링 방법

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

Depth Map Upsampling Method Considering Reference Pixel Reliability

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

요 약

이 논문에서는 저해상도의 깊이맵을 고해상도의 깊이맵으로 업샘플링하기 위해 참조하는 화소의 신뢰성을 고려하고 경계 정보에 따라 가중치를 차등 적용하는 깊이맵 업샘플링 방법을 제안한다. 기존의 업샘플링 방법에서는 경계 정보에 상관없이 윈도우안에 위치하는 모든 화소를 참조하고 동일한 색상 가중치를 적용하지만, 제안하는 방법에서는 경계 정보에 따라 참조하는 화소의 신뢰성을 고려하고 색상 가중치를 차등적으로 적용한다. 이런 접근 방법은 경계 영역의 정보를 보다 효과적으로 보존하고 색상 영상의 질감이 깊이맵에 드러나는 문제를 해결할 수 있다. 우선 깊이맵의 경계 정보를 얻기 위해 주변 화소와의 표준편차를 계산하여 블렌딩 함수를 만든 후, 그 값에 따라 색상 영상과 깊이 영상의 가중치 비율을 결정한다. 또한, 경계 영역의 품질을 개선하기 위해 깊이맵과 색상 영상 화소들의 신뢰성을 고려하여 참조한다. 제안한 방법을 이용하여 업샘플링을 수행한 결과, BPR 측면에서 기존 알고리즘에 비해 평균 0.61% 개선된 깊이맵을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

최근 들어, 사용자에게 깊이감과 몰입감을 줄 수 있는 3차원 영상이 많은 분야에 각광받고 있다 [1]. 3차원 영상은 시청자에게 제공하는 시점의 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. 효율적인 3차원 영상의 제작을 위해서는 양안식 혹은 다시점 색상 영상과 함께 정확한 깊이맵이 필요하다.

깊이맵을 구할 때, Time-of-Flight (ToF) 깊이 카메라와 Kinect 깊이 카메라 같은 능동 센서를 이용하는 직접적인 방법이 많이 사용된다. 그러나 이러한 능동 센서 카메라를 이용하여 얻은 깊이맵은 기술적 한계로 인해 색상 영상에 비해 낮은 해상도를 갖는다는 단점을 가진다 [2].

고선명(HD)이나 초고선명(UHD)등의 고해상도 색상 영상이 연구와 방송에 주를 이루는 요즘, 낮은 해상도의 깊이 영상을 색상 영상의 해상도에 맞게 확대하는 과정이 필요하다. 저해상도의 깊이맵을 색상 영상의 해상도에 맞게 업샘플링 하기 위한 방법은 크게 마르코프 랜덤 필드(Markov random field, MRF) 기반의 방법과 필터 기반의 방법으로 나눌 수 있다 [3]. MRF 기반의 업샘플링 방법은

복잡도가 높다는 단점을 가지고 있으며 상대적으로 복잡도가 낮은 결합형 양방향 업샘플링(joint bilateral upsampling, JBU)이 많이 사용되고 있다 [4].

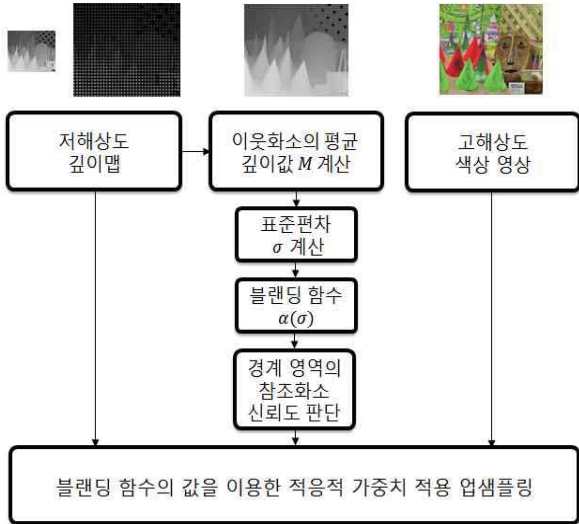
결합형 양방향 업샘플링 방법은 경계 영역의 흐려짐을 막기 위하여 색상 영상의 정보를 이용한다. 이는 비슷한 깊이정보를 갖는 영역은 비슷한 색상 분포를 가지고 있다는 전제에서 시작한다. 그 결과, 업샘플링된 깊이맵에서 색상 영상의 질감이 복사되는 문제와 깊이 정보와 색상 정보의 분포가 일치하지 않을 때, 객체의 경계가 흐려지는 문제점을 일으킨다. 깊이맵 업샘플링 결과에 색상 질감이 복사되는 문제를 막기 위하여 경계 영역에 따라 차등적으로 가중치를 적용하는 NAFDU(noise-aware filter for real-time depth upsampling)가 제안되기도 하였다 [5].

NAFDU는 경계 정보를 얻기 위하여 이웃화소의 최대, 최소 깊이맵의 차를 이용한다. 그러나 이러한 접근 방법은 실제 촬영 환경에서 잡음이 발생하였을 때, 확실한 경계 정보를 기대하기 어렵다. 이를 해결하기 위하여, 표준편차를 이용한 방법이 제안되기도 하였다 [6].

2. 경계 정보를 이용한 깊이맵 업샘플링

본 논문에서는 저해상도 깊이맵을 업샘플링할 때, 주변 화소와의 표준편차값을 이용한다. 또한 색상 질감이 복사

되는 문제를 해결하기 위하여 표준편차 값을 이용한 블랜딩 함수를 정의한다. 블랜딩 함수는 경계 영역에 따라 어떻게 적응적으로 가중치를 부여할지에 대해 결정한다. 또한, 경계 영역에 대하여 경계 흐려짐 문제를 해결하기 위하여 참조하는 화소의 신뢰성을 판단한다.



(그림 1) 제안하는 방법의 순서도

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.

$$\tilde{S}_p = \frac{1}{k_p q} \sum_{\Omega} I_{q_i} f(\|p - q_i\|) g(\|\tilde{I}_p - \tilde{I}_q\|) \quad (1)$$

p_{\downarrow} 는 저해상도 깊이맵의 중심 화소 위치이고, q_{\downarrow} 는 참조하는 화소의 위치이다. 두 화소의 거리는 유클리디안 거리를 사용해서 계산한다.

$$\|p_{\downarrow} - q_{\downarrow}\| = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad (2)$$

공간 가중치는 가우시안 분포를 이용하여 계산한다.

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

\tilde{I} 는 참조하는 색상 영상을 의미하고 색상 가중치 $g(\|\tilde{I}_p - \tilde{I}_q\|)$ 는 공간 가중치와 마찬가지로 σ_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 특성을 통해 업샘플링된 깊이맵의 경계영역을 보존하게 되지만 깊이맵의 경계 영역에 대하여 참조하는 색상 화소들이 균일한 분포의 값을 가질 때, 경계가 흐려지는 문제점이 발생한다.

2.2 표준편차를 이용한 깊이맵 경계 영역 탐색

제안하는 방법은 색상 질감이 복사되는 문제를 막기 위하여, 깊이맵의 경계 영역에 따라 적응적으로 가중치를 적용한다. 이를 위해, 화소별로 주변 화소 값을 고려한 표준편차 값을 구한다.

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - M_p)^2}{n}} \quad (4)$$

중심 화소 p 의 위치에 대한 표준편차 값은 식 4를 이용하여 계산된다. 또한, p 의 위치에서 화소가 가질 수 있는 최대 표준편차 값을 구한다. 식 5는 최대 표준편차 계산식을 나타낸다.

$$\sigma_{\max} = \sqrt{(M_p - \min(\Omega))(\max(\Omega) - M_p)} \quad (5)$$

여기서 Ω 는 이웃화소를 뜻한다.

그 다음, 중심 화소 p 위치의 표준편차와 최대표준편차의 비를 이용하여 경계 영역을 결정한다.

식 6은 0에서 1의 분포를 갖는 경계 영역 정보 x 를 나타낸다.

$$x = \frac{\sigma_p}{\sigma_{\max}} \quad (6)$$

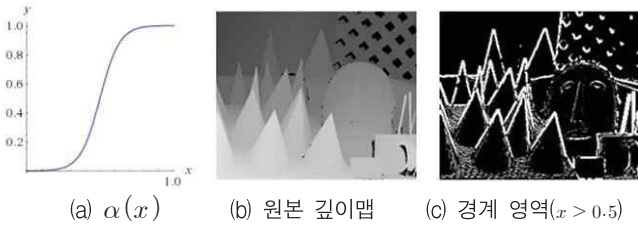
2.3 적응적 가중치 적용을 위한 블랜딩 함수

본 논문에서는 색상 질감의 복사 문제를 해결하기 위하여 깊이 경계 영역의 정보에 따라 적응적으로 가중치를 적용한다. 이를 위하여 경계 영역의 정보를 담은 표준편차 값을 이용한 블랜딩 함수를 정의한다.

$$\alpha(x) = \frac{1}{1 + e^{-\epsilon(x - \tau)}} \quad (7)$$

블랜딩 함수는 경계 영역 정보를 이용하여 0에서 1의 분포를 갖게 한다. 블랜딩 함수의 결과는 경계 영역의 정보를 가지므로 일정 문턱값을 넘었을 때 경계 영역으로 볼 수 있다. 그림 2는 블랜딩 함수와 원본 깊이맵, 그리고 경계 영역 정보 x 를 이용한 경계 영역을 보여준다.

$$\tilde{S}_p = \frac{1}{k_p} \sum_{q_i} I_{q_i} f(\|p - q_i\|) [\alpha(x) g(\|\tilde{I}_p - \tilde{I}_q\|) + (1 - \alpha(x)) g(\|\tilde{M}_p - \tilde{M}_q\|)] \quad (10)$$



(그림 2) 블렌딩 함수와 경계 영역 탐색 결과

2.4 경계 영역에 대한 참조 화소 신뢰성 검사

제안하는 방법은 업샘플링된 깊이맵의 결과가 흐려지는 현상을 해결하기 위하여 경계 영역에 대하여 참조하는 화소의 신뢰성을 검사한다. 경계 영역은 x 가 문턱값 보다 큰 경우로 생각하며, 색상 영상과 깊이맵에 대하여 화소별로 가우시안 가중치를 적용한 주변화소의 평균값을 계산한다.

$$M_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_\sigma(\|p - q_i\|) q_i \quad (8)$$

그 후, 색상 영상과 깊이맵, 두 경우 모두에 대하여 가우시안 가중치가 적용된 평균값과 참조하는 화소의 차이의 절대값이 문턱값보다 적은 경우에만 경계 영역의 업샘플링 계산에 사용한다. 즉, 경계 영역에 대하여 색상 영상, 깊이맵의 중심화소와 유사한 화소만 참조함으로써 경계 흐려짐 문제를 방지한다.

$$|M_p - q_i| \leq th \quad (9)$$

2.5 적응적 가중치 적용 깊이맵 업샘플링

JBU 방법을 통한 깊이맵 업샘플링은 색상 영상의 질감이 깊이맵에 복사되는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 블렌딩 함수의 결과를 이용하여 적응적으로 가중치를 적용하는 업샘플링 방법을 제안한다. 식 10은 제안하는 방법의 계산식을 나타낸다.

\tilde{M} 은 중심 화소와 이웃 화소의 깊이정보로 얻은 평균 깊이값을 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 기존의 JBU와 같이 경계 정보를 보존하게 되고, 비경계 영역은 평균 깊이맵을 참조하여 색상 영상의 질감 복사 문제를 막고 깊이맵의 품질은 보존한다.

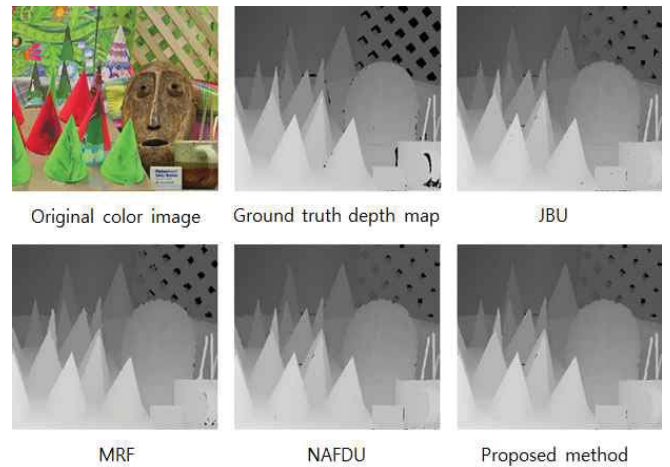
3. 실험 결과

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

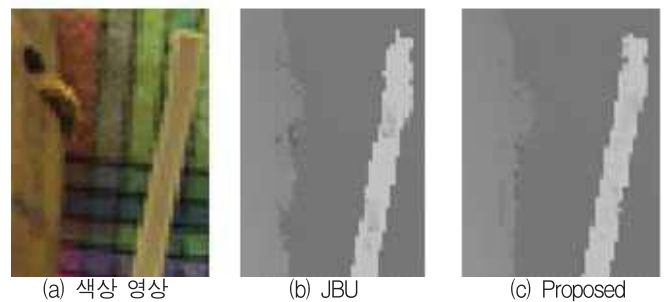
제안하는 방법의 성능을 살펴보기 위해 원본 깊이맵을 각각 1/2배, 1/4배 그리고 1/8배로 다운샘플링 하였다. 다운샘플링 방법은 n 배 다운샘플 깊이맵을 만들 때, 원본 깊이맵에서 x 축과 y 축에 대하여 각각 n 번째 화소마다 그 값을 추출하였다.

실험에서는 업샘플링을 수행할 때 평균 깊이맵과 표준편차를 얻기 위한 커널 한 변의 크기, 가중치를 계산할 때 참조하는 커널 한 변의 크기, 공간 가중치 f 를 위한 σ_s 와 색상 가중치 g 를 위한 σ_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 0.8로 경계 영역에 대한 참조 화소 신뢰성 검사를 위한 문턱 값은 10으로 설정하였다.

그림 3은 1/4배 다운샘플링 영상을 기존의 업샘플링 방법인 JBU, MRF, NAFDU와 제안하는 방법을 이용하여 업샘플링을 수행한 결과 깊이맵이다.



(그림 3) 깊이맵 업샘플링 결과



(그림 4) 경계 영역 개선

그림 4는 Cones 영상의 4배 업샘플링한 결과의 한 부분을 확대한 것이다. 경계 영역의 업샘플링을 위해 신뢰성을

고려한 화소 참조로 경계 흐려짐 현상이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 Monopoly와 Cones 영상의 업샘플링 결과의 한 부분을 확대한 것이다. 그림 5(b)와 같이 기존의 JBU를 이용한 방법은 색상 영상의 질감이 복사되는 문제점을 보였다. 그러나 제안하는 방법을 이용하여 업샘플링을 수행한 결과 문제점이 해결되었음을 확인할 수 있었다.



(표 1) 업샘플링 결과 및 비교

Dataset	Scale	JBU	MRF	NAFDU	Proposed
Cones	2x	2.50	2.84	2.49	1.78
	4x	4.31	4.12	4.42	2.98
	8x	10.01	10.02	10.02	9.77
Teddy	2x	4.41	4.81	4.44	3.66
	4x	6.12	6.48	6.09	6.01
	8x	11.12	11.21	11.19	11.07
Tsukuba	2x	3.41	4.71	3.44	2.92
	4x	5.31	5.39	5.31	4.98
	8x	8.84	8.69	8.94	7.91
Venus	2x	0.83	1.12	0.93	0.25
	4x	0.92	1.2	0.91	0.67
	8x	3.81	4.05	3.80	2.67

깊이맵의 품질을 정량적으로 평가하기 위해 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 수행되었음을 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.

4. 결론

본 논문에서는 경계 영역의 정보를 이용한 깊이맵 업샘플링 방법을 제안하였다. 기존의 JBU는 업샘플링된 깊이맵의 품질을 위해 색상 영상의 정보를 참조한다. 이 방법은 업샘플링된 깊이맵의 평활한 영역에서 색상 영상의 질

감이 복사되는 문제점과 경계 영역이 흐려지는 문제점을 갖는다. 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. 또한, 경계 영역에 대하여 참조 하는 화소의 신뢰성을 고려하여 경계 흐려짐 문제를 해결하였다. 그 결과, 기존의 JBU, MRF, NAFDU을 이용하여 업샘플링된 깊이맵과 제안하는 방법을 이용하여 업샘플링된 깊이맵의 정량적인 품질을 비교했을 때 제안하는 방법이 BPR 측면에서 우수함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 ‘범부처 Giga KOREA 사업’의 일환으로 수행하였음. [GK15C0100, 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, March 2006.
- [2] J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, and A. Blake, “Real-time human pose recognition in parts from single depth images,” Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1297-1304, June 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.
- [6] S. Hong and Y. Ho, “Efficient Depth Map Upsampling Method using Standard Deviation,” Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM), pp. 33-40, 2015.