

# 깊이 불연속 정보를 이용한 효율적인 깊이 맵 업샘플링 방법

강운석<sup>o</sup>, 호요성

광주과학기술원 정보통신공학부

yunsuk@gist.ac.kr, hoyo@gist.ac.kr

## 요약

본 논문에서는 색상 영상 정보 및 깊이 불연속 정보를 참조하여 저해상도 깊이 맵(depth map)을 고해상도로 업샘플링(upsampling)하는 방법을 제안한다. 깊이 불연속 영역은 깊이 값의 변화가 크게 발생하기 때문에 깊이 맵의 업샘플링에서 가장 민감하게 다루어져야 하는 부분이다. 제안하는 방법에서는 고해상도 색상 영상으로부터 깊이 불연속 영역을 추출하고 마르코프 랜덤 필드(Markov random field, MRF) 기반의 깊이 맵 업샘플링 기법과 함께 사용함으로써 고품질의 고해상도 깊이 맵을 획득한다.

## 1. 서론

3 차원 비디오는 여러 시점에서의 영상을 제공함으로써 시청자에게 입체감과 몰입감을 제공할 수 있는 차세대 방송 서비스이다. 효율적인 3 차원 비디오의 제작과 전송을 위해서는 장면에 대한 깊이 맵(depth map)이 필수적이다. 깊이 맵을 획득하는 방법으로는 스테레오 정합(stereo matching)과 같이 색상 영상을 이용한 방법도 있으나 높은 복잡도에 비해 성능이 낮은 단점을 가지고 있다. 반면 깊이 센서(depth sensor)는 색상 카메라와 함께 장면을 촬영하여 실시간으로 깊이 맵을 제공할 수 있기 때문에 그 사용 빈도가 점점 높아지고 있는 추세이다. 다만 제공되는 깊이 맵의 해상도가 낮은 단점이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 깊이 맵의 해상도를 높이는 업샘플링(upsampling)하는 방법이 많이 제안되었다.

깊이 맵의 업샘플링은 크게 두 가지로 나뉘는데 필터 기반의 방법과 마르코프 랜덤 필드(Markov random field, MRF) 기반의 방법이다 [1-3]. 일반적으로 필터 기반의 방법은 색상의 분포 특성을 이용하기 때문에 업샘플링 된 깊이 맵에서 색상 영상의 특성이 나타나거나 깊이 경계 영역이 무너지는 현상이 발생하기도 한다. 한편 MRF 기반의 방법은 확률 모델을 이용한 최적화로 업샘플링을 수행하기 때문에 색상 화소의 특성이 나타나지 않으며, 또 경계 영역이 무너지지 않도록 보존할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 깊이 맵 업샘플링 방법은 MRF 를 기반으로 에너지 함수를 모델링할 때 깊이 경계 영역 정보를 포함시킨다. 이 정보는 색상 화소의 유사도를 평가하는 에너지 함수의 평활화(smoothness)항의 가중치에 반영되어 업샘플링에서 깊이 불연속 영역을 보존하는 역할을 한다.

## 2. MRF 기반 깊이 맵 업샘플링

그림 1 은 깊이 맵의 업샘플링을 위한 MRF 모델의 구조를 보여준다. 가장 아래쪽 레이어는 고해상도의 색상 영상의 화소를, 중간 레이어는 업샘플링 된 깊이 맵을, 가장 위쪽 레이어는 저해상도 깊이 맵으로부터의 초기 값을 의미한다. 업샘플링 된 깊이 맵의 화소는  $y$  로, 초기 값은  $z$  로 표기하며, 이 때 업샘플링을 위한 에너지 함수는 식 (1)과 같이 자료(data)항과 평활화항의 합으로 정의된다 [3]. 이 때, 평활화항의 가중치  $w_{ij}$ 는 현재 위치  $i$  와 인접 위치  $j$  의 색상 값의 차이에 반비례하도록 설계되어 있다. 즉, 유사한 색상 값을 가질수록 두 화소가 같은 깊이 값을 가질 확률이 커진다.

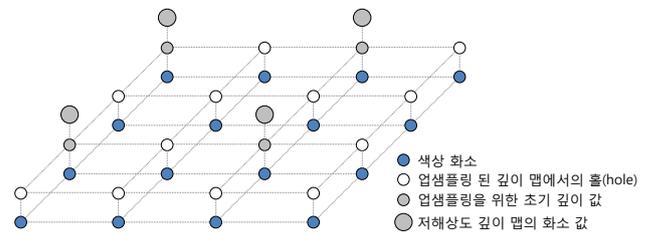


그림 1. MRF 모델을 이용한 깊이 맵 업샘플링

$$E = \sum_{i \in L} k(y_i - z_i)^2 + \sum_i \sum_{j \in N(i)} w_{ij} (y_i - y_j)^2 \quad (1)$$

## 3. 제안하는 깊이 맵 업샘플링 방법

제안하는 방법에서는 식 (1)에 사용된 평활화항의 가중치를 두 개의 부가중치의 곱으로 계산하여 에너지 함수가 더 효율적으로 깊이 불연속 영역을

고려할 수 있도록 한다. 이를 위해서 먼저 색상 영상으로부터 깊이 불연속 맵을 구한다 [4]. 깊이 불연속 맵은 그림 2(a)와 같은 색상 영상에서 그림 2(b)처럼 추출된 엣지 맵(edge map)과 그림 2(c)와 같이 양선형(bilinear)방법으로 임시 업샘플링 된 깊이 맵을 이용하여 구할 수 있다. 색상 영상의 경계 영역에 해당하는 화소 중 주변의 깊이 분포가 균일한 부분들은 깊이 불연속이 아니라고 판단하며, 남아있는 화소들은 그림 2(d)와 같이 깊이 불연속 맵으로 만들어진다.

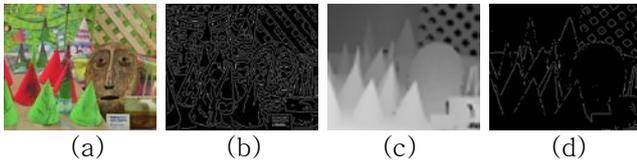


그림 2. 깊이 불연속 맵 제작

이제 깊이 불연속 맵을 기반으로 평활화항의 가중치  $w_{ij}$ 를 부가중치  $w_{c,ij}$ 와  $w_{d,i}$ 의 곱으로 나누어 설계한다. 먼저  $w_{c,ij}$ 는 색상 유사도를 고려한 부가중치로써 식 (2)와 같다.

$$w_{c,ij} = \exp\left(-\frac{c_d |I(i) - I(j)|}{2\sigma_{c,ij}^2}\right) \quad (2)$$

위 식에서  $c_d$ 는 색상 차이의 값을 조절해주는 상수로써 현재 화소  $i$ 가 깊이 불연속에 걸려있거나, 인접 화소  $j$ 가 깊이 불연속에 걸려 있는 경우, 1보다 큰 값을 가짐으로써 평활화항의 영향력을 감소시킨다. 반대로 두 화소  $i, j$ 가 모두 깊이 연속 영역에 있을 경우  $c_d$ 는 1보다 작은 값을 가짐으로써 평활화항의 영향력을 증가시킨다.

두 번째는 깊이 불연속 영역을 직접 평활화항의 가중치에 이용하는 것이다. 식 (3)과 같이 현재 화소  $i$ 가 깊이 연속 영역인 경우 가중치는 1의 값을 가지며, 깊이 불연속 영역인 경우 1보다 작은 값을 가짐으로써 평활화항의 영향력을 약화시킨다. 이 부가중치는 인접 화소와의 관계와 상관없이 현재 화소에 대해서만 적용된다.

$$w_{d,i} = \begin{cases} 1 & \text{if } D_D(i) = 0 \\ c_{w_{d,i}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

이제 식 (2)와 식 (3)과 같이 정의된 두 개의 부가중치의 곱을 평활화항의 가중치로 사용하여 식 (1)의 에너지 함수를 신뢰확산 최적화 방법을 이용하여 풀면 업샘플링 된 깊이 맵을 얻을 수 있다.

#### 4. 실험 결과 및 분석

제안한 방법의 실험을 위해 Middlebury 에서 제공하는 세 개의 색상 영상 Cones, Teddy, Venus와 원본 변위 맵을 사용하였다. 먼저 원본 변위 맵

에 대하여 각각 2 배, 4 배, 8 배로 다운샘플링(downsampling)을 진행한 후 제안하는 방법으로 업샘플링하였다. 제안한 방법의 성능 평가를 위해 Bad-pixel-rate (BPR)을 이용하여 결합 양방향 필터를 이용한 업샘플링 [1], 깊이 업샘플링을 위한 잡음 인지 필터 [2], 그리고 MRF 기반의 업샘플링 방법과 표 1과 같이 비교하였다 [3].

표 1의 결과에서 알 수 있듯이, 제안하는 방법은 깊이 불연속 영역 정보에 기반하여 평활화항을 조절함으로써 세 종류의 영상의 모든 배율에서 다른 업샘플링 방법보다 우수한 성능을 나타내었다.

표 1. Bad-pixel-rate

배율	영상	JBU	NAFDU	MRF	Prop.
2	Cones	3.94	3.88	4.26	2.98
	Teddy	3.99	4.35	4.25	3.85
	Venus	0.35	0.46	0.41	0.25
4	Cones	6.42	7.13	6.33	3.98
	Teddy	7.29	8.08	6.72	5.76
	Venus	0.71	0.94	0.67	0.54
8	Cones	11.85	14.39	12.32	9.81
	Teddy	12.36	13.43	13.37	11.55
	Venus	2.40	2.22	1.54	1.51

#### 5. 결론

본 논문에서는 저해상도 깊이 맵의 효과적인 업샘플링 방법을 제안하였다. 색상 영상의 경계 정보로부터 구해진 깊이 불연속 영역 정보에 기반하여 에너지 함수의 평활화항을 조절함으로써 우수한 깊이 맵 업샘플링 결과를 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

- [1] J. Kopf, M. F. Cohen, D. Lischinski, and M. Uyttendaele, "Joint Bilateral Upsampling," Proc. of SIGGRAPH, pp. 96-100, Aug. 2007.
- [2] 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, Oct. 2008.
- [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. 2006.
- [4] Y.S. Kang and Y.S. Ho, "Depth Map Upsampling using Depth Local Features," Electronics Letters, vol. 50, issue 3, pp. 170-171, Jan. 2014.