

## 선택적 가중치를 이용한 깊이 영상 업샘플링 알고리즘

신수연 · 김동명 · 서재원\*

### Depth Image Upsampling Algorithm Using Selective Weight

Soo-Yeon Shin · Dong-Myung Kim · Jae-Won Suh\*

Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, Cheong-ju 28644, Korea

#### 요 약

본 논문은 양방향 가중치를 이용하는 기존의 업샘플링 방법들에서 나타난 색상 텍스처 복사(color texture copy) 문제를 방지하기 위해 선택적 양방향 가중치와 라플라시안 함수를 이용한 색상 가중치를 제안한다. 제안하는 알고리즘은 먼저 3차 회선 보간법(bicubic interpolation)을 통해 높은 해상도의 깊이영상을 생성한다. 그 후 색상영상과 깊이영상의 주변 화소값 차이를 이용하여 색상 텍스처 영역을 추정한다. 만일 보간 된 화소가 색상 텍스처 영역에 속한다면 해당화소를 포함하는 3×3 영역의 화소들에 대한 거리정보와 깊이정보의 가중치를 구하고 경계 화소값 결정을 위한 비용계산을 수행한다. 반면에 색상 텍스처 영역에 포함되지 않는 화소는 깊이정보 가중치 대신 색상정보 가중치를 구하여 비용계산을 수행한다. 아홉 개의 화소에 대한 비용계산이 끝나면 가장 작은 경계 화소값 결정 비용을 가지는 화소 값을 결과영상의 화소값으로 정한다. 제안하는 알고리즘은 PSNR 및 주관적 화질 비교에서 우수한 성능을 보였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we present an upsampling technique for depth map image using selective bilateral weights and a color weight using laplacian function. These techniques prevent color texture copy problem, which problem appears in existing upsamplers uses bilateral weight. First, we construct a high-resolution image using the bicubic interpolation technique. Next, we detect a color texture region using pixel value differences of depth and color image. If an interpolated pixel belongs to the color texture edge region, we calculate weighting values of spatial and depth in 3×3 neighboring pixels and compute the cost value to determine the boundary pixel value. Otherwise we use color weight instead of depth weight. Finally, the pixel value having minimum cost is determined as the pixel value of the high-resolution depth image. Simulation results show that the proposed algorithm achieves good performance in terms of PSNR comparison and subjective visual quality.

**키워드** : 깊이영상, 업샘플링, 결합형 양방향 업샘플러

**Key word** : depth image, upsampling, joint bilateral upsampler

Received 23 March 2017, Revised 27 March 2017, Accepted 14 April 2017

\* Corresponding Author Jae-Won Suh(E-mail:sjwon@cbnu.ac.kr, Tel:+82-043-236-3268)

Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University, Cheong-ju 28644, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.7.1371>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

최근 3D콘텐츠에 대한 관심이 급증하면서 입체감을 나타내기 위해 필요한 깊이영상을 획득하는 연구가 주목받고 있다. 대표적인 깊이 정보 취득 기술인 Time-of-Flight(TOF) 방식은 센서로부터 물체까지의 거리를 실시간으로 측정할 수 있다[1]. 하지만 깊이 센서를 이용하여 깊이 정보를 직접 획득하는 경우 깊이영상의 출력해상도의 제한으로 인해 색상영상에 비해 상대적으로 낮은 해상도의 깊이영상을 얻는다. 따라서 깊이영상의 해상도를 색상영상과 동일하게 맞추는 과정이 필요한데, 보통 3차회선 보간법(bicubic interpolation)[2]을 이용하여 깊이영상을 색상영상과 동일한 해상도로 보간한다. 하지만 이 방법은 깊이영상을 업샘플링하는 과정에서 객체의 경계가 흐려지는 문제점이 나타나고, 이 현상은 3차원 영상을 생성할 때 오류로 이어진다. 따라서 생생한 3차원 영상 획득을 위해 경계정보를 보존하는 깊이영상 업샘플링 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있다.

Kopf[3]는 결합형 양방향 가중치를 이용하여 기존의 경계영역을 보존하기 위한 결합형 양방향 업샘플링(Joint bilateral upsampling) 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 고해상도 색상영상의 객체간 경계정보를 깊이영상에 반영하여 업샘플링을 수행하기 때문에 기존의 업샘플링 알고리즘들에 비해 경계손실이 적다는 장점이 있다. 하지만 색상 정보를 가중치를 이용하기 때문에 색상영상과 깊이영상의 객체 경계가 불일치 할 경우 텍스처 복사(texture copy) 오류를 일으킬 수 있다. 또한 가우시안 함수를 기반으로 화소를 보간하기 때문에 2배 이상의 큰 해상도로 업샘플링해야 하는 경우 경계 영역이 매우 흐려지게 된다. 이러한 결합형 양방향 업샘플링의 단점을 보완하기 위해 Li[4]는 먼저 업샘플링을 수행한 깊이영상의 화소값을 가중치로 추가하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 깊이 영상과 색상영상의 불일치로 인한 왜곡 현상을 줄였지만 가중치로 사용될 깊이영상의 화질에 민감하게 반응하는 단점이 있다. 또한 Yang[5,6]과 Kim[7]은 색상정보와 거리정보를 가중치로 이용하여 화소비용을 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 업샘플링된 화소와 그 주변의 후보 화소들에 대한 화소비용을 구한 후, 최소비용을 갖는 최적의 화소값을 찾는다.

이러한 비용값 계산 알고리즘들도 기존의 방법에 비해 색상영상의 가중치에 대한 영향을 덜 받는다는 장점이 있다. 하지만 색상영상의 화소값을 기반으로 화소선택을 수행하기 때문에 여전히 오류가 발생할 가능성이 있다.

제안하는 알고리즘은 기존의 업샘플링 방법들에서 나타나는 색상영상 가중치로 인한 왜곡 문제와 깊이 경계가 흐려지는 문제들을 개선한다. 색상영상 가중치로 인해 나타나는 왜곡은 경계영역을 효율적으로 선택하고 제한적으로 가중치를 계산하는 알고리즘을 구현하여 개선하고 경계선이 흐려지는 문제는 새로운 최소비용 알고리즘을 통해 성능을 향상시킨다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 업샘플링 알고리즘에 대해 설명하고 III장에서 시뮬레이션 결과를 보인 후 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안하는 업샘플링 알고리즘

제안하는 알고리즘은 그림 1과 같은 흐름도로 나타낼 수 있다. 먼저 3차회선 보간법을 이용하여 고해상도 깊이영상  $B^h$ 를 생성한다. 이후, 생성된 고해상도 깊이영상과 색상영상의 화소 정보를 이용하여 해당화소 위치에서 사용할 가중치의 종류를 선택한다. 마지막으로 화소 주변 3x3영역의 깊이영상과 색상영상의 영상 정보를 이용하여 비용함수  $Cost_{qx}$ 를 계산한 후, 최소값을 갖는 위치의 화소값이 최종 깊이영상의 화소값으로 결정된다.

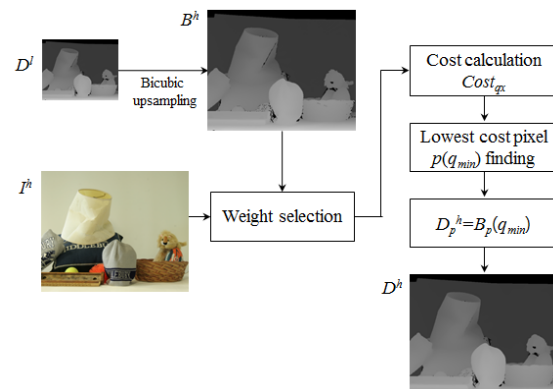


Fig. 1 framework of proposed algorithm

2.1. 3차 회선 보간

3차 회선 보간(bicubic interpolation)은 원본 화소 주변에 존재하는 4개의 화소값에 고차 다항식을 적용하여 구한 가중치를 곱하고 그 값을 모두 합하여 화소 값을 계산한다. 3차 회선 보간 기법의 다항식은 식(1)로 표현된다.

$$f(d) = \begin{cases} (\alpha + 2)|d|^3 - (\alpha + 3)|d|^2 + 1, & 0 < |d| \leq 1 \\ \alpha|d|^3 - 8\alpha|d|^2 - 4\alpha, & 1 < |d| \leq 2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

3차 회선 보간법은 목표 화소 주변에 존재하는 16개의 화소들을 이용하여 화소값을 보간한다. 그림 2는 1차 3차 회선 보간(cubic interpolation)을 수직으로 수행하여 4개의 1차 보간 화소를 생성하고 이를 이용하여 수평 방향으로 보간을 수행하여 목표 화소를 보간하는 과정을 보여준다. 이 때 각 화소를 보간하기 위한 가중치 함수는 수식(1)과 같고 d는 화소간 거리를 나타내는 0과 1 사이의 실수 값을 의미한다.

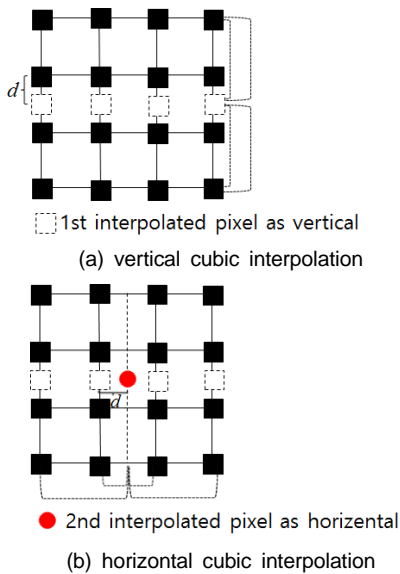


Fig. 2 bicubic interpolation

3차 회선 보간법은 총 16개의 원본 화소를 이용하여 보간화소를 생성하기 때문에 양선형 보간(bilinear interpolation)과 같은 기존의 알고리즘보다 뛰어난 화질 성능을 보인다.

2.2. 색상 텍스처 탐색

본 논문에서는 색상영상을 가중치로 사용함으로써 나타날 수 있는 텍스처 복사 현상을 방지하기 위해 색상 텍스처 영역을 탐색하여 상황에 맞는 가중치를 선택하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 색상 텍스처 영역을 탐색하기 위해 우선 색상영상  $I^h$ 와 고해상도 깊이영상  $D^h$ 의 각 화소위치에 대해 3x3 영역 내에 존재하는 주변 화소와 현재 화소간의 화소값 차이 평균(MD)을 구한다. 그 후 색상영상의  $MD_p^c$ 와 깊이영상의  $MD_p^d$ 의 차이의 절대값  $AD_p$ 를 구하여 추후 이루어질 경계보정 과정에서 현재 화소 p가 텍스처 영역에 속하는가를 판별하기 위해 이용한다.

$$MD_p^c = \frac{1}{N} \sum_{q \in N} |I_p^h - I_q^h|, \quad MD_p^d = \frac{1}{N} \sum_{q \in N} |B_p^h - B_q^h| \quad (2)$$

$$AD_p = |MD_p^c - MD_p^d| \quad (3)$$

만일 현재 화소 p가 색상 텍스처 영역에 속한다면 깊이영상의 근접 화소간의 차이값에 비해 색상영상의 근접 화소값 차이값이 클 가능성이 높다. 때문에 제안하는 방법은  $AD_p$ 가 문턱값  $T_d$  보다 크다면 해당 화소는 색상 텍스처 영역에 속한다고 판단하고, 추후 해당 화소 위치에서 선택적 영역 가중치를 계산 할 때 깊이 화소 가중치를 선택한다. 반면에  $AD_p$ 가  $T_d$  보다 작다면 색상 텍스처 영역에 속하지 않는다고 판단하여 색상 화소 가중치를 선택한다. 그림 3은 제안하는 색상 텍스처 탐색의 전체 과정을 보여준다.

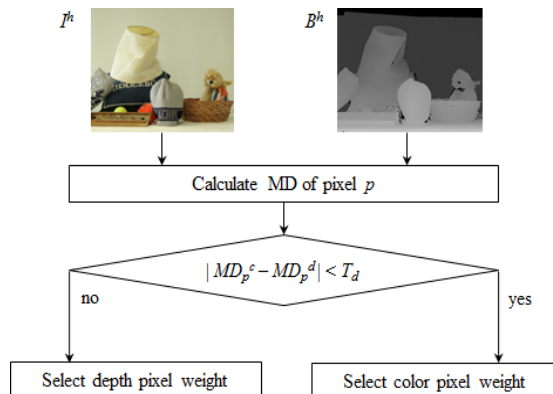


Fig. 3 proposed color texture prediction

### 2.3. 선택적 양방향 가중치를 이용한 경계보정

가중치 선택을 통해 화소 가중치의 종류가 선택되면 주변의 화소들을 이용하여 정확한 경계 화소값 선택을 수행하기 위한 거리 가중치(spatial weight)와 화소 가중치(range weight)를 계산한다. 이때 거리 가중치  $S_{qx}$ 는 후보화소와 그 주변 화소들 간의 거리차이에 대한 가중치이며 화소 가중치는 깊이 가중치  $R_{qx}$  또는 색상 가중치  $C_{qx}$  중 하나를 선택적으로 구한다. 가중치 계산 과정에서는 현재위치의 화소 포함하는 주변 3×3 영역의 9개 후보 화소들에 대한 경계결정비용을 계산한다. 그림 4는 현재화소를 포함하는 9개의 후보화소의 위치와 한 후보화소의 경계결정 비용을 구하기 위해 사용되는 가중치 화소의 범위의 예를 보여준다.

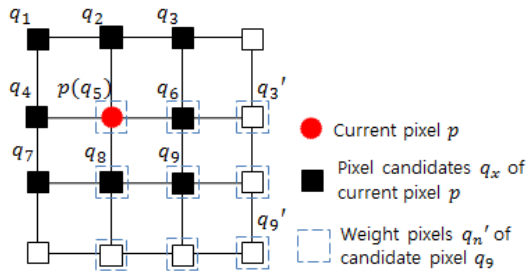


Fig. 4 proposed pixel candidates

제안하는 알고리즘은 우선 현재 화소  $p$ 를 포함하는 9개의 후보화소  $q_x$ 들에 대해 각각의 경계결정비용  $Cost_{qx}$ 를 구한다. 경계결정비용  $Cost_{qx}$ 는 깊이 영상의 현재화소  $B_p^h$ 와 후보화소  $B_{qx}^h$ 의 차이값과 선택적 영역 가중치  $W_{qx}$ 의 곱으로 정의한다.

$$Cost_{qx} = W_{qx} \cdot |B_p^h - B_{qx}^h| \quad (4)$$

선택적 영역 가중치  $W_{qx}$ 는 현재 화소 현재 화소  $p$  주변의 3×3 영역에서 구한 거리 가중치와 화소값 가중치의 곱의 총 합으로 수식(5)와 같이 정의한다. 이때 현재 화소에 대한 텍스처 탐색 (2)~(3)을 수행한 결과,  $AP_p$ 가  $T_d$ 보다 작은 경우, 텍스처 영역에 포함되지 않는다고 판단하여 색상화소 가중치  $C_{qx}$ 를 화소값 가중치로 선택한다. 반면에 현재 화소가 색상 텍스처 영역에 포함된다고 판단되는 경우 깊이화소 가중치  $R_{qx}$ 를 화소값 가중치로 선택한다.

결과적으로 거리 가중치는 가까운 화소들 간의 상관성을 높여주며 화소값 가중치는 텍스처 유무에 따라 깊이 영상의 화소값과 색상영상의 화소값중 하나를 선택함으로서 경계 영역을 보존함과 동시에 색상 텍스처 복사 현상을 최대한 줄인다.

$$W_{qx} = \begin{cases} \sum_{n \in 3 \times 3} S_{qn'} \cdot C_{qn'}, & AP_p < T_d \\ \sum_{n \in 3 \times 3} S_{qn'} \cdot R_{qn'}, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

거리 가중치  $S_{px}$ 는 후보화소  $q_x$ 와 그 3×3 영역내에 포함되는 주변화소  $q_n'$  사이의 유클리디안 거리를 가우시안 함수에 적용시켜 구한다.

$$S_{qx} = \exp\left(\frac{-(\|q_x - q_n'\|)^2}{\delta_s}\right) \quad (6)$$

깊이 화소 가중치  $R_{qx}$ 는 현재 후보화소  $qx$ 에 대응하는 원본영상의 화소  $B_{qx}^h$ 와 주변 화소  $B_{qn'}^h$ 의 화소값의 차를 가우시안 함수에 적용시킨다.

$$R_{qx} = \exp\left(\frac{-(\|B_{qx}^h - B_{qn'}^h\|)^2}{\delta_R}\right) \quad (7)$$

색상 화소 가중치  $C_{qx}$ 는 화소위치  $qx$ 에 대응하는 색상영상 화소  $I_{qx}$ 와 주변 화소  $I_{qn'}$ 의 화소값의 차를 라플라시안 함수에 적용시킨다. 이때 라플라시안 함수는 가우시안 함수보다 좁고 정확한 가중치를 얻기 위해 쓰인다.

$$C_{qx} = \frac{1}{2\delta_C} \exp\left(\frac{-(\|I_{qx} - I_{qn'}\|)}{\delta_C}\right) \quad (8)$$

각 식에서  $\delta_s, \delta_D, \delta_C$ 는 거리에 따른 가중치의 비율을 결정하는 가우시안 가중치 파라미터다. 9개의 후보 화소에 대한 경계결정비용 계산이 끝나면 그 중 가장 작은 비용을 가지는 최소비용을 결정한다.

$$Cost_{p(qmin)} = \min(Cost_{p(q1)} \cdots Cost_{p(q9)}) \quad (9)$$

마지막으로 가장 작은 값을 가지는 최소비용값  $Cost_{p(q_{min})}$ 에 해당되는 위치의 화소값  $B_p^h(q_{min})$ 을 현재 화소위치  $D_p^h$ 으로 복사한다.

$$D_p^h = B_p^h(q_{min}) \quad (10)$$

최종적으로 3차 회선 보간법으로 보간된 각 화소값은 화소간의 거리관계와 색상 텍스처의 유무를 고려한 화소 가중치 선택을 고려하여 결정한 최소비용을 갖는 위치의 화소값으로 결정된다.

### III. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능 비교를 위해 원본 깊이 영상이 존재하는 테스트 영상[8,9]을 이용하여 실험하였다. 알고리즘의 우수성을 확인하기 위해 3차 회선 보간법(bicubic)[2], 결합형 양방향 업샘플러(JBU)[3], 결합형 삼방향 업샘플러(JTU) [4], 고속 결합형 양방향 업샘플러(FBDU)[7]의 알고리즘과 비교하였다. 각 결과영상과 원본영상 사이의 PSNR수치를 통해 객관적인 화질 성능 비교를 하였으며 각각의 주관적 화질 손상 정도를 비교하였다. 경계 화소값 결정을 위한 가중치 파라미터는 실험적으로 가장 좋은 결과가 나온 수치인  $\delta_R=2, \delta_O=0.1, \delta_D=0.1, T_D=50$ 으로 설정하였다.

표 1과 2는 각각 두 배로 업샘플링한 영상과 네 배로 업샘플링한 영상의 PSNR 결과를 보여준다.

Table. 1 Comparison of PSNR(dB) (factor:2)

×2	Bicubic [2]	JBU [3]	JTU [4]	FBDU [7]	Proposed
Doll	35.89	25.48	25.46	36.98	37.34
Cloth	46.02	33.35	33.25	48.09	50.63
Monopoly	35.99	28.09	28.07	36.31	36.70
Moebius	37.25	26.10	26.08	37.58	37.64
Midd	36.60	27.71	27.68	36.60	37.21
Reindeer	35.72	25.48	25.37	35.28	36.05
Avg.PSNR	37.91	27.70	27.65	38.47	39.26

Table. 2 Comparison of PSNR(dB) (factor:4)

×4	Bicubic [2]	JBU [3]	JTU [4]	FBDU [7]	Proposed
Doll	32.04	22.85	22.73	33.85	33.81
Cloth	43.22	32.62	32.52	45.76	48.42
Monopoly	32.16	25.05	24.84	33.03	33.45
Moebius	34.05	23.58	23.55	35.22	35.09
Midd	32.84	25.42	25.41	33.83	34.23
Reindeer	31.86	21.59	21.56	32.11	32.88
Avg.PSNR	34.36	25.19	25.10	35.63	36.31

시뮬레이션 결과 2배 업샘플링 했을 때 제안한 알고리즘이 Bicubic[2], JBU[3], JTU[4], FBDU[7]에 비해 각각 평균 1.35dB, 11.56dB, 11.61dB, 0.79dB 정도 성능이 높았으며 4배 업샘플링 결과 평균 1.95dB, 11.12dB, 11.21dB, 0.68dB 정도 높은 성능을 보였다.

그림 5는 Midd 영상을 두 배로 업샘플링 했을 경우의 화질을 비교 영상이며 그림 6은 cloth 영상을 네 배로 업샘플링했을 경우의 화질 비교 영상이다. 주관적 화질을 비교한 결과 두 배로 업샘플링 했을 때 midd 영상의 경우 색상 무늬가 존재하는 부분이나 조형물의 주름 부분에서 JBU와 FBDU에서는 색상 텍스처 복사 오류가 나타났지만 제안하는 알고리즘에서는 나타나지 않은 것을 확인할 수 있었다. 또한 4배로 업샘플링한 결과 경계영역이 흐려지며 홀 영역이 증가하는 다른 알고리즘들에 비해 깨끗한 결과 영상을 얻을 수 있었다.

### IV. 결론

본 논문은 선택적 양방향 가중치를 이용하여 깊이 영상을 업샘플링하는 방법을 제안하였다. 제안하는 업샘플링 방법은 모든 화소 위치에 색상가중치를 적용하는 기존의 양방향 업샘플링 방식과는 달리 색상 텍스처 영역으로 추정되는 영역에 대해 색상 가중치 대신 깊이가중치를 적용하여 텍스처 복사로 인한 오류를 최소화하였다. 또한 라플라시안 함수를 이용하여 색상가중치의 범위를 정확하게 좁힘으로서 색상영상을 참조함으로서 발생할 수 있는 오류를 더욱 줄였다.

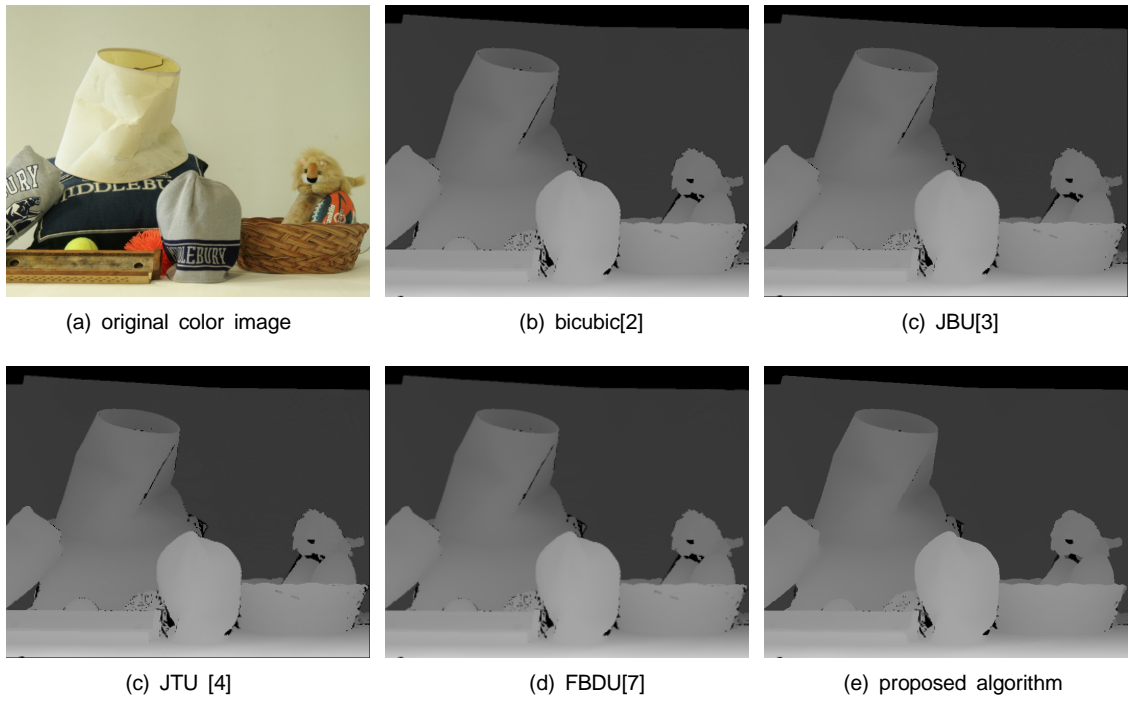


Fig. 5 Simulation result of midd image x2

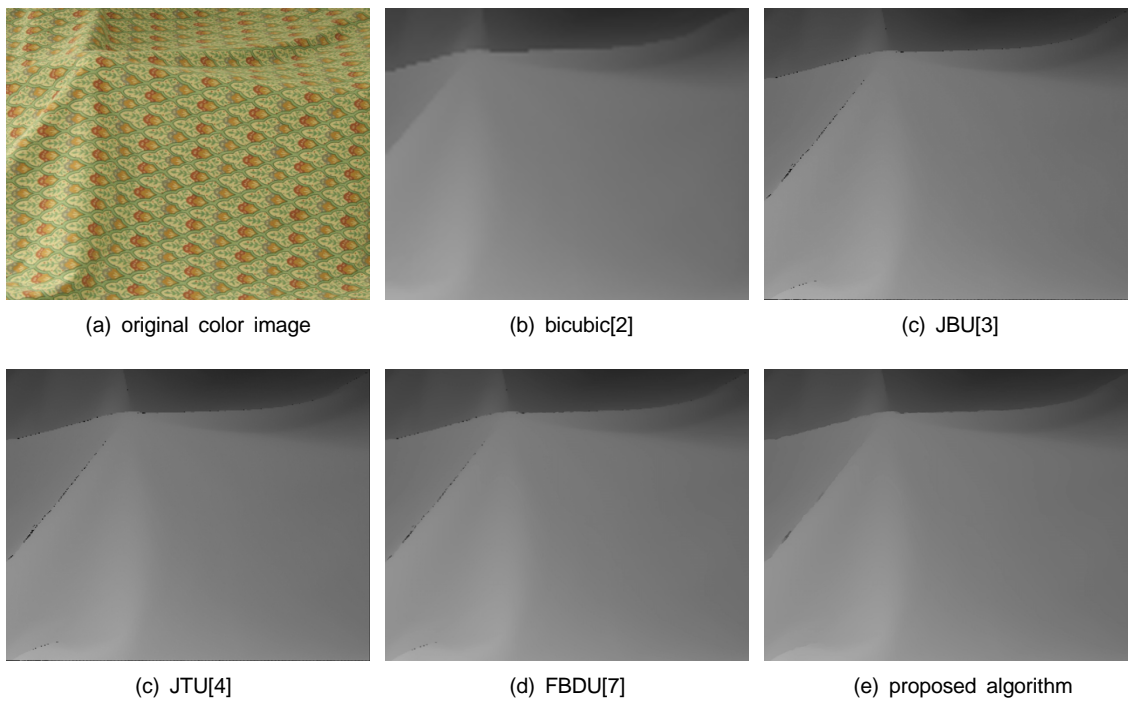


Fig. 6 Simulation result of cloth image x4



실험결과 다른 알고리즘과 비교하였을 때 뚜렷한 경계 영역을 보존하였고 특히 깊이영상에 비해 색상영상이 복잡한 패턴을 가지는 영상에 대해 가시적으로 좋은 성능을 보였다. 또한 기존의 알고리즘들에 비해 높은 PSNR 결과를 보였다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2017R1D1A3B03034476) and research projects of “The Development of Security and Safety Systems based on Ubiquitous Technology for Shipping and Logistics”.

### REFERENCES

- [1] R. Nair, K. Ruhl, and F. Lenzen, “A Survey on Time-of-Flight Stereo Fusion,” in *Time-of-flight and depth imaging. sensors, algorithms and applications*, Springer Berlin Heidelberg, ch. 2, pp. 105-127, 2013.
- [2] R. Keys, “Cubic convolution interpolation for digital image processing,” *IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing*, vol. 29, no. 6, pp. 1153-1160, Dec. 1981.
- [3] M. Kopf, F. Cohen, D. Lischinski, and M. Uyttendaele, “Joint Bilateral Upsampling,” *ACM Transactions on Graphics*, vol. 26, no. 3, Jul. 2007.
- [4] Y. Li, L. Zhang, Y. Zhang, H. Xuan and Q. Dai, “Depth Map Super-Resolution Via Iterative Joint Trilateral Upsampling,” *IEEE Conference on Visual Communications and Image Processing*, pp. 386-389, 2014.
- [5] Q. Yang, R. Yang, and James Davis, “Spatial-Depth Super Resolution for Range Images,” *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.1-8, 2007.
- [6] Q. Yang, R. Yang, and K. H. Tan, “Fusion of median and bilateral filtering for range image upsampling,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, no. 12, pp.4841-4852, Dec. 2013.
- [7] S. Y. Kim and Y. Ho, “Fast Edge Preserving Depth Image Upsampler,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, no. 3, pp. 1176-1190, Aug. 2012.
- [8] G. Petschnigg, M. Agrawala, H. Hoppe, R. Szeliski, M. Cohen, and K. Toyama, “Digital photography with flash and no-flash image pairs,” *ACM Transactions on Graphics*, vol. 23, no. 3, pp.664-672, Aug. 2004.
- [9] D. Scharstein, H. Hirschmüller, and P. Westling, “High-resolution stereo datasets with subpixel-accurate ground truth,” *German Conference on Pattern Recognition*, Münster, vol. 8753, pp.31-42, 2014.



신수연(Soo-Yeon Shin)

2011년 2월 충북대학교 전자공학과 공학사  
 2013년 2월 충북대학교 전자공학과 공학석사  
 2013년 3월-현재 충북대학교 전자전공 박사과정  
 ※관심분야 : 워터마킹, 3D, 실감미디어, 영상처리



김동명(Dong-Myung Kim)

2015년 2월 충북대학교 전자공학과 공학사  
 2015년 2월 충북대학교 전자공학과공학석사  
 2017년 3월 충북대학교 전자공학과 박사과정  
 ※관심분야 : 깊이영상처리, 디지털 영상 신호처리, 동영상 표준화, HEVC



**서재원(Jae-Won Suh)**

1995년 2월 충북대학교 전자공학과 공학사  
1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 공학석사  
2003년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 공학박사  
2003년 4월~2004년 8월 LG전자기술원 MM연구 선입 연구원  
2004년 9월~현재 충북대학교 전자공학부 교수  
※관심분야 : 디지털 영상신호처리, 동영상표준화, H.264/AVC, SVC, HEVC, 영상처리