

## 3 차원 영상 시스템의 깊이영상 후처리 필터 성능 비교

이도훈, 윤은지, 오병태  
한국항공대학교

dolmengei@nate.com, yooneji975@naver.com, byungoh@kau.ac.kr

### Performance Comparisons of Depth Map Post Processing for 3D Video System

Do Hoon Lee, Eun Ji Yoon, Byung Tae Oh  
Korea Aerospace University

#### 요 약

본 논문에서는 3 차원 영상시스템의 성능향상을 위한 깊이영상의 여러 후처리 필터들의 성능을 비교 실험한다. 성능비교를 위해 현재 3D-ATM 에 쓰이고 있는 dilation 필터와, 경계값 보존에 탁월한 성능을 보이는 bilateral 필터, 그리고 깊이영상의 특성을 이용한 depth boundary reconstruction 필터를 선정하였다. 본 논문에서는 위 제시한 필터들의 특징에 대하여 소개하고, 이들 필터들이 3 차원 영상 시스템의 깊이영상에 적용되었을 때 어느정도 성능향상을 보이는지 비교 분석한다.

This paper provides the performance comparison of selected post filters for depth map in 3D video system. In the performance comparison, the dilation filter which is currently adopted in 3D-ATM reference S/W, the bilateral filter, and the depth-oriented depth boundary reconstruction filter. In the paper, we first introduce those filters in details, and show the experimental results as post filter in 3D video system.

활발하게 연구되고 있다 [1-3].

#### 1. 서론

차세대 영상 시스템으로서 깊이 감을 느낄 수 있는 3차원 실감 영상에 대한 관심이 점차 커지고 있다. 이중 한가지 방식으로서, 현재 제품으로까지 출시되어 있는 스테레오 기반 3차원 영상은 양안에 서로 다른 시점의 영상을 보여주는 방식으로서, 두 영상의 시차를 통해서 사용자가 깊이 감을 느낄 수 있게 해 주는 방식이다. 하지만, 이러한 스테레오스코픽 기반 방식으로는 고정된 시점의 영상만을 시청할 수 있는 명백한 한계를 지니고 있다. 이러한 점을 극복하기 위해 다수의 뷰를 표현할 수 있는 다시점 방식 (Multiview)이 새롭게 각광받고 있다. 다시점 영상 시스템에서 가장 큰 문제점 중의 하나는 많은 수의 뷰를 동시에 처리해야 하므로, 방대한 데이터 크기에 따른 전송/압축 등에 있다. 이를 해결하기 위해서 깊이영상을 이용하여 뷰의 개수를 많이 줄이는 다시점+깊이영상 (Multiview plus depth) 방식이 현재

다시점 영상 압축은 시점간 중복성을 제거하는데 초점이 맞추어 져 있으며, 이는 2000년대 중반부터 활발하게 연구되어, Multiview Video Coding (MVC) 표준까지 제정되었다. 하지만, 깊이영상의 경우는 기존 영상과는 전혀 다른 성질을 가진 콘텐츠로서, 현재 기존 컬러영상에 기반하여 개발 되어져 왔던 filter를 사용하기 보다는 깊이영상에 보다 적합한 다른 방식의 새로운 filter들이 제안되고 있다. [4-7]

본 논문에서는 깊이영상 압축 후 취하는 post filter의 성능을 비교하고 각각의 장단점을 분석하고 있다. 이를 위해 현재 3D-ATM에서 적용하고 있는 dilation filter와 함께, 일반적으로 널리 쓰여지고 있는 bilateral filter, 그리고 깊이영상을 위해 최근 개발 되어진 depth boundary reconstruction filter의 성능 비교를 해보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 논문에서 비교하고자 하는 3가지 filter들을 소개하고, 3절에서는 2절에서 소개한 filter들을 3DV 시스템의 post filter로 적용하여 각각의

성능을 실험을 통해서 확인한다. 마지막으로 4절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

## 2. Post Filter

3차원 비디오 시스템에서 깊이영상의 post filter는 압축이 끝난 후, 복호화된 깊이영상이 뷰 합성을 위해 입력으로 들어가기 전에 이루어 진다. 특히 3D-AVC기반 3차원 시스템에서는 깊이영상의 크기가 텍스처 영상에 비해 작게 될 경우가 있기 때문에 이 경우는 깊이영상을 up-sampling한 이후 post filter를 적용하게 된다. 예를들어 3D-AVC기반 시스템에서 post filter는 아래 그림 1과 같은 위치에 놓이게 된다.

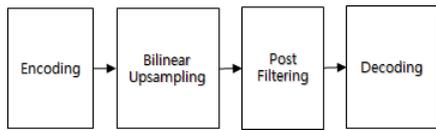


그림 1. 3D-AVC 기반 시스템에서 post filter 블록도

### A. Dilation filter

1 절에서 언급하였듯이, 현재 기존의 영상에 적용하였던 post filter 는 깊이영상에 적용할 때 boundary 부근에서 artifact 가 발생하는 문제점이 있다. Dilation filter 는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 주위 pixel 들의 값 중에서 최대값을 취하여 foreground 를 background 로 확장하여 edge 밖에서 artifact 가 일어나는 방식을 취한다.

### B. Bilateral filter

Bilateral filter 는 기존 영상처리에 많이 적용되는 filter 이다. Gaussian filter 가 거리로만 가중치를 주었다면 bilateral filter 는 식 (1)처럼 pixel 의 값에도 가중치를 두어 edge 를 보존하는데 있어서 좋은 filter 다. 이러한 특징으로 인하여 깊이영상의 edge 에서 발생하는 artifact 를 최소화하며 noise 제거할 때 많이 사용된다.

$$\hat{I}(x) = \frac{1}{K} \sum_x e^{-\frac{(I(y)-I(x))^2}{2\sigma_f^2}} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_d^2}} I(y) \quad (1)$$

여기서 x, y 는 각각 현재의 픽셀 위치 및 주변 픽셀의 위치를 나타내며, I()는 해당 픽셀의 intensity 값을 의미하고,  $\sigma_f$  과  $\sigma_d$  는 intensity 차이와 픽셀간의 거리값에 대한 가중치를 조절하는 파라미터이다. 최종적으로 기존의 Gaussian filter 에서 intensity 차이로 인한 가중치가 첨가 되었다. 이로 인하여 edge 부근에서 기존의 값과 차이가 큰 pixel 에 대한 가중치가 작고 기존의 값과 차이가 작은 pixel 에 대한 가중치가 커서 Gaussian filtering 시 발생하였던 blur 현상이 덜 발생하게 된다. 본 논문에서는  $\sigma_f$  과  $\sigma_d$  는 각각 15 과 5 로 test 하였다.

### C. Depth boundary reconstruction filter

Depth boundary reconstruction filter 는 깊이영상 압축 시 생기는 artifact 를 제거하기 위해 개발되어진 filter 로서, occurrence frequency 와 similarity, 그리고 closeness 에 대한 3 가지 cost 를 기반으로 하는 non-linear 방식의 필터이다. 보다 자세히 설명하면, 아래 수식 (2)와 같이 3 가지 cost 를 각각 정의하고, 이들의 합으로 최종 cost 함수를 정의한다.

$$J_{recon}(k) = J_F(k) + J_S(k) + J_C(k) \quad (2)$$

여기서 k 값은 예측하는 픽셀의 intensity 값을 의미하며, 각각의 cost 는 아래의 수식 (3)~(5)에 의하여 결정된다.

$$J_F(k) = \frac{N_{OC}(k) - N_{OC}(min)}{N_{OC}(max) - N_{OC}(min)}$$

$$N_{OC}(k) = \sum_{i=0}^{(n \times n - 1)} \delta[k, W_{n \times n}(i)],$$

$$\text{where } \delta[a, b] = \begin{cases} 1, & \text{if } a = b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$J_S(k) = \frac{S(max) - S(k)}{S(max) - S(min)}$$

$$S(k) = |I_{cur} - I_k| \quad (4)$$

$$J_C(k) = \frac{C(max) - C(k)}{C(max) - C(min)}$$

$$C(k) = \frac{1}{N_{OC}(k)} \sum_{i=0}^{N_{OC}(k)-1} \sqrt{(x_{cur} - x_i)^2 + (y_{cur} - y_i)^2} \quad (5)$$

위의 cost 함수로 cost 를 계산한 후 최적의 값을 취한다. 하지만 이 방법만 취했을 경우 Gaussian noise 가 남아 있을 수 있다. 그래서 이러한 Gaussian noise 를 제거하기 위하여 앞에서 소개하였던 edge 를 보존하는 filter 인 bilateral filter 를 크기가 3x3 으로 filtering 한다.

## 3. 실험 결과

제안 알고리즘의 공정한 실험 및 평가를 위하여, 본 논문에서는 현재 Joint Collaboration 표준화 활동을 통해 3D video 압축 표준을 제정하고 있는 JCT-3V 의 Common Test Condition (CTC)을 따르고, 그곳에서 사용하고 있는 테스트 영상을 이용하여 실험을 하였다. 실험을 위한 reference S/W 로서 영상 압축은 현재 개발 진행중인 3D-ATM v9.0 [8]을 사용하였고, 비교 평가를 위한 중간영상 생성은 1D fast VSRS [9]를 이용하였다. 보다 자세한 실험영상 세팅 및 실험조건은 CTC 문서를 참조한다 [10].

정확한 비교실험을 위해 아무런 post filter 를 사용하지 않은 세팅을 Anchor 로 두고, 위 제시한 3 가지 필터에 대한 성능실험을 아래의 표 I 과 같이 진행하였다. 객관적인 실험을 위해 비트량과 PSNR 에 기반한 BDBR 값을 제시하였다.

표 I. 각각의 POST FILTER 들의 성능 비교.

	Dilation	Bilateral	Depth Recon.
Poznan Hall2	-0.56	0.00	0.00
Poznan Street	-2.72	-0.48	-0.49
Undo Dancer	-18.98	-1.08	-1.19
GT Fly	-2.82	0.12	0.14
Kendo	-0.23	-0.14	-0.14
Balloons	-0.45	-0.98	-1.04
Newspaper	-0.50	-0.68	-0.73
<b>Avg.</b>	<b>-3.75%</b>	<b>-0.46%</b>	<b>-0.49%</b>

위 결과를 분석해보면, dilation filter 가 평균 3.75% 향상으로 가장 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. Dilation filter 는 모든 sequence 에서 성능향상을 보였으며, 특히 Undo Dancer 에서 다른 sequence 보다 최소 7 배 큰 18.98%의 성능 향상이 있음을 확인하였다. Bilateral filter 의 경우 일부 sequence 에서는 성능저하가 있었으나, 평균적으로 0.46%의 성능향상이 있음을 확인하였다. Depth boundary reconstruction filter 의 경우 평균적으로 0.49%의 성능향상으로 bilateral filter 보다 다소 좋은 결과를 얻었으나, 거의 bilateral filter 와 거의 차이가 없는 값을 얻게 되었다. 그 이유는 depth boundary reconstruction filter 는 bilateral filter 에 frequency term 을 추가한 형태를 가지는데, 대부분의 sequence 의 경우 다소 복잡한 깊이영상을 지니고 있어, frequency term 이 크게 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

#### 4. 결론

본 논문은 깊이영상의 특징에 따른 다양한 post filter 의 성능을 비교하였다. 성능을 비교한 filter 는 dilation filter, bilateral filter, 그리고 depth boundary reconstruction filter 이다. 실험결과 세 가지의 filter 중에서 성능은 dilation filter 가 성능이 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 추후 연구에서는 많은 post filter 를 비교 분석하여 보다 BDBR 이 좋은 알고리즘에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 5. 참조문헌

- [1] *Text of ISO/IEC 14496-10:200X/WDAM 1 Multi-View Video Coding*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. N9978, Hannover, Germany, Jul. 2008
- [2] A. Smolic, K. Mueller, N. Stefanoski, J. Ostermann, A. Gotchev, G. B. Akar, G. Triantafyllidis, and A. Koz, "Coding algorithms for 3DTV a survey," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 17, no. 11, pp. 1606-1621, Nov. 2007.
- [3] P. Merkle, A. Smolic, K. Muller, and T. Wiegand, "Multiview video plus depth representation and coding," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, 2007, pp. 201-204.
- [4] *3D-CE3.a results on dilation filter for depth post processing*, ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, Doc. JCT2-A0038, Stockholm, Jul. 2012
- [5] C.Tomasi, R.Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision*, 1998.

- [6] K.-J. Oh, S. Yea, A. Vetro, and Y.-S. Ho, "Depth reconstruction filter and down/up sampling for depth coding in 3-D video," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 16, no. 9, pp. 747-750, Sep. 2009.
- [7] K.-J. Oh, A. Vetro, and Y.-S. Ho, "Depth coding using a boundary reconstruction filter for 3D video system," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 21, no. 3, pp. 350-359, Mar. 2011.
- [8] *3D-AVC Test Model 5*, ITU-T SG16 WP3 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. JCT3V-C1003, Geneva, Jan. 2013.
- [9] *3D-HEVC Test Model 3*, ITU-T SG16 WP3 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. JCT3V-C1005, Geneva, Jan. 2013.
- [10] *Common test condition of 3DV core experiments*, ITU-T SG16 WP3 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. JCT3V-C1100, Geneva, Jan. 2013.