JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 17, No. 12 : 2927~2936 Dec. 2013

GPGPU 기반의 깊이 영상 화질 개선 기법

한재영[1] · 고진웅[2] · 유지상[3*]

GPGPU based Depth Image Enhancement Algorithm

Jae-Young Han[1] · Jin-Woong Ko[2] · Jisang Yoo[3*]

[1]Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
[2]Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea
[3]Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

요 약

본 논문에서는 3D 콘텐츠 생성 시 필요한 깊이 영상의 화질 개선을 위하여 잡음 제거 기법과 홀 채움 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 컬러 영상과 깊이 영상을 모두 이용하게 된다. 먼저 입력된 컬러 영상을 RGB 색상계에서 HSI 색상계로 변환하여 밝기 영상을 생성한다. 그리고 깊이 영상에서 기준 화소와 주변 화소간의 거리 값, 깊이 값의 차이를 구하고 컬러 영상의 밝기 값 차이를 계산하여 제안하는 잡음 제거 기법에 이용한다. 이후 홀을 탐색하여 홀과 주변 화소간의 거리, 컬러 영상의 밝기 값 차이를 제안하는 홀 채움 기법을 적용하여 깊이 영상 내에 존재하는 홀을 채우게 된다. 마지막으로 실시간 환경에 적용하기 위하여 제안하는 기법을 GPU로 병렬화하여 속도 향상을 하고자 하였다. 실험을 통하여 제안한 기법이 기존 기법에서 발생하는 경계 부분의 흐려짐 현상을 줄이면서 홀을 채우는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a noise reduction and hole removal algorithm in order to improve the quality of depth images when they are used for creating 3D contents. In the proposed algorithm, the depth image and the corresponding color image are both used. First, an intensity image is generated by converting the RGB color space into the HSI color space. By estimating the difference of distance and depth between reference and neighbor pixels from the depth image and difference of intensity values from the color image, they are used to remove noise in the proposed algorithm. Then, the proposed hole filling method fills the detected holes with the difference of euclidean distance and intensity values between reference and neighbor pixels from the color image. Finally, we apply a parallel structure of GPGPU to the proposed algorithm to speed-up its processing time for real-time applications. The experimental results show that the proposed algorithm performs better than other conventional algorithms. Especially, the proposed algorithm is more effective in reducing edge blurring effect and removing noise and holes.

키워드 : 깊이지도, 깊이지도 품질 향상, 잡음 제거, 홀 채움

Key word : depth map, depth map enhancement, noise removal, hole filling

접수일자 : 2013. 08. 05 심사완료일자 : 2013. 09. 02 게재확정일자 : 2013. 09. 17

* **Corresponding Author** Jisang Yoo(E-mail:jsyoo@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5112)
Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.12.2927 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/li-censes/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. 서 론

다양한 실감형 3D 디스플레이 장치의 개발과 3D 방송 및 콘텐츠의 대중화로 인해 실감 서비스 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 3D 입체 영상은 컬러 영상과 깊이 영상으로 구성 된다. 컬러 영상과 깊이 영상의 깊이 정보를 이용하여 스테레오 영상과 다시점 영상 같은 입체 영상을 생성할 수 있다. 이러한 실감형 서비스의 증가로 고품질의 깊이 정보를 획득하는 방법에 대한 관심 또한 증가하고 있다. 깊이 정보를 획득하는 방법은 여러 가지가 있으나 여러 대의 카메라로부터 획득한 영상들을 이용하여 깊이 정보를 획득하는 수동적 방법과 깊이 카메라를 이용하여 직접 물체의 깊이 정보를 획득하는 능동적 방법이 있다.

수동적 방법은 컬러 영상과 동일한 고해상도의 깊이 영상을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 패턴이 없는 영역, 폐색(occlusion) 영역, 패턴이 반복되는 영역에서 정확한 깊이 정보를 측정하기가 어렵다는 단점이 있으며 깊이 영상을 얻기 위한 연산 시간도 오래 걸린다는 단점이 있다. 이 경우 획득된 깊이 영상의 정확도가 낮고 실시간 환경에 적용하기 어려워 관련 서비스의 품질도 저하될 수밖에 없다[1].

최근에는 기존의 영상 센서와 함께 저가이면서 비교적 성능이 좋은 깊이 센서(depth sensor)를 이용하여 깊이 영상을 비교적 쉽게 획득할 수 있는 능동적 방법이 사용되고 있다. 대표적인 깊이 센서로는 MESA-imaging의 SR4000, PMD의 CamCube와 Microsoft의 Kinect 카메라 등이 있다. MESA-imaging의 SR4000과 PMD의 CamCube는 적외선을 물체에 조사한 후 반사되어 돌아오는 시간차를 계산하여 해당 물체의 깊이 정보를 측정하는 TOF(time-of-flight) 방식을 사용하고 있다. Microsoft의 Kinect 카메라는 물체에 적외선 패턴을 조사하여 물체 표면에 따라 다르게 나타나는 패턴의 변화도를 측정하여 해당 물체의 깊이 정보를 측정한다. 깊이 카메라를 이용하는 경우 깊이 영상을 깊이 센서에서 직접 획득하기 때문에 스테레오 정합 기법보다 깊이 영상의 생성 시간이 줄어들어 실시간 환경에 적합하다는 장점이 있다.

하지만 깊이 센서의 물리적인 한계로 인하여 여전히 획득된 깊이 영상은 품질이 좋지 않다는 문제가 있다. 깊이 센서의 경우 공통적으로 반짝이거나 어두운 색을 갖는 표면에서의 깊이 검출 실패로 인한 잡음이 발생한다. 이는 깊이 센서 송출부에서 적외선을 물체에 조사 시 물체의 재질이나 색깔에 따라 적외선의 반사 정도가 다른 것이 원인이다. 또한 깊이 센서의 송출부와 수신부의 위치가 달라 시점이 동일하지 않은 경우 시점 차이로 인하여 한 장면의 깊이 값을 완벽히 획득하지 못하여 홀(hole)이 발생하는 문제가 발생한다. 이러한 낮은 품질의 깊이 영상을 사용할 경우 생성되는 콘텐츠의 품질에 심각한 영향을 끼치며 시청자에게 시각적인 불편함을 유발할 수 있다.

깊이 정보를 획득하는 수동적 또는 능동적 방식의 문제점들을 해결하여 획득된 깊이 영상의 품질을 향상시키기 위한 여러 가지 방법들이 제안되고 있다[2-5]. 일반적으로 깊이 영상의 잡음 제거 시 경계 보존 필터의 일종인 bilateral filter[6,7]와 joint bilateral filter[8]가 많이 사용되고 있다. Bilateral filter는 깊이 영상만을 사용하여 잡음을 제거하고 joint bilateral filter는 깊이 영상과 대응하는 컬러 영상을 동시에 사용하여 잡음을 제거한다. Bilateral filter는 한 장의 깊이 영상을 사용하여 계산량이 적다는 장점이 있으나 품질이 우수하지 못하다는 단점이 있다. Joint bilateral filter의 경우 깊이 영상과 컬러 영상의 정보를 동시에 사용하여 좀 더 정확한 깊이 영상을 획득할 수 있지만 계산량이 많아 실시간 환경에는 적용이 어려운 단점이 있다. 또한 Bilateral filter와 Joint bilateral filter는 영상 전체에 적용되는 전역적인 필터로써 반복 적용 시 홀 채움에 효과를 보이지만 다른 영역의 깊이 값에 영향을 미치게 되어 결과적으로 깊이 영상의 정확도를 저하시킨다.

본 논문에서는 고품질의 깊이 영상을 얻기 위하여 새로운 잡음 제거 기법과 홀 채움 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 컬러 영상과 깊이 영상을 모두 사용한다. 우선 깊이 영상의 잡음을 제거하기 위하여 컬러 영상에서 기준 화소와 주변 화소의 밝기 차이 값과 화소간 거리 차이 값의 절대 값에 각각 가우시안 함수를 적용하고 깊이 영상에서도 마찬가지로 기준 화소와 주변 화소의 깊이 값의 절대 값 차이를 구한 후 가우시안 함수를 적용한다. 앞서 계산한 세 가지의 값을 곱한 후 가장 큰 값을 찾아 해당하는 주변 화소중 하나의 깊이 값을 기준 화소에 해당하는 화소의 깊이 값으로 정한다. 다음으로 깊이 영상내의 홀을 제거하기 위해 홀을 탐색한다.

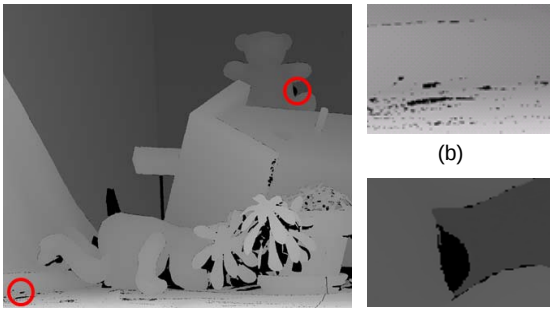
입력받은 컬러 영상에서 홀에 해당하는 기준 화소와 주변 화소의 밝기 차이 값과 화소간 거리 차이 값의 절대 값에 각각 가우시안 함수를 적용한다. 이때 주변 화소 중 깊이 값이 존재하지 않는 화소는 연산 시 제외한다. 앞서 계산한 두 가지의 값을 곱한 후 가장 큰 값을 찾아 해당하는 주변 화소중 하나의 깊이 값을 홀에 해당하는 화소의 깊이 값으로 정한다.

마지막으로 실시간 환경에 적용하기 위해 제안하는 기법을 GPU로 병렬화 하여 속도를 향상하고자 하였다. 제안한 기법을 통해 깊이 영상의 잡음을 제거하고 기존 기법에서 발생하는 경계 부분의 흐려짐 현상을 줄이면서 홀을 제거하였다. 실험을 통하여 제안하는 기법의 우수성을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 bilateral filter와 joint bilateral filter를 이용하여 깊이 영상의 품질을 향상시키는 방법을 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 깊이영상의 잡음제거 기법과 홀 채움 기법을 설명한다. 또한 GPGPU를 이용하여 제안한 기법을 병렬화하여 속도를 개선하는 방법도 소개한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능 평가를 위한 실험 결과를 소개하고 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 본 론

그림 1은 Middlebury의 Teddy 영상에서 잡음과 홀이 발생한 부분을 확대하여 표시한 그림이다.



(a) (b) (c)

그림 1. Teddy 영상(middlebury) (a) 원본 (b) 잡음 부분 (c) 홀 부분

Fig. 1 Teddy sequence(middlebury) (a) Original (b) Hole region (c) Noisy region

컬러 영상과는 다르게 깊이 영상은 물체의 형태와 깊이 정보만을 나타내며 평활한 영역이 대부분이라는 특성을 가지고 있다. 따라서 깊이 영상은 물체와 물체간의 경계 영역과 물체의 평활한 영역으로 구분되며 이 영역을 얼마나 잘 보존하느냐에 따라 깊이 영상의 품질이 결정된다. 따라서 깊이 영상의 잡음 제거 시 깊이 영상의 특성을 보존 하는 것이 중요하다. 일반적으로 깊이 영상의 잡음 제거 시 경계 보존 필터의 일종인 bilateral filter[6,7]와 joint bilateral filter[8]가 많이 사용되며 반복 적용하면 홀 영역도 채울 수 있다.

2.1. Bilateral filter

Tomasi 및 Manduchi에 의해 제안된 bilateral filter (BF)는 영상의 경계 구조를 보존하면서 잡음을 평활화하는 비선형 필터이다[5]. BF는 두 개의 가우시안 필터로 구성된다. 두 개의 가우시안 필터는 각각 도메인 필터(domain filter) 및 레인지 필터(range filter)로 동작하며 식 (1)로 정의된다.

$$BF[p] = \frac{\sum_{q_x \in N(p)} G_S(\|p - q_x\|) G_D(|d_p - d_{q_x}|) d_{q_x}}{\sum_{q_x \in N(p)} G_S(\|p - q_x\|) G_D(|d_p - d_{q_x}|)} \quad (1)$$

여기서 p는 깊이 영상에서 기준 화소의 좌표, q_x는 깊이 영상에서 이웃 화소의 좌표 값을 나타낸다. $N(p)$는 p와 이웃한 화소의 집합을 나타낸다. d_p는 깊이 영상에서 기준 화소 p의 깊이 값, d_{q_x}는 깊이 영상에서 이웃 화소 qx의 깊이 값을 나타낸다.

$\|p - q_x\|$는 기준 화소 p의 좌표 값과 이웃한 화소 qx의 좌표 값의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 나타낸다. $|d_p - d_{q_x}|$는 컬러 영상에서 기준 화소 p의 깊이 값인 d_p, 인접 화소들 중 하나인 q_x의 깊이 값인 d_{qx}의 차이 값에 절대 값을 나타낸다. $G_S(\|p - q_x\|)$는 도메인 필터로 기준 화소 p와 이웃한 화소 q_x의 유클리드 거리를 가우시안 필터에 적용한 것이다. 이를 통해 기준 화소와 유클리드 거리가 가까운 화소들에게 높은 가중치가 부여 된다. $G_D(|d_p - d_{q_x}|)$는 레인지 필터로 깊이 영상에서 기준 화소 p의 깊이 값 d_p와 주변 화소 q_x의 깊이 값 d_{qx}의 차이 값에 절대 값을 가우시안 필터에 적용한다. 이와 같은 연산을 통해 유사한 깊이 값을 가지는 화소들

에게 높은 가중치를 부여하게 된다. d_{qx}는 깊이 영상에서 주변 화소 q_x의 깊이 값을 나타낸다. 마지막으로 BF[p]는 bilateral filter 연산을 통해 생성된 기준 화소 p의 깊이 값을 나타낸다. 앞서 설명 하였듯이 식(1)의 BF는 기준 화소와 이웃한 화소의 깊이 값 차이가 작거나 화소간 거리가 가까울수록 큰 가중치를 부여하여 기준 화소의 깊이 값을 계산한다.

2.2. Joint bilateral filter

Joint bilateral filter(JBF)는 bilateral filter와는 다르게 깊이 영상과 컬러 영상의 정보를 모두 이용한다. 깊이 영상과 그에 대응되는 컬러 영상의 밝기 차이 값과 화소간 거리 차이 값에 각각 가우시안 함수를 적용하여 식 (2)와 같은 연산을 수행하게 된다.

$$JBF[d]_p = \frac{\sum_{q_x \in N(p)} G_S(\|p-q_x\|) G_I(|I_p - I_{q_x}|) d_{q_x}}{\sum_{q_x \in N(p)} G_S(\|p-q_x\|) G_I(|I_p - I_{q_x}|)} \quad (2)$$

여기서 p는 깊이 영상에서의 기준 화소, q_x는 인접 화소의 좌표를 나타낸다. $N(p)$는 인접 화소의 집합을 나타낸다. I_p는 컬러 영상에서의 기준 화소 p의 밝기 값을 나타낸다. I_q는 기준 화소 p와 인접한 화소들 중 하나인 q_x의 컬러 영상에서의 밝기 값을 나타낸다.

$\|p-q_x\|$는 기준 화소 p의 좌표 값과 이웃한 화소 q_x의 좌표 값의 유클리드 거리를 나타낸다. $|I_p - I_{q_x}|$는 색상 영상에서 기준 화소 p의 밝기 값인 I_p와 인접 화소들 중 하나인 q_x의 밝기 값인 I_{qx}의 차이 값에 절대 값을 나타낸다. $G_S(\|p-q_x\|)$는 도메인 필터로 기준 화소 p로부터 공간적으로 가까운 화소들에게 가중치를 부여하는 역할을 한다. $G_I(|I_p - I_{q_x}|)$는 레인지 필터로 컬러 영상에서 기준 화소 p의 밝기 값 I_p와 주변 화소 q_x의 밝기 값 I_{qx}의 차이 값에 절대 값을 가우시안 필터에 적용한다. 이와 같은 연산을 통해 유사한 밝기 값을 가지는 화소들에게 높은 가중치를 부여한다. d_{qx}는 q_x위치에서의 깊이 값을 나타낸다.

마지막으로 식 (2)의 $JBF[d]_p$는 JBF를 적용하여 생성한 기준 화소 p의 깊이 값을 나타낸다. JBF는 밝기 값 차이가 작거나 화소간 거리가 가까운 화소에 큰 가중치를 부여하여 깊이 값을 연산하게 된다.

Ⅲ. 제안하는 깊이 영상 화질 개선 기법

그림 2는 본 논문에서 제안하는 기법의 흐름도이다. 우선 컬러 영상과 깊이 영상을 입력으로 받는다. 입력된 컬러 영상을 RGB 색상계에서 HSI 색상계로 변환하여 밝기 영상을 생성한다. 그리고 깊이 영상에서 기준 화소와 주변 화소간의 거리 값, 깊이 값의 차이를 구하고 컬러 영상의 밝기 값 차이를 계산하여 제안하는 잡음 제거 기법에 이용한다. 이후 홀을 탐색하여 홀과 주변 화소간의 거리, 컬러 영상의 밝기 값 차이를 제안하는 홀 채움 기법을 적용하여 깊이 영상 내에 존재하는 홀을 채우게 된다.

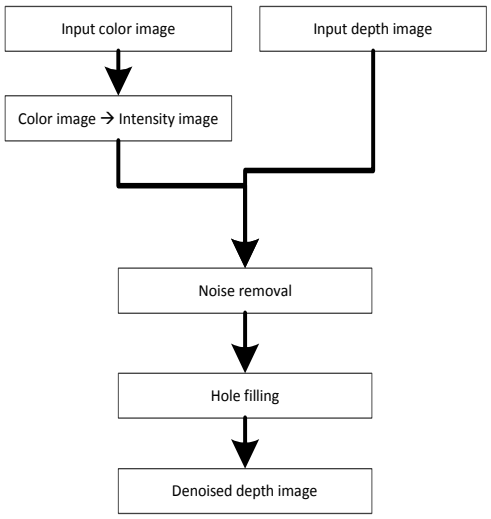


그림 2. 제안한 기법의 흐름도(CPU)
Fig. 2 Flow chart of proposed method(CPU)

3.1. 잡음 제거 기법

깊이 영상은 동일한 객체 내에서 깊이 값이 유사한 경우가 많으며 서로 인접한 화소의 깊이 값도 유사한 경우가 많다. 또한 깊이 영상에 해당하는 컬러 영상에서도 마찬가지로 동일한 객체 내에서 밝기 값이 유사한 경우가 많다. 제안하는 잡음 제거 기법에서는 이러한 특성들을 이용하기 위하여 컬러 영상과 깊이 영상을 모두 이용한다. 먼저 제안하는 기법에서 사용될 기준 화소(p)와 주변 화소(q)의 정의는 그림 3과 같다.

q1	q2	q3
q4	p	q8
q5	q6	q7

그림 3. 기준 화소(p)와 주변 화소(q1~q8)
Fig. 3 Reference pixel(p), neighbor pixel(q1~q8)

식 (3)과 같이 입력받은 컬러 영상에서 기준 화소와 주변 화소의 유클리디안 거리 차이 값의 절대 값에 가우시안 함수를 적용한다.

$$G_S = G(\|p - q_x\|) \tag{3}$$

여기서 p는 컬러 영상의 기준 화소를 나타내고, q_x는 컬러 영상의 주변 화소를 의미한다.

또한 식 (4)와 같이 입력받은 컬러 영상에서 기준 화소와 주변 화소의 밝기 차이 값의 절대 값에 가우시안 함수를 적용한다. 마찬가지로 식 (4)에서 I_p는 컬러 영상의 기준 화소의 밝기 값을 나타내고, I_{qx}는 컬러 영상의 주변 화소 밝기 값을 나타낸다. 마지막으로 식 (5)와 같이 깊이 영상에서도 마찬가지로 기준 화소와 주변 화소의 깊이 값의 절대 값 차이를 구한 후 가우시안 함수를 적용한다.

$$G_I = G(|I_p - I_{q_x}|) \tag{4}$$

$$G_D = G(|D_p - D_{q_x}|) \tag{5}$$

식 (3), 식 (4), 식 (5)를 통해 계산된 세 가지의 가우시안 값을 식 (6)과 같이 곱하게 된다. 식 (7)의 *argmax* 함수를 통해 가장 큰 가중치 값을 가지는 화소의 좌표 값을 찾는다. 식 (7)은 식 (6)에서 계산한 결과 중 가장 큰 값을 가지는 주변 화소의 좌표 값을 찾는 과정을 수식으로 나타낸 것이다.

$$W_p(p, q_x) = G_S \cdot G_I \cdot G_D \tag{6}$$

$$q'_{max} = \underset{q_x \in N(p)}{\arg\max}\, W_p(p, q_x) \tag{7}$$

여기서 $N(p)$는 기준 화소의 주변 화소들(q_1~q_8)의 집합을 나타내며 q_x는 주변 화소의 집합($N(p)$)의 원소(q_1 ~ q_8) 중 하나를 나타낸다.

식 (7)에서 좌표 값 $q`_{max}$을 얻은 후 식 (8)을 통해 기준 화소의 깊이 값으로 결정한다. 식 (8)은 최종적으로 기준 화소의 깊이 값을 구하는 수식이다. 식 (8)에서 $D(q`_{max})$는 식 (7)에서 계산한 주변 화소 q_x중 가중치 값이 가장 큰 좌표 $q`_{max}$ 의 깊이 값을 나타낸다. 이 깊이 값을 기준 화소 $p$의 새로운 깊이 값 $D`_p$로 결정하게 된다.

$$D_p' = D(p) = D(q'_{max}) \tag{8}$$

앞서 설명한 연산을 통해 주변 화소 중 기준 화소와 거리 차, 컬러 영상에서의 밝기 차, 깊이 영상에서의 깊이 값 차이가 가장 작은 기준 화소의 깊이 값을 선택하게 된다.

3.2. 홀 채움 기법

3.1에서 제안한 잡음 제거 기법을 적용하여도 깊이 값이 전혀 존재 하지 않는 큰 홀의 경우에는 완벽히 제거되지 않는다. 이 경우에는 잡음 제거 기법을 여러 번 반복하여 어느 정도 해결이 가능하다. 하지만 잡음 제거 기법의 경우 영상 전체에 적용되는 전역적인 기법으로서 반복 적용 시 깊이 영상 전체의 깊이 값에 영향을 미칠 가능성이 크고 수행시간도 길어지는 단점이 있다. 또한 그림 1(c)와 같이 기준 화소의 깊이 값이 0이고 주변에 연속적으로 깊이 값이 0인 화소가 여러 개 있는 홀의 경우 기준 화소의 깊이 값이 0 이므로 기준 화소와 유사한 깊이 값을 찾는 잡음 제거 기법의 특성상 잡음 제거 기법을 적용한 결과도 0이 될 가능성이 매우 높아진다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 추가적인 홀 채움 기법이 필요하다.

홀 채움 기법은 앞서 잡음 제거 기법과 마찬가지로 컬러 영상과 깊이 영상을 모두 이용한다. 그림 4는 홀 채움 기법의 과정을 나타내었다.

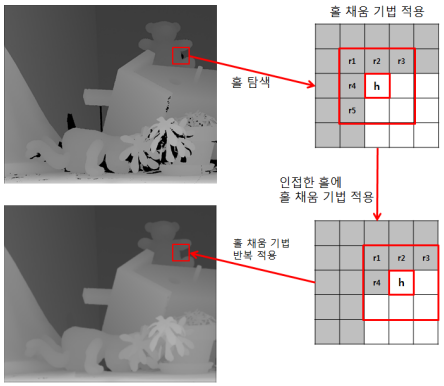


그림 4. 제안한 홀 채움 기법의 과정
Fig. 4 Process of proposed hole filling method

홀 채움의 경우 기준 화소가 되는 홀의 깊이 값이 '0'이고 주변 화소의 깊이 값도 '0'이 되는 부분에 적용이 된다. 잡음 제거 기법의 식 (5) 같이 깊이 값의 차를 가중치 계산에 활용할 경우 주변 화소 중 이 값이 '0'인 화소의 가중치가 높아지는 결과가 나타난다. 따라서 잡음 제거 기법의 가중치 계산에서 기준 화소와 주변 화소의 깊이 값의 차를 이용한 연산(G_D)을 제외한 좌표 값의 차(G_S), 컬러 영상에서의 밝기 값의 차를 이용한 연산(G_I)을 이용해야 한다.

또한 홀 채움 기법을 통해 얻게 되는 최종적인 깊이 값이 '0'이 되는 것을 방지하기 위해 깊이 값이 '0'인 좌표의 화소들은 연산 단계에서 제외한다. 식 (9)는 깊이 값이 '0'인 홀에 해당하는 화소를 수식으로 나타낸 것이다. 식 (10)은 앞서 설명한 깊이 값이 '0'이 아닌 주변 화소들의 좌표 값(r_x)의 집합을 수식으로 나타낸 것이다.

$$H = \{h \mid D(p) = 0\} \tag{9}$$

$$R = \{r_x \mid D(q_x) \neq 0\} \tag{10}$$

우선 식 (11)과 같이 기준 화소와 주변 화소의 유클리디안 거리 차이 값의 절대 값에 가우시안 함수를 적용한다. 식 (11)에서 기준 화소 h는 식 (9)에서 확인할 수 있듯이 영상 내의 기준 화소(p) 중에서 깊이 값이 0인 화소를 나타낸다. 또한 주변 화소 r_x는 식 (10)과 같이 주변 화소(q_x)중에서 깊이 값이 0인 화소를 의미한다.

$$G_S' = G(\|h - r_x\|) \tag{11}$$

그리고 식 (12)와 같이 홀(h)과 주변 화소(r_x)의 밝기 차이 값의 절대 값에 가우시안 함수를 적용한다. 식 (12)에서 I_h는 컬러 영상에서 홀의 위치에 해당하는 화소의 밝기 값을 나타내고, I_{rx}는 컬러 영상에서 주변 화소의 밝기 값을 나타낸다.

$$G_I' = G(|I_h - I_{r_x}|) \tag{12}$$

앞서 식 (11), 식 (12)를 통해 계산한 두 가지의 가우시안 값을 식 (13)과 같이 곱한다. 식 (13)에서 $G`_S$는 화소 간 유클리디안 거리 차이 값의 절대 값에 가우시안 함수를 적용한 식 (9)를 나타내고 $G`_I$는 화소 간 밝기 차이 값의 절대 값에 가우시안 함수를 적용한 식 (12)를 나타낸다.

$$W_h(h, r_x) = G_S' \cdot G_I' \tag{13}$$

식 (14)는 식 (13)에서 계산한 결과 중 가장 큰 값을 가지는 주변 화소의 좌표값을 찾는 과정을 수식으로 나타낸 것이다. 식 (14)에서 *argmax* 함수를 통해 가장 큰 가중치 값을 가지는 화소의 좌표 값(r_x`)을 찾을 수 있다.

$$r_{max}' = \arg\max_{r_x \in R} W_h(h, r_x) \tag{14}$$

식 (14)에서 얻은 좌표값 r_{max}`을 식 (15)에 대입하여 홀의 깊이 값으로 결정하게 된다. 식 (15)에서 $D(r_x`)$는 식 (14)에서 계산한 좌표값 r_{max}`의 깊이 값을 나타낸다. 이 깊이 값을 홀의 새로운 깊이 값 $D_h$`로 결정하게 된다.

$$D_h' = D(h') = D(r_{max}') \tag{15}$$

앞서 설명한 연산을 반복적으로 수행하여 잡음 제거 기법으로도 제거되지 않는 홀을 효과적으로 채워주게 되며 최종적으로 고품질의 깊이 영상을 획득 할 수 있다.

3.3. GPGPU를 이용한 과정별 고속화 기법

GPU는 CPU에 비해 훨씬 많은 코어로 구성되어 있으며 이것들을 연산을 위해 할당하고 병렬처리에 특화된 구조를 가지고 있다. CUDA를 이용한 GPU 병렬처리 프로그래밍은 다수의 block과 thread로 이루어진다. 하나의 device는 다수의 블록으로 구성되고, 각각의 block은 다수의 thread로 구성된다. Stereo matching 이외에도 최근 많이 사용되는 Kinect 카메라나 ToF 카메라로 깊이 영상을 획득 시 발생하는 잡음을 GPU를 사용하여 실시간으로 제거하기 위해 여러 연구들이 시도되고 있다[9,10,11,12].

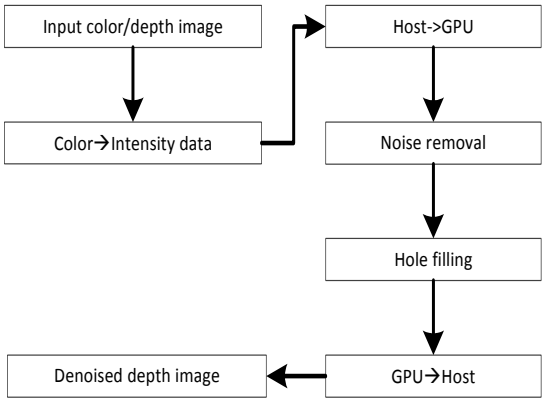


그림 5. 제안한 기법의 흐름도(GPU)
Fig. 5 Flow chart of proposed method(GPU)

S. Mattoccia는 대표적인 깊이 영상 획득 알고리즘인 Stereo matching 기법을 GPU로 구현하였다. S. Mattoccia은 stereo matching시 생성되는 깊이 영상의 잡음을 제거하는 알고리즘인 Fast bilateral stereo matching을 GPU로 구현하여 CPU대비 100배의 속도 향상을 보였다[9]. Liang Wang도 마찬가지로 stereo matching시 생성되는 잡음을 제거하기 위해서 Joint bilateral filter를 이용한 실시간 stereo matching 알고리즘을 GPU로 구현하여 CPU 대비 약 300배의 속도 향상을 보였다[10]. 이외에도 J. Wasza는 Kinect에서 얻은 depth 데이터에 존재하는 temporal consistency를 제거하는 bilateral filter와 경계 잡음을 제거하는 non-approximative guided filter 알고리즘을 GPU로 구현하였다. 또한 2D-3D converting, mesh generation과 최종적인 랜더링 과정을 GPU로 구현하였다. 전체적인 시스템을 구성하는 알고리즘 중 데이터 입출력 부분을 제외한 대부분의 알고리즘을 GPU로 구현하여 CPU 대비 약 10배의 속도향상을 보였다[11]. 또한 J.Wasza는 ToF 카메라를 통해 얻은 깊이 영상의 잡음과 temporal consistency를 실시간으로 제거하기 위하여 bilateral filter를 GPU로 구현하여 실시간 처리를 가능하게 하였다[12].

그림 5는 본 논문에서 제안하는 기법을 GPU로 구현한 순서도이다. 제안하는 기법 중 잡음제거와 홀 채움 기법 부분을 병렬화하여 연산 시간을 감소시킨다. 우선 컬러 영상과 깊이 영상을 입력받은 후 컬러 영상을 밝기 영상으로 변환 시킨다. 이후 변환시킨 컬러 영상과 깊이 영상을 GPU로 연산하기 위해 GPU의 device memory로 복사한다. 복사한 데이터를 바탕으로 잡음 제거와 홀 채움 기법을 적용한다. 이때 하나의 thread에서 식(3), (4)와 (5)을 수행하도록 구현하여 다수의 thread에서 한꺼번에 많은 화소를 처리하게 한다. GPU 연산을 완료한 후 다시 CPU의 host memory로 데이터를 복사하여 품질이 향상된 깊이 지도를 생성하게 된다.

Ⅳ. 실험 조건 및 결과

제안하는 깊이 영상의 화질 개선 기법의 성능을 기존 기법들의 성능과 비교하기 위하여 다양한 실험을 수행하였다. 먼저 표 1은 실험에 사용된 PC의 사양을 보여준다. 실험에는 middlebury의 teddy(1800*1500) 영상을 사용하였다.

표 1. 실험에 사용된 PC 사양
Table. 1 Test environment

CPU	Intel Sandy-E i7-3930k
RAM	16.00 GB
OS	Windows 2008 (x64)
GPU	NVIDIA Geforce GTX 670 / CUDA SDK 5.0

그림 6은 Bilateral filter, Joint bilateral filter를 적용한 결과와 제안한 기법을 비교한 결과이다. Bilateral filter와 Joint bilateral filter의 경우 경계부분의 흐려짐

현상이 생기고 잡음과 홀이 완전히 제거되지 않았다는 결과를 볼 수 있다.

하지만 제안한 기법의 경우 경계부분의 흐려짐 현상이 없고 잡음과 홀이 효과적으로 제거된 결과를 얻을 수 있었다. 그림 7은 그림 6을 확대한 영상이다. 확대한 영상에서도 제안한 기법을 적용한 결과가 Bilateral filter, Joint bilateral filter를 적용한 결과와 비교하여 경계부분의 흐려짐 현상이 없이 잡음과 홀을 효과적으로 제거한 것을 확인할 수 있었다.

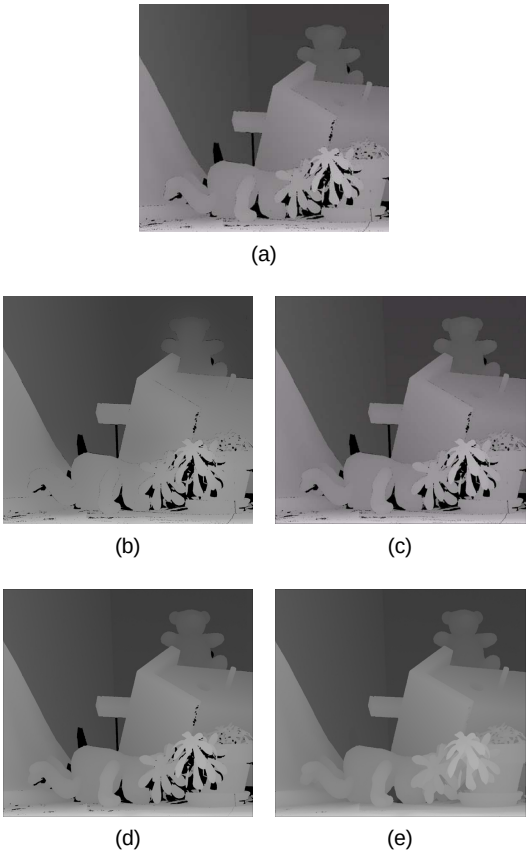


그림 6. 실험 결과 (a) 원본 (b) bilateral filter (c) joint bilateral filter (d) 제안한 기법(잡음 제거 기법 적용 결과) (e) 제안한 기법(잡음 제거+홀 채움 기법 적용 결과)
Fig. 6 Test result (a)Original (b) Bilateral filter (c) Joint bilateral filter (d) Proposed method(Noise removal) (e) Proposed method(Noise removal + Hole filling)

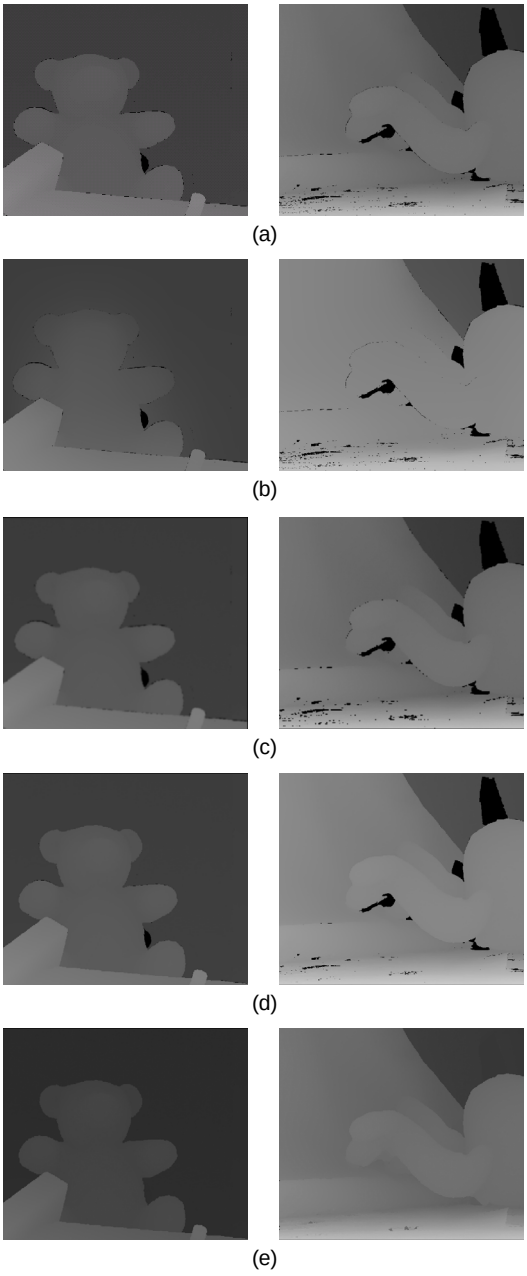


그림 7. 그림 6의 확대 영상 (a) 원본 (b) bilateral filter (c) joint bilateral filter (d) 제안한 기법(잡음 제거 기법 적용 결과) (e) 제안한 기법(잡음 제거+홀 채움 기법 적용 결과)
Fig. 7 Enlarged image of Fig. 6 (a)Original (b) Bilateral filter (c) Joint bilateral filter (d) Proposed method(Noise removal) (e) Proposed method(Noise removal + Hole filling)

표 2는 Joint bilateral filter와 제안한 기법의 수행시간을 비교한 결과이다. 표 2에서 CPU기반의 Joint bilateral filter는 해상도에 따라 다르지만 1800*1500 해상도인 teddy 영상의 경우 1130.22ms의 수행시간을 보였다. 같은 영상에 CPU 기반의 제안한 기법을 적용하였을 때에는 477.47ms의 수행시간을 보였다. GPU 기반에서 제안한 기법을 병렬화 하여 고속화한 결과는 12.47ms가 걸리는 것을 확인할 수 있다. 이것은 약 80fps의 속도로서 실시간 환경에 충분히 적용 가능함을 확인할 수 있다.

표 2. 기법 구현 방법별 수행 시간(ms)
Table. 2 Processing time of each algorithm(ms)

Sequence	BF	JBF	Proposed (CPU)	Proposed (GPU)
Teddy (1800*1500)	620.71	1130.22	477.47	12.47
Cones (1800*1500)	648.03	1134.86	498.49	12.09
Midd (1396*1110)	501.36	781.09	385.67	8.04
Books (1390*1110)	499.31	784.91	384.09	7.73

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 깊이 영상의 화질 개선을 위하여 잡음 제거 기법과 홀 채움 기법을 제안하였다. 제안한 잡음 제거, 홀 채움 기법을 통해 기존 기법에서 발생하는 경계 부분의 흐려짐 현상을 줄이고 잡음과 홀을 효과적으로 제거하도록 하였다. 또한 실시간 환경에 적용하기 위해 제안하는 기법을 GPU로 병렬화 하여 속도 향상을 하고자 하였다.

실험 결과를 통해 제안하는 잡음 제거 기법과 홀 채움 기법이 기존의 기법을 적용한 결과보다 우수한 것을 확인 할 수 있었다. 또한 제안한 기법을 GPU 기반으로 병렬화 하여 수행하였을 때 기존의 joint bilateral filter와 비교하여 수행시간이 90.66배 단축되는 결과를 얻는 것을 확인할 수 있었으며 동일 기법을 CPU로 수행한 시간과 비교하여 38.30배 단축 되는 것을 확인할 수 있었다. 향후 제안한 기법을 적용하여 3D 콘텐츠 생성에 필요한 고품질의 깊이지도를 실시간으로 생성할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행한 연구[10039199, 인지품질 기반 스케일러블3D 비디오 코덱 핵심 기술 연구]로서, 관계부처에 감사드립니다.

REFERENCES

[1] J. Choi, D. Min, B. Ham and K. Sohn, "Spatial and temporal up-conversion technique for depth video," IEEE International Conference on Image Processing(ICIP), Cairo, pp. 3525-3528, Nov. 2009.

[2] O. P. Gangwal and R. P. Benetty, "Depth map post-processing for 3D-TV," Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics(ICCE), Las Vegas, NV, pp. 1-2, Jan. 2009.

[3] Y. Li and, L. Sun, "A novel up-sampling scheme for depth map compression in 3DTV system," Picture Coding Symposium(PCS), Nagoya, pp. 186-189, Dec. 2010.

[4] J. Park, H. Kim, Y. Tai, M. Brown, and I. Kweon, "High quality depth map up-sampling for 3D-TOF cameras," IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Barcelona, pp. 1623-1630, Nov. 2011.

[5] J. Y. Han, Y. H. Seo, J. Yoo, "Depth map enhancement using advanced joint bilateral filter based on GPGPU," KICS Conference, Youngpyong, pp. 157-158, Jan. 2013.

[6] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," IEEE International Conference on Computer Vision, Bombay, pp.839-846, Jan. 1998.

[7] Sylvain Paris and Fredo Durand, "A fast approximation of the bilateral filter using a signal processing approach," Springer International Journal of Computer Vision, vol.81, no.1, pp.24-52, Jan. 2009

[8] J. Kopf, M. Cohen, D. Kischinski and M. Uyttendaele, "Joint bilateral up-sampling," ACM Trans. on Graphics, vol.26, no.3, article 96, pp.2:1-2:9, July 2007.

[9] S. Mattoccia, M. Viti and F. Ries, "Near real-time Fast Bilateral Stereo on the GPU," Computer Vision and Pattern Recognition Workshops(CVPRW), Colorado Springs, CO pp.136-143, June 2011.

[10] L. Wang, R. Yang, M. Gong and, M. Liao, "Real-time stereo using approximated joint bilateral filtering and dynamic programming," Journal of Real-Time Image Processing, pp.1-15, Sept. 2012.

[11] J. Wasza, S. Bauer and J. Hornegger, "Real-time preprocessing for dense 3-D range imaging on the GPU: Defect interpolation, bilateral temporal averaging and guided filtering," Computer Vision Workshops(ICCV Workshops), Barcelona, pp.1221-1227, Nov. 2011.

[12] J. Wasza, S. Bauer and J. Hornegger, "High Performance GPU-Based Preprocessing for Time-of-Flight Imaging in Medical Applications," Bildverarbeitung Fur Die Medizin 2011, Lubeck, pp.324-328, Mar. 2011.

한재영(Jae-Young Han)

2012년 2월 광운대학교 전자공학과 학사
2012년 3월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 석사
※관심분야 : 영상압축, 영상인식, 디지털신호처리

고진웅(Jin-Woong Ko)

1986년 2월 서울대 전자공학과 학사
1988년 2월 한국과학기술원 전자전기공학과 석사
2004년 10월 ~ 현재 씨앤앰
2013년 9월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 박사
※관심분야 : 디지털 방송 압축 및 전송기술, 스마트미디어, 시청률 분석

유지상(Jisang Yoo)

1985년 2월 서울대학교 전자공학과 학사
1987년 2월 서울대학교 전자공학과 석사
1993년 5월 Purdue Univ. EE, ph.D
1997년 9월 ~ 현재 광운대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : 웨이블릿 기반 영상처리, 영상압축, 영상인식, 비선형 신호처리