

다수의 Kinect 카메라를 이용한 3차원 객체 복원 구현

(Implementation of 3D Reconstruction using Multiple Kinect Cameras)

신동원*, 호요성**

(Dong Won Shin, Yo Sung Ho)

요약

3차원 복원은 실세계에 존재하는 물체를 가상의 공간에 재건하고 자유로운 시점을 선택하여 물체를 관찰할 수 있게 한다. 이러한 3차원 복원 기술은 교육, 문화, 예술 등 분야를 막론하고 다양한 곳에서 사용되고 있다. 3차원 복원 시스템을 구현하기 위해 본 논문에서는 Microsoft사에서 출시된 Kinect를 이용하여 다시점 시스템을 구성해서 고품질의 3차원 객체를 복원하는 방법을 제안한다. 먼저 3대의 Kinect를 객체의 전면에 수렴형으로 설치하여 색상 영상과 깊이 영상을 획득한다. 그런데 원본의 깊이 영상은 깊이 값이 가지지 않는 부분이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 이 부분을 적절한 깊이 값으로 채워 넣기 위해서 깊이 가중치를 추가한 결합형 양방향 필터를 적용한다. 또한 다시점 시스템에서 얻은 원본의 색상 영상은 서로 색상이 일치하지 않는 문제가 존재하는데 이를 그대로 이용하여 3차원 모델 정합을 하면 색상이 부자연스럽게 연결된 3차원 모델을 얻게 된다. 따라서 이러한 색상 불일치의 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 다시점 시스템에서의 3차원 기하학적 정보를 이용한 색상 보정 방법을 사용한다. 실험을 통해 제안한 방법을 이용하여 획득한 3차원 모델이 원본 3차원 모델보다 색상과 형태 관점에서 자연스럽게 표현된 것을 확인할 수 있었다.

■ 중심어 : 3차원 객체 복원, 깊이 영상 보정, 색상 영상 보정, 3차원 모델 정합

Abstract

Three-dimensional image reconstruction allows us to represent real objects in the virtual space and observe the objects at arbitrary view points. This technique can be used in various application areas such as education, culture, and art. In this paper, we propose an implementation method of the high-quality three-dimensional object using multiple Kinect cameras released from Microsoft. First, We acquire color and depth images from triple Kinect cameras; Kinect cameras are placed in front of the object as a convergence form. Because original depth image includes some areas where have no depth values, we employ joint bilateral filter to refine these areas. In addition to the depth image problem, there is an color mismatch problem in color images of multiview system. In order to solve it, we exploit an color correction method using three-dimensional geometry. Through the experimental results, we found that three-dimensional object which is used the proposed method is more naturally represented than the original three-dimensional object in terms of the color and shape.

■ keywords : Three-Dimensional Reconstruction, Depth Image Refinement, Color Correction, Three-Dimensional Model Registration

I. 서론

최근 3차원 영상 처리 기술의 발전에 따라 3차원 영상은 현재 우리 생활의 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 교육, 문화, 예술, 건축, 광고, 게임, 스포츠 등 분야를 막론하고 3차원 영상은 그 사용 범위를 확장해 나가고 있다.

예를 들어 교육 분야에서는 과학, 역사 등의 일반적인 교과목에서 사용되는 시청각 자료를 3차원 콘텐츠로 제작하여 학생들의 과목에 대한 이해도를 높이고 공부에 대한 흥미를 높이는 데 도움을 주고 있다. 또한 문화 분야에서는 영화 ‘아바타’의 흥행을 시작으로 3차원 영화가 계속적으로 개봉되어 최근에는 ‘그래비티’까지 많은 3차원 영화들이 우리의 눈을 즐겁게 하고 있다. 스포츠 분야에서는 최근에 개최된 2014 브라질 월드컵에서 경

* 준회원, 광주과학기술원 정보통신공학부
** 정회원, 광주과학기술원 정보통신공학부

접수일자 : 2014년 09월 15일

수정일자 : 2014년 12월 16일

게재확정일 : 2014년 12월 16일

교신저자 : 호요성 e-mail : hoyo@gist.ac.kr

기 시에 공이 골대를 통과했는지를 판독하는 골라인 판독기술에 3차원 영상이 사용되어 오심률을 줄이는데 큰 역할을 했다.

이러한 3차원 영상을 제작하는 방법은 크게 수동형 방식과 능동형 방식의 2가지로 나뉜다. 수동형 방식은 두 시점 이상의 카메라에서 얻은 색상 영상을 이용하여 두 색상 영상 사이의 패턴 매칭을 수행한다. 패턴 매칭을 수행한 결과로 나온 시차를 이용하여 각 시점에서의 깊이 영상을 획득할 수 있다. 능동형 방식은 적외선이나 초음파를 사용한 깊이 카메라를 이용하여 깊이 값을 획득하는 방식으로 시중에 출시된 제품으로는 Mesa Imaging사의 SR4000과 Microsoft사의 Kinect가 있다. 본 논문에서는 구조광 방식을 이용하여 능동형 방식으로 깊이 값을 획득하는 Kinect를 이용해 다시점 시스템을 구성한 뒤 이를 3차원 객체 복원에 사용했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 방법의 흐름에 대해서 설명하고 3차원 객체 복원을 위해 깊이 영상과 색상 영상을 보정하는 방법에 대해서 자세하게 살펴본다. 그리고 III장에서는 제안하는 방법을 이용하여 생성된 3차원 객체의 결과를 분석하고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 제안하는 3차원 객체 복원 방법

본 논문에서는 다수의 Kinect 카메라를 이용하여 3차원 객체 복원을 수행하는 방법을 다룬다. 먼저 제안하는 방법의 시스템 구조를 그림 1에 나타내었다.

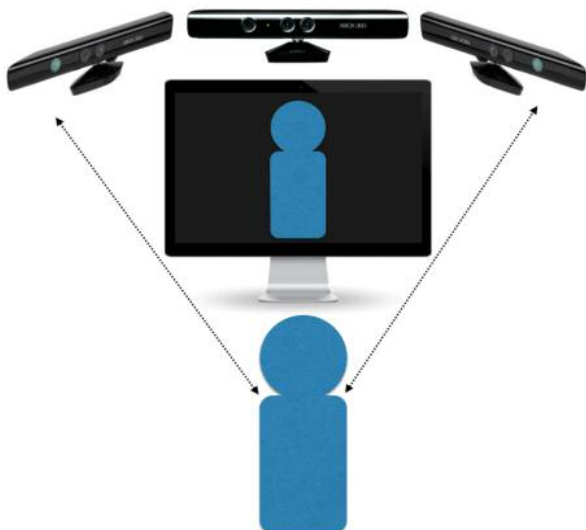


그림 1. 제안하는 시스템 구조

객체의 전면에 Kinect 카메라 3대를 수렴형으로 위치시키고 객체가 모든 Kinect 카메라의 시야각 내에 존재하도록 3차원 객체의 위치를 설정한다. 그림 2는 제안하는 방법의 흐름도를 나타내는 그림이다.

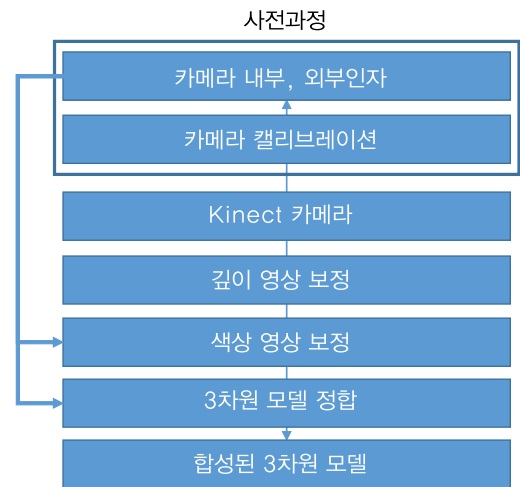


그림 2. 제안하는 방법의 흐름도

먼저 사전과정으로 Kinect 카메라의 캘리브레이션을 수행한다. 카메라 캘리브레이션은 평면의 체스보드 패턴을 이용하여 수행한다. 평면의 체스보드 패턴을 Kinect 카메라에서 여러 형태로 동시에 촬영한 다음 촬영된 색상 영상들을 Matlab calibration toolbox를 이용하여 카메라 캘리브레이션을 수행하면 각 카메라의 내부인자와 외부인자를 획득할 수 있다 [1].

본 과정으로는 먼저 Kinect 카메라로부터 얻은 원본의 색상과 깊이 영상들을 보정하는 작업을 수행한다. 첫 번째로 원본 깊이 영상은 깊이 값을 가지지 않은 홀 부분을 많이 포함하고 있기 때문에 이를 주변 영역과 비교하여 적절한 깊이 값으로 채워주는 깊이 영상 보정 과정이 필요하다. 본 논문에서는 깊이가중치가 추가된 결합형 양방향 필터를 사용하여 깊이 영상을 보정하는 작업을 수행한다. 두 번째로 다시점 시스템에서의 원본 색상 영상은 각 시점에서 그 색상이 서로 다르기 때문에 3차원 모델을 가상공간에 복원했을 때 색상이 부드럽게 연결되지 않는 문제가 발생한다. 따라서 이러한 색상 불일치의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 다시점 시스템의 3차원 기하학적 정보를 이용하여 색상 보정을 수행하는 방법을 기술한다. 다음으로 보정된 깊이 영상과 색상 영상을 이용하여 2차원의 점을 3차원 공간으로 보내는 3차원 워핑을 적용하여 통합된 3차원 공간상의 점군 모델을 만든다. 이때 점군 모델은 3차원 점으로만 표현되어 있으므로 점과 점사이가 비어 있어 보이게 된다. 따라서 점들을 연결하는 표면 모델링을 통해서 매끄러운 표면을 가진 3차원 모델을 만들면 최종적으로 복원된 3차원 객체 모델이 만들어지게 된다.

1. 제안하는 깊이 영상 보정 방법

Kinect 카메라로부터 얻은 원본 깊이 영상은 능동형 깊이 카메라의 한계 때문에 그 자체에 깊이 값이 없을 영역을 많이 가지고 있다. 이러한 홀 영역은 3차원 객체 복원을 수행할 때 실세계의 3차원 객체를 사실대로 표현하기 어렵게 만든다. 따라서 홀 영역에 적절한 깊이 값을 채우는 과정이 필요하게 된다. 본 논문에서는 이러한 깊이 영상 보정 과정을 결합형 양방향 필터를 이용하여 수행했다. 식 (1)은 결합형 양방향 필터를 나타낸다 [2].

$$D_o(x, y) = \frac{\sum_{u \in \bar{u}_p} \sum_{v \in \bar{v}_p} W(u, v) \cdot D_i(u, v)}{\sum_{u \in \bar{u}_p} \sum_{v \in \bar{v}_p} W(u, v)} \quad (1)$$

식(1)에서 D_o 는 출력 깊이 화소이고 D_i 는 입력 깊이 화소를 의미한다. (x, y) 는 필터 커널의 중심 위치를 나타내고 (u, v) 는 필터 커널에서 이웃 화소의 위치를 나타낸다. 함수 W 는 가중치 함수를 나타내는데 이는 식 (2)와 같이 구성이 되어있다.

$$W(u, v) = \begin{cases} 0 & D_i(u, v) = 0 \\ g(u, v) \cdot f(u, v) \cdot d(u, v) & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 $g(u, v)$ 는 필터 커널에서 중심 화소와 이웃 화소간의 색상 차이를 반영하는 범위 필터의 가중치 인자이고 $f(u, v)$ 는 중심 화소와 이웃 화소간의 거리 차이를 반영하는 공간 필터의 가중치 인자이다. 여기까지가 결합형 양방향 필터의 기본적인 가중치 인자인데 본 논문에서는 여기에 추가적으로 중심 화소와 이웃 화소간의 깊이 값 차이를 반영하는 깊이 필터의 가중치 인자 $d(u, v)$ 를 추가했다 [3]. 식 (3)은 깊이 가중치 인자 $d(u, v)$ 를 나타낸다.

$$d(u, v) = \exp \left\{ - \frac{|D_i(x, y) - D_i(u, v)|^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (3)$$

깊이 가중치 인자 $d(u, v)$ 는 중심 화소와 이웃 화소간의 깊이 값의 차이를 가우시안 함수에 대입하여 가중치를 계산한다. 그림 3과 그림 4는 각각 원본 깊이 영상과 제안하는 깊이 영상 보정 방법을 적용한 깊이 영상이다. 원본 깊이 영상은 책상 위의 부분이나 물체의 경계부분에서 홀 영역이 많이 발생한 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안하는 방법을 적용한 깊이 영상은 홀 영역과 경계 부분이 깔끔하게 채워진 것을 확인할 수 있다. 정량적인 평가를 위해 표 1에 깊이 영상의 전체 화소 수 대비 홀 영역 화소 수의 비율을 나타내는 bad pixel rate를 나타내었다.

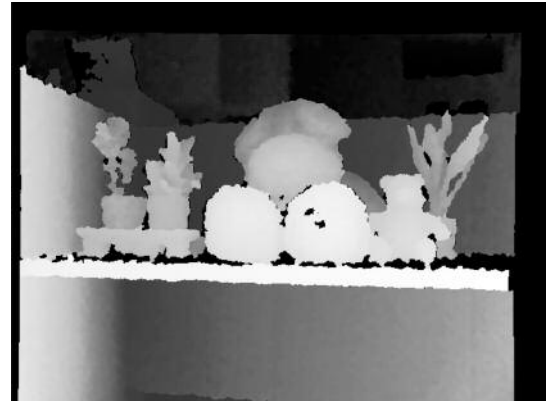


그림 3. 원본 깊이 영상

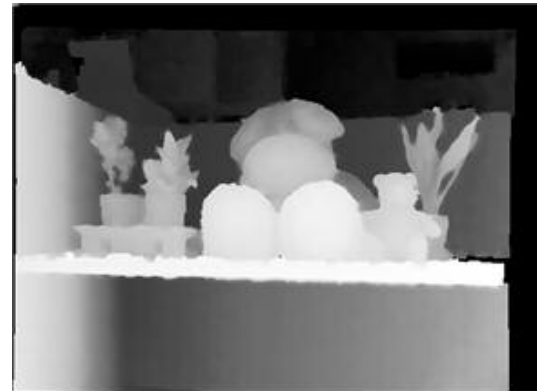


그림 4. 제안하는 방법을 적용한 깊이 영상

표 1. Bad pixel rate 비교

	원본 깊이 영상 (%)	제안하는 방법을 적용한 영상 (%)
tsukuba	8.90	5.68
cones	16.39	16.28
venus	12.02	6.96

이 평가에서 쓰인 원본 깊이 영상 샘플은 컴퓨터 비전 분야에서 널리 알려진 미들베리 사이트에서 제공하는 다시점 색상 영상을 이용하여 깊이 영상을 얻은 것이다 [4]. 이 표를 통해 제안하는 방법이 전반적으로 bad pixel의 비율을 낮추는 것을 확인할 수 있다.

2. 3차원 워핑

3차원 워핑은 기준 시점과 대상 시점으로 구성된 두 시점에서 깊이 영상을 대상 시점에서 기준 시점으로 변환하는 방법이다. 그림 5는 3차원 워핑을 나타낸 그림이다 [5].

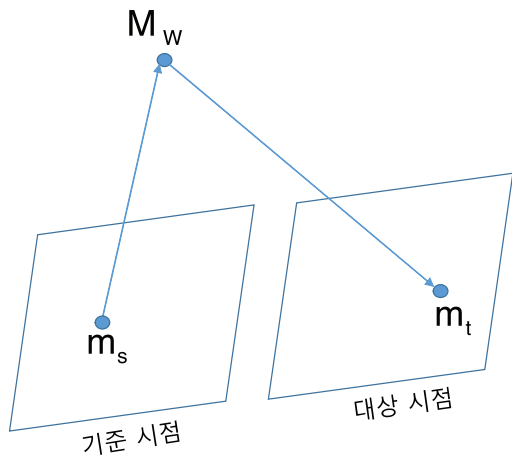


그림 5. 3차원 워핑

왼쪽의 기준 시점의 점 m_s 를 3차원 공간으로 보내어 공간상의 점 M_w 로 만든 다음에 이를 대상 시점으로 보내어 m_t 로 만드는 과정을 나타내고 있다. 이를 이용하여 기준 시점에서의 화소가 대상 시점에서 어느 위치에 나타나 있는지를 확인 할 수 있다. 본 논문에서는 3차원 워핑을 색상 영상 보정과 3차원 모델 정합에서 주로 사용한다. 식 (4)와 식(5)는 모두 3차원 워핑에 대한 내용을 나타내는 데 식 (4)는 2차원의 기준 시점에서 3차원 공간으로 이동하는 것을 나타내고 식 (5)는 3차원의 공간에서 2차원의 대상 시점으로 이동하는 것을 나타낸다.

$$M_w = R_s^{-1} A_s^{-1} \tilde{m}_s - R_s^{-1} t_s \quad (4)$$

$$\tilde{m}_t = A_t R_t M_w + A_t t_t \quad (5)$$

A는 카메라 캘리브레이션을 통해 획득한 카메라의 내부 파라미터를 나타내고, R과 t는 각각 카메라 외부 파라미터 중에 회전 행렬과 이동 벡터를 의미한다. 아래 첨자의 s는 기준 시점을 나타내고 t는 대상 시점을 나타낸다. 이를 이용해 색상 영상 보정에서 대상 시점과 기준 시점간의 매칭 점을 찾는데 사용하거나 3차원 모델을 정합하는 단계에서 사용할 수 있다.

3. 제안하는 색상 영상 보정 방법

다시점 시스템에서 각 카메라의 원본 색상 영상 사이에는 일관적이지 않은 조명 문제와 카메라 장치의 잡음으로 인하여 서로 불일치된 색상 영상을 얻게 된다. 이러한 색상 영상 불일치 문제는 3차원 객체 복원에 있어서 색상이 자연스럽게 연결된 3차원 객체 모델을 만들 수 없게 한다. 이는 시청자로 하여금 3차원 콘텐츠를 시청하는데 불편함을 초래한다.

본 논문에서는 다시점 색상 영상 불일치의 문제를 해결하기

위하여 다시점 시스템의 3차원 기하학적 정보를 이용한다. 그림 6은 제안하는 색상 영상 보정 방법의 흐름도를 나타낸 그림이다.

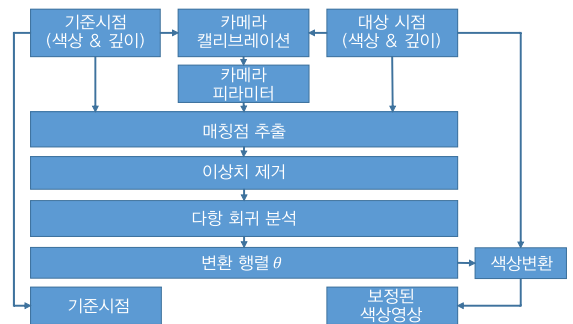


그림 6. 제안하는 색상 영상 보정 방법의 흐름도

가운데에 위치한 Kinect를 기준 시점으로 정하고 왼쪽과 오른쪽의 Kinect를 대상 시점으로 정한다. 첫번째로 기준 시점과 왼쪽의 Kinect 카메라에 대해서 쌍으로 색상 보정을 수행한다. 앞서 각 카메라에서 획득한 보정된 깊이 영상을 이용하여 왼쪽 대상 시점에서 가운데 기준 시점으로 3차원 워핑을 수행한다. 이를 통해 두 시점에서 2차원상의 같은 위치를 나타내는 매칭 점들을 추출한다. 매칭점의 집합에서 기준 시점에서는 보이지만 대상시점에서는 보이지 않는 매칭점이 존재할 수 있기 때문에 이를 색상 차이에 따라 구별하여 이상치들을 제거한다. 정제된 매칭점들을 이용해 색상 보정을 수행하는데 이 때 사용되는 것이 다항 회귀 분석 방법이다. RGB 색상 가운데 먼저 R에 대해서 다항 회귀 분석을 수행한다. 대상 시점에서의 매칭점 R 색상을 이용해서 식 (6)과 같은 벡터 X를 구성한다.

$$X = [1 \quad R_t \quad R_t^2 \quad R_t^3 \quad R_t^4 \quad R_t^5] \quad (6)$$

R_t 는 대상 시점에서의 R값을 의미한다. 이 값을 이용해 5차의 다항식으로 커브 피팅을 하여 기준 시점의 R값에 대한 변환 행렬을 얻을 수 있다. 다음으로 식 (7)을 이용하여 기준 시점과 대상 시점 간의 색상 변환 행렬 θ 를 얻어낸다 [6].

$$\theta = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (7)$$

y 는 기준시점에서 매칭점의 R값을 의미한다. 이 변환행렬 θ 를 이용하여 대상 시점에 있는 화소 전체에 대해서 색상 변환을 수행할 수 있게 된다. 다음으로 이 과정을 G와 B의 색상 에 대해서도 동일하게 수행하여 그에 대한 변환 행렬을 얻는다. 그림 7은 원본 영상과 제안하는 방법으로 색상 보정을 수행한

결과를 나타낸 그림이다.



그림 7. 원본 영상과 색상 보정한 결과 영상 비교

원본의 영상들을 살펴보면 대상 시점의 영상들이 기준 시점의 영상보다 다소 어두운 것을 확인할 수 있다. 반면에 보정한 결과는 기준 시점의 영상 톤에 맞게 색상이 변환 된 것을 알 수 있다. 이에 대해 정량적인 평가를 위해 각 RGB 값으로 표현된 대상 시점의 색상을 인간의 시각체계에 맞게 고안된 CIELab 색상 체계로 변환한 뒤에 기준 시점 색상과의 거리를 측정해보았다 [7]. 표 2는 그 결과를 나타낸다.

표 2. CIELab 색상 비교

	대상 시점 1	대상 시점 2
원본 영상	13.0488	10.2544
제안하는 색상 보정 방법	8.0320	6.4672

원본 영상에서의 대상 시점들은 CIELab 색상 체계에서 기준 시점과의 거리가 다소 멀게 측정 되었지만 제안하는 색상 보정 방법을 이용하여 색상을 보정한 후에는 두 개의 대상 시점 모두 보정 전보다 기준시점에 가깝게 측정된 것을 확인할 수 있다.

4. 3차원 모델 정합

3차원 모델 정합은 앞서 획득한 보정된 색상 영상과 깊이 영상을 이용하여 3차원 공간상에 객체를 표현하는 단계이다. 이 단계는 앞서 설명했던 3차원 워핑을 이용하여 수행될 수 있는데 3차원 워핑의 전체를 적용하는 것이 아니라 각 시점에서의 깊이 영상을 3차원 공간으로 보내는 작업만 수행하면 된다.

각 시점에서 얻은 깊이 영상을 통합된 3차원 공간상으로 보내

면 점들이 3차원 공간에 형성되어 있는 점군 모델을 얻을 수 있다. 점군 모델의 경우 점과 점 사이가 연결되지 않아서 사이 사이가 비어있는 형태를 나타낸다. 따라서 점과 점 사이를 표면으로 연결하는 표면 모델링을 수행하여 매끄러운 표면을 가진 객체로 만드는 과정이 필요하다. 그림 8은 표면 모델링을 수행하는 방법을 나타낸다.

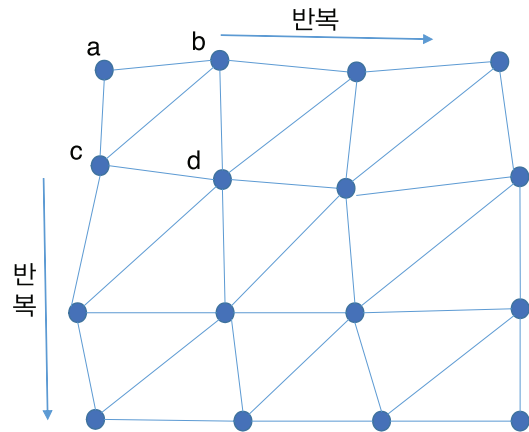


그림 8. 표면 모델링

먼저 3차원 공간상의 점 a를 기준으로 좌측과 우측에 존재하는 점 b와 점 c를 이용하여 삼각형을 만든다. 그리고 점 a의 우하단에 위치한 점 d를 이용하여 삼각형 abc와 빗변을 공유하는 삼각형 bcd를 만든다. 3차원 공간상에서는 어떤 점이 기준 점의 좌측과 우측에 존재하는지 판별하기가 어렵기 때문에 각 시점의 깊이 영상을 참조하여 2차원 영상에서 기준 점에 인접한 점으로부터 좌, 우측 판별을 하게 된다. 그리고 인접한 점이더라도 기준 점과의 거리를 계산하여 일정한 문턱치 값을 넘지 않는 범위 내에서 표면 모델링을 수행하도록 하여 이상치를 제거했다. 이 과정까지 수행을 하면 최종적인 3차원 객체 모델을 가상공간 상에 복원할 수 있다.

III. 실험결과

본 논문에서 사용한 실험 환경은 표 3과 같다.

표 3. 실험 환경 설명

CPU 사양	Intel Xeon 2.53GHz
GPU 사양	NVidia Geforce GTX Titan
색상 영상 크기	640×480
깊이 영상 크기	640×480
범위 필터 표준편차 값	3
공간 필터 표준편차 값	100
깊이 필터 문턱치 값	100
필터 커널 반경	3

GPU는 깊이 영상 보정과 3차원 워핑 과정에서 병렬 프로그래밍을 이용하여 속도를 향상시키기 위해 사용했다 [8]. 그림 9와 그림 10은 각각 원본 영상으로 만든 3차원 모델과 제안하는 방법을 통해 만든 3차원 모델을 비교한 그림이다.



그림 9. 원본 영상으로 만든 3차원 모델



그림 10. 제안하는 방법을 통해 만든 3차원 모델

그림 9에서는 보정하기 전의 깊이 영상을 이용하여 3차원 모델을 복원했기 때문에 3차원 객체 모델에 홀 영역이 그대로 전달되어 얼굴과 몸 부분에 검은색 홀 영역이 발생했다. 또한 보정하기 전의 색상 영상을 이용했기 때문에 객체의 좌측과 우측의 색상이 다르게 표현되어 그 색상 차이를 확인할 수 있다. 반면에 그림 10에서는 제안하는 방법을 이용하여 3차원 객체를 복원했기 때문에 홀 영역이 감소하고 색상도 전체적으로 일치되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

2007년을 기점으로 MPEG(moving picture experts group)을 중심으로 3차원 영상의 부호화 및 기반 기술의 표준화 작업이 진행됨에 따라 일반 대중들이 3차원 영상을 접할 기회가 점점 늘어나고 있다. 따라서 많은 대중들이 저렴한 가격에 좋은 품질의 3차원 영상을 경험 할 수 있도록 많은 연구가 진행되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 목적을 달성하기 위해 다수의 Kinect 카메라를 이용하여 다시점 시스템을 구성한 뒤 3차원 복원을 구현하는 방법에 대해서 살펴보았다. 먼저 Kinect로부터 얻은 원본 깊이 영상을 보정하기 위해 깊이 가중치를 추가한 결합형 양방향 필터를 수행했다. 다음으로 원본 색상 영상을 보정하기 위해 다시점 시스템의 3차원 기하학적 정보를 이용했다. 보정된 영상들을 이용하여 3차원 객체 복원을 수행한 결과가 원본의 영상으로부터 복원된 3차원 객체보다 색상과 형태 관점에서 더 좋은 품질을 나타내는 것을 확인했다. 이와 같은 저렴한 3차원 정보 획득 장치인 Kinect를 이용하여 구현된 다시점의 3차원 객체 복원 방법이 게임, 영화, 교육 등 다양한 분야에서 활용되

기를 기대한다.

- References -

- [1] "Camera Calibration Toolbox for MATLAB: <http://www.vision.caltech.edu/bouguetj>."
- [2] J. Kopf, M. F. Cohen, D. Lischinski, and M. Uyttendaele, "Joint Bilateral Upsampling," *Proc. of ACM SIGGRAPH*, pp. 1-5, New York, USA, Jan. 2007.
- [3] D. Shin and Y. Ho, "Real-time Depth Image Refinement using Hierarchical Joint Bilateral Filter," *Journal of The Korean Society of Broadcast Engineers*, vol. 19, no. 2, pp. 140-147, Mar. 2014.
- [4] <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/>
- [5] W. R. Mark, L. McMillan, and G. Bishop, "Post-rendering 3D Warping," *Proc. of Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp. 7-16, New York, USA, Apr. 1997.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Polynomial_regression
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space
- [8] J. Sanders and E. Kandrot, "CUDA by example", Addison-Wesley Professional, pp. 116-120, July 2010.

저 자 소 개



신 동 원(준회원)

2013년 금오공과대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.
2013년 ~ 현재 광주과학기술원 정보통신공학부 석사과정.

<주관심분야 : 3차원 객체 복원, 다시점 시스템, Kinect>



호 요 성(정회원)

1981년 서울대학교 전자공학과 학사
1983년 서울대학교 전자공학과 석사
1989년 University of California, Santa Barbara, Department of Electrical and Computer Engineering 박사

1983년 ~ 1995년 한국전자통신연구소 선임연구원
1990년 ~ 1993년 미국 Phillips 연구소, Senior Research Member

1995년 ~ 현재 광주과학기술원 정보통신공학부 교수
<주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송>