
3차원 배우 모델링을 위한 깊이 영상의 손실된 머리카락 영역 복원

Reconstruction of the Lost Hair Depth for 3D Human Actor Modeling

조지호, Ji-Ho Cho*, 장인엽, In-Yeop Chang**, 이관행, Kwan H. Lee***

요약 본 논문에서는 3차원 배우 모델링을 위해, 깊이 카메라를 이용하여 깊이 영상 획득 시 손실되는 머리카락 영역에 대한 복원기법을 제안한다. 대상 객체의 동적인 3차원 정보는 적외선 센서가 장착된 깊이 카메라를 통하여 실시간으로 획득한다. 이때, 깊이 비디오뿐만 아니라 각 프레임마다 컬러영상이 동시에 획득된다. 그러나 대상 객체의 일부 또는 전체가 반짝이면서 어두운 재질로 되어있을 경우 획득한 깊이 영상에서 그 부분 전체가 손실되는데, 이는 특히 방송용 콘텐츠로서 연기자의 3차원 정보를 획득할 때 머리카락 영역이 손실되어 매우 부자연스러운 결과를 초래한다. 이러한 문제점을 손실된 영역의 복원을 통해 해결한다. 먼저 컬러 영상을 이용하여 손실된 영역의 위치 정보를 알아내고, 손실된 영역 내 경계부분의 깊이 정보를 복원한 후 2차 베지어 커브로 보간하여 내부의 깊이 정보를 복원한다. 개선된 깊이 영상을 기반으로 일련의 모델링 과정을 수행하면 보다 자연스러운 3차원 모델을 생성할 수 있다. 생성된 3차원 모델은 실감방송용 콘텐츠로 사용될 수 있으며, 시청자에게 시각상호작용과 촉각상호작용 등 다차원 감각의 상호작용을 제공할 수 있다.

Abstract In this paper, we propose a reconstruction technique of the lost hair region for 3D human actor modeling. An active depth sensor system can simultaneously capture both color and geometry information of any objects in real-time. However, it cannot acquire some regions whose surfaces are shiny and dark. Therefore, to get a natural 3D human model, the lost region in depth image should be recovered, especially human hair region. The recovery is performed using both color and depth images. We find out the hair region using color image first. After the boundary of hair region is estimated, the inside of hair region is estimated using an interpolation technique and closing operation. A 3D mesh model is generated after performing a series of operations including adaptive sampling, triangulation, mesh smoothing, and texture mapping. The proposed method can generate recovered 3D mesh stream automatically. The final 3D human model allows the user view interaction or haptic interaction in realistic broadcasting system.

핵심어: *depth camera, 3D Human modeling, Reconstruction of depth information*

본 논문은 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터(RBRC) 지원사업(IITA-2006-C1090-0603-0017)과 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업(No. R0A-2007-000-20049-0)으로 수행된 연구임.

*주저자 : 광주과학기술원 정보기전공학부 박사과정; e-mail: jhcho@gist.ac.kr

**공동저자 : 광주과학기술원 정보기전공학부 석사과정; email: inyeop@gist.ac.kr

***교신저자 : 광주과학기술원 정보기전공학부 교수; e-mail: khlee@gist.ac.kr

1. 서론

정보통신기술과 초고속 네트워크 기술의 급속한 발전에 따라 방송 기술도 단순 시청형에서 정보 선택형, 정보 맞춤형을 거쳐 정보 창조형의 단계로 발전하고 있다. 최근에는 방송 기술과 시스템의 발전으로 디지털 멀티미디어가 방송 분야에서 널리 활용되고 있으나, 기술적인 제약 때문에 단순히 고품질의 소리와 영상을 표현하고 재현하는 데 중점을 두고 있다. 미래에는 시청자가 3차원으로 보고, 듣고, 화면 속의 콘텐츠와 상호작용을 하는 등의 실감방송 서비스가 가능하기 때문에 3차원 실감방송 미디어와 양방향 상호작용 기술에 대한 요구가 증가할 것으로 예측되고 있다. 이에 따라 시청자에게 사실감을 부여하기 위해 실세계의 동적인 객체나 배우를 모델링 하는 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

동적인 객체로부터 3차원 정보를 획득하는 방법으로는 객체 주위에 여러 대의 카메라를 설치하여 완전한 3차원 모델을 생성하는 방법과 능동 깊이 센서 또는 스테레오 카메라를 이용하여 2.5 차원의 깊이 정보를 획득하는 방법이 있다.

여러 대의 카메라를 이용하여 동적인 객체의 3차원 정보를 획득하는 방법으로 shape-from-silhouettes 기법이 많이 이용되고 있다[2-3]. 이 방법을 이용하기 위해서는 카메라 보정을 통해 각 카메라의 내 외부 파라미터를 추출해야 하며, 추출된 카메라 파라미터와 각 카메라로 획득한 영상의 실루엣을 이용하면 convex hull 형태의 형상을 생성할 수 있다. 이 기법으로 비교적 빠르고 정확하게 객체의 3차원 정보를 획득할 수 있지만, 제한된 스튜디오 환경에서만 사용이 가능하다. 또한 획득된 3차원 모델의 품질이 설치된 카메라의 대수와 카메라 보정결과에 크게 좌우된다.

능동 깊이 센서를 사용하는 깊이 카메라는 가격이 비싼 단점이 있지만, 수동적 방법인 스테레오 카메라를 이용하는 것보다 상대적으로 정밀한 깊이 값을 실시간으로 획득할 수 있다. 또한 촬영 장소에 구애 받지 않고 자유로운 환경에서 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다[4-5].

근래에 이러한 깊이 비디오를 기반으로 한 모델링 기술이 개발되었다[6]. 이 기법을 이용하면 각 깊이 영상이 3차원 형상으로 변환되어, 전체 깊이 비디오가 3차원 메쉬 스트림의 형태로 변환된다. 변환된 3차원 모델은 비교적 좋은 품질이면서 동시에 측각 상호작용이 가능하도록 충분히 부드럽다. 그러나 깊이 비디오를 이용하여 획득한 깊이 영상은 반짝이면서 어두운 영역을 포함하지 않는다. 따라서 획득한 깊이 영상에 3차원 모델링 기법을 그대로 적용하면 검은 머리 카락을 가진 사람을 제대로 표현할 수 없다.

본 논문에서는 깊이 카메라 시스템으로부터 획득한 두 장의 영상 즉, 컬러 영상과 깊이 영상을 이용하여 손실된 영역의 위치 정보를 파악하고, 그 영역의 깊이 정보를 복원하는 기

법을 제안한다. 하지만, 사람의 머리카락은 그 형상이 매우 다양하기 때문에 한 장의 컬러영상과 깊이영상으로 모든 형태의 머리카락을 정확히 복원하는 것은 불가능하다. 본 연구에서는 가장 단순한 형태로, 단발 형에 머리카락에 아무런 처리를 하지 않은 상태에서 정면을 응시하고 있는 배우만을 대상으로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대하여 논하고, 3장에서는 깊이 영상의 획득 방법과 획득한 깊이 영상의 문제점에 대하여 기술한다. 4장에서는 손실된 영역의 깊이 정보를 복원하는 방법에 대해 자세히 기술하고, 5장에서는 깊이 영상 기반 모델링을 소개한다. 6장에서 실험결과와 응용분야에 대하여 설명한 후 7장에서는 향후연구와 함께 결론을 맺는다.

2. 관련연구

영상에서 손실 또는 훼손된 영역을 복원하는 기술은 디지털 영상처리 분야에서 활발히 진행 중인 연구 분야이다.

컬러영상에서 손실된 영역을 복원하는 대표적 연구는 디지털 인페인팅(Digital Inpainting)기술이다[7-8]. 이 연구에서는 통계학적 방법을 이용하여 손실영역을 복원한다. 복원해야 할 영역 중 비슷한 부분을 구조전파(structure propagation)기술로 복원한 후 나머지 손실 영역을 각 패치별로 텍스처 합성(Texture Synthesis)을 이용하여 복원한다. 그러나 대부분의 알고리즘이 사용자의 도움을 필요로 하기 때문에 자동화가 어렵다. 또한 주로 컬러 데이터의 통계적 분석을 기반으로 하기 때문에 깊이 영상에 그대로 적용하여 좋은 결과를 내기는 어렵다.

Torrez-Meddez는 부분적인 깊이 영상과 흑백영상, 그리고 흑백영상의 에지(edge)영상을 이용하여 깊이영상에서 정보가 없는 부분을 복원하였다[9-10]. 이 연구에서는 깊이영상과 흑백영상을 바탕으로 마코프 랜덤 필드(MRF)를 생성하여 깊이 값을 예측한다. 이 방법은 적은 깊이 정보로 비교적 정확하게 영상전체의 깊이 정보를 생성하지만, 본 연구에서 사용하는 데이터처럼 머리카락과 같은 특정부분이 손실된 경우에는 손실영역의 주변에 사용할 수 있는 데이터가 없기 때문에 잘 적용되지 않는다.

3차원 형상을 측정할 때 재질 반사특성, 가려짐 현상 등의 이유로 특정부분이 손실되는 현상이 자주 발생하는데, 이를 해결하기 위한 홀 채움(Hole filling) 기술에 대해 많은 연구가 진행되었다[11-13]. 그중 Wang은 점 데이터를 메쉬로 변환한 후 이동최소자승법(Moving Least Square)을 바탕으로 홀을 채운다. 그러나 홀이 비교적 작거나 참조할 주위의 데이터가 충분할 경우에 적합하고, 본 논문에서와 같이 홀이 크고 인접한 위치에 참조할 수 있는 데이터가 부족한 경우

에는 부드러운 곡면을 생성하기 어렵다.

3. 깊이 영상의 획득

깊이 카메라는 대상객체의 컬러 정보를 획득하는 RGB 카메라와 깊이 정보를 획득하는 D 카메라로 구성되어 있으며, 동적객체의 컬러 및 깊이 정보를 실시간으로 획득한다. 이때 획득한 컬러 정보는 24비트의 RGB 컬러로 표현되며, 깊이 정보는 카메라로부터 대상 객체사이의 거리를 8비트 레벨로 표현된다.

객체의 깊이 값은 TOF(time-of-flight)기법을 이용하여 측정한다[4]. TOF의 신호로 적외선 레이저를 이용하여 카메라에는 적외선 센서가 장착되어 대상객체에서 반사되는 적외선 신호를 감지한다. D-모듈은 입사광을 가시광선과 적외선으로 분리하여 가시광선은 RGB카메라로, 적외선은 D-카메라로 전송한다. 측정영역은 사용자에 의해 조절가능 하며 'light wall'이라는 영역이 256레벨로 양자화 되어 대상객체의 깊이 정보를 8비트의 흑백 영상으로 저장한다. 그림 1은 720 x 486의 해상도를 가지는 컬러 영상과 깊이 영상을 나타낸다.

그러나 측정된 객체의 일부 또는 전체가 반짝이면서 어두운 채질로 되어있을 경우, 반사된 적외선 신호의 세기가 매우 약할 뿐만 아니라 산란되기 때문에 적외선 센서가 그 신호를 감지하지 못한다. 즉, 깊이 카메라를 이용하여 획득한 깊이 영상은 반짝이면서 어두운 영역을 포함하지 않는다. 이처럼 깊이 카메라를 이용하여 배우를 촬영할 경우, 검은 머리카락을 가진 사람을 제대로 표현할 수 없기 때문에 3차원 모델링 시 심각한 문제를 초래한다. 이러한 문제점 때문에 이전연구에서는 배우가 머리에 모자를 쓰고 촬영에 임해야 했는데, 이는 항상 모자를 써야 하므로 매우 불편할 뿐만 아니라 부자연스럽다. 본 논문에서는 보다 자연스러운 3차원 배우 모델을 생성하기 위해 손실된 검은 머리카락 영역의 깊이 정보를 복원하는 방법을 제시한다.

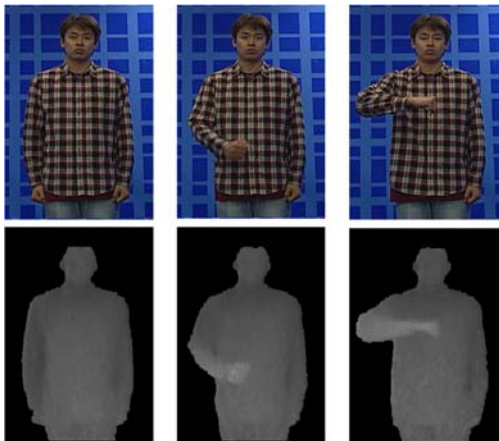


그림 1. 깊이 카메라로 획득한 영상

4. 손실된 영역의 복원과정

그림 2는 깊이 영상에서 손실된 영역의 깊이 값을 복원하는 과정을 보인다. 손실된 영역의 깊이 정보를 복원하기 위해서는 먼저 손실된 영역의 위치를 파악해야 하는데, 대응되는 컬러 영상에는 손실된 머리카락 영역의 위치 정보를 포함하고 있다. 사람의 머리카락 영역은 얼굴 위에 존재하기 때문에 얼굴검출기를 통해 손실영역이 있는지를 판단한다. 검출된 얼굴의 원점을 기준으로 오프셋만큼 위를 초기 씨앗 점으로 설정한 다음 그 점 주위에 여러 개의 씨앗 점을 생성한 후에 이에 해당하는 컬러 영상을 검사하여 손실여부를 판단한다. 손실영역이 있는 경우, 다중 씨앗 점들로부터 영역확장을 하여 손실된 머리카락 영역을 찾아낸다. 자세한 내용은 4.1절에서 다룬다.

손실된 영역의 위치를 탐색한 후 그 깊이 값을 복원하기 위해서는 경계의 깊이 값이 복원되어야 한다. 앞에서 얻어진 실루엣 이미지에 체인코드 알고리즘을 적용하여 객체의 경계정보를 획득한다. 획득된 경계정보에 기존 깊이 영상의 깊이 값을 할당하더라도 손실된 영역의 깊이 값을 알 수 없기 때문에 선형 보간법을 이용하여 손실된 경계의 깊이 값을 복원하였다.

경계의 깊이 값만을 복원했기 때문에 깊이 영상에는 커다란 홀(hole)이 존재한다. 사람의 머리는 타원형의 부드러운 형상을 가지기 때문에 3개의 컨트롤 포인트를 가지는 2차 베지어 곡선(Quadratic Bezier Curve)을 이용하여 손실된 영역의 내부를 복원한다.

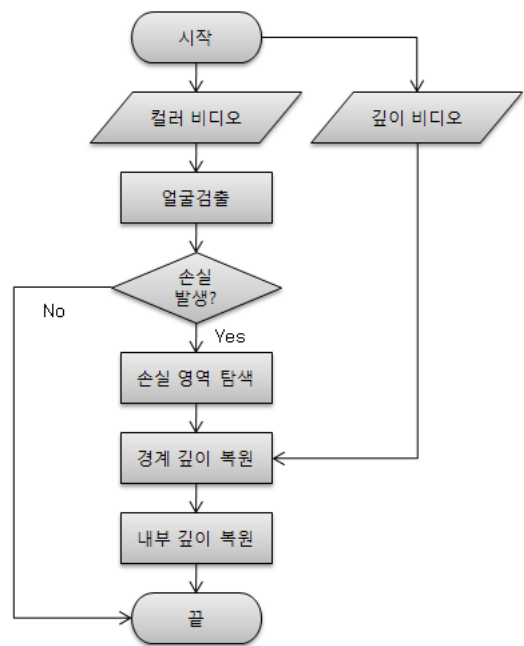


그림 2. 손실된 머리카락 영역 복원과정



그림 3 얼굴 검출결과 및 초기 씨앗 점의 선정

4.1 얼굴검출을 통한 손실된 머리카락 영역의 탐색

깊이 카메라에 장착된 적외선 센서가 반사된 적외선을 감지하지 못하기 때문에 원본 깊이영상에는 손실이 발생하지만, 컬러 카메라는 가시광선을 받아 RGB 영상으로 저장하므로 획득영상에 손실이 발생하지 않는다. 따라서 컬러영상을 이용하여 깊이영상의 손실영역을 찾는다.

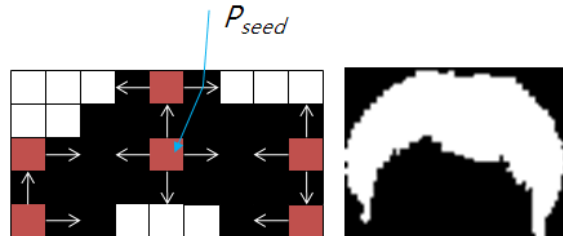
앞에서 손실된 영역이 머리카락영역임을 가정했으므로, 먼저 OpenCV library에서 제공하는 얼굴검출기로 얼굴영역을 검출한다[14]. 그림 3은 얼굴 검출 결과와 초기 씨앗점 선정결과를 보인다. 그림 3에서 나타난 원점 O 의 y 좌표에 반지름 r 과 오프셋 ϵ 을 더하여 머리카락 영역의 초기 씨앗 점 p_{seed} 를 찾는데, 원점 O 의 좌표가 (x,y) 일 때, 초기 씨앗 점의 좌표는 다음과 같다.

$$O = (x, y) \quad (1)$$

$$p_{seed} = (x, y+r+\epsilon) \quad (2)$$

초기 씨앗 점 p_{seed} 만을 이용하여 영역확장을 수행하면, 그 결과가 오프셋 ϵ 의 값과 머리의 형태에 매우 의존적이기 때문에 머리카락 영역의 검출에 실패할 가능성이 높다.

이를 해결하기 위해서 그림 4(a)의 첫 번째 씨앗 점 p_{seed} 를 바탕으로 주변에 여러 개의 씨앗 점을 생성한다. 이때 손실 영역의 존재여부를 판별하게 되는데, 단순히 각 씨앗 점들의 컬러 값이 일정 문턱값(threshold value)크면 손실영역이 없는 것으로 간주한다. 어두운 머리카락을 가진 사람의 경우에만 손실이 발생하므로, 머리카락이 없거나, 밝은 색의 머리카락인 경우엔 머리복원 과정을 생략한다.



(a) 다중 씨앗 점을 이용한 영역확장 (b) 머리카락 영역 검출
그림 4. 다중 씨앗 점을 이용한 영역확장

손실 영역이 존재할 경우, 앞에서 구한 다중 씨앗 점을 바탕으로 영역확장을 하여 그림 4(b)와 같이 머리카락 영역을 검출한다. 깊이 영상을 이용하면 그림 5(b)와 같이 쉽게 실루엣 영상을 생성할 수 있고, 머리카락의 실루엣과 논리합(union, OR) 연산을 수행하면 그림 5(a)처럼 손실된 머리카락 영역이 포함된 실루엣이 생성된다.

4.2 경계 깊이 정보 복원

손실된 머리카락 영역의 위치가 검출되었지만, 깊이정보는 존재하지 않기 때문에 추가적으로 깊이 정보를 복원하는 과정이 필요하다. 머리카락영역 내부의 깊이 값을 복원하기 위해서는 먼저 경계의 깊이 값이 복원되어야 한다. 이 절에서는 손실된 머리카락 영역 중 경계부분의 깊이 값을 복원하는 방법을 기술한다.

앞 절에서 얻어진 컬러영상의 실루엣 이미지(그림 5(a))에 체인코드 알고리즘을 적용하여, 그림 5(c)에서 보는 것과 같이 시계 방향으로 정렬되어 있는 경계 리스트 l_c 를 획득한



(a) 컬러영상의 실루엣 (b) 깊이영상의 실루엣 (c) 컬러영상의 경계리스트 (d) 깊이영상의 경계리스트 (e) 경계깊이 복원결과

그림 5. 실루엣, 경계리스트 및 경계 깊이 복원 결과

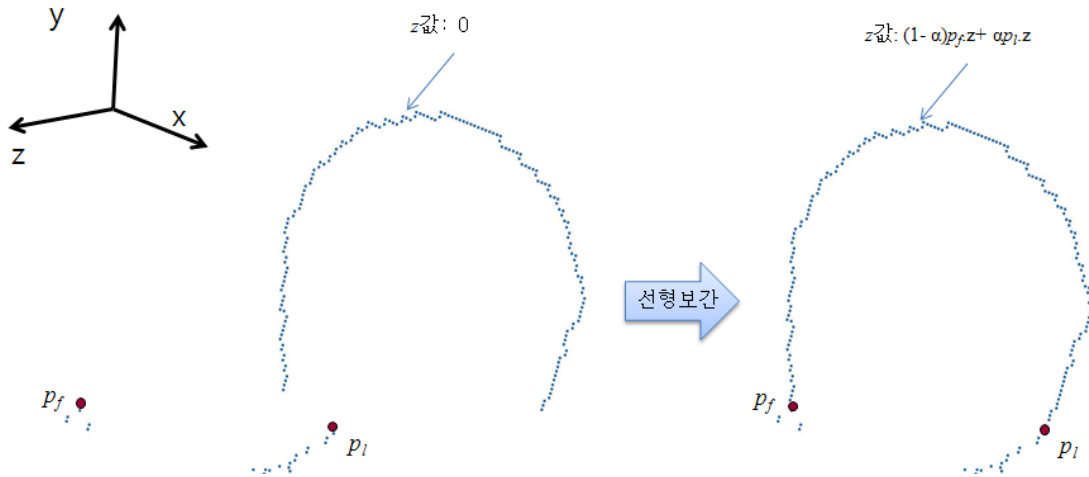


그림 6. 경계의 깊이 정보 복원

다. 획득한 경계정보에 기존 깊이 영상에서 깊이 값을 추출하여 할당하면, 리스트 l_c 의 각 원소(element)는 위치정보에 해당하는 x, y 값과 깊이 정보에 해당하는 z 값을 가진다. 그러나 원본 깊이 영상에는 손실된 영역에 대한 깊이 값이 존재하지 않기 때문에, 그림 6의 왼쪽그림에서 보는 것과 같이 l_c 중 손실된 머리카락 영역에 해당하는 원소의 z 값은 0이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 리스트 중 z 값이 0이 아닌 원소들을 시작과 끝점으로 지정한 후 선형보간 하여 손실된 깊이 값을 복원한다. 리스트 l_c 를 시계방향으로 검색했을 때 처음으로 깊이 값이 0이 아닌 원소를 p_i 맨 마지막에 나타나는 0이 아닌 원소를 p_f 로 지정한다. p_f 에서 시작하여 시계 반대 방향으로 p_i 까지 원소는 깊이 값을 가지는데 반해 p_f 에서 p_i 까지 시계방향으로는 깊이 값이 0이다. 또한 일반적으로 p_f 과 p_i 의 깊이 값이 동일하지 않으므로, 부드럽게 경계의 깊이 값을 복원하기 위해 시계방향으로 p_f 에서부터 p_i 사이에 존재하는 원소들의 깊이 값을 다음과 같은 선형 보간법에 의해서 결정한다.

$$p_i.z = (1 - \alpha)p_f.z + \alpha p_i.z, \quad i = 1, \dots, n-1 \quad (3)$$

n 은 포인트 p_f 와 p_i 사이에 존재하는 원소들의 개수를 나타내고 $\alpha = i/n$ 이다. 그림 5(e)는 손실된 머리카락 위쪽 경계의 깊이 값을 복원한 결과를 나타내고, 그림 6의 오른쪽은 복원된 실루엣 리스트를 3차원으로 보여준다.

4.3 내부 깊이 정보 복원

획득한 깊이 영상의 실루엣영상에 체인코드 알고리즘을 적용하면 그림 5(d)에서 보는 것처럼 또 하나의 경계 리스트인 l_i 가 생성된다.

l_f 와 l_c 두 리스트의 배타적 논리합 (Exclusive OR, XOR) 연산을 수행하면 손실된 머리카락 영역의 최외곽경계만을 얻을 수 있다. 4.2절에서 머리카락의 윗부분에 해당하는 포인트에 깊이 값을 할당하였고, 아랫부분에 해당하는 부분은 원본 깊이 영상에서 추출된 것이므로 최외곽경계는 깊이 정보를 가진다.

내부보간 기법으로는 주로 이차 선형보간 기법이 사용되지만, 사람의 머리는 타원형의 부드러운 형상을 가지기 때문에 이차 선형 보간 기법을 이용하면 부자연스러운 형상으로 복원된다. 그러므로 보다 자연스러운 형상을 얻기 위해서 3개의 조절점을 필요로 하는 2차 베지어 곡선을 이용하여 손실된 영역의 내부를 복원한다[15]. 본 논문에서는 최외곽경계 중 위쪽과 아래쪽에 해당하는 두 개의 조절점을 이미 가지고 있기 때문에 한 개의 조절점만 더 설정하면, 쉽게 부드러운 곡선을 생성할 수 있으므로 2차 베지어 곡선을 이용하였다.

그림 7은 2차 베지어 커브를 이용한 내부 깊이 복원방법을 나타낸다. 내부의 임의의 포인트 P 는 포인트 x, y 에 위치하지만 깊이 값은 0이다. P 의 깊이 정보는 최외곽경계 중 P 를 기준으로 좌, 우, 위, 아래인 P_b, P_r, P_t, P_b 네 점과 조절점 두 개를 사용하여 결정된다. 그림 8(a)는 Y 방향 복원을 YZ 평면에 투영 시킨 그림이다. 이때의 조절점 $P_{c,y}$ 의 x 좌표는 x , y 좌표는 P_t 의 y 좌표인 y_t , z 좌표는 P_b 의 z 좌표인 z_b 가 사용된다. 이는 일반적으로 머리카락 영역 중 아래에 해당하는 P_b 의 깊이 값이 P_t 의 깊이 값보다 크기 때문이다.

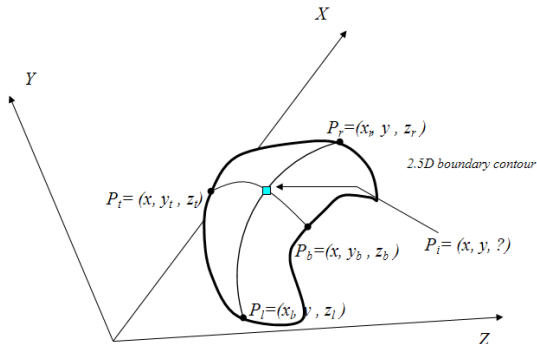
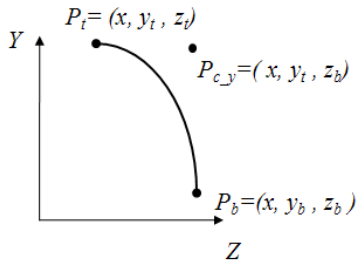
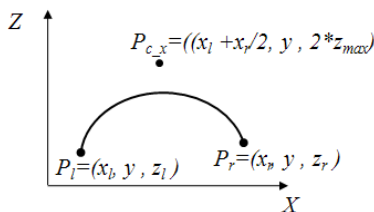


그림 7. 2차 베지어 커브를 이용한 내부 깊이 복원



(a) Y방향 복원 (YZ 평면에 투영한 결과)



(b) X방향 복원 (ZX 평면에 투영한 결과)

그림 8. y방향 복원 및 x방향 복원

그림 8(b)는 X방향 복원을 ZX평면에 투영시킨 그림이다. X 방향 복원 시에 사용되는 두 끝점인 P_b , P_r 은 머리카락의 좌우 끝점에 해당하여 깊이 값이 비슷하고, 양 끝점의 중간 정도에 해당하는 좌표의 깊이 값이 최고점이다. 따라서 조절점 $P_{c,x}$ 의 x좌표는 P_b 과 P_r 의 중간점, y좌표는 y , z좌표는 최외곽경계의 깊이 값 중 최댓값의 두 배로 결정하였다. 즉, 임의의 포인트 P 는 다음과 같은 이중 2차 베지어 곡선으로 결정

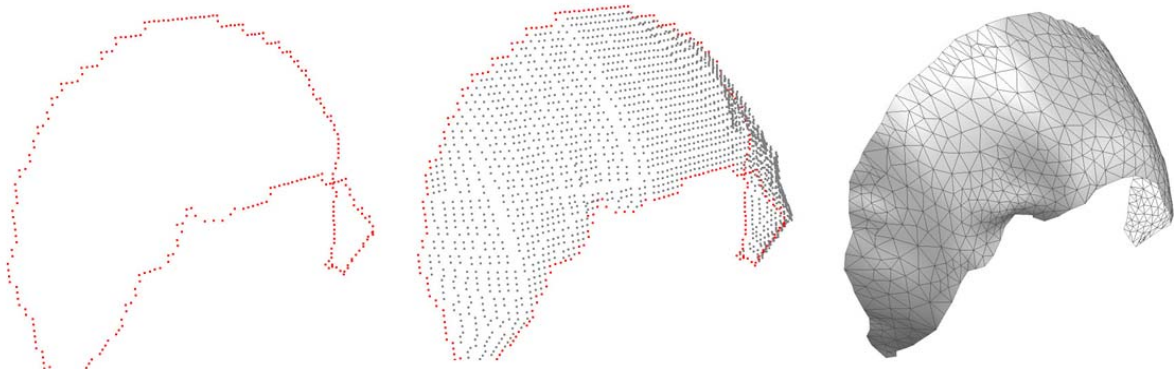


그림 9. 내부 깊이 정보 복원 결과

된다.

$$B_1(t_1) = (1 - t_1)^2 P_b + 2t_1(1 - t_1)P_{cy} + t_1^2 P_i \quad (4)$$

$$B_2(t_2) = (1 - t_2)^2 P_i + 2t_2(1 - t_2)P_{cx} + t_2^2 P_r \quad (5)$$

$$P_i = B(t_1, t_2) = \frac{B_1(t_1) + B_2(t_2)}{2} \quad (6)$$

그림 9의 왼쪽은 내부 깊이 정보 복원을 하기 전 상태를 보여주고, 가운데는 2차 베지어 커브를 이용하여 내부를 복원한 그림을 나타낸다. 오른쪽은 메쉬 생성결과이다.

5. 깊이 영상 기반 3차원 모델링에 적용

본 장에서는 깊이 영상 기반 3차원 모델링 (DIBM: Depth Image Base Modeling) 기법을 소개한다[16-17].

DIBM의 입력으로는 깊이 비디오로 획득한 깊이 비디오가 사용된다. 본 논문에서는 그림 7(b)와 같이 머리카락이 복원된 깊이 비디오를 사용하였다. 획득한 원본 깊이 영상은 노이즈가 매우 심하기 때문에, 2D 영상의 노이즈 제거 기법 중 미디언 필터링이 사용된다.

깊이 영상의 모든 픽셀들을 삼각메쉬 생성에 이용하면 필요 이상의 중복된 삼각메쉬가 생성된다. 따라서 최종 메쉬의 품질과 제한된 컴퓨팅 자원을 고려한다면 적은 수의 의미 있는 픽셀만을 선별하여 이용해야 한다. 이를 위해, 깊이 정보의 변화량이 큰 의미 있는 픽셀만을 판별하여 특징점으로 이용한다. 특징점 추출은 입력영상 1차 그레디언트 (1st gradient) 해석을 통해 깊이의 변화가 큰 정점만을 적응적으로 추출한다.

추출된 특징점에 경계라인을 제약조건으로 하는 Delaunay 삼각화 기법을 적용하여 2차원 메쉬를 생성한 후, 2차원 메쉬를 핀홀(pinhole) 카메라 모델을 이용하여 3차원으로 투영하면 3차원 메쉬가 생성된다[16]. 그러나 생성된 3차원 메쉬 모델도 여전히 형상 노이즈를 포함하고 있기 때문에 가우시안 스무딩 (gaussian smoothing)을 적용한다.

최종적으로 부드러운 3차원 메쉬모델이 생성되면, 입력 컬러 영상상이 텍스처로 사용되어 실감나는 3차원 모델을 출력한다. 그림 10은 DIBM의 개괄적인 순서도를 보인다.

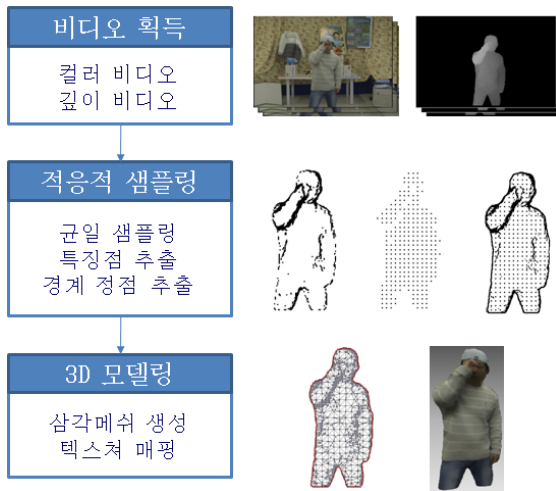


그림 10. 깊이 영상 기반 모델링 과정

6. 실험 결과 및 응용

6.1 결과 비교

깊이카메라로 측정된 모든 영상은 720 X 486의 해상도를 가지는 Standard Definition (SD)급이다. 본 논문에서 제안한 손실된 머리카락영역을 복원한 후에 깊이 영상 기반 모델링 기법[18]을 이용하여 3차원 모델을 생성하였다. 그림 11의 오른쪽은 개선한 깊이 영상을 기반으로 모델링 한 결과이고 왼쪽은 원본 깊이 영상을 기반으로 모델링 한 결과이다. 그림에서 보는 것처럼 제안한 방법을 거쳐 손실된 영역이 복원된 영상에 대한 결과가 훨씬 더 자연스럽다. 그림 12는 손실영역 복원결과를 여러 각도에서 보여 준다. 90도 결과를 보면 원본 깊이카메라의 측정 해상도의 한계로 눈, 코, 입과 같이 중요한 특징을 제대로 표현하지 못하지만, 머리카락이 자연스럽게 복원된 결과를 볼 수 있다.



그림 11. 깊이 영상 기반 모델링 결과

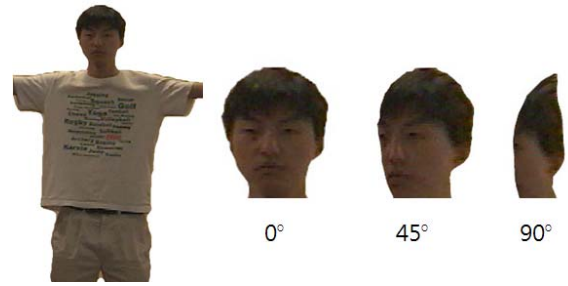


그림 12. 깊이 영상의 복원결과

6.2 응용분야

생성된 3차원 모델과 가상의 3차원 배경을 합성하면 방송용 콘텐츠를 제작할 수 있다. 생성된 모델을 이용하여 여러 시점의 가상카메라를 설정한 후 렌더링 하면 다 시점의 장면을 생성하는 것이 가능하다. 이러한 기술을 이용하면 미래의 방송에서는 시청자가 다양한 시점에서 배우를 바라보는 것이 가능해진다. 또한 햅틱장비를 이용하면 시청자가 화면 속의 배우나 CG 객체를 만져볼 수 있다[19].

7. 결론

본 논문에서는 깊이 카메라를 이용하여 동적 객체의 3차원 정보를 얻을 수 있는 데이터 손실 문제를 다루었다. 손실된 정보는 해당 컬러 정보와 원본 깊이 정보의 깊이 정보를 기반으로 복원하며 그 과정은 다음과 같다. 먼저 컬러 영상의 실루엣 정보를 이용하여 손실된 영역을 탐색한 후, 경계부분의 깊이 정보 복원을 수행한다. 마지막으로 2차 베지어 곡선을 통해 손실된 영역 내부를 복원한다. 이렇게 손실된 영역이 복원된 깊이 영상은 깊이 영상 기반 모델링과정을 통해 3차원 배우 모델로 변환되고 이는 가상의 배경, CG객체 등과 합성되어 3차원 콘텐츠로 이용될 수 있다. 생성된 3차원 콘텐츠를 이용하면 다시점 생성 및 햅틱 상호작용 등 실감 방송 서비스가 가능하다.

하지만, 본 연구에서는 검은 머리카락을 가진 사람을 측정할 때 생기는 문제점을 다루었다. 또한 깊이 영상을 복원할 때 기존 정보를 이용하여 부드럽게 복원하는 방법을 사용하였고, 이는 실제의 머리카락의 깊이 정보를 의미하지 않는다. 본 연구에서는 한 대의 카메라만을 이용했기 때문에, 정면을 바라보는 배우에 대해서만 적용될 뿐만 아니라, 긴 머리를 배우나 다양한 헤어스타일을 가진 경우에도 제대로 처리할 수 없다.

향후 연구로, 기존의 깊이 카메라 시스템에 다수의 카메라를 추가로 설치할 예정이다. 다수의 카메라를 이용하면 시스템이 복잡해지는 단점이 있지만, 이를 이용해 3차원 정보를 추정할 수 있기 때문에 다양한 헤어스타일을 정확하게 복원할 수 있고, 시청자에게 더욱 다양한 시점을 보다 자연스럽게

제공할 수 있다.

참고문헌

- [1] A. Smolic et al., "Free Viewpoint Video Extraction, Representation, Coding, and Rendering", Proc. ICIP, vol. 5, pp. 3287-3290, 2004.
- [2] W.Niem, "Robust and Fast Modeling of 3D Natural Objects from Multiple Views," Proc. SPIE, vol. 2182, pp. 388-397, 1994.
- [3] J. Carranza, C. Theobalt, M. Magnor, H. P. Seidel, "Free-viewpoint video of human actors", ACM Transaction on Graphics, vol. 22, no. 3, Association for Computing Machinery, pp. 569-577, 2003.
- [4] G.J. Iddan and G. Yahav, "3D Imaging in the studio and elsewhere", Proc. SPIE, Vol. 4298, pp.48-55, 2001
- [5] ZCam™ add-on, <http://www.3dvsystems.com>.
- [6] 김승만, 박정철, 이관행, "적응적 샘플링을 이용한 깊이 맵 기반 3차원 매쉬 모델링", 제18회 신호처리합동 학술대회, Vol. 18, No. 1, pp.157, 2005.
- [7] Jian Sun, Lu Yuan, Jiaya Jia, Heung-Yeung Shum, "Image completion with structure propagation", ACM Transaction on Graphics, vol. 24, no. 3, Association for Computing Machinery, pp. 861-868, 2005.
- [8] A. Criminisi, P. P'erez, K. Toyama, "Region Filling and Object Removal by Exemplar-Based Image Inpainting", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 9. Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 1200-1212, 2004
- [9] Luz A. Torres-Méndez and Gregory Dudek, "Reconstruction of 3D Models from Intensity Images and Partial Depth", Proc. American Association for Artificial Intelligence (AAAI), pp. 476-481, 2004
- [10] Luz A. Torres-Ménez, G. Dudek and P. D. Marco, "Inter-Image Statistics for Scene Reconstruction", Proc. 1st Canadian Conference on Computer and Robot Vision, pp. 432-439, 2004
- [11] P. Liepa, "Filling Holes in Meshes", Proc. Symposium on Geometry Processing, pp. 200-205, 2003
- [12] J. Wang and M. Oliveira, "A Hole-Filling Strategy for Reconstruction of Smooth Surfaces in Range Images", Proc. XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, pp.11-18, 2003
- [13] J. Davis, S. Marschner, M. Garr and M. Levoy, "Filling Holes in Complex Surfaces using

Volumetric Diffusion", Proc. First International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, Transmission, pp. 428-438, 2002.

- [14] OpenCV library, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>.
- [15] D. Marsh, "Applied geometry for computer graphics and Cad", 1999.
- [16] 김승만, 박정철, 조지호, 이관행, "형상 스무딩과 Z-buffer 렌더링을 이용한 깊이 영상의 노이즈 필터링," HCI 2006 학술대회, Vol. 1, pp. 1188-1193, 2006.
- [17] Seung-man Kim, Jeung Chul Park, and Kwan H. Lee, "Natural-Textured Mesh Stream Modeling from Depth Image-Based Representation", Proc. ICCSA, pp. 480-489, 2006
- [18] 박정철, 김승만, 이관행, "경계라인 제약조건을 이용한 깊이 맵 기반 매쉬 모델링", 한국 정보과학회, 가을 학술대회, Vol. 32, No. 2, pp. 682-684, 2005.
- [19] J. Cha, S. Kim, S. Kim, S. Kim, S. Yoon, I. Oakley, J.Ryu, K. Lee, W. Woo, and Y. Ho, "Client System for Realistic Broadcasting: A First Prototype", Proc. Pacific-Rim Conf. Multimedia, LNCS 3768, pp. 176-186, 2005.

조지호



1999년 3월 ~ 2003년 2월 한림대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학학사). 2003년 3월 ~ 2005년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(공학석사). 2005년 3월 ~ 현재 광주과학기술원 정보기전공학부 박사과정 재학 중. 관심분야는 HCI, 멀티미

디어 임.



장인엽

2002년 3월 ~ 2006년 2월 세종대학교 디지털콘텐츠학과 졸업(공학학사). 2006년 3월 ~ 현재 광주과학기술원 정보기전공학부 석사과정 재학 중. 관심분야는 컴퓨터그래픽스, 멀티미디어 임.



이관행

1972년 3월 ~ 1976년 2월 서울대학교 섬유공학과 졸업(공학학사). 1980년 3월 ~ 1982년 2월 서울대학교 산업공학과 졸업(공학석사). 1983년 9월 ~ 1985년

8월 North Carolina State University 산업공학과 졸업(공학석사). 1985년 9월 ~ 1988년 8월 North Carolina State University 산업공학과 졸업(공학박사). 1988년 9월 ~1994년 12월 Northern Illinois University 조교수. 1995년 3월 ~현재 광주과학기술원 기전공학과 교수. 관심분야는 CAD, 컴퓨터 그래픽스임.