

다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용한 3차원 실감방송 콘텐츠 제작

호요성 (광주과학기술원)

I. 서론

2009년 개봉한 영화 ‘아바타’ 이후, 국내외에서 3차원 영상의 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 이제 3차원 영상은 영화뿐 아니라, 각 가정의 TV나 디지털 카메라, 모바일 단말기 등에 이르기까지 폭넓게 보급되고 있다. 일부 선진 방송국들은 이미 3차원 방송을 위한 시스템을 구축하고 3차원 방송 서비스를 제공하고 있으며, 3차원 입체 상영이 가능한 스크린의 숫자도 점점 늘어나고 있다. 또한 ‘타이타닉’이나 ‘스타워즈’와 같은 인기 영화들은 3차원으로 변환되어 재개봉을 앞두고 있고, 2012년 런던 올림픽과 같이 전 세계가 함께 시청하는 스포츠 중계 콘텐츠는 이미 3차원 촬영, 전송 및 재현이 예고되어 있다. 따라서, 이제는 3차원 영상의 시대가 시작되었다고 해도 과언이 아니다.

이러한 3차원 영상에 대한 관심과 연구는 기원전 300년경 그리스의 수학자 유클리드(Euclid)가 양안 시차에 의한 3차원 정보 인식 개념을 정립하면서 시작되었다. 이탈리아의 레오나르도 다빈치(Leonardo Da Vinci) 역시 인간의 시각 시스템이 거리 정보를 인지한다는 것을 밝혀냈다. 이후 사진 기술이 발달하면서 입체경(stereoscope)과 양안식 입체 카메라, 적색과 청색을 사용하여 시차를 가지는 두 장의 영상을 얻는 애너글리프(anaglyph) 등이 개발되었고, 3차원 영상은 대중들에게 조금 더 친숙하게 다가왔다. 1900년대에 이르러서는 TV 방송이 시작되면서 극장의 침체기 극복을 위한 3차원 영화가 만들어졌으나, 기술의 한계 때문에 큰 인기를 얻지 못했다^[1].

최근 들어, 3차원 입체 영상이 다시 크게 주목을 받게 된 가장 큰 이유는 바로 기술의 발전이다. 영상의 촬영과 편집뿐 아니라, 부호화와 전송, 그리고 3차원 디스플레이 장치에 관한 기술은 일부 선진국을 중심으로 지난 수 년간 눈부신 발전

을 이룩해 왔다. 3차원 영상을 찍는 전문 촬영 장비와 3차원 스튜디오 기술이 개발되었고, 3차원 영상을 편집하는 영상 처리 기술 또한 많이 발전했다. 컴퓨터 그래픽스 기술은 실사 영상과 융합되어 더욱 실감나는 장면을 만들어 낼 수 있다. 많은 양의 정보를 효과적으로 압축하고 전송할 수 있는 기술, 그리고 다양한 형태의 3차원 디스플레이의 개발과 상용화를 통해 3차원 영상은 이제 대중 앞에 한걸음 더 다가서게 되었다.

이와 같이 3차원 영상 기술이 발전하고, 3차원 영상에 대한 관심이 높아지고 있지만, 아직까지는 많은 수요를 충족시킬 만큼 양질의 3차원 콘텐츠가 생산되지 못하고 있다. 이는 고가이면서 복잡한 촬영 장비와 촬영 시에 발생하는 많은 제약사항, 그리고 편집의 어려움 및 작업 시간 등을 그 이유들 수 있다. 2003년 8월 광주과학기술원에 설립된 실감방송 연구센터에서는 3차원 실감방송에 대한 연구 개발을 수행하고 있다. 다시점 입체 영상을 이용하여 사용자에게 실감나는 방송 서비스를 제공해 줄 수 있는 촬영 시스템과 스튜디오를 구축하고, 촬영, 편집, 부호화 등 3차원 실감방송 시스템을 위한 요소기술을 개발해 왔다.

본 논문에서는 광주과학기술원 실감방송연구센터에서 3차원 실감방송 콘텐츠 촬영을 위해 개발한 3차원 카메라 시스템에 대해서 소개한다. 먼저, 3차원 입체 영상 촬영 시스템의 개요와 동향을 살펴보고, 실감방송연구센터에 설치된 카메라 시스템을 소개한다.

II. 3차원 입체 영상 촬영 시스템

3차원 영상의 촬영을 위해서는 일반적으로 두 대 이상의

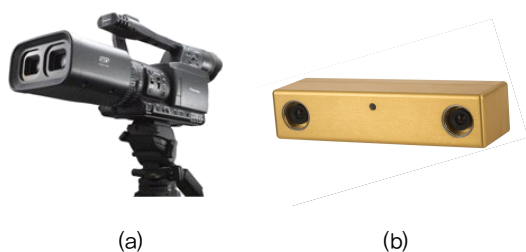
카메라가 필요한데, 이는 사람이 인지할 수 있는 입체 효과가 양안 시차에서 비롯되기 때문이다. 따라서 한 대의 디스플레이를 시청자가 볼 때, 왼쪽 눈과 오른쪽 눈으로 입력되는 영상이 올바른 시차를 가진다면 3차원 입체감을 느낄 수 있는 것이다. 본 절에서는 3차원 입체 영상을 촬영을 위한 대표적인 장비를 간략히 살펴본다.

1. 양안식 카메라 시스템

양안식(stereoscopic) 카메라 시스템은 가장 기본적인 3차원 입체 영상 촬영 시스템으로서 사람의 시각 시스템과 매우 유사하다. 카메라 두 대를 수평 방향으로 일정한 간격으로 배치하여 영상을 촬영한다. 기존의 양안식 카메라는 카메라 두 대를 이용하여 구성하는 경우가 많았으나, 촬영의 동기화 문제, 색상 차이 및 수평 유지 문제 등의 문제점을 가지고 있었다. 최근에 이러한 단점을 보완하여 양안식 촬영 전용 카메라들이 많이 출시되고 있다.

〈그림 1〉은 양안식 영상 촬영을 위한 카메라를 보여준다. 〈그림 1-(a)〉는 Panasonic에서 출시한 양안식 캠코더로 HD급 화질의 양안식 영상을 초당 30프레임의 속도로 촬영할 수 있다^[2]. 〈그림 1-(b)〉는 PointGrey에서 개발한 Bumblebee라는 소형 양안식 카메라이며, 640x480 해상도의 영상을 초당 최대 48프레임의 속도로 촬영할 수 있다^[3].

위와 같은 양안식 전용 카메라는 영상을 촬영한 후 별도의 처리 과정 없이 직접 양안식 디스플레이를 통해 입체 영상을 볼 수 있다. 또한 크기나 무게 등의 이점으로 실내외를 불문하고 원하는 장면을 촬영할 수 있다는 장점도 있다.



〈그림 1〉 양안식 전용 카메라

2. 다시점 카메라 시스템

다시점(multi-view) 카메라 시스템은 세 대 이상의 카메라를 일정한 간격으로 배치하여 3차원 장면을 촬영하는 카메라 시스템을 말한다. 카메라를 배열하는 형태에 따라 평행형과 수렴형 카메라 배열로 나눌 수 있고, 카메라를 한 행, 또는 여러 행을 배치하여 사용한다. 따라서 카메라의 개수는 세 대부터 수십 대까지 증가할 수 있으며, 각 카메라의 동기화를 위



〈그림 2〉 다시점 카메라 시스템

한 동기화 장치와 많은 양의 영상 데이터를 저장할 저장 장치 등이 필요하다.

다시점 카메라 시스템은 양안식 카메라 시스템에 비해 넓은 범위의 장면을 촬영할 수 있으며, 시청자의 시점 위치에 따라 자연스럽게 변하는 더 실감나는 입체 영상을 제공할 수 있다. 하지만 카메라의 개수가 많아진 만큼, 촬영과 편집 과정이 매우 복잡하며, 큰 시스템으로 인해 실외 촬영이나 카메라의 위치를 움직이는 촬영에 제한이 있다. 〈그림 2〉는 1차원과 2차원으로 각각 평행하게 배열된 다시점 카메라 시스템을 보여 준다^[4].

3. 깊이 카메라 시스템

앞에서 설명한 두 종류의 카메라 시스템을 이용하여 촬영된 영상을 사용하여 보통 3차원 장면의 깊이 정보를 예측하여 사용한다. 스테레오 정합(stereo matching)은 시차를 가지는 두 장의 영상을 이용하여 3차원 장면의 깊이 정보를 구하는 작업으로써, 결과로 얻은 깊이 정보와 기존의 색상 영상을 사용하면 새로운 시점에서의 영상을 생성할 수 있다. 그런데 양안식 영상, 혹은 다시점 영상을 이용하여 장면의 깊이 정보를 정확하게 예측하기란 쉬운 일이 아니다. 물체에 의한 가려짐 때문에 한쪽 시점에서만 보이는 영역이나 무늬가 없는 영역 등에서는 정확한 깊이 정보를 찾기가 상당히 어렵기 때문이다.

깊이 카메라는 Time-of-flight (TOF) 기술을 이용하여 장면의 깊이를 측정하여 스테레오 정합의 취약점을 보완할 수 있다. TOF의 원리는 카메라의 깊이 센서에서 나간 빛이 물체에 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 장면의 깊이를 실시간으로 측정하는 것이다. 〈그림 3〉은 3DV에서 개발된 깊이 카메라인 ZCam을 보인 것인데, 이는 한 대의 비디오 카메라에 깊이 측정 센서가 결합되어 촬영하는 3차원 장면의 색상 영상과 깊이 영상을 동시에 실시간으로 획득할 수 있다^[5].

이러한 장점에도 불구하고 깊이 카메라의 사용은 매우 제한적이다. ZCam의 경우, 출력되는 깊이 영상에 다량의 잡음이 포함되어 있으며, 적외선 특성에 의해 특정 물체 혹은 특정 색상에 대해 깊이 측정이 불가능하다. 또한 촬영 거리가 매우 제한되어 있기 때문에, 실내의 작은 스튜디오 환경에서



〈그림 3〉 ZCam

만 촬영이 가능하다. 최근 PMD Technology, MESA Imaging 등에서 잡음, 촬영 제약조건 등을 개선한 깊이 카메라가 출시되었으나, QCIF급의 작은 출력 해상도가 여전히 한계로 남아 있다.

4. 혼합형 카메라 시스템

혼합형(fusion) 카메라 시스템은 앞에서 소개한 양안식/다시점 카메라와 깊이 카메라를 함께 사용하여 구성된 카메라 시스템을 말한다. 이러한 카메라 시스템은 상호보완적인 특성을 지니고 있다. 이를테면, 깊이 카메라에서 획득된 데이터는 양안식 카메라에서의 스테레오 정합의 정확도와 속도 개선을 위한 정보로 사용한다. 최근 이러한 혼합형 카메라 시스템 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 〈그림 4〉와 같이 주로 양안식 카메라와 한 대의 깊이 카메라를 사용한다^[6].

그러나 혼합형 카메라 시스템을 이용하려면 서로 다른 카메라에서 획득되는 입력 영상 사이의 상관도를 높여야 한다. 또한 이종 카메라 사이의 동기화 문제 등 기계적인 제약도 극복해야 한다.



〈그림 4〉 혼합형 카메라 시스템

Ⅲ. 다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용한 3차원 실감방송 콘텐츠 제작

본 절에서는 광주과학기술원 실감방송연구센터에서 3차원 실감방송 콘텐츠 제작을 위해 구축한 카메라 시스템을 소개하고, 각 시스템에서 콘텐츠를 생성하는 방법과 결과를 간단히 설명한다.

1. 10시점 카메라 시스템

〈그림 5〉는 10대의 카메라를 평행하게 배열하여 구성된 10시점 카메라 시스템을 보여준다. 각 카메라는 네트워크 장비를 통해 동기화되어 있으며, 1024x768 해상도의 영상을 초당 30 프레임의 속도로 촬영할 수 있다. 평행 카메라 배열에서 카메라 사이의 간격은 6.5cm이며, 카메라 마운트를 이용하여 촬영 방향을 조절할 수 있다.

촬영된 10시점의 영상은 몇 단계의 처리 과정을 거쳐서 3차원 실감방송 콘텐츠로 사용될 수 있다. 먼저 카메라 보정(camera calibration)을 통해 각 카메라의 변수(camera parameters)를 획득하는데, 이는 공간상에서 카메라의 위치와 방향, 그리고 내부 특성을 나타내는 행렬로 구성되어 있다.

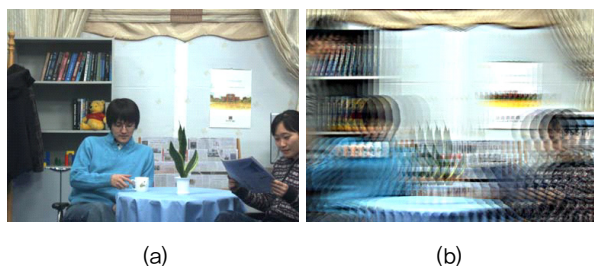
이렇게 구해진 카메라 변수를 이용하여 영상 정렬(image rectification)을 수행하는데, 영상 정렬은 카메라의 수동 배치에 따라 영상에 나타나는 오차를 최소화한다. 즉, 카메라의 높이 차이, 방향과 수평 위치 차이로 인해 일정하지 않게 나타나는 시점 사이의 변이 값이나 수직 좌표 값에 발생하는 오차를 줄인다.

카메라의 색상 특성 차이와 촬영 환경에 따른 조명 차이로 생기는 시점 간 색상 차이를 최소화하기 위해 색상 보정(color correction)이 필요하다. 색상 보정은 크게 세 가지 기술로 분류되는데, 영상의 히스토그램을 기반으로 하는 방법, 영상의 공통된 특징점을 추출하여 사용하는 방법, 색상 차트를 미리 촬영하여 사용하는 방법이 있다. 이 밖에도 영상의 잡음을 제거하고, 서로 다른 초점을 일치시키는 등, 촬영된 영상을 여러 단계로 처리하여 3차원 실감방송 콘텐츠로 직접 사용할 수 있으며, 스테레오 정합을 통해 얻은 깊이 정보를 이용하여 중간 시점의 영상을 만들어 좀더 조밀한 간격을 가진 다시점 콘텐츠로 변환할 수 있다.

〈그림 6〉은 다시점 카메라 시스템을 사용하여 실감방송연구센터의 가상스튜디오에서 촬영된 “Newspaper”라는 시퀀스이다. 이 시퀀스는 MPEG(moving picture experts group)의 3차원 비디오(3D video, 3DV) 표준화 그룹에서 채택되어 3차원 영상처리와 관련된 여러 실험에 사용되고 있다^[7].



〈그림 5〉 10시점 카메라 시스템



〈그림 6〉 Newspaper 시퀀스
(a) 시퀀스의 한 장면 (b) 영상 정렬 결과

2. 복합형 카메라 시스템

〈그림 7〉에 나타난 복합형(hybrid) 카메라 시스템은 다섯 대의 고화질 카메라와 ZCam을 결합하여 구성되어 있다. 다섯 대의 카메라는 HD급의 색상 영상을 촬영하고, ZCam은 SD급의 색상 및 깊이 영상을 촬영한다. 모든 카메라에 동기화 신호를 보내기 위해 동기화 신호 재생기가 연결되어 있다. 카메라 사이의 수평 간격은 약 25cm, 색상 카메라와 깊이 카메라 간 수직 간격은 약 40cm이다.

복합형 카메라 시스템에서 촬영된 다시점 색상 영상에 대해서는 앞 절에서 설명한 다시점 영상 처리 방법이 유사하게 적용된다. 그러나 깊이 카메라 영상에 대해서는 별도의 처리 과정이 필요하다.

우선 깊이 카메라를 이용하여 측정한 거리 정보를 실제의 거리 정보에 맞게 보정하는 깊이 보정(depth calibration), 작은 해상도의 깊이 카메라 영상을 색상 영상 해상도와 맞추기 위한 3차원 투영(3D warping) 과정이 필요하다. 그 다음 단



(a)



(b)

〈그림 7〉 복합형 카메라 시스템
(a) 카메라 시스템 구성 (b) 촬영된 영상



〈그림 8〉 복합형 카메라 시스템에서 생성된 3차원 실감방송 콘텐츠



〈그림 9〉 사용자 상호작용 3차원 실감방송 콘텐츠 및 시연 모습

계로 색상 영역 분할 기반의 스테레오 정합을 사용하여 고화질의 깊이 정보를 생성하고, 생성된 깊이 정보를 이용하여 여러 중간 시점 영상을 합성하여 3차원 실감방송 콘텐츠를 얻을 수 있다.

〈그림 8〉은 복합형 카메라 시스템에서 얻어진 색상 영상과 고화질 깊이 정보 맵을 보여준다^[8].

복합형 카메라 시스템은 사용자 상호작용 서비스가 가능한 실감방송 콘텐츠 제작에도 사용될 수 있다. 광주과학기술원 실감방송연구센터에서는 2007년 다시점 영상과 깊이 영상, 컴퓨터 그래픽스 모델, 다채널 오디오, 촉각 정보 서비스를 결합한 실감방송 콘텐츠를 제작하여 시연했다. 홈쇼핑을 주제로 한 시연에서, 복합형 카메라 시스템에서 생성된 3차원 입체 영상과 컴퓨터 그래픽스 모델이 합성되고, 그래픽스 모델에 대한 촉각 정보가 제공되며, 다채널 오디오가 재생되었다. 시청자는 마치 현장에 있는 것과 같이 물체에 대한 입체 영상과 입체적인 소리, 그리고 물체에 대한 느낌까지 전달 받을 수 있다.

〈그림 9〉는 복합형 카메라 시스템으로 구현한 사용자 상호작용형 3차원 실감방송 콘텐츠와 시연 모습을 보여준다^[9].

3. 다시점 깊이 카메라 시스템

〈그림 10〉은 다시점 깊이 카메라(multi-depth camera) 시스템을 보여 주고 있는데, 이는 다섯 대의 고화질 색상 카메라와 다섯 대의 소형 깊이 카메라로 구성되어 있다.

다시점 깊이 카메라 시스템은 복합형 카메라 시스템과 유사하지만, 소형 카메라를 사용하여 카메라 사이의 수평 및 수직 거리를 줄였고, 각 시점마다 깊이 카메라를 별도로 설치하여 효율적으로 장면의 깊이 정보를 획득할 수 있다. 카메라



(a)



(b)

〈그림 10〉 다시점 깊이 카메라 시스템
(a) 카메라 시스템 구조 (b) 촬영된 영상

사의 간격은 수평 방향으로 약 6.5cm이며, 수직 방향으로도 약 6.8cm로 매우 작다. 다시점 카메라와 깊이 카메라는 각각 동기화 장치에 연결되어 있으며, 현재 깊이 카메라에서 사용할 수 있는 TOF 주파수가 세 개로 제한되어 있어서 동영상 촬영할 때에는 깊이 카메라를 동시에 세 대 밖에 사용할 수 없는 단점이 있다.

다시점 깊이 카메라 시스템에서 3차원 실감방송 콘텐츠를 제작하는 과정은 앞에서 소개한 복합형 카메라 시스템과 유사하다. 하지만 카메라의 특성 및 배치가 다르므로 몇 가지 처리과정 더 필요하다. 다시점 깊이 카메라 시스템에 사용된 깊이 카메라는 MESA Imaging의 SR4000으로, 작은 크기의 카메라를 이용하여 잡음에 강인하고 안정적인 깊이 영상을 실시간적으로 얻을 수 있다^[10]. 그러나 해상도가 QCIF급(176x144)으로 매우 작고, 촬영된 영상에 렌즈 왜곡이 많이 발생한다. 따라서 함께 촬영되는 색상 영상과의 상관도를 높이기 위해서는 이 렌즈 왜곡을 줄여야 하며, 복합형 카메라 시스템에서보다 더 커진 해상도 차이를 극복해야 한다.

다시점 깊이 카메라 시스템에서 3차원 실감방송 콘텐츠를 생성하기 위해서는 역시 깊이 맵 생성과 중간 시점 영상 합성이 필요하다. 깊이 카메라에서 획득된 깊이 정보를 3차원 투영하여 스테레오 정합을 위한 초기 값으로 이용한다. 복합형 카메라 시스템에서는 깊이 카메라와 색상 카메라간 간격이 넓을 뿐 아니라, 한 시점의 깊이 영상만을 사용했기 때문에 투영 결과에 오차가 많이 발생했지만, 다시점 깊이 카메라의 경우에는 세 개 시점의 깊이 영상을 제공하고, 카메라 사이의 간격도 상대적으로 좁은 편이기 때문에 투영으로 인한 오차를 상당히 줄일 수 있다.



〈그림 11〉 다시점 깊이 카메라 시스템에서 생성된 3차원 실감방송 콘텐츠

초기 깊이 정보를 기반으로 하여 색상 영상들 사이에 스테레오 정합을 수행한 결과를 〈그림 11〉에 나타내었다. 따라서 색상 영상과 깊이 정보를 이용하여 중간 시점의 영상을 합성하면 고품질의 3차원 실감방송 콘텐츠를 생성할 수 있다^[11].

IV. 결 론

본 논문에서는 다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용한 3차원 실감방송 콘텐츠 제작의 기술 동향을 소개했다. 3차원 입체 영상에 대한 관심이 폭발적으로 높아지고 있지만, 고품질의 3차원 콘텐츠를 촬영하고 편집하기 어렵기 때문에 급증하는 3차원 콘텐츠의 수요를 감당하기 어렵다. 이러한 상황에서 광주과학기술원 실감방송연구센터에서는 다시점 카메라와 깊이 카메라를 사용하여 3차원 실감방송 콘텐츠를 제작하는 방법을 연구해 왔다. 그 결과 사용자에게 생생한 입체감과 실감나는 방송 콘텐츠를 제공할 수 있는 시스템을 구축했으며, 이를 이용하여 양질의 3차원 실감방송 콘텐츠를 제작하는 다양한 기술도 개발하고 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다 (NIPA-2011-(C1090-1011-0003)).

참고 문헌

- [1] 호요성, 김성열, "3DTV 3차원 입체영상 정보처리," 두양사, 2010.
- [2] <http://catalog2.panasonic.com>.
- [3] <http://www.ptgrey.com>.
- [4] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M12338, "Test Sequences with Different Camera Arrangements for Call for Proposals on Multi-view Video Coding," July, 2005.
- [5] ZCam Product Data Sheet, StudioGE, 2009.
- [6] S.A. Gudmundsson, H. Aanaes, and R. Larsen, "Fusion of Stereo Vision and Time-of-Flight Imaging

- for Improved 3D Estimation," International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, Vol.5, No.3, pp.425-433, Nov., 2008.
- [7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M15419, "Multiview Video Test Sequence and Camera Parameters," April, 2008.
- [8] E.K. Lee and Y.S. Ho, "Generation of High-quality Depth Maps using Hybrid Camera System for 3-D Video," Journal of Visual Communications and Image Representation (JVCIR), Vol.21, Issue 8, pp.501-512, Dec., 2010.
- [9] 호요성, 김성열, "사용자 상호작용 서비스를 위한 실감 방송 기술," 방송공학회지 제13권, 제2호, pp.45-56, 2008.03.
- [10] <http://www.mesa-imaging.ch>.
- [11] Y.S. Kang, E.K. Lee, and Y.S. Ho, "Multi-Depth Camera System for 3D Video Generation," Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp.44(1-6), Jan., 2010.



호 요 성

1981년 2월 서울대학교 전자공학과 학사.
 1983년 2월 서울대학교 전자공학과 석사.
 1989년 12월 Univ. of California, Santa Barbara, Department of Electrical and Computer Engineering, 박사.
 1983년 3월~1995년 9월 한국전자통신연구소 선임연구원.
 1990년 1월~1993년 5월 미국 Philips 연구소, Senior Research Member.
 1995년 9월~현재 광주과학기술원 정보통신공학부 교수.
 2003년 8월~현재 광주과학기술원 실감방송연구센터 센터장.
 <관심분야> 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송