

4D 볼류메트릭 캡처를 위한 그래픽스 파이프라인 분석 연구

실제 제작사례를 중심으로

A study on analysis of graphics pipeline for 4D volumetric capturing
Focusing on actual production cases

주 저 자 : 오문석(Oh, Moon Seok)

광운대학교 미디어커뮤니케이션학부 교수

공 동 저 자 : 한규훈(Han, Gyu Hoon)

오모션 주식회사 연구원

공 동 저 자 : 박승규(Park, Seung Kyu)

엠엔엔에이치(주) 연구소장

교 신 저 자 : 서영호(Seo, Young-Ho)

광운대학교 전자재료공학과 교수

yhseo@kw.ac.kr

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2021.3.9>

접수일자 2021. 09. 15. / 심사완료일자 2021. 09. 20. / 게재확정일자 2021. 09. 25.

본 논문은 2021년도 광운대학교 교내학술연구비를 지원받아 수행되었음.

본 연구는 중소벤처기업부의 글로벌창업기업기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [S3121082, 3D 캐릭터 콘텐츠 제작을 위한 비착용형 비전기반의 실시간/고정밀 모션 캡처 시스템 개발]

Abstract

With advances in digital technology, 'Metaverse' have become a major trend in the content market, demand for technologies that generate high-quality 3D models has soared, and various technological attempts have been made to produce high-quality 3D models represented by "Digital humans". 'Volumetric Capture' is a technology that can generate 3D models faster and more precise than traditional 3D model generation methods. In this study, we consider the techniques and difficulties that apply to the process with respect to the creation of a volumetric 3D model through the construction of a volumetric studio and the execution of volumetric capture and propose an efficient graphics pipeline for 4D volumetric capturing.

Keyword

Volumetric capture, 3D modeling, Digital Humans, Metahuman, Point Cloud, Photogrammetry.

요약

디지털 기술의 발전에 따라 메타버스가 콘텐츠 시장의 주요 트렌드로 자리하면서 고품질의 3D(dimension) 모델을 생성하는 기술에 대한 수요가 급증하고 있으며 디지털 휴먼으로 대표되는 고품질 3D 인체 모형에 대한 제작과 관련된 다양한 기술적 시도가 이루어지고 있다. 볼류메트릭 캡처는 기존의 3D 모델 생성 방식보다 빠르고 정밀한 3D 인체모형을 생성할 수 있는 기술로 각광 받고 있다. 본 연구에서는 볼류메트릭 3D 및 4D 모델 생성과 관련하여 그 과정에 적용되는 기술과 애로사항에 대해 실제 볼류메트릭 스튜디오의 구축과 볼류메트릭 캡처의 실행을 통해 고찰하고 효율적인 4D 볼류메트릭 캡처를 위한 그래픽스 파이프라인을 제안하였다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구 배경
- 1-2. 연구목적 및 방법

2. 이론적 배경

- 2-1. 포인트 클라우드
- 2-2. 포토그래메트리
- 2-3. 볼류메트릭 캡처

3. 볼류메트릭 캡처 기술

- 3-1. RGB 카메라
- 3-2. RGB-D 카메라
- 3-3. 카메라 리그와 캘리브레이션
- 3-4. 볼류메트릭 캡처 제어

4. 볼류메트릭 3D 모델 제작 과정

- 4-1. 통합관리시스템 및 워크플로우
- 4-2. 스튜디오 세팅
- 4-3. 캡처 실행 및 합성
- 4-4. 리깅 및 후처리

5. 볼류메트릭 캡처 결과 분석

- 5-1. 의상 재질에 의한 오류
- 5-2. 사물 및 장신구에 의한 오류
- 5-3. 머리카락 캡처 오류

6. 결론

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구의 배경

디지털 기술의 발전은 가상공간의 개념의 확장을 불러왔고 이는 3D 그래픽의 발전으로 시각적으로 등장하였으며 이를 통해 VR, AR과 같은 확장현실(XR)로 발전하였다. 최근에는 발전된 기술을 통해 MR(Mixed Reality)로 그 경계가 확장되었으며 메타버스라는 개념을 통해 일상적으로 현실에서 가상세계를 경험할 수 있게 되었다. 이처럼 메타버스가 최근 콘텐츠 시장의 트렌드로 자리하면서 메타버스 환경에서 활용 가능한 고품질의 3D 인체모형을 제작하는 방법에 대한 다양한 시도들이 이어지고 있다. 실제 배움을 촬영한 영상에 가상의 얼굴을 합성하여 디지털 배움을 만들어 내거나, 전신을 3D 모델링을 통해 구현한 디지털 인플루언서 등 목적에 따른 구현 방식도 다양하며 이렇게 제작된 "디지털 휴먼"은 메타버스의 주요 콘텐츠로서 활용되고 있다. 이처럼 메타버스 환경에 활용할 고품질 3D 모델을 제작하는 방식에는 다양한 방식이 있지만 근본적으로 3D 모델을 생산하는데 많은 인력과 시간이 필요하다는 문제가 있다. 이를 극복하기 위해 2D 이미지를 기반으로 3D 모델을 생성하는 다양한 기술들이 등장하였으며 그 기술의 최신 모델로서 4D 볼류메트릭 캡처가 각광받고 있다.

볼류메트릭 캡처는 사물의 전 방위를 3D 모델로 구현할 수 있는 장점으로 인해 3D 인체모형을 제작하는데 있어 핵심적인 기술로서 활용되고 있으며, 현재 세계 볼류메트릭 시장은 2020년 기준 14억 달러로 추산되며 2025년까지 58억 달러로 32.8% 이상 성장할 것으로 기대되고 있다¹⁾. 이에 본 연구에서는 실제 볼류메트릭 캡처를 통해 3D 인체 모형을 생성하였으며 이를 통해 고품질의 볼류메트릭 결과물을 생성하는 방법에 대하여 제안하고자 한다.

1-2. 연구목적 및 방법

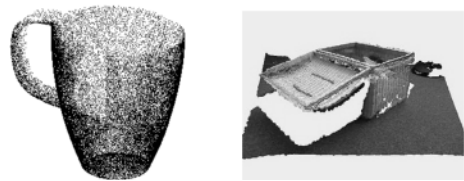
본 연구의 목적은 4D 볼류메트릭 캡처를 위한 제반 기술에 대해 고찰하며 그 결과를 바탕으로 프로세스를 제안하고 실제 캡처 결과물을 생성하며 고품질의 볼류메트릭 결과물을 생성하는 방법에 대해 제안하고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 볼류메트릭 캡처 스튜디오를 구축하고 실제로 볼류메트릭 캡처를 진행하며 그 과정상의 유의사항 및 문제점들을 파악하였다. 현재 볼

류메트릭 캡처를 통한 결과물을 제작하는 방식에 대하여 표준화가 이루어지지 않은 만큼 연구진이 보유한 기술적 역량을 반영하여 볼류메트릭 스튜디오를 구축하였고 이를 통하여 볼류메트릭 캡처를 위한 이론적인 프로세스를 제안하였다.

2. 이론적 배경

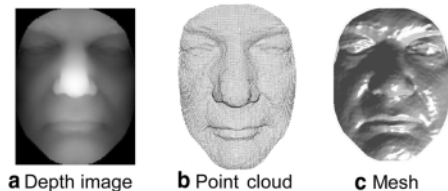
2-1. 포인트 클라우드

포인트 클라우드(Point Cloud)는 물체를 구성하는 주요 좌표값의 집합을 의미한다. Lidar, RGB-D 카메라 등의 장비를 통해 물체의 표면을 측정하여 데이터를 수집한다. 포인트 클라우드를 통해 획득한 이미지는 [그림 1]과 같이 삼차원 좌표값을 가지는 점들의 군집으로 표현되며 각 점들은 X, Y, Z의 삼차원 좌표값을 가진다.



[그림 1] Lidar센서로 획득한 포인트 클라우드와 RGB-D 카메라로 획득한 포인트 클라우드 결과물
(출처 : Autodesk)

데이터를 가진 점의 군집으로 표현되는 포인트 클라우드는 그 자체로는 3D 객체로서 활용할 수 없기 때문에 외부 3D 소프트웨어를 활용하여 변환하는 과정을 거친다. [그림 2]는 그 과정을 보여준다.



[그림 2] depth 이미지를 통한 메시 생성 과정
(출처 : 3D face recognition: a survey)

1) Businesswire, Worldwide Volumetric Video Market Insights, 2020.

덱스 카메라를 통해 촬영한 이미지를 바탕으로 포인트 클라우드를 데이터를 획득하고 외부 3D 소프트웨어를 통해 폴리곤 메시, 삼각형 메시 등의 데이터로 구성하여 3D 모델을 획득한다.

2-2. 포토그래메트리

포토그래메트리(Photogrammetry)는 평면 이미지를 바탕으로 입체 모델을 구현하는 방법의 하나이다. 포토그래메트리는 고화소의 디지털 카메라로 다방면에서 촬영된 2D 이미지 데이터를 바탕으로 소프트웨어의 이미지 트래킹 기술을 활용하여 3D 객체를 생성하는 기술이다. [그림 3]은 포토그래메트리의 개요를 표현한 그림이다.



[그림 3] 포토그래메트리를 통한 3D 객체 생성 (출처 : Bitfab)

포토그래메트리는 대상을 다각도에서 촬영한 이미지를 소프트웨어를 통해 분석하여 포인트 클라우드를 생성하고 획득한 데이터를 바탕으로 촬영된 이미지와 합성하여 텍스처까지 구현할 수 있다. 따라서 보다 정밀한 3D 객체를 획득하기 위해서는 대상을 다각도에서 촬영한 이미지가 요구된다.

포토그래메트리는 3D 스캐닝과 결과물의 측면에서 유사하나 보다 넓은 범위를 구현할 수 있다는 차이점이 있다. 또한 포토그래메트리는 상용 디지털카메라를 통해 구현할 수 있다는 장점이 있으며 촬영 장소,와 대상의 크기에 구애받지 않기 때문에 드론을 이용한 항공 촬영을 통한 지형지물의 3D 구현도 가능하다는 장점이 있다. 반면 2D 이미지를 기반으로 이미지를 분석하고 각 이미지의 위상 차이를 소프트웨어적으로 분석하여 포인트 클라우드를 생성한다는 한계상 실제 사물을 360도 스캔하여 세밀한 포인트 클라우드를 획득하는 3D 스캐닝보다 정밀도가 떨어진다는 단점이 있다. [표 1]은 포토그래메트리와 3D 스캐닝을 비교한 내용이다.

[표 1] 포토그래메트리와 3D 스캐닝의 비교

구분	포토그래메트리	3D 스캐닝
장점	- 넓은 범위/대상에 대한 3D 객체 생성 2D 이미지를 기반으로 제작 - 상용 카메라 활용 가능(DSLR, 드론 등)	- 고정밀 포인트 클라우드 생성 - 빠른 결과물 획득 - 텍스처 스캔 가능
단점	- 정밀도의 한계 - 후처리를 위한 별도의 S/W 필요 - 분석/합성을 위한 오랜 시간 필요	- 스캔 대상과 범위의 제한 3D 스캔을 위한 전용 H/W 필요 - H/W의 성능에 따른 결과물의 차이

2-3. 볼류메트릭 캡처

볼류메트릭 캡처(Volumetric Capture)란 촬영 대상(또는 사물)의 주위에 설치된 다중 카메라를 통해 대상에 대한 3D 객체를 생성하는 기술로 전방위의 입체적인 3D 모델을 생성할 수 있는 기술이다. 볼류메트릭 캡처는 포토그래메트리 기술을 기반으로 하며 동시에 Lidar, RGB-D 카메라 등 Depth 값 생성을 위한 하드웨어를 통하 포인트 클라우드 및 메쉬를 생성하여 더욱 정밀한 3D 객체를 생성할 수 있다.

[표 2] 볼류메트릭 캡처의 특징

개요	360도 전방위에 설치된 카메라를 통해 움직이는 피사체를 촬영하여 3D 모델로 구현
촬영방법	카메라와 조명에 갖춰진 전용 스튜디오에서 촬영
장점	- 사물에 대한 3D 입체모형을 쉽게 제작 가능 - 움직임까지 캡처 할 수 있으며 모션캡처와 연동한 실시간 움직임 구현 가능 - 실시간 렌더러와 결합되어 라이브 3D 애니메이션 생성 - RGB-D 카메라를 통해 실시간 리깅이 가능
단점	- 스튜디오 구축 비용이 비쌈 - 촬영 대상, 재질, 색상 등에 제한이 있음 - 초당 처리해야 할 데이터 처리량이 매우 커 고성능 하드웨어가 요구됨 - 동영상 촬영을 위해 사용되는 카메라들의 동기화를 위한 제어기술 필요

볼류메트릭 캡처는 3D 스캐닝처럼 정밀하면서 포토그래메트리처럼 넓은 영역을 캡처할 수 있는 장점이 있다. 또한 움직이는 대상(또는 사물)에 대한 캡처 및 애니메이션 생성이 가능하여 3D 인체모델을 제작하는데 보다 적합한 기술이라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 결합

되는 하드웨어를 통해 실시간 리깅, 모션 캡처 등 다양한 데이터를 연동할 수 있는 확장성을 가진다. 볼류메트릭 캡처 개요와 장단점을 정리하면 [표 2]와 같다.

3. 볼류메트릭 캡처 기술

3-1. RGB 카메라

볼류메트릭 캡처는 실시간으로 획득되는 RGB 이미지를 기반으로 하기 때문에 산업용 임베디드 카메라 또는 상용 풀프레임 카메라를 사용한다. 이때 이미지 획득을 위한 카메라는 촬영 대상의 360도를 촬영할 수 있도록 구성되어야 한다. 고정된 촬영 범위를 상정한 경우 촬영 범위에 맞게 세팅된 스피어(sphere)형 카메라 리그와 산업용 임베디드 카메라를 사용하는 것이 비용과 조작, 동기화, 모니터링 및 캘리브레이션 측면에서 상용 풀프레임 카메라를 사용하는 것보다 용이하다. 그러나 산업용 임베디드 카메라는 상대적으로 낮은 품질의 이미지, 세팅 이후 설정 값 변경의 어려움, 저조도 환경에서의 노이즈 등의 문제가 발생하며 촬영 범위의 변경을 위해서는 스튜디오를 새로 구성해야 하는 문제점이 있다. 이러한 한계점으로 인해 본 연구를 위하여 구축된 볼류메트릭 스튜디오에서는 SONY의 상용 풀프레임 카메라를 사용하였다. 상용 카메라를 사용함으로 얻는 이점은 [표 3]과 같다.

[표 3] 상용 카메라 사용의 장단점

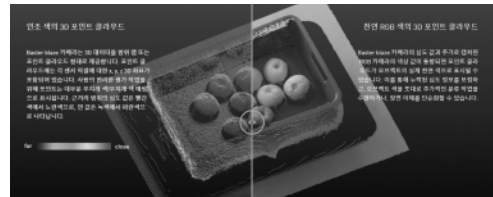
장점	단점
• HDR 및 우수한 화질 • 화이트밸런스, 노출 등 세부 설정 가능 • 초점, 화각 등 설정 가능 • 높은 프레임 레이트 • 우수한 저조도 촬영 • 리그의 조절을 통한 자유로운 촬영 범위의 변경	• 스튜디오 구축비용 증가 • 설치된 카메라의 동시제어 및 모니터링의 어려움 • 색감의 차이에 따른 보정 등 후처리 과정이 필요 • 합성 과정에서 동기화 및 캘리브레이션의 어려움

설치된 카메라의 대수와 촬영의 결과물의 품질은 서로 비례하는데, 카메라의 대수가 증가하면 캡처 결과물의 왜곡이 감소하여 보다 정밀한 결과물을 얻을 수 있다. 그러나 카메라 대수가 증가하면 초당 처리해야 할 데이터량이 증하하고 동시 제어 및 모니터링을 위한 구성이 복잡해지고 비용이 증가하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 시각지대를 최소화 하는 구성으로 40대

의 카메라를 배치하였다.

3-2. RGB-D 카메라

심도를 측정하기 위해 주로 사용하는 뎁스 카메라(depth camera)는 피사체의 텍스처에 따라 발생하는 거리의 차이를 가까우면 파란색, 멀면 빨간색의 색상 스펙트럼으로 출력한다. 이러한 단순히 심도에 대한 데이터를 추출하는데 있어 매우 유리하게 작용하나, 획득한 이미지에 대한 보정 또는 포인트 클라우드 기반의 3D 모델 보정에 있어서는 한계점이 있다. 이런 한계를 보완하여 등장한 RGB-D 카메라는 천연색상을 기록하는 RGB 카메라에 심도(depth)를 측정할 수 있는 기능이 통합된 카메라로 [그림 4]와 같이 RGB 카메라를 통해 촬영된 대상에서 획득한 포인트 클라우드를 실제 천연색으로 표시하여 획득한 이미지 위에 오버레이된 포인트 클라우드를 통해 이미지의 심도를 표현한다. 그러나 depth 센서의 측정 한계로 인해 RGB-D 카메라를 사용하는 경우 스튜디오 내 촬영 반경이 4m로 제한되는 한계가 있다.



[그림 4] Depth카메라와 RGB-D 카메라의 결과물 차이
(출처 : Basler)

3-3. 카메라 리그와 캘리브레이션

360도 전방위를 커버하는 카메라 세팅을 위해 리그를 사용한다. 리그는 카메라, RGB-D 카메라, 센서, 조명 등을 고정하며 촬영 환경 조절을 위한 이동식 또는 스튜디오 벽면에 매립하는 형태로 구성된다. 이동식 리그는 촬영 대상과의 거리 및 촬영 반경을 조절할 수 있는 장점이 있으나 리그의 이동에 따라 촬영 대상과의 거리 및 촬영 가능 반경이 변화하며, 이러한 변화에 따라 TOF(Time of Flight) 값이 변화하고 이미지의 화각 등이 변경되는 만큼 이에 대한 데이터가 반영된 캘리브레이션이 이루어져야 한다. 이를 위해서 캘리브레이션 보드를 사용하거나 자동 캘리브레이션을 위한 소프트웨어 학습이 필요하다. 본 연구를 위해 구축된 볼류메트릭 스튜디오에서는 [그림 6]과 같이 이동식 리그

10대를 사용하였으며 각 리그에는 카메라 4대 및 RGB-D 카메라 1대를 설치할 수 있도록 구성하였다.



[그림 6] 세팅된 이동식 리그와 캘리브레이션 보드

3-4. 볼류메트릭 캡처 제어

산업용 풀프레임 카메라는 산업용 카메라와 다르게 동일한 타이밍에 촬영하기 위한 동기화가 어려운 문제점이 있다. 일반적으로 타임코드를 설정하고 촬영 이후에 동기화하거나 슬레이트를 통해 동기화를 하는 방법이 사용되나 수십여 대의 카메라에 대한 정밀한 동기화에 한계가 있다. 이를 위해 [그림 7]과 같이 빛을 이용하는 라이트 싱크(Light Sync)를 통해 빛이 감지된 프레임을 동기화 기준으로 설정하고 촬영 후 동기화를 진행하였다.



[그림 7] 라이트 싱크를 통한 카메라 동기화

볼류메트릭 캡처를 위해 스튜디오에 설치된 40여 대의 카메라에서 동시에 촬영되고 전송되는 60FPS 이상의 데이터를 실시간으로 처리하기 위해서는 높은 수준의 컴퓨팅 파워를 요구한다. 초당 요구되는 데이터 처리량은 [카메라 수 × 초당 프레임 수 × 폴리곤의 수 × 포인트 클라우드 덤프의 해상도]로 산출되며²⁾ 이는 단독 하드웨어로 처리할 수 있는 수준을 넘어서기 때문에 데이터 처리를 실시간으로 수행하기 위해서는 고

2) 볼류메트릭 캡처 및 XR 활용, 민병양, 부산정보산업진흥원, 2021.

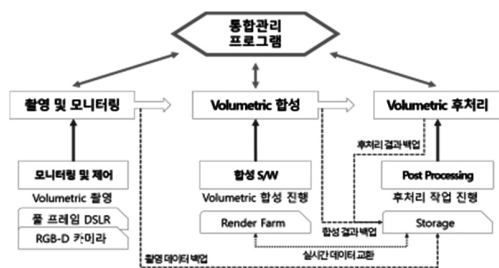
성능의 하드웨어 컴퓨팅 환경이 필요하다.

볼류메트릭 캡처는 촬영 단계에서의 카메라 제어, 합성 단계에서의 프레임 동기화와 렌더팜 연동 등 단계별로 하드웨어의 복합적인 구성과 처리 과정을 통해 진행된다. 이를 위해 스튜디오에 설치된 카메라의 동기화 및 모니터링, 촬영, 리깅, 데이터 저장 등 각 단계를 통합적으로 제어할 수 있는 통합관리 프로그램과 통제실이 요구된다. 통제실에서는 촬영 뿐만 아니라 데이터의 저장, 촬영 데이터 및 프레임 동기화, 볼류메트릭 합성과 보정 등 렌더팜과 연동하여 볼류메트릭 캡처의 결과물에 대한 후처리까지 담당한다

4. 볼류메트릭 3D 모델 제작 과정

4-1. 통합관리시스템 및 워크플로우

볼류메트릭 캡처를 실행은 ①촬영 및 모니터링 ②볼류메트릭 합성 ③후처리 과정의 3단계로 진행되며 모든 과정은 통합관리 프로그램을 통해 통제된다. 볼류메트릭 캡처의 워크플로우는 [그림 10]과 같다.



[그림 10] 볼류메트릭 캡처 워크플로우

1) 촬영 및 모니터링: 볼류메트릭 스튜디오에서 대상을 촬영(캡처)하는 단계이다. 촬영을 위해 설치된 카메라의 제어와 실시간 모니터링 등을 수행하며 촬영된 데이터를 실시간으로 스토리지 서버에 백업한다. 2) 볼류메트릭 합성: 캡처된 영상을 3D 메시 데이터로 합성 및 변환하는 단계이다. 스토리지 서버에 백업된 데이터를 렌더 팜을 통해 합성 진행하며 이 과정에서 프레임 동기화, 합성 구간 지정 등을 수행한다. 3) 후처리: 합성 및 생성된 볼류메트릭 3D 모델을 수정 및 보정하는 단계이다. 메시 데이터 수정, 텍스처 개선 등의 프로세스를 통해 생성된 결과물을 스토리지 서버로 전송한다. 후처리를 통해 생성된 결과물은 obj, 3ds, ma 등의

파일 포맷으로 저장되고 외부 3D 모델링 소프트웨어를 통하여 정밀한 수정 및 보정의 과정을 거쳐 최종 결과물로 산출한다.

4-2. 스튜디오 세팅

1) 리그 세팅: 360도 전방위를 커버할 수 있도록 리그에 카메라를 배치한 뒤 촬영 인원과 촬영 대상의 움직임에 따라 리그의 위치를 조절하여 8m~12m의 촬영 범위를 설정한다. RGB-D 카메라 또는 심도 측정을 위한 센서가 사용되는 경우 센서의 측정범위를 벗어나지 않게 촬영 범위를 구성한다. Azure Kinect를 사용하는 경우 촬영 범위를 4m 이내로 설정한다. 2) 카메라 세팅: 본 연구를 위해 구축한 스튜디오에서는 전방위의 이미지 획득을 위하여 상용 풀프레임 카메라를 사용하였으며 총 40대를 설치하였다. 촬영 전 모든 카메라가 동일한 조건에서 촬영될 수 있도록 카메라의 주요 세팅 사항(렌즈, 화이트밸런스, 노출, 초점 등)을 동일하게 설정한다. 촬영 시 초당 획득하는 이미지가 많을수록 높은 품질의 결과물을 얻을 수 있기때문에 가능한 한도 내에서 프레임레이트를 높게 설정해야 한다. 최종적으로 연구를 위하여 세팅된 볼류메트릭 스튜디오의 카메라의 설정은 [표 4]와 같다.

[표 4] 볼류메트릭 캡처를 위한 카메라 설정

구분	설정
카메라	• SONY 풀프레임 미러리스
대수	• 40대 (360도 전방위 커버)
카메라 리그	• 이동식 리그 • 2단 구성
프레임 설정	• 스틸 촬영 60FPS • 동영상 촬영 120FPS
동기화/캘리브레이션	• 라이트싱크 • 캘리브레이션 보드

3) 조명: 볼류메트릭 스튜디오 내 조명은 불필요한 그림자로 인한 캡처 품질의 저하를 방지하고 캡처 대상의 텍스처가 돋보이며 크로마키 배경과 피사체가 명확하게 분리될 수 있도록 설정한다. 따라서 그림자가 강하게 생기는 하드 라이트보다 그림자의 윤곽이 희미해지는 소프트 라이트를 주로 사용한다. 필요시 저조도 환경을 보정하기 위하여 리그에도 추가적인 조명을 설치할 수 있다. 4) 피사체 의상 및 소품: 고품질의 볼류메트릭 캡처 결과물을 생성하기 위해서는 피사체의 의상과 소품에 다소간의 제약이 따른다. 볼류메트릭 캡처

는 크로마키 촬영을 진행하기 때문에 크로마키 스크린과 동일한 색상의 의상은 촬영이 불가능하다. 특히 반사되는 재질의 의상과 장신구, 투명한 재질의 사물은 크로마키 스크린을 반사하여 결과물의 합성에 오류를 불러오고 정확한 포인트 클라우드의 생성에 방해가 되기 때문에 가능하면 배제해야 한다.

4-3. 캡처 실행 및 합성

1) 볼류메트릭 촬영: 촬영을 위한 스튜디오 설정 및 피사체에 대한 준비가 끝났으면 통제실에서 실시간 프리뷰를 통해 카메라 피사체의 위치를 확인 후 촬영(녹화)을 진행하며 카메라가 작동하는 상태에서 설치된 카메라들의 동기화를 위해 라이트 싱크를 통한 동기화를 진행한다. 라이트 싱크는 스튜디오 중앙에 설치된 조명을 통해 라이트 슬레이트(Light Slate)를 실행하여 기준이 되는 프레임을 생성하는 방식으로 진행한다. 라이트 슬레이트 이후 볼류메트릭 합성 시 배경임을 인식하고 학습할 수 있는 프레임들 만들기 위해 약 2초간 스테이지를 비워둔다. 이후 [그림 11]과 같이 프리뷰 모니터를 통해 모든 카메라가 정상적으로 작동하는 것을 확인 후 스튜디오의 중앙에 촬영 대상자가 위치하고 통제실의 통제에 따라 본 촬영을 진행한다.



[그림 11] 실시간 프리뷰 및 카메라 상태 모니터링

2) 포인트 클라우드 및 리깅 데이터 획득: 촬영과 동시에 리그에 설치된 Kinect와 Depthkit 소프트웨어를 통해 신체 추적(Body Tracking) 및 포인트 클라우드를 실시간으로 획득한다. Depthkit을 통해 획득한 포인트 클라우드 데이터는 볼류메트릭 합성시 합성의 기준이 되는 정밀한 좌표값을 제공하고 Kinect를 통해 획득한 신체 추적 결과는 실시간으로 스켈레톤 데이터를 생성하여 리깅(Rigging)을 위한 백그라운드 데이터를 제공한다. Kinect를 통해 생성된 신체 추적 결과는 [그림 12]와 같이 촬영 과정에서 프리뷰를 통해 실시

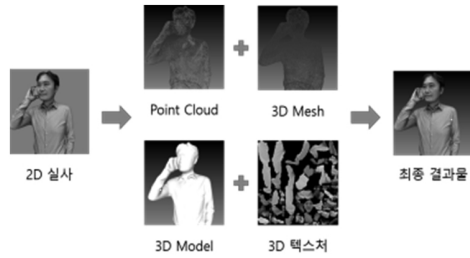
간으로 피사체의 관절(Joint)의 움직임을 오버레이로 확인할 수 있으며 후보정 과정에서 볼류메트릭 캡처를 통해 생성된 3D 모델에 적용하여 움직임을 구현할 수 있는 리깅 작업에 활용된다. 3) 프레임 동기화 및 볼류메트릭 합성: 촬영한 데이터는 통합관리 프로그램을 통해 스토리지 서버에 저장하고 저장된 데이터는 통합관리 프로그램을 통해 프레임 동기화를 진행한다. 프레임 동기화는 라이트 슬레이트를 통해 생성된 프레임을 기준으로 첫 프레임을 일치시키고 해당 데이터를 렌더 팜으로 전송하여 프레임 동기화를 진행한다. 프레임 동기화가 완료되면 스토리지 서버로 전송된 동기화가 완료된 영상을 불러와 실제 볼류메트릭 합성을 진행한다.



[그림 12] Azure Kinect DK를 통한 실시간 리깅 결과

4-4. 리깅 및 후처리

볼류메트릭 합성이 완료된 이후 촬영 과정에서 획득한 신체 추적 결과로 생성된 스켈레톤 데이터를 합성하여 리깅 데이터를 생성한다. 생성된 볼류메트릭 3D 모델과 스켈레톤 데이터를 통합관리 프로그램에서 로드한 뒤 프레임과 스켈레톤 데이터의 공간 위치를 동기화하여 리깅 데이터를 적용한다. 리깅 데이터의 적용이 완료된 후 출력된 결과물에 대해 외부 3D 모델링 소프트웨어 등을 사용하여 메시데이터 수정, 리깅 데이터 보정, 텍스처 작업 등 후처리 작업을 통하여 생성된 볼류메트릭 3D 모델을 보정하는 과정을 거친다. 후보정 과정을 완료 후 활용 목적에 따라 적합한 포맷으로 출력하여 3D 모델링을 완료한다. [그림 16]은 볼류메트릭 3D 모델의 최종 결과물 산출 과정이다.



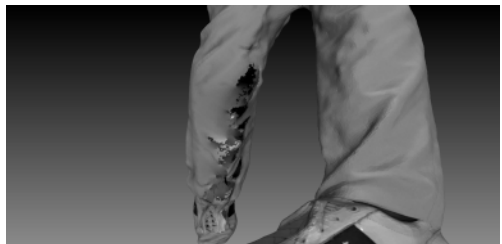
[그림 16] 최종 결과물 산출 과정

5. 볼류메트릭 캡처 결과 분석

이상과 같이 실제 볼류메트릭 캡처를 통해 3D 모델을 생성하였고 결과물을 바탕으로 제작상의 오류 및 고품질의 결과물 출력을 위한 보완 방안에 대해 분석을 진행하였다.

5-1. 의상의 재질에 의한 오류

볼류메트릭 스튜디오는 크로마키를 통해 피사체를 제외한 배경을 지우는 과정을 거치는데 그 과정에서 의상의 재질로 인하여 크로마키 배경이 반사되어 합성 결과물에서 오류가 발생하기도 한다. [그림 17]은 합성 오류의 결과로 크로마키 배경을 반사 시키는 의상의 재질로 인하여 합성 결과에 오류가 발생하였다.



[그림 17] 의상 재질의 반사로 인한 합성 오류

5-2. 사물 및 장신구에 의한 오류

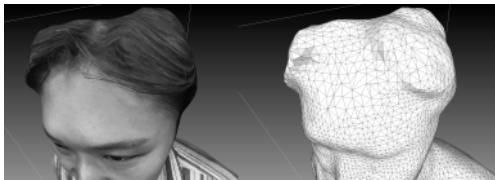
[그림 18]은 피사체가 휴대하고 있는 사물에 의한 합성 오류의 결과이다. 손과 의상 부분은 정밀한 캡처가 진행된 반면, 반사되는 스마트폰의 뒷면에는 합성 결과에 오류가 발생했다. 피사체가 휴대하고 있는 사물 역시 주변의 사물을 반사하는 재질의 경우 합성 결과에 오류가 발생할 수 있기 때문에 주의가 필요하다.



[그림 18] 휴대한 사물에 의한 합성 오류

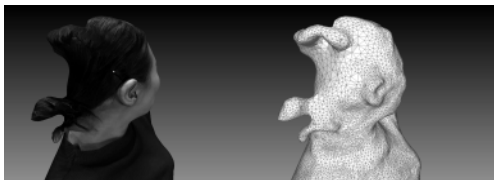
5-3. 머리카락 캡처 오류

머리카락은 지나치게 세밀하기 때문에 피부와 붙어 있는 경우 볼류메트릭 캡처를 통한 3D 모델 생성 시 포인트 클라우드 생성의 기술적 한계로 인하여 정밀한 캡처 및 구현이 불가능하다. 따라서 피부와 명확하게 구분되도록 헤어스타일을 다듬는 과정이 선행되어야 한다. [그림 19]는 머리카락과 피부가 명확히 분리되지 않고 한 덩어리처럼 표현된 오류의 결과이다.



[그림 19] 머리카락과 피부의 분리가 덜 된 경우의 오류

또한, 머리를 묶었다고 해도 제대로 정돈되지 않은 머리카락은 볼류메트릭 합성 과정에서 왜곡이 발생하는 주요 원인으로 작용한다. [그림 20]은 여성 모델을 캡처하면서 머리카락을 묶어 오류를 방지하고자 하였으나 묶고 남은 머리카락으로 인하여 볼류메트릭 합성 시 오류가 발생한 결과이다.

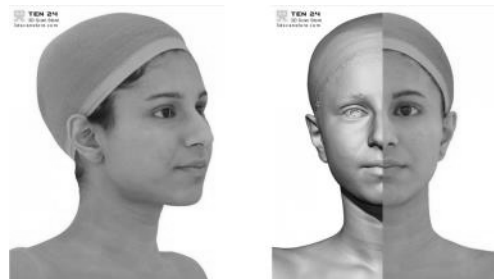


[그림 20] 정돈되지 않은 머리카락에 의한 합성 오류

5-2. 분석 결과

볼류메트릭 합성 시 발생하는 오류의 주요 요인은

포인트 클라우드 생성에 오류를 유발하는 요소들에 의한 것이었다. 크로마키 환경에서 진행되는 볼류메트릭 캡처의 특성상 주로 크로마키 배경을 반사하는 재질의 의상 또는 물체로 인하여 합성의 오류가 발생하였다. 따라서 합성 결과의 오류를 방지하기 위해서는 촬영 전 피사체의 의상에 대한 세심한 고려가 필요하며 사물을 휴대한 피사체의 경우 해당 사물의 재질을 확인하고 배경의 반사를 통제할 수 있는 조치가 필요하다. 또한, 머리카락과 같이 포인트 클라우드의 생성이 어려운 매우 세밀한 부분은 기술의 한계로 인하여 정밀한 결과물의 생성이 어렵다는 점을 확인하였다. 따라서 짧은 머리의 경우 피부와 접촉하고 있는 부분의 잔머리에 대해 스타일링을 통해 피부와 명확히 분리하며 긴 머리카락의 경우 머리를 묶거나 모자를 착용하는 등 하나의 덩어리로 만들어주는 사전 조치를 통해 오류가 발생할 원인을 줄여주어야 한다. [그림 21]과 같이 가발망의 착용을 통해 원천적으로 해당 문제를 예방할 수 있지만 이런 경우에는 모델 생성 후 별도로 머리카락에 대한 모델링을 통한 합성작업이 필요하다는 한계가 있다.



[그림 21] 가발망 착용을 통한 머리카락 캡처 오류의 극복 사례 (출처 : 3D Scan Store)

메이크업이 경우 얼굴에 광이 나는 화장법은 과도한 반사를 일으키기 때문에 권장되지 않으며 최대한 매트한 타입의 화장법이 권장된다. 또한, 피부톤이 지나치게 밝게 나오는 화장은 스튜디오의 조명 상태에 따라 피사체의 윤곽이 소실되어 캡처에 오류가 발생할 수 있기에 권장되지 않는다. 또한, 훌날리는 의상이나 복잡한 장신구는 볼류메트릭 캡처 시 데이터 처리량이 증가하고 합성 과정에서 오류가 발생하는 요인으로 작용한다. 따라서 가장 좋은 결과물을 얻을 수 있는 의상은 복잡한 장식이 없고 몸에 적당히 달라붙어 신체의 윤곽과 일치하는 의상이라 할 수 있다. 이 경우 합성 과정에서 오류를 일으킬 요소를 최대한 배제할 수 있

어 준수한 결과물을 기대할 수 있다.

볼류메트릭 캡처를 통해 애니메이션을 촬영하는 경우 피사체의 움직임 역시 중요하게 고려해야 할 요소이다. 볼류메트릭 캡처는 360도 전방위를 촬영하는 만큼 어떠한 포즈도 캡처가 가능한 장점이 있으나 너무 빠른 움직임은 각 카메라간의 동기화 및 촬영되는 카메라 간의 화각 문제로 인하여 볼류메트릭 합성 시 왜곡이 발생할 가능성이 큰 요인으로 작용한다. 특히 손가락과 같은 신체의 말단 부분은 움직임이 너무 빠른 경우 포인트 클라우드 생성과정에서 정밀한 캡처가 이루어지지 않아 잔상 또는 프레임의 소실 등의 오류가 발생할 수 있기에 신체 말단의 움직임은 최대한 자체되거나 큰 덩어리의 움직임으로 표현되어야 한다.

6. 결론

본 연구에서는 볼류메트릭 3D 및 4D 모델의 생성과 관련하여 그 과정에 적용되는 기술과 애로사항에 대해 실제 볼류메트릭 스튜디오의 구축과 볼류메트릭 캡처의 실행을 통해 고찰하고 효율적인 볼류메트릭 캡처 프로세스를 제안하였다.

4D 볼류메트릭 캡처를 통해 생성된 3D 모델은 게임엔진에 연동할 수 있으며 이를 통해 다양한 3D 콘텐츠 또는 VR/AR 환경에서 활용 가능한 콘텐츠를 생산할 수 있다. 또한, 키프레임과 모션 캡처 데이터를 적용하여 애니메이션 구현이 가능하며 이를 통해 다양한 디지털 캐릭터 콘텐츠 제작 등 다방면으로 활용할 수 있다. 볼류메트릭 캡처로 생성된 3D 모델은 정밀한 리깅 데이터를 포함시킬 수 있기 때문에 다양한 포즈의 제작이 가능하며 3D 모델링 프로그램을 통한 자유로운 변형이 가능한 장점이 있다. 또한, 360도 전방위가 구현되어 있으며 3D 모델 제작 단계에서 애니메이션이 반영된 콘텐츠를 제작할 수 있으므로 손쉽게 VR/AR 콘텐츠를 제작할 수 있으며 활용성 또한 뛰어나다.

메타버스가 대중화되고 5G 통신기술을 넘어서 차세대 6G의 보급을 통해 고품질의 3DoF(degree of freedom) 콘텐츠의 스트리밍을 앞두고 있는 시점에서 효율적으로 고품질의 3D 모델을 생산할 수 있는 기술에 관한 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 현재 볼류메트릭 캡처 기술은 태동기 단계로 아직 제작 프로세스와 기술의 표준이 정립되지 않았다.

이런 상황에서 볼류메트릭 캡처의 프로세스에 대한 선행적 연구는 양질의 실사 3D 콘텐츠 제작에 있어 길잡이 역할을 할 것으로 여겨진다. 한편, 본 연구를 진행하는 데 현재 사용되고 있는 제한적인 기술만을 활용하였으며 다양한 기술들에 대해 전반적으로 다루지 못하였다는 점이 본 연구의 한계로 남는다. 본 연구를 바탕으로 이후의 연구에서는 제작을 위한 다양한 시도 및 고품질의 결과물 획득을 위한 프로세스에 대한 발전된 연구가 지속되기를 기대한다.

참고문헌

1. 볼류메트릭 캡처 및 XR 활용, 민병왕, 부산정보산업진흥원, 2021 한-아세안 융합빌리지 XR 교육 자료, 2021.
2. Worldwide Volumetric Video Market Insights, Businesswire, 2020.
3. 서영호, 볼류메트릭 실사 4D 영상 기술, 방송과미디어, 2021.4, 제26권 제2호.
4. Song Zhou & Sheng Xiao, 3D face recognition: a survey, Human-centric Computing and Information Sciences, 2018, Vol.8, No.35.
5. 비디오플러스, 실시간 CG 구현 기술의 최신 트렌드 ② 포토그래메트리, 2019. 1.
6. Charles Thomson, What are point clouds? 5 easy facts that explain point clouds, Vercator, 2019. 5. 13.
7. autodesk.com
8. baslerweb.com
9. bitfab.io
10. depthkit.tv
11. lisajamhoury.medium.com
12. mn-nh.com
13. open3D.org
14. 3dscanstore.com