

가상 현실에서 모션캡처의 활용가능성에 관한 연구

최인규, 박현주
인제대학교 디자인학과

A Study on Practical Application of Motion Capture System in Virtual Reality

In-Kyu Choi, Hyun-Ju Park
Department of Design, Inje University

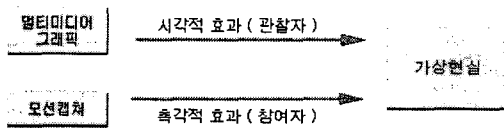
요약

본 연구는 모션 캡처 시스템의 향후 활용 가능성을 알아보고자 한다. 최근 3차원 인체 모델링의 사실적 표현에 대한 각 분야별 관심이 높아짐에 따라 몇 년 사이에 급속도로 발전하고 있는 모션 캡처 시스템을 가상현실의 기술적 동향에 따른 그 응용 분야와 모션 캡처의 역사적 발전 과정을 고찰하여 분야별 활용 가능성을 제시하는데 그 목적이 있다. 모션 캡처 시스템은 캡처 받는 유형에 따라 음향식, 기계식, 전자기식, 광학식, 푸켓 등으로 나눌 수 있는데 이 중에 캡처 분야에서 주로 많이 사용되고 있는 광학식 시스템을 기반으로 연구를 진행한다.

1. 서론

1.1 연구 필요성과 목적

최근의 실시간 렌더링(realtime rendering)기술¹⁾과 헤드-마운트드 디스플레이(HMD: head-mounted display)와 같은 디스플레이 장치들의 놀라운 발전으로 인하여 한동안 주춤 하였던 가상현실²⁾ 분야가 국내외의 여러 다양한 분야에서 집중적인 관심을 끌고 있다. 1989년에 처음으로 인공현실(artificial reality)이라는 용어가 나왔지만 이미 1970년대 중반에 비디오 플레이(video place) 개념을 창안하고 개척자 중의 한 사람인 크루거(Myron Krueger)에 의해 탄생되었다. 그 후에 미국의 VPL Research사의 사장이었던 재론 레니어(Jaron Lanier)에 의해 1989년에는 가상 현실이란 용어로 다시 표현되었다.



[그림 1] 모션캡처가 가상현실에 주는 효과

본 연구는 가상현실 응용 분야에서 사용자의 기대치를 충족시키기 위해 사용되고 있는 모션캡처³⁾의 활용을 고찰해 보면서 향

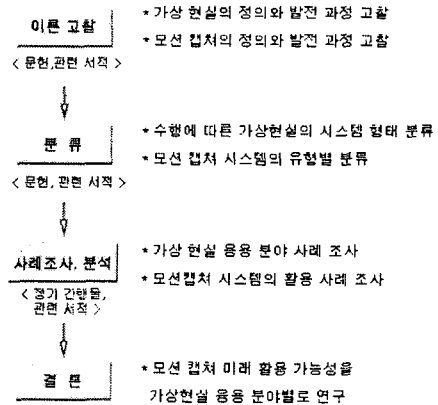
1) 인터랙티브(interactive)한 상황에서 발생 가능한 모든 사건을 실시간으로 처리 할 수 있는 기술

2) 어떤 특정한 환경상황을 컴퓨터를 이용하여 모의실험(simulate)함으로써 그것을 사용하는 사람이 마치 실제 주변 상황환경과 상호작용을 하고 있는 것처럼 만들어 주는 인간컴퓨터 간 인터페이스(엠펙스 백과사전, 2002. 4. 5., www.empas.com)

3) 실제 인간(동물)의 동작 데이터를 컴퓨터에 수록하는 기술. 수록된 데이터는 골격

후 발전 가능성을 연구하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구범위 및 방법



[그림 2] 연구범위 및 방법

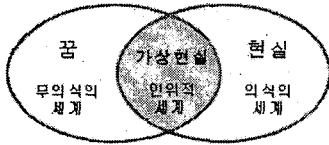
2. 가상현실의 개념 및 유형 분류

2.1 가상현실의 정의 및 역사적 발전 과정

(skeleton) 모델에 꼭 맞게 해서 컴퓨터 그래픽스(CG) 영상으로 재생할 수 있다. 몸에 감지기(sensor)를 부착시켜서 동작을 기록하는데, 수집 방법으로는 자기식, 적외선 식 등이 있다. (엠펙스 화상통신 용어 사전, 2002-04-15, www.empas.com)

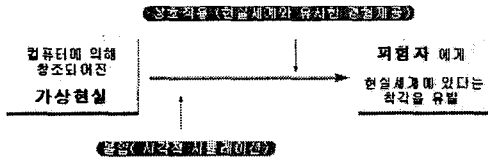
2.1.1 가상현실의 정의

가상현실이란 서로 모순되는 가상과 현실이란 두 단어의 합성은 우리에게 모호함을 준다. 먼저 꿈과 현실, 가상현실과의 관계를 알아보면 다음과 같다.



[그림 3] 꿈과 현실과 가상현실의 상관 관계정립

즉 가상현실은 꿈과 같은 가상의 세계를 컴퓨터로 인위적으로 만들어 자기 자신과 반응하는 상호 관계의 시스템이라 할 수 있다.)



[그림 4] 가상현실에서 필요한 기술적 요소

이세훈, 인사이드 멀티미디어, 대림출판사, 2000, pp 346-347

모션 캡처의 활용은 현실세계의 움직임과 같은 효과를 제공하여 가상 현실 속에서 상호 작용을 더 현실감 있게 나타낼 수 있다. 본 논문에서 가상현실은 컴퓨터로 조작된 사이버 공간에서 사용자가 관찰자가 아닌 참여자로서 상호 작용을 함으로써 그들이 높은 현실감을 느낄 수 있는 공간으로 정의 내리고자 한다.

2.1.2 가상현실의 역사적 발전 과정

년대	인물과 업적
1960	· 이반서덜랜드 박사: 스캐치 패드 발표
1970	· 톰파넬스: 헤드 업 디스플레이 연구 · 프래드릭 브룩스: 그로페시스템 고안, 플라이트 시뮬레이터 고안 · 피직스페이스 · 크루커: '인공현실' 책 발표(출판 1983년) 비디오 플레이스 개발 시도
1980	· 나사의 미של 맥그레이비: 2개의 액정화면을 통한 입체영상을 만들고 이것을 통하여 특수 광학계와 어느 쪽을 보고 있는지 결정하는 위치 및 방향지정 센서를 부착된 헬멧 개발. · VPL Research사의 제너레이터: 에어기타(8) 개발 · 통합형 가상현실 시스템 개발(RB2: reality built for two) · 클리스 젠들의 닌테도 오락게임기에 쓰일 파워 글로브 개발
1990	· 영국 W. Industries: '버추얼리더' 상업용 게임기 개발. 전세계의 시장을 잠식한 최초의 게임기

[표 1] 가상 현실의 시대별 발전 과정

가상현실의 구체적인 연구는 1960년대 초반에 미국의 엠아트

대학에서 시작되어 현재까지도 연구 단계지만 향후 21세기의 핵심 기술로 부상될 것이다.)

2.2 가상현실시스템의 특성

가상현실의 시스템은 형태별로 몰입형(immersion), 데스크탑/탈것(desktop/vehicle)형, 제3자(third person)형으로 나눈다.

① 임장형

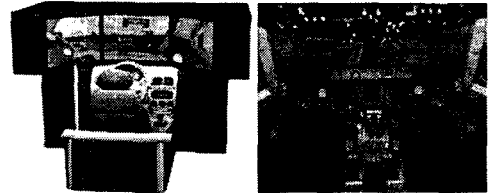
참가자를 환경에 몰입 또는 둘러싸는 방식으로 장비를 부착하여 직접 객체를 잡거나 조작 할 수 있게 해 준다. 이 시스템은 외부와의 완전 차단과 정밀도의 화상과 시간의 치태의 문제점이 많아 개선이 여지가 많은 시스템이다.



[그림 5] 고글과 HMD(head-mounted display)

② 데스크탑, 탈것형

사용자가 잠망경을 통하여 세계를 보는 것과 같이 '윈도우'를 통하여 환경과 상호 작용하는 시스템이다.



[그림 6] 모의 운전을 위한 운전 시뮬레이터

③ 제3자형

사용자가 비디오 카메라 앞에 서면 사용자의 이미지와 신체의 움직임을 포착하여 준비된 영상과 합성하여 사용자가 정말 그 영상 속에 있다는 착각을 일으키는 시스템이다.)



[그림 7] 만달라 시스템을 이용한 이미지 합성 캐나다의 비비드 그룹에서 만달라 시스템을 소개

4) 서종한, 가상현실의 세계, 영진출판사, 1994, pp 12-13

5) 서종한의 앞의 책 pp. 32-43

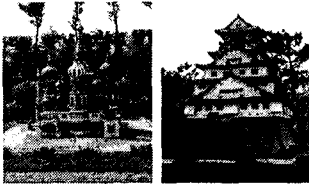
6) 서종한, 앞의 책, p187-189

2.3 가상현실의 응용 분야별 사례

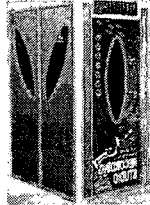
크게 세 가지로 나누어 볼 수 있는데 시뮬레이션, 원격 통신, 원격리 로보틱스 등이 대표적인 예이다.

① 시뮬레이션

가상의 환경을 만들어서 인간으로 하여금 그 모의환경을 경험하게 하는 것이다.



[그림 8] 직 상바실리아 사원 우 오사카 성 제주도에 위치한 소인국 테마파크 <http://www.soingook.com/>



[그림 9] 가상현실 게임기 유적류

② 원격통신

상대방이 있는 공간과 시간을 초월하게 해주는 화상회의 시스템으로 통신산업의 발달과 함께 발전 가능성이 보이는 시스템이다.



[그림 10] 화상회의의 시스템 인터페이스 미트앤 앤버, <http://www.meetn.com/>

③ 원격리 로보틱스

가상현실과 로보틱스의 결합, 우주선 외부나 화성 로봇 팔 등을 설치하고, 우주선 내에서나 지구에서 인간이 특수한 센서나 장갑을 착용하고 작업을 하면 똑같이 로봇이 행동하게 된다. 리차드 프랭클린의 <F/X2>에서 최초로 영화에 선보인다.

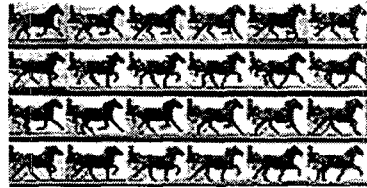
21세기는 가상현실에서의 더 많은 경험을 요구하고, 짜여진 스토리 전개가 아니라 다양한 상호 작용을 위한 인터페이스를 원할 것이다. 모션 캡처 시스템은 이런 사람들의 욕구를 한층 가깝게 다가 갈 수 있도록 도와 줄 것이다.

3. 모션캡처의 개념 및 기술 동향

3.1 모션캡처의 정의와 역사적 발전 과정

모션캡처는 3차원 공간에서 사람이나 동물 등의 각종 오브젝트의 움직임에 대한 위치와 방향을 측정하고 컴퓨터가 사용할 수 있는 형태의 정보로 기록하는 것을 말한다. 일단 데이터가 컴퓨터가 이용할 수 있는 형태로 기록되고 나면 애니메이션은 컴퓨터가 생성한 장면 안에 각 요소(캐릭터 오브젝트)들을 재어하기 위해서 캡처된 데이터를 사용할 수가 있다.

18세기말 메레이와 머어브리지 등의 몇몇 사람들의 사진을 이용하여 사람의 동작을 분석, 이동을 복제를 시도했으며. 전통 수작업의 애니메이션에는 로토스코핑(rotoscoping)⁸⁾이라는 방법이 널리 사용되어 왔다. 이 기법을 활용하려는 요구가 3차원화 된 것이 모션캡처라고 할 수 있다.⁹⁾



[그림 11] 머어브리지의 달리는 말

년도	인물과 업적
1930년대	· 레베카 앨런: 반사경을 이용하여 비디오 테이프에 녹화된 당시의 춤사위를 컴퓨터에 그래픽으로 저장하는 작업 · 컴퓨터를 활용하여 인간의 동작을 분석하는 학문적 연구의 시작
1980년~1983년	· 사이온 프래이서 대학 <클램버트> 교수: 물신 분입기를 인체의 양쪽 무릎에 부착하고 캐릭터의 움직임을 캡처하여 컴퓨터에 나타내게 하는 방법을 처음으로 고안 · MIT 공과대학에서 광 센서를 활용한 모션캡처 방식을 고안하여 실험
1985년	· 상업성을 띤 작품들로 응용되기 시작
1985년	· 밥 에이블: 스코트 광고인 브릴리언스가 슈퍼볼 기간 중에 방영이 시초로 매년 시그니프 행사를 통해 모션 캡처 기술과 응용 범위의 발달이 소개

[표 2] 모션 캡처의 연도별 발달 과정

이경수, 모션 캡처 기술이 영상제작에 미치는 영향에 관한 연구, 명지대 산업대학원 석사학위논문, 1998, p15



[그림 12] 모션 캡처가 응용된 토달리콜의 한 장면

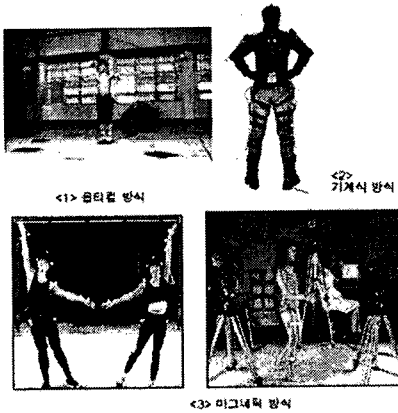
8) 필름을 바탕으로 한 프레임 한 프레임 따라 그리는 가장 고전적인 형태의 모션캡처 기법으로 전통적인 셀 애니메이션에서 가장 많이 사용되었던 방법이다.

9) 한희정, 3D 캐릭터 애니메이션의 표현기술연구, 상명대 대학원 석사, 1998, p31

7) 권태경, 사이버 테크 가상현실, 사이버출판사, 1996, pp. 32-39

3.2 모션캡처의 유형 분석과 최근 기술 동향

모션캡처 장비는 회전 값과 위치 값으로 모션을 캡처하는데 회전 값을 이용하는 장비에는 기계식이 있고, 위치 값을 이용하는 장비에는 광학식이 있으며 두 가지의 값을 모두 이용하는 대표적인 장비에는 마그네틱 방식이 있다. 그리고 몸 전체와 얼굴 표정 모션캡처를 동시에 수행하는 초고속 광학 모션센서를 활용하는 새로운 방식이 사용되고 있다.



[그림 13] 모션 캡처 대표적 3가지 방식 사진

① 음향을 이용하는 방식(acoustic system)

3개의 수신기가 연기자의 신체 각 부위에 부착된 음향 발생기에서 발생하는 음향 신호를 수신한 다음 각 수신기에서 신호가 수신되는 시간의 차이를 이용하여 3차원 공간상의 위치를 검출하는 방식이다.

② 기계적 방식(mechanical system)

연기자의 관절 움직임을 측정하기 위한 전위차계(potentiometer)와 슬라이더(slider)의 복합체로 구성, 자기장이나 원하지 않는 반사등으로 인한 영향을 받지 않는 절대적인 측정장치이다.

③ 자기장을 이용하는 방식(magnetic system)

가장 많이 사용되는 방식 중의 하나로서 음향을 이용하는 방법과 원리는 같으나 자기장을 이용한다는 점만 다르다.¹⁰⁾ 자기식 시스템은 액터의 각 관절 부위에 자기장을 계속할 수 있는 센서를 부착하고 자기장 발생 장치 근처에서 액터가 움직일 때 각 센서에서 측정되는 자기장 변화를 다시 공간적인 변화량으로 계산하여 움직임을 측정하는 방식이다.¹¹⁾

④ 광학적 방식(optical system)

광학적으로 얻어진 데이터는 이용되기에 앞서 많은 사전 작업이 필요하며 액터의 각 관절 부위에 센서 역할을 하는 적외선 마커를 부착하고, 6~16대 이상의 카메라가 2차원적으로 포착하여 그 움직

임을 3차원적으로 추적하여 모션 캡처하는 방식이다.¹²⁾

⑤ 푸펫(puppet)

푸펫 애니메이션은 동유럽에 기원을 두고 발전되어 왔으며¹³⁾, 현대에는 인형을 사용한 스톱모션 애니메이션이라는 기법이 대표적으로 사용되어졌다.¹⁴⁾ 푸펫 방식은 실제 인형에 센서를 부착해 놓은 후 사람이 인형을 움직여 가며 애니메이션을 만들면 그 움직임을 센서가 기록하여 모션캡처를 하는 방식이다.

	기계식	마그네틱	음향법
신체측정	가능	가능	가능
표정측정	가능	불가능	가능
실시간 디스플레이	얼굴만 가능	신체만 가능	신체, 얼굴 모두가능
데이터의 질	저 품질	중간	고 품질
장점	· 액터의 움직임을 실시간으로 캡처 · 노이즈가 적은 깨끗한 데이터	· 마커가 가려지는 경우가 적다 · 적은 공간에서 활용	· 동작의 표현이 자유 · 동물 캡처가 가능
단점	· 설계가 복잡	· 케이블로 인해 액터의 행동이 자유	· 사전에 많은 준비와 전용 스튜디오 필요 · 마커가 오랜 시간 맞물리면 캡처 불가능

[표 3] 모션 캡처 방식 비교

모션캡처시스템의 최대의 목표는 인간이나 동물 등 해부학에 근거한 물체의 움직임을 잡음이나 어러가 없이 얼마나 사실적으로 정확한 데이터를 얻어내는데 있다. 최근의 장비의 기술흐름은 기존의 장비의 한계를 인식하고, 새로운 방식의 제품을 찾고 있다. 이 중 대안으로 나오고 있는 방식이 기존의 광학식 모션캡처시스템의 단점인 빛에 약한 점을 보완하여 사용하는 방식으로 단순히 빛에 반사되는 수동적인 마커에서보다 액티브 마커로 바뀌어가고 있다. 이 방식은 광학식 모션캡처시스템의 장점인 유연한 사용환경을 취하면서 빛에 민감한 점을 배제하여 실내의 어디서나 사용이 가능하고, 마커가 섞이거나 잃어버리는 경우가 없이 깨끗한 데이터를 얻어 낼 수 있도록 한 제품이다. 새로운 형태의 모션캡처 시스템인 Charmwood Dynamics사의 CODA mpx 30 System, 지이로(Gyro)등이 있다.

4. 가상현실에서 모션 캡처 활용 가능성

4.1 엔터테인먼트 분야

① 영화

최초의 영화는 앞에서 기술했듯이 폴 버호벤 감독의 <토탈리콜>에서 해골장면이다. 그 후 스피버그와 함께 특수 효과를 담당했던 모션 제작팀의 스텐 윈스턴 스튜디오는 영화 <유라기 공원>에서 혁신적인 컨셉과 빈틈없는 기획을 하였다. <스타워즈 에피소드 1>로봇으로 제작한 렉스에 마그네틱 센서를 부착하고 한 애니메이션가 손으로 한 동작 한 동작 액션을 만들어 냈고 그 데이터를 받

10) 은창수, 3D 컴퓨터 애니메이션을 위한 움직임 연출 연구, 석사학위논문, 1999, pp 25-26

11) 이경수, 앞의 책, pp. 87-88

12) 최은옥, 스킨-스켈레톤 바이딩 알고리즘을 이용한 다 관절체 모델의 구현, 충북대학교 대학원, 박사학위논문, 1998, p9

13) 영상디자인, 한국미술연구소, 시공사, 1997, p184

14) 토마스G. 스미스, 민병택 옮김, 특수효과기술, 집문당, 1997, p132

아들인 소프트웨어 이미지 프로그램에서 모델을 리얼타임으로 복잡한 캐릭터 애니메이션 장면을 제작하는데 사용되었다.¹⁵⁾

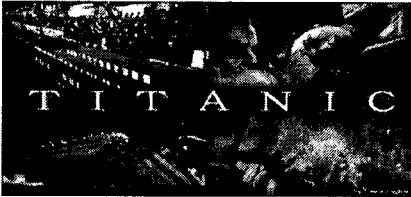


[그림 14] 세스타워즈



[그림 15] 류리기 공원

라이브 액션 필름에서 모션캡처의 주요응용분야는 디지털 엑스트라¹⁶⁾, 디지털 스텐트맨, 디지털 클라우드¹⁷⁾(digital crowd)이다. 디지털 도메인 사에 의해 만들어진 영화<타이타닉>은 광학식 모션캡처시스템을 활용해서 만들어졌다. 배가 항구를 떠나는 것과 같은 장면은 그 주위에 수많은 디지털 엑스트라들을 활용하였다.



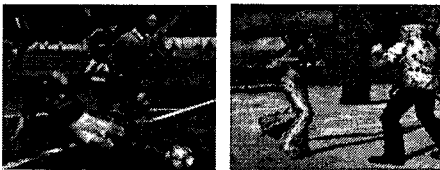
[그림 16] 타이타닉호

2002년 광경택 감독의 영화 <캠피온>에서는 모션캡처로 장면과 엑스트라 위치나 권투 시합 장면 리허설을 검토한 후 영화 제작에 들어가 화제가 되고 있다.



[그림 17] 캠피온

② 게임



[그림 18] 작 FIFA 2002 우 침권 4

게임에서 활용 목적은 첫째, 기존의 키 프레임 방식으로 표현되었던 어색한 동작을 좀더 사실적인 동작으로 표현하기 위해 들

레, 자연스런 동작을 실시간으로 표현이 가능하기 때문 셋째 실제 사람과 같은 움직임을 보여 줌으로써 게임의 흥미도를 한층 증가시킬 수 있다는 점에서 제작자의 관심을 받게 되었다.

③ 텔레비전 시리즈

애니메이팅된 텔레비전 쇼에서 퍼포먼스 애니메이션¹⁸⁾이 활용되기에는 시장이 너무 작다. 텔레비전 특성상 리얼하고 디테일한 캐릭터의 움직임이 필요하지 않았기 때문이다. 한국과학기술원 전산학과 신성용 교수팀과 KBS 공동 개발한 사이버 캐릭터 <팡팡>은 사이버 스튜디오 시스템과 사이버 캐릭터 시스템으로 구성되었다. 사이버 스튜디오는 블루 스크린, 액터, 카메라 움직임 데이터 추출 장치 등으로 구성되었으며, 사이버 캐릭터 시스템은 몸동작 모션캡처, 손동작 모션캡처, 얼굴 표정 모션캡처 및 제어부 등으로 구성되었다. 사이버 스튜디오 시스템은 블루 스크린 앞에서 MC가 연기하면, 그에 따라 원격으로 카메라를 조정하고, 카메라의 움직임에 따라 데이터는 워크스테이션으로 보내지게 된다. 워크스테이션에서는 이 데이터를 받아 3D로 제작된 그래픽 배경 세트로 실사 움직임만큼 변형하고, 청색 부분을 제거함으로써 그 부분에 워크스테이션의 출력 이미지를 첨가하여 자연스러운 최종 합성 화면을 만들어냈다. 이 작업은 국내 3차원 애니메이션 기술의 전환점을 맞이하는 계기가 되었다.¹⁹⁾



[그림 19] 사이버 캐릭터 팡팡



[그림 20] 작 나잘란 박사 우 토틀라

④ 뮤직 비디오



[그림 21] 작 여성 6인조그룹 오른쪽 위에서 나즈카, 우 보렘 나즈카

나즈카(Nazca)는 여성 6인조 그룹의 <나즈카>의 보컬로 활동하는 사이버 가수이다. 사이버 상에서는 6인조 댄스 그룹으로 오프라인 상에는 5인조 댄스 그룹으로 활동하는 그룹인데 댄스 동작 모션캡처 뮤직비디오로서 리얼한 댄스 동작을 위해 그룹의 일원 중 한사람이 직접 액터가 되어 촬영하고 립싱크 장면 등에서 전문가가 직접 액터 연기를 함으로써 실감나고 최종 결과물에도 리얼

15) 이경수, 앞의 책 p41

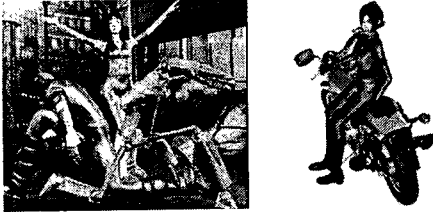
16) 하나 또는 다른 이유로 디지털화 된 배경 인물 캐릭터

17) 수많은 사람, 동물의 때, 무리 등의 예로 세 때, 관람석의 관중, 퍼레이드의 관중 등

18) 등장 캐릭터가 실시간으로 출연자와 대화하는 것으로 고도의 기술력을 필요로 한다.

19) 이민우, 디지털 엔터테인먼트에 있어서 모션캡처 기술을 활용한 효과적인 3D 캐릭터 애니메이션에 대한 연구, 명지대 산업대학원 석논, 2001, pp 104-106

한 결과를 얻을 수 있었다. 우선 액터의 주요 관절 부위에 30-30개의 마커를 부착 후 8-10대의 각각의 LCD 카메라가 마커의 거리 값을 2D 형태로 촬영한 후 각각의 카메라가 얻은 데이터를 합산 처리해 3D 형태의 결과물로 만들어내는 광학식 모션캡쳐시스템으로 작업을 했다.



[그림 22] 사이버 3인조 맨스 그룹 인츠

[참고 문헌]

- 서종한, 가상현실의 세계, 영진 출판사, 1994
- 권태경, 사이버 테크 가상현실, 사이버 출판사, 1996년
- 이세훈, 인사이드 멀티미디어, 대림 출판사, 2000년
- 김성호·정문열, "광학식 모션 캡처 기반 애니메이션 시스템 설계", 숭실대학교 대학원 전산학과 멀티미디어 연구실
- 김진홍, 다중 소형 로봇을 이용한 그룹 모션 캡처 및 동작 애니메이션, 성균관대학교 학원 석논, 1999
- 문건필, 모션캡처 시스템의 운동학적 활용방안, 연세대학교 대학원 체육학과, 2000
- 서경태·김성호·정문열, 광학식 모션캡처 데이터에 Euler Angle을 적용한 애니메이션 구현, 숭실대학교 대학원 전산학과 멀티미디어 연구실
- 이경수, MOTION CONTROL 기술이 영상제작에 미치는 영향에 관한 연구, 명지대 산업대학원 석사학위논문, 1998
- 이관우, 디지털 엔터테인먼트에 있어서 모션캡처 기술을 활용한 효과적인 3D 캐릭터 애니메이션에 대한 연구, 명지대학교 산업대학원 석사학위 논문, 2001
- 은창수, 3D 컴퓨터 애니메이션을 위한 움직임 연출 연구, 석사학위논문, 1999
- 추장우·이동훈·김성진·정순기, 광학식 모션 캡처 데이터의 궤적 추적용 위한 동적 모델 생성, 숭실대학교 대학원 전산학과 멀티미디어 연구실
- 최지영, 제스처 인터페이스를 채용한 가상 공간제작 시스템, 한국과학기술원, 1998
- 한희정, 3D 캐릭터 애니메이션의 표현 기술 연구, 상명대 대학원 석논, 1998
- 컴퓨터그래픽스 전문지(graphics live), 2001년 5월호
- 컴퓨터그래픽스전문(graphics live), 2001년 3월호
- 주)모션 메서드의 홈페이지 발매, 정보통신부 주관의 "2000년 정보통신부 우수신기술 지정지원 사업"에 2000년도 1차 우수신기술로 지정된 업체
- <http://cg.kaist.ac.kr/> 한국과학기술원 전산학과 홈페이지
- http://ait.kumoh.ac.kr/old_home/books/book10/book1018.html
- <http://www.clubnazca.com/> 나즈카 공식 홈페이지
- <http://myhome.naver.com/rsv50/nazca/main.html#>
- <http://211.114.125.28/main3.htm> 춘천대학교 가상현실연구소
- http://vr.knu.ac.kr/kor/index_kor.html 경북대학교 가상현실 연구소
- <http://211.114.125.28/main3.htm>
- <http://center.cie.hallym.ac.kr/~gve/>
- http://vr.knu.ac.kr/kor/index_kor.html
- <http://center.cie.hallym.ac.kr/~gve/>
- http://vr.knu.ac.kr/kor/index_kor.html
- <http://www.sics.se/dive/>