

主 題

가상현실을 이용한 멀티미디어 통신서비스

한국전자통신연구원 류성원, 박상규, 이의택

차 례

1. 서론
2. 가상현실과 그 주변
3. 가상현실 기반기술
4. 가상현실 상호작용을 이용한 멀티미디어 통신
5. 결론

1. 서론

가상현실(VR, Virtual Reality)이란 컴퓨터를 용하여 인간의 오감에 의해 가상의 현실감을 느낄 수 있게 하는 기술이라고 정의할 수 있다. 가상현실에서는 현실에서 불가능한 것도 마치 가능한 것처럼 느끼게 할 수 있다. 사람은 대부분의 정보를 시각과 청각의 두 감각으로 받아들이기 때문에, 가상현실에서도 영상과 음향이 사용된다. 하지만 이러한 정보만으로는 사람에게 충분한 현실감을 충분히 제공하지 못하게 때문에 최근에는 촉감, 질감, 평형감, 냄새 움직임 등의 정보가 사용되기 시작하고 있다. 가상현실을 이용한 통신이란 이러한 가상세계에서 여러 가지 다양한 정보 매체를 사용하여 사용자가 가상세계 안의 오브젝트나 다른 사용자와 상호작용을 하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 통신에서는 가상현실 환경이 한사람에게 제한되지 않고 여러 사람이 서로 연결되어 어떤 감응, 즉 대화뿐만이 아니라 여러 가지

물리적인 감응을 서로에게 주고받으면서 마치 같은 공간에 있는 것처럼 느끼게 하고, 더 나아가 현실에서 불가능한 감응까지도 교환할 수 있다. 이러한 대화의 당사자가 존재하는 공간을 Media Space라고 하며 멀리 떨어져 있는 상대방의 존재감을 서로 느낄 수 있는 것을 Telexistence 또는 Telepresence라고 한다.

멀티미디어 통신이란 영상, 음향, 텍스트, 그래픽 등의 여러 가지 정보를 하나의 통합된 전달 시스템으로 연결하여 멀리 떨어진 사용자에게 제공하는 것이다. 멀티미디어 통신의 발전된 형태로서 가상현실을 이용한 멀티미디어 통신은 가상현실로 이루어진 공간에서 다양한 감응 수단을 이용하여 사용자들끼리 여러 가지 상호작용을 통해 서로 통신하는 것을 의미하게 된다.

본고에서는 가상현실 통신의 개념과 멀티미디어

의 기반기술 그리고 이러한 것을 가능하게 해 주는 통신 기반과 연결 방법 등을 소개하고자 한다. 먼저 2장에서는 가상현실, 인터넷 그리고 멀티미디어 기술 등에 대해서 개괄한다. 3장에서는 가상현실을 가능하게 하는 기반 기술을 소개하고, 4장에서는 구현 관점에서 VR 멀티미디어 통신 기술에 대해서 살펴 본다.

2. 가상현실과 그 주변

2.1 가상현실과 통신

가상현실과 멀티미디어 그리고 통신이라는 것의 의미를 폭 넓게 보자면 전화를 하는 것도 일종의 VR 멀티미디어 통신의 제한된 형태로 볼 수 있다. 음향이라는 하나의 정보 채널 안에서 서로가 가상현실 공간을 공유하는 것이다. 전화 너머로 상대방은 서로의 귀와 귀 옆에 있는 것이기 때문이다. 눈을 감고 소리를 들으면 자동차 소리, 아이 웃는 소리 등등 주변의 소리들이 현장감을 전해준다.

VR 멀티미디어 통신에서는 전화와 비슷한 통신 방식이 사용되지만 주어지는 데이터의 전달 채널에 따라 전해줄 수 있는 현실감의 종류가 달라진다. 만일 영상 채널이 주어진다면, 서로 보면서 이야기를 할 수 있다. 만약 보는 시각에 대한 움직임까지 전달할 수 있다면, 고개를 돌려 그 사람뿐만 아니라 창문 밖의 놀이터까지 보는 것도 가능할 수 있다. 또한 감각의 전달이 가능하다면, 악수를 할 수도 있을 것이며, 냄새나 미각의 전달이 가능하다면 요리의 냄새나 맛을 볼 수도 있는 것이다.

문제는 이러한 여러 가지 채널의 정보들을 사람이 느끼지 못하는 충분히 빠른 시간 안에 전달하여야 하는 것이다. 국제전화를 할 때에 상대방의 말이 조

금 늦게 전달되면 무엇인가 허전한 느낌을 준다. 마찬가지로 이러한 영상 채널의 양이 제한된다거나, 보는 시각이 제한된다면 사용자는 가상현실이라는 것에 한계를 느끼게 되고 역시 무엇인가 허전한 느낌을 받게 된다. 따라서 가상현실을 사용한 멀티미디어 통신을 구현하기 위해서는 사용자에게 현실감을 주는 것이 무엇보다 중요하다.

또 다른 특징으로서 VR 멀티미디어 통신은 데이터 통신이 가능하다는 것인데, 데이터의 형태는 자연에서 표현되는 멀티미디어 형태의 통신뿐만이 아니라, 컴퓨터로 표현 가능한 모든 데이터가 이러한 데이터 통신에 사용될 수 있다. 이러한 특징은 가상현실에 의한 멀티미디어 통신을 기본적인 음성 통신의 단순한 확장이 아닌 전혀 새로운 매체로 탈바꿈시키는 역할을 하게 한다. 전화는 사람과 사람 사이의 통신이었지만, 컴퓨터가 제공하는 데이터는 단순히 부가적인 정보를 제공하는 것으로 끝나는 것이 아니라 전에 없었던 새로운 관계를 가상현실에 제공하게 된다. “사람 <--> 사람”의 관계에서 “사람 <--> 사람, 컴퓨터”라는 새로운 가능성을 열어 줄 수 있으며, 또한 가상현실 세계에 뛰어들 수 있는 모든 정보 입출력 장치의 사용이 가능하다는 의미를 가진다. 이러한 가상현실 데이터는 단순한 제공형 데이터의 범위뿐만이 아니라 상호작용이 가능할 뿐 아니라 상호작용의 범위도 단순한 사람의 선택에서 벗어나 컴퓨터가 적극적이고 능동적으로 데이터를 제공하는 것도 예상될 수 있다.

2.2 가상현실과 인터넷

VR 멀티미디어를 수용할 수 있는 통신 매체로 가장 주목을 받고 있으며 실제로 사용되고 있는 것이 바로 인터넷이다. 인터넷은 기존의 학술 정보 교환의 영역을 벗어나 이미 멀티미디어 통신을 구현하기 위한 표준으로 자리잡고 있으며, 현재 인터넷의 문

제점인 데이터 대역폭의 한계와 지연(latency)의 문제, 주소의 한계 등을 극복하기 위한 연구가 지속적으로 계속되고 있다. 사람이 가상현실에서 현실감을 느낄 정도의 충분한 데이터를 보내주는 것은 물론이고 사람이 느끼지 못하는 시간 안에 반응을 하는 것을 가능하게 하기 위해서는 데이터 통신량과 지연 시간 등의 문제는 꼭 해결되어야 한다. 이러한 한계를 극복하기 위한 연구로는 크게 IPv6 또는 IPng 등과 같이 인터넷의 수용 한계를 증가시키는 연구와 실제 데이터의 전송률과 지연을 줄이기 위한 물리 계층의 속도와 반응을 높이기 위한 고속 통신 인프라 연구(SDH/SONET, ATM) 등이 진행되고 있다. IPv6은 기존 인터넷 프로토콜 기반인 IPv4를 포함하면서 더욱 확장된 128비트 주소영역과 암호화, 실시간, 사용자 인증 정보 등의 다양한 서비스 방식과 자동 주소 인식, 자동 IP 주소 부여 등의 발전된 프로토콜 제어를 제공하고 있다. ATM과 SDH/SONET은 이미 기존의 IP를 수용할 수 있는 방법을 제공하고 있으며, IPv6이 실용화될 것에 대비하여 이를 이용한 통신 방법도 개발되고 있다.

컴퓨터 데이터 통신을 위한 데이터 표현 방법 역시 많은 연구가 진행되고 있다. 현재까지 가장 널리 쓰이는 데이터 표현 방식은 web 서비스를 지원하는 HTTP이다. HTTP는 일반적으로 HTML로 구현되며, 텍스트 중심의 2 차원 정보를 주로 전달하였다. 최근에는 3차원 물체를 표현하는 VRML까지 지원하고 있다. VRML은 3차원 물체의 기하 정보(geometry)와 움직임, 그리고 3차원 물체간의 간단한 상호 관계를 표현할 수 있기 때문에 기존의 web환경을 한층 발전시키고 있지만 복잡한 사용자간의 상호 관계를 표현하기에는 여전히 부족한 면이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 연구로는 여러 사용자를 가상현실 공간상에서 표현하기 위해 아바타(가상공간에서의 자기 분신)를 사용하는 것에서

부터 아바타 사이의 상호작용, 가상현실 객체와의 상호작용, 그리고 가상현실 객체의 변형과 변환, 표현 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 가상공간을 표현하는 방법으로는 강력한 그래픽 처리능력이 요구되며, 이미 SGI사의 OpenGL이라는 그래픽처리 시스템이 표준으로 자리잡고 있다. 아바타를 포함한 가상공간 구축과 관련해서는 아바타의 생성, 표정 표현, 행동양식의 표현 그리고 가상현실 환경의 제작과 표현을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 사용하는 하드웨어 기반에 구애를 받지 않고 시스템을 구현할 수 있도록 이미 Java를 사용한 삼차원 물체의 표현이 Java 3D로 발표되었으며, 앞으로는 기존의 기반 위에서 얼마나 많은 자유도를 가지고 표현할 수 있는가가 중요한 연구과제가 될 것이다.

2.3 가상현실과 MPEG

데이터의 전송량을 늘리는 것과 마찬가지로 동일한 것을 표현하면서도 표현에 필요한 데이터의 양을 줄이는 것 역시 상당히 중요한 문제이다. 멀티미디어 통신에서 가장 많은 대역폭을 차지하는 영상 신호는 이미 국제적인 표준화 기구인 MPEG에 의해서 MPEG-1, MPEG-2등으로 표준화되어 이미 사용되고 있다. MPEG-1은 가정용 영상 화질을 가지는 동영상 압축을 가능하게 했으며, MPEG-2는 현재의 방송용 화질을 만족시키는 것 뿐 만이 아니라 앞으로 HDTV에도 적용이 될 수 있는 화질을 제공할 수 있다. 이러한 표준화는 단순히 영상과 그에 동기된 음향 신호만을 압축 부호화 하는 것에서 벗어나 이미 멀티미디어와 대화형의 데이터를 압축하기 위한 표준안으로 발전하고 있다. MPEG-4는 기존의 MPEG-1과 MPEG-2와는 달리 다양한 멀티미디어 자료의 압축과 표현에 목적이 있다. 또한 기존의 MPEG-1과 MPEG-2는 자연영상만의 부호화를 목적으로 연구되었지만, MPEG-4는 자연영

상과 컴퓨터에서 합성된 영상을 결합하여 처리하고 있다. 자연영상과 합성영상의 결합은 단순한 한 화면 안에서의 합성뿐만 아니라 사용자가 주는 신호에 따라 상호작용을 하는 형태를 가지고 있다. MPEG-4는 VRML의 기능을 포함하는 방향으로 진행되고 있으며, 기본적인 가상현실을 구현할 수 있는 표준으로 자리를 잡아가고 있다. 이러한 예로 전자상거래에서 단순히 물건을 선택하는 것에서부터 실제 거래하는 사람들의 얼굴의 표정을 합성하거나 아바타의 상거래 행동을 표현하는 것까지 아주 다양한 형태로 적용된다. MPEG-4는 충분하지는 않지만 가상현실을 포함한 멀티미디어 통신의 현실적인 대안이 될 수 있을 것으로 보인다.

MPEG 표준화는 멀티미디어 압축 및 통신 영역을 넘어서 이러한 멀티미디어를 분류하는 방법까지도 표준화 대상으로 하고 있다. 이러한 연구가 MPEG-7의 이름으로 활발히 추진되고 있다. MPEG-7은 기존의 MPEG-1, MPEG-2 및 MPEG-4가 멀티미디어 압축 부호화 표현 및 전달을 위한 표준화라면, MPEG-7은 이러한 멀티미디어 자료의 저장과 검색 그리고 분류를 위한 표준화 작업까지를 대상으로 진행하고 있다. MPEG-7은 기존의 텍스트 기반의 검색과 저장뿐만 아니라 멀티미디어 검색을 위한 각종 기술을 개발하고 있는데, 그림의 내용에 대한 간단한 설명에 근거한 검색에서부터 단순화된 그림에 의한 검색, 사람이 노래하는 소리를 추적하여 검색하는 것까지 아주 다양한 멀티미디어 검색을 위한 연구를 진행하고 있다.

멀티미디어 통신을 지원하는 차원에서 MPEG-7이 효과적으로 사용될 수 있는 것과 마찬가지로 가상현실을 이용한 멀티미디어 통신에서도 내용물의 신속한 검색과 전달 측면에서 MPEG-7과 가상현실이 서로 적용될 가능성이 충분히 있다.

3. 가상현실 기반기술

3.1 실시간 인터랙티브 3차원 그래픽스 - 특히 렌더링

가상현실을 실제로 구현하기 위한 가장 큰 문제점 중 하나는 바로 사람이 눈으로 보는 것을 컴퓨터로 재구성하는 작업이다. 특히 고정되거나 제한된 시야가 아니라 사용자의 시점변화에 맞추어 사용자가 현실감을 느낄 수 있을 정도의 반응시간 안에 컴퓨터는 사람이 보고자 하는 장면을 재구성하여야 한다. 이러한 분야의 연구는 상당히 오랜 기간 동안 계속되어 왔으며 고속 그래픽처리 하드웨어의 개발과 기억 용량의 증가 등으로 상당한 발전이 있었다. 하지만 사람이 현실감을 느끼도록 하려면 0.1초 이하의 반응시간을 가지는 그래픽 렌더링 시스템이 필요하다. 이러한 목표를 만족시키기 위하여 다음과 같은 연구들이 진행되어 왔다.

Multiresolution : 사람은 가까이 있는 것의 세세한 특징은 자세히 관찰하지만 멀리 떨어진 물체의 특징에는 관심을 두지 않는다. 따라서 사용자에게서 멀리 있는 물체는 그렇게 자세하게 보이지 않아도 상관이 없다. 이러한 점을 사용하여, 가까운 경우와 멀리 떨어져 있는 경우에 따른 물체의 표현을 다르게 하는 방법이다. 한가지 방법은 거리에 따라 물체를 구성하는 다면체의 숫자를 조절하여, 그래픽 시스템의 부하를 줄여 렌더링 시간을 줄이는 것이다.

Texture Mapping : 물체를 다면체로 분해하여 표현하지 않고 하나의 판박이 그림으로 표현하는 방법이다. 이러한 방법은 사용자가 물체와 상호작용을 하지 않을 경우는 상관이 없으나, 상호작용을 하는 경우 처리하기 곤란한 문제가 있다. 근래에 개발된 알고리즘들은 Multiresolution의 방법처럼 사용자와 물체 사이의 거리가 줄어들면 물체 판박이

그림이 아닌 다면체로 처리하도록 한다.

Image rendering : 더욱 빠른 속도의 렌더링을 위하여 사용자의 반응에 따라 미리 계산된 장면을 사용하여 새로운 중간장면을 계산해 내는 방식이다. 이러한 방식은 상당한 속도증가를 얻을 수 있지만, 사이 장면을 계산하는 과정에서 여러 가지 불일치가 일어나 그림의 화질이 저하되는 문제가 있다.

3.2 몰입(Immersive) 디스플레이

렌더링된 영상을 효과적으로 사용자에게 전달하는 장치의 연구 또한 오래 전부터 계속되어 왔다. 가장 기본적인 장치로는 기존의 디스플레이 모니터를 사용한다. 이러한 모니터는 그 자체로 입체적인 영상을 표현할 수는 없고, 단지 입체적인 것으로 렌더

링된 영상을 창을 통해 보듯이 보여줄 뿐이다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 액정 셔터와 시점이 다르게 렌더링된 영상을 결합하는 장치 등이 선보였으며, 사용자의 위치를 추적하여 좀더 깊이를 느낄 수 있는 장치 또한 개발되었다. 사용자가 착용하여 3차원영상을 받아들이는 장치 역시 개발되었는데, 이러한 장치는 1969년 Ivan Sutherland가 만들어 낸 초보적인 HMD에서부터 시작한다고 볼 수 있다. HMD는 이후 단순히 가상현실 장비뿐만이 아니라 여러 가지 상황에서 사용이 가능하도록 발전을 하였으며, 지금은 비행기 조종사의 헬멧에도 장착될 정도로 발전해 왔다. 이러한 HMD는 데이터 표현 장치뿐만이 아니라 데이터 입력 장치와의 결합으로도 사용되고 있는데, 이 개념이 발전하여 착용하는 컴퓨터(wearable computer)의 기본 개념에 영향을 주었다. 현재의 HMD는 사용자에게 영상을

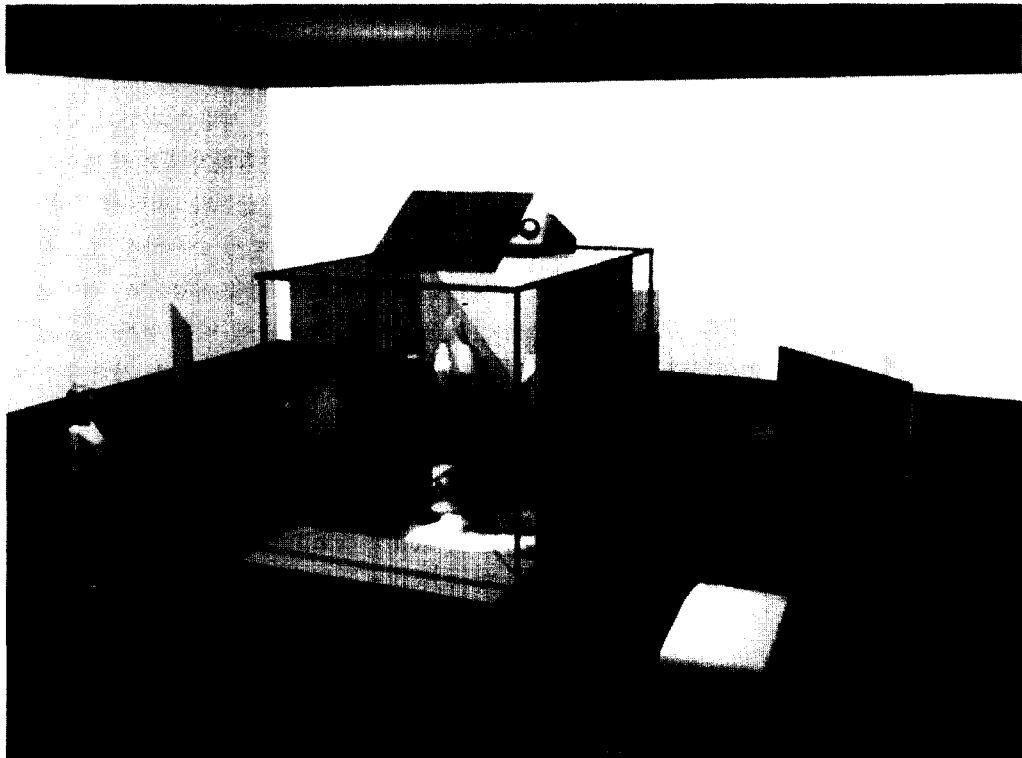


그림 1. CAVE의 구성도

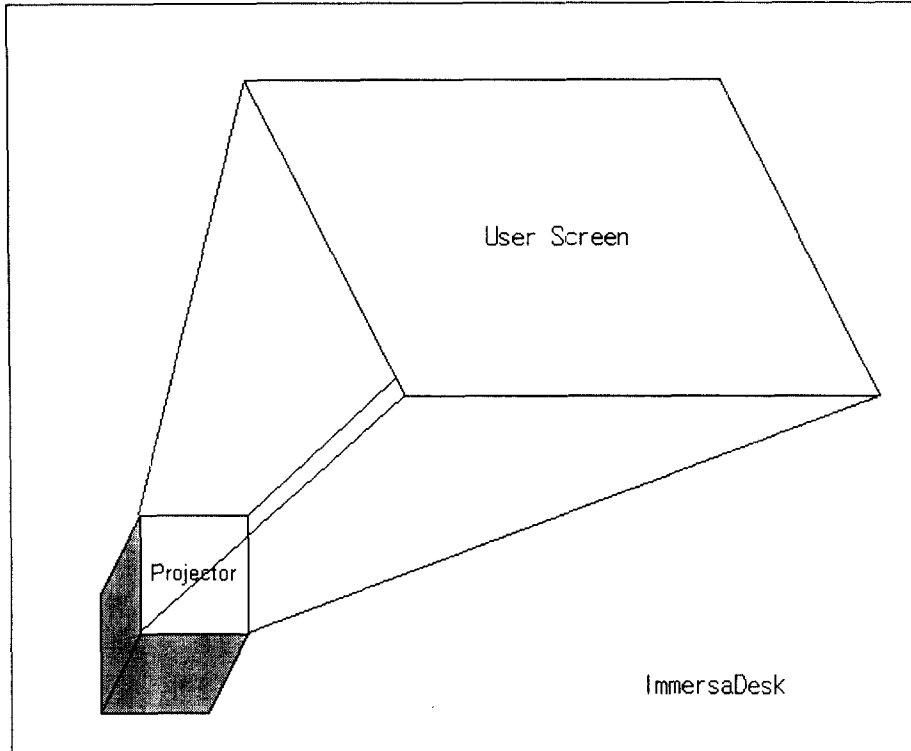


그림 2. Immersa Desk의 구성도

제공하는 것뿐만이 아니라 카메라를 장착하여 사용자가 보는 영상을 다른 사용자에게 전송하기도 하며, 이 영상을 가상현실 영상과 합성하여 제공하는

혼합현실(MR, Mixed Reality)로 발전하고 있다. 최근에는 사용자가 보는 영상에 컴퓨터가 개입하여 사용자에게 여러 가지 부가 정보를 제공해 주



그림 3. Immersa Desk 사용 예

는 증강현실(AR, Augmented Reality)장치가 상품화되고 있다. 또한 화면을 눈앞에 두는 것이 아니라 눈에 직접 레이저로 영상을 보내주는 방법 또한 연구가 되고 있는데, VRD라는 장치는 인간의 망막에 레이저를 사용하여 영상을 전달한다.

Cave는 사용자가 몸에 어떤 것을 부착하는 것이 아니라 주변이 전부 디스플레이 스크린으로 구성된 방에서 가상현실 환경을 사용하는 것이다. (그림 1)은 Cave를 보여주고 있다. 27m³의 방에 입구와 천장이 없는 4개의 스크린으로 구성되어 있으며 가벼운 액정 셔터 안경을 착용한 사용자는 액정안경에 의해 스테레오 영상을 볼 수 있다. 현재의 Cave에서는 두 사람 이상이 입체영상을 볼 수 있지만 영상의 변화는 추적장치를 사용하는 한사람에게만 적용되며, 영상의 반응 속도는 느린 편이다. Cave의 단순화한 형태로 Immersa Desk가 있다. Cave가 사용자를 둘러싸는 방식을 취하고 있다면, Immersa Desk는 한 면만을 사용하여 가격을 줄인 장치이다. 비교적 낮은 가격으로 가상현실 환경을 느낄 수 있다. (그림 2)와 (그림 3)이 Immersa Desk의 구성과 사용을 보여주고 있다. 앞으로는 두 사람 이상이 원하는 영상을 볼 수 있고, 또 지연 속도 역시 줄이도록 화면의 표시속도를 증가시키는 연구가 필요하다.

3.3 입장감 음향처리

가상현실에서 이야기하는 입장감 음향이란 기존의 스테레오 음향을 이야기하는 것이 아니라 사용자가 실제로 현장감을 느낄 수 있도록 해주는 음향 효과를 이야기하는 것이다. 이러한 입장감 음향에서는 가상 음원의 위치를 사람이 느낄 수 있도록 하는 것이 중요하다. 또한 3차원적인 음향 재생을 위해서는 공간적인 위치정보 뿐만 아니라 공간이 주는 정보 까지도 표현이 가능하여야 한다. 이러한 공간적인

특성을 처리하기 위해서는 음원정보의 검출, 음상정위, 음장재생, 3차원 음향 및 가상음향 생성 등이 필요하다. 이러한 입장감 음향 처리는 MPEG등의 압축신호 표준에도 반영되어 있는데, MPEG-1의 경우 단순한 스테레오 음향이나 MPEG-2에서의 다채널 방식의 입장감 음향에서 MPEG-4에서는 합성 음향을 주변의 환경에 적응하도록 환경을 구성하는 네트워크를 전달하여 수신을 받은 사용자가 원하는 위치에 음원을 배치할 수 있도록 하고 있으며, 이러한 음원의 효과는 가상의 주변 환경에 영향을 받을 수 있게 하고 있다.

입장감 음향을 구성하는 가장 기본적인 모델은 사람의 귀에 들리는 소리를 재생 또는 합성하여 사람이 입체적인 음향을 느끼도록 하는 것이다. 이 모델은 사람이 느끼는 것을 재생하기 위해서 dummy head나 HTRF를 사용하여 인간의 머리구조를 기반으로 사람이 느끼는 소리를 재구성하는 방식으로 발전해 왔다. 가상현실에서 입장감 음향은 가상공간 상의 물체를 귀로 느낄 수 있도록 그래픽영상과 결합된 형태로 구현된다. 또 사용자의 위치를 추적하여 움직임에 따른 음향효과의 차이를 구현하여 현실감을 증가시키는 방향이 연구되고 있다.

3.4 촉감 및 평형감 처리

현실감을 느끼게 하는 또 다른 수단으로 크게 촉각과 역감 처리기술이 사용된다. 촉각이란 손가락이 느끼는 질감이나 물리적인 자극을 이야기하고 역감이란 질량이나 또는 물체가 있다라고 느끼게 하는 장치를 이야기한다. 또 평형감각은 중력장의 변화를 이야기하는데, 가속, 감속, 회전운동, 진동, 경사 등을 느낄 수 있게 한다.

촉감은 피부에서 느끼게 되므로 피부감각이라고 할 수 있는데 이러한 장치의 궁극적인 목적은 사람

의 피부가 실제물체에서 느끼는 것과 같은 것을 가상현실 세계의 오브젝트에 대해서도 느끼는 것이다. 하지만 피부는 사람의 기관 중 가장 광범위하고, 또한 다양한 종류의 감각이 느껴지기 때문에 이러한 감각을 모두 재현하기란 어려운 일이다. 지금까지의 촉감 정보 처리기술은 감각을 전달하는 것이 목적이었다. 현재까지 개발된 기술들은 주로 여러 가지 물리적인 장치들로 진동과 압력을 주어 사용자가 촉감을 느끼도록 한다. 이러한 것을 구현하는 기술로는 전자석, 압전모터, 공기압, 형상기억합금 등을 사용하는 장치들이 있다. 전자석을 사용하는 장치는 출력이 크고 안정감이 있지만, 제어가 어렵고 상대적으로 무거운 전자석을 사용해야 한다. 압전모터는 1990년 독일 AEG에서 개발되었으며, 기존의 모터에 비해 출력이 크고 가벼우며 제어가 쉽고, 진동이나 임펄스 형태의 자극을 생성시킬 수 있다. Stone과 Henequin은 공기압을 사용하여 압력을 전달하는 Teleact Globe를 개발하였다. 이 장치는 가격이 싸고 작동원리가 간단하지만 부착 부분에 한계가 있으며 신호의 해상도와 대역폭이 작다. 또 형상기억합금을 사용하여 피부에 자극을 주는 방식은 간단하고 공간적인 해상도가 높은 신호를 전달할 수 있고 단위 무게 당 출력이 크다. 하지만 형상기억합금을 움직이려면 열이 발생하고 이것을 냉각시키는 위한 냉각 시간이 필요하여, 냉각 장치의 성능이 형상기억합금을 사용하는 장치의 성능을 좌우한다.

역감 처리 기술은 force feedback 장치라고 하는데, 사용자가 실제로 어떤 물리적인 힘을 느껴야 하기 때문이다. 이러한 장치는 물리적인 구동을 하는 구동 계를 가져야 하고, 동작을 모델링 방법이 중요하다. 가상현실 오브젝트가 실제로 있다는 느낌을 주기 위해서는 각각의 구동 계는 사용자에게 물체의 위치와 모양에 따른 정확한 힘을 전달해 주어야 하는데, 이것은 force feedback 장치에 의지하지 않고 장치에 연결된 가상현실 시스템의 컴퓨터에 의해

결정된다. 이러한 장치가 처리하는 감각으로는 충돌, 쥘, 표면 변형, 표면의 기계적 연성, 거칠기 등이 있다. 실제로 구현되는 장치는 주로 기계적인 철골구조에 사용자가 연결되는 방식을 취하고 있는데 사용자의 팔이나 손에 연결되어 역감을 주게 된다. 이러한 역감을 주는 장치들은 상당한 응용분야가 있는데, 원격수술이나 CAD/CAM 설계 등에서 사용될 수 있으며, VR 멀티미디어 통신에서는 사용자와 사용자, 그리고 가상현실 오브젝트 사이의 상호작용의 물리적인 표현으로 사용될 수 있다.

평형감각을 다루는 기술은 기본적으로 물리학이 인공적인 가속도를 만들어 내는 수준까지 오지 못했으므로 결국 기계적인 장치에 의존하여 실제로 움직임을 일으키는 방식을 취하고 있다. 하나의 방 또는 발판에 여러 가지 자유도를 가지는 운동축을 사용하여 사용자의 평형감각과 운동감각을 유도시킨다. 이러한 자유도는 각각 x , y , z 축의 직선운동과 각 축의 회전운동으로 분류되며, 장치의 성능에 따라 3 DOF를 가지는 것은 게임시장에서 6 DOF를 가지는 장치들은 고가의 시뮬레이션에서 사용된다. 이런 평형감각이나 운동감각 장치들의 표현은 통신이라기보다는 주로 가상현실 환경을 사용자에게 전달하는 것에 목적을 두고 있다.

3.5 후각 및 미각 처리

후각과 미각을 다루는 기술은 아직까지는 통신을 할 수 있도록 하기에는 상당한 기술의 개발이 요구된다. 부분적으로 후각을 표현해 주는 장치들이 시험적으로 연구되고 있지만, 사람이 느끼는 감각을 충분히 입력하여 출력하지는 못하고 있으며, 미각 역시 비슷한 수준에 머물고 있다. 이러한 감각들은 앞으로 가상현실에 대한 연구가 진행되면서 충분히 보완되어야 할 부분이다.

3.6 생체신호 처리

아직까지 연구단계에 머물러 있는 입출력으로 생체신호를 사용하는 방법이 있다. 근전도 신호를 사용하는 것은 사람의 근육이 움직일 때 발생하는 근전도 신호를 입력으로 사용하여 사람의 움직임을 입력으로 사용하려는 것이며, 비슷한 연구로 안구의 운동을 추적하거나 성대의 떨림을 입력으로 사용하는 방법 등이 있다. 안구운동을 추적하는 장치는 HMD처럼 얼굴에 쓰는 것으로 실용화되어 있다.

3.7 동작정보 처리

가상세계를 구현하려면 사용자의 움직임을 가상 세계에서 충실하게 반영할 수 있도록 하여야 한다. 이때 문제는 사용자의 움직임을 입력으로 사용하는 것이 어렵다는 것이다. 또 이러한 움직임을 추적하는 것에서 벗어나 사용자에게 물리적인 물체를 느끼도록 force feedback을 주거나 촉각을 느끼도록 하여야 할 것이고 이러한 복잡한 정보를 입출력하는 것은 아직까지 기술로서는 어려운 일이다. 현재까지 연구된 동작정보 입력장치는 통신이라는 점에서는 별다른 의미가 없다. 통신이 가능하기 위해서는 단순한 입력이 필요한 것이 아니라 입력과 출력이 동시에 행해져야 하기 때문이다. 하지만, 가상현실 자체를 구현하기 위한 기술로는 의미를 가지는 기술이며, VR 멀티미디어 통신이 단순한 사람과 사람 사이의 통신이 아니라 가상현실 세계를 구성하는 구성원들 사이의 상호작용이기 때문에, 이러한 동작 정보 또한 중요한 요소가 된다. 현재까지 사람의 동작 정보를 입력하는 방법으로는 사람에게 직접 연결하지 않고 표시를 달아 무선으로 처리하는 방법과 직접 사용자에게 부착하여 유선으로 처리하는 방법으로 나눌 수 있다. 사용자에게 표시를 달아 움직임을 추적하는 방법으로는 자기장 마커를 사용하거나 또는 초음파 센서, 그리고 CCD 카메라를 사용하는

방법 등이 있다. 초음파 장치나 자기장을 사용하는 경우 감지기에서 거리가 3m 이상 멀어지면 해상도가 떨어지며 주변의 금속이나 다른 물체 등 탐지를 방해하는 것의 영향을 받는다. 어느 정도 거리가 떨어지고 자유로운 행동을 입력받기 위해서는 CCD를 사용한 삼각측량법을 사용하는 움직임 추적장치가 사용된다. 사용자의 몸에 직접 부착하여 사용자의 움직임을 추적하는 방법으로는 데이터 글러브, 데이터 슈트 등이 사용된다.

4. 가상현실 상호작용을 이용한 멀티미디어 통신

이 장에서는 VR 멀티미디어 통신의 실제 구성요소가 되는 아바타와 그러한 오브젝트의 표현과 동작을 가능하게 하는 시뮬레이션 기술, 그리고 멀티미디어를 가능하게 하는 MPEG-4 등을 살펴보고, 이러한 것으로 구성된 시스템의 구조를 살펴본다.

4.1 아바타 기술

아바타는 사람의 움직임을 직접 따르거나 혹은 프로그램으로 자동화되어 사람의 동작을 표현하는 객체로, 가상공간에서 사람을 대신하는 역할을 한다. 주어진 사용자의 직접적인 실시간 입력에 의해서 제어될 수도 있으며, 다른 여러 가지 상호작용이 가능하여야 한다. 이러한 아바타의 주 기능은 사람을 대신하는 것이다. 따라서 사람을 잘 표현할 수 있어야 한다. 이러한 표현으로는 사람의 움직임, 입 모양, 표정 등이 있다. 움직임을 표현하는 경우 아바타가 가지는 자유도, 사용자가 원하는 동작, 동작을 모방하는 정확도 그리고 이들 동작을 가상현실 환경과 얼마나 잘 융합해서 처리하는가가 중요하다. 사람의 입 모양이나 눈 모양, 그리고 표정을 구사하는 것 역시 사용자의 명령이나 사용자의 표정을 따르게 하게

된다. 물론 아바타가 사람이 아닐 수도 있으며, 이런 경우 그에 걸 맞는 여러 가지 행동양식이 필요하다.

가상공간의 객체는 질량이 없는 컴퓨터상의 정보지만, 가상공간이란 사람이 사용하는 공간이다. 따라서 사용자에게 불편하지 않도록 실제공간이 가지는 특성을 어느 정도 가져야 한다. 이러한 실제공간의 특성이란 중력이나 가속도 등 어느 정도 뉴턴 물리학이 적용되어야 한다는 것이고, 만일 force feedback 이 가능하다면 이러한 결과는 사용자에게도 전달되어야 한다. 이러한 관계가 단순히 사용자와 움직이지 않는 객체사이에서만 일어나지 않고, 스스로 움직이거나 반응을 하는 객체나 다른 사용자 사이에서 일어나는 경우 상당히 복잡한 문제를 일으킨다. 단순히 충돌이나 소리의 전달 따위를 지나서 다른 복잡한 여러 가지 가능성을 고려하여야 하며, 또 이러한 사건의 전달이 많아지면 사용하는 가상현실 시스템의 성능을 떨어뜨리게 되므로 복잡한 상호작용 사이의 관계를 처리할 수 있는 구조가 필요하다.

4.2 가상현실과 오브젝트 시뮬레이션

이러한 객체 표현 및 상호작용에 관하여 DIS를 사용한 연구들이 진행되었고 분산 처리된 상호연결 구조를 표현하는 표준으로 자리잡고 있다. DIS는 처음에는 미국방성이 전쟁 시뮬레이션을 위하여 연구하기 시작했으며 전쟁 게임을 구현하기 위한 기반으로 개발되었다. 네트워크 상의 연결구조를 중심으로 한 접근방식을 채택하고 있으므로 가상공간상의 오브젝트 자체보다는 그러한 오브젝트를 구현하는 네트워크를 중요시하는 구조를 가지고 있다.

1995년 HLA라는 새로운 구조가 발표되었다. 이 HLA는 RTI라는 실시간 구조를 사용하여 연결 구조 보다는 동작되는 시스템의 목적에 중심을 둔 접근방식을 취하고 있다. HLA는 미국방성의

DMSO의 지원을 받아 개발된 것으로 각종 시뮬레이션에서 제작된 오브젝트들의 재사용과 인터페이스를 구현하기 위한 기반이다. HLA는 분산된 시스템 안에서 분산처리 노드(federation)의 수행 목적을 만족시키기 위한 구조이다. HLA는 객체모델틀(Object Model Templates), RTI, 그리고 HLA 적합규정(compliance rule)의 세 가지로 분류할 수 있다. 분산처리 노드는 이러한 HLA구조에서 하나의 연산을 담당하는 단위로 한 개 또는 여러 개의 오브젝트를 가지고 일을 처리하며, RTI를 사용하여 일관성 있는 처리를 한다.

객체모델틀은 각각의 분산처리 노드 안에서 동작하는 오브젝트의 프로그램과 각종 속성을 서술하며 이러한 서술은 FOM 이라고 한다. RTI는 이러한 시뮬레이션 환경에서 기본적으로 동작해야 하는 각종 소프트웨어의 집합이며, 다른 기종의 기계로 옮겨 가기 위한 이식성을 가지며, 기종이 다른 기계와 서로 맞물려 동작하는 것을 기본으로 설계되어 있다. 이러한 구조는 HLA 인터페이스 규격에 명시되어 시뮬레이션을 구현하는 기초가 된다. HLA 적합규정은 이러한 HLA의 구조를 강제하기 위한 기본적인 틀이다. HLA 자체는 가상현실을 구현하기 위한 도구나 표준이 아니다. 하지만 가상현실 오브젝트들이 가지는 복잡성이 증가할수록 기본적인 오브젝트를 표현하고 관리하는 것에 대한 기반이 필요하며, 이러한 기반을 HLA와 RTI가 제공해 준다. 네트워크 연결 구조를 중심으로 하던 DIS와는 달리 HLA는 오브젝트의 동작과 그 동작 목적을 만족시키기 위한 구조이기 때문에 하부에 연결된 망에 관계없는 일관된 표현이 가능하다. 또, 오브젝트의 동작에 관한 기본적인 정보가 분산처리 노드들 사이에서 동일하게 표현되기 때문에 연결이 느리거나 불안정한 상태에서도 일관된 오브젝트의 반응을 유지할 수 있다. 이러한 분산처리 시스템의 구조와 공동된 오브젝트를 표현하는 방식은 여러 가지 연구결과를 나왔다.

요즘은 이러한 구조가 상업적으로 많이 연구되고 있고 게임 등의 장르에 널리 퍼지고 있다. 대표적으로 MUD와 MUG 게임들 그리고 전략시뮬레이션 게임들이 비슷한 접근방식을 취하고 있다. 또 이러한 구조는 가상현실 환경에서 전자상거래의 기반으로 아주 중요한 역할을 담당할 것이다.

4.3 MPEG-4와 가상현실

MPEG-4는 멀티미디어와 가상현실을 이용하는 통신을 지원하는 데 있어서 비교적 적절한 기술로 보인다. MPEG-4는 다른 가상현실과는 달리 그 처리영역을 영상과 음향으로 한정하고 있으며, 가상공간상에서의 멀티미디어 대화보다는 윈도우 상태의 처리 환경에서 가능한 멀티미디어와 가상공간을 처리하는 기술이다. MPEG-4가 이전의 MPEG 기술과 다른 점은 쌍방향 송수신을 고려한다는 것이

다. 이전의 MPEG-1이나 MPEG-2의 경우 그 목표는 효율적이고 화질이 좋은 영상과 음향 신호의 압축과 전달이었다. 즉 대화형 서비스는 고려하지 않고 만들어진 표준이라는 것이다. DSM-CC라는 요구형 서비스가 있지만 이것은 이미 구성된 결과를 불러서 사용하는 서비스이다. 또 다른 특징은 사용자가 자신이 받고 있는 서비스 상에서 객체들과 상호작용을 할 수 있다는 점이다. MPEG-4의 콘텐츠는 그 제작자의 서비스에 따라 사용자가 객체의 내용을 바꾸거나 더하거나 빼는 것을 가능하게 한다는 것이다. 이러한 객체는 이전의 MPEG-1, MPEG-2의 객체인 영상이나 음향 뿐 만이 아니라 컴퓨터에 의해 생성된 정보, 즉 컴퓨터 그래픽 영상이나 합성음 등이며, 이러한 객체의 여러 가지 조합이 가능하고 심지어 이러한 객체가 동작하고 반응하는 양식까지도 편집이 가능하다. (그림 4)에서는 MPEG-4 사용자가 보는 환경을 보여주고 있다. 2

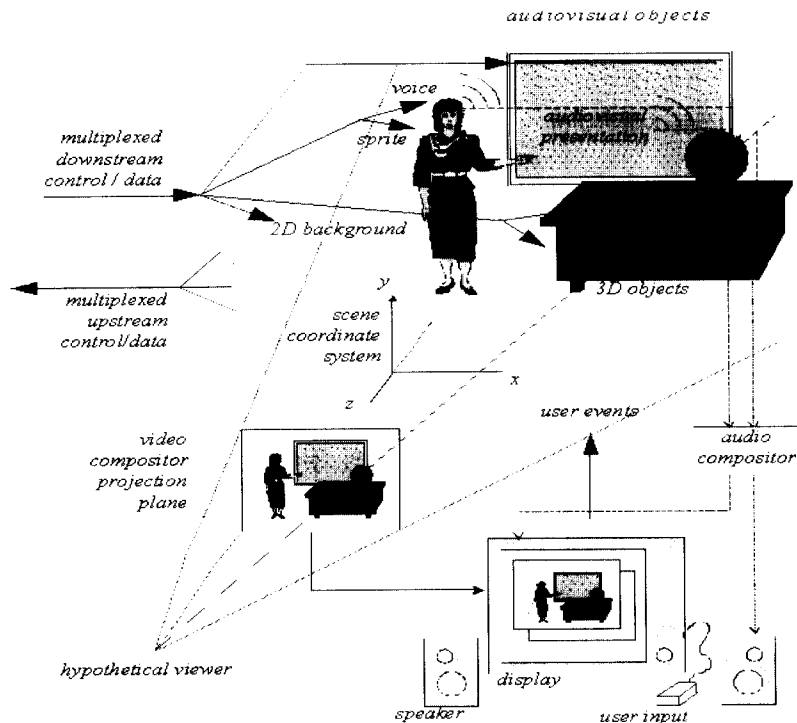


그림 4. 사용자가 보는 MPEG-4

차원과 3차원 오브젝트들이 연결되어 표시되는 것을 보여준다. (그림 5)에서는 (그림 4)의 구현을 위한 하위 계층의 구성도를 보여준다.

또 다른 MPEG-4의 장점으로는 용량이 다른 전송환경을 지원한다라는 점이다. HDTV 정도의 화질을 가지도록 제작된 객체도 주어진 분해성 (scalability)을 사용하여 이동 화상전화기의 채널 용량에서 플레이가 가능하게 되는 것이다. 또 화질이 떨어지는 이동 화상전화기의 영상도 하나의 객체로 HDTV의 뉴스채널에서 방송될 수 있다. 이러한 가능성은 MPEG-4가 가지는 계층구조와 각종 미디어 형태를 통합하여 시스템을 구성한 통합형 구조 때문에 가능하며, 이러한 MPEG-4의 객체를 사용자의 의도에 따라 편집할 수 있도록 해주는 편집도구의 개발 또한 필요하다.

또한 MPEG-4는 미리 저장된 형태의 패킷합성

과 이를 이용한 애니메이션 기능을 가질 수 있다. 이것은 주어진 메쉬(mesh)상에 원하는 패턴을 채워 넣을 수 있으며 이러한 메쉬를 움직여 아주 작은 데이터 량으로도 원하는 영상을 전송하는 것을 의미한다. 또 이 기능은 MPEG-4 상의 TTS와 결합되어 미리 정의된 사람의 얼굴과 메쉬를 연결하여 복호화기에서 텍스트 데이터만으로도 말하는 사람의 영상을 제공한다. 이러한 기능은 사람을 충분히 모델링하여 움직임과 표정을 전달할 수 있는 방식을 제공하도록 확장 될 수 있으며, MPEG-4의 두 번째 버전에 포함될 예정이다. (그림 6)는 사람 얼굴에 메쉬 구조를 적용하여 표현하는 예를 보여주고 있으며, (그림 7)는 다른 가상 오브젝트에도 이러한 메쉬 구조를 사용한 표현이 가능한 것을 보여주고 있다.

또 사용자간의 상호작용이 필요 없이 복호화기의

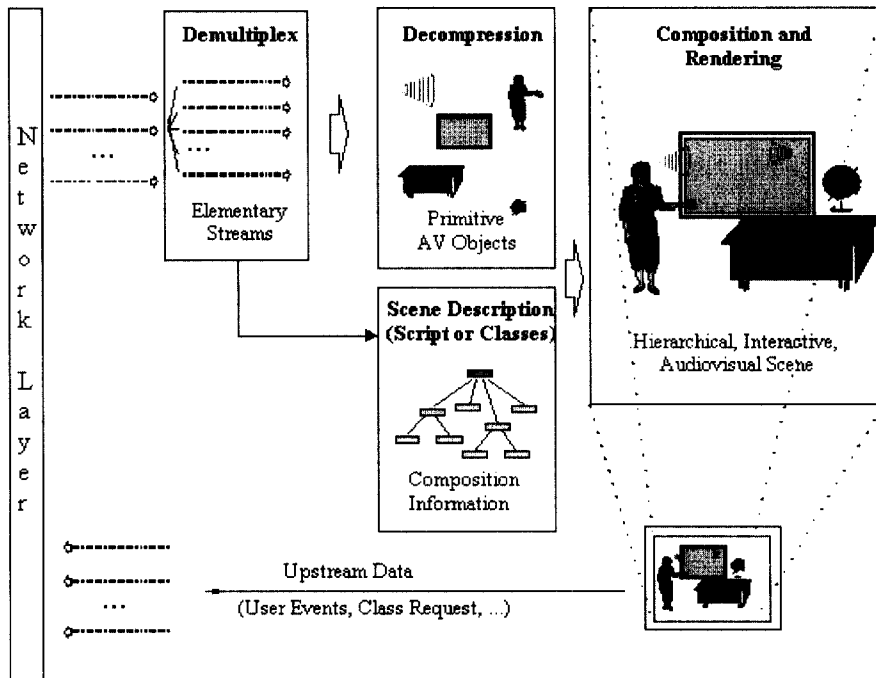


그림 5. MPEG-4의 네트워크 및 대화형 구조



그림 6. MPEG-4 사람 얼굴 모델링

성능만으로 주어진 요구되는 상호작용을 가능하게 하기 위하여 MPEG-J라는 Java언어를 제공한다. 표준 자바의 부분집합으로 구성된 MPEG-J는 MPEG-4에서 요구하는 각종 자동화 및 프로그램이 처리하여야 하는 부분을 담당하게 된다.

MPEG-4는 VR 멀티미디어 통신에 가장 근접한 기술이며, VRML은 물론 각종 가상현실의 기본적인 구성을 빠른 속도로 흡수하고 있다. 또한, 기존의 MPEG-1과 MPEG-2의 기반과 국제표준안이라는 강력한 지지기반을 가지고 있다.

4.4 가상현실과 아바타를 사용하는 통합 시스템, Tele-Immersion

Tele-Immersion이란 다른 장소의 사용자들이 마치 실제 하나의 방인 것 같은 가상공간 상에서 서로 만나서 대화와 상호작용을 가지는 것을 가능하게 한다. Tele-Immersion은 네트워크환경과 가상현실 장치, 그리고 멀티미디어 기술의 궁극적인 결합인 것이다. 각각의 사용자는 자신이 가지는 환경 아래에서 가능한 하나의 가상공간을 느끼게 될 것이다. (그림 8)에서 한 아이가 CAVE 안의 가상환경

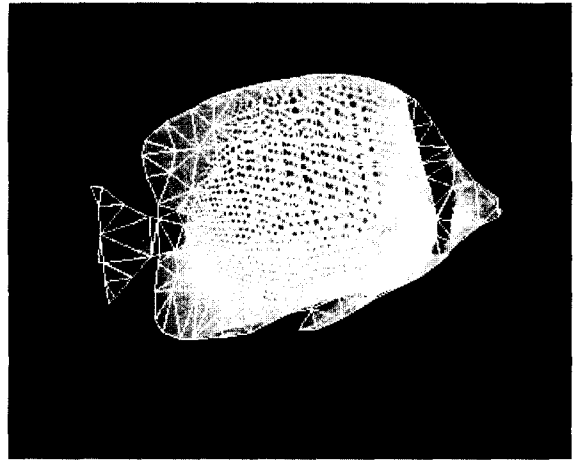


그림 7. MPEG-4 가상물체의 메쉬 구조

에 빠져 있다. 이 아이는 (그림 9)에서 보이듯이 가상공간 안의 아바타로 표현되고 있으며 다른 아바타와 상호작용을 하고 있다.

Tele-Immersion 기술의 구성요소는 일단 사용자에게 가상현실 환경을 보여주기 위한 렌더링, 디스플레이 기술, 사용자의 행동이나 반응을 가상현실 환경에 입력하는 가상현실 장치 기술, 이러한 정보를 빠른 시간 안에 전달하는 네트워크 기술과 데이터 압축 기술, 가상 오브젝트와 연결되는 시뮬레이션 기술, 그리고 이것을 통합하여 전체 연결의 동기를 제어하고 사람에게 일관성 있게 제공하는 통합 기술이다. 이러한 Tele-Immersion은 오래 전부터 가상현실 환경의 목적으로 연구되기 시작했으며 이미 1997년에는 아바타에 의해 표현된 다수의 사람들이 동작하는 모델이 구현되었다. 이러한 다수의 CAVE를 연결하여 하나의 가상현실 환경 안에서 동작시키는 모델의 초기형태는 95년도부터 나오기 시작하여 Supercomputing95나 SIGGRAPH 96 등에서 진시되었고, 일본과 유럽의 네덜란드 그리고 미국의 연구기관과 대학을 연결하는 대륙간 Tele-Immersion의 실제 실험이 Supercomputing 97에서 시연되기에 이르렀다. 이 시연

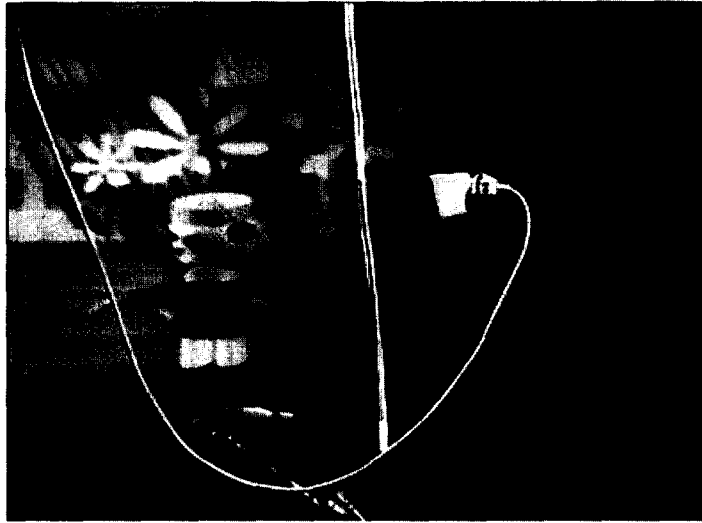


그림 8. CAVE 안에서 Tele-Immersion을 사용하는 아이



그림 9. Tele-Immersion 아바타의 상호작용

에서 사용자는 NICE로 구성된 가상현실 환경에서 제한적인 상호작용이 가능한 한 개의 팔을 가지는 아바타로 다른 사용자들과 대화를 나누며 각종 협동 작업의 실험을 하였다.

5. 결 론

PC의 비약적인 성능 향상은 별도의 하드웨어를 사용하지 않고도 멀티미디어 처리가 가능하게 되어 MPEG-1을 지나 이제는 MPEG-2까지 소프트웨

어로 처리 가능한 수준까지 발전하게 되었다. 보조 기억장치의 가격 대 성능의 향상은 개인이 수 기가 바이트의 보조 기억 장치를 큰 부담 없이 가지는 것이 현실이 되었다. 또한 메모리 가격의 하락과 고성능 디스플레이 장치의 보급으로 과거 엔지니어링 워크스테이션에서나 가능했던 3 차원 그래픽이 지금은 PC상에서도 OpenGL로 실현이 가능하게 되었다. 통신기술면에서는 광대역의 통신망들이 속속 개발되고 있다. 이러한 기술의 발전으로 앞으로는 VRML로 표현된 3 차원 오브젝트를 실시간으로 인터랙티브하게 처리하는 것은 물론, MPEG-4로 표현되는 멀티미디어 정보 역시 PC가 손쉽게 처리할 수 있게 될 것이다. 가상현실의 표현을 위하여 많은 양의 정보를 처리하고 전달하는 것은 현재 인터넷의 대역폭과 속도로는 충분하지 않지만, 앞으로 광통신과 고속 프로토콜을 가지는 초고속 인터넷이 등장하면 충분히 가능할 것으로 예상된다. 또한 3 차원을 표현하는 VRML과 객체 기반의 멀티미디어를 표현하는 MPEG-4, 그리고 정보의 바다를 연결하는 초고속 인터넷의 결합은 VR 멀티미디어 통신을 가능하게 하는 현실적인 대안이 될 것이다. 이미 Supercomputing 97에서 미국내 연구기관과 유럽의 암스테르담 그리고 일본의 후쿠오카를 통신망으로 연결하여 각각의 아바타로 표현되는 가상현실 시스템이 구현된 바 있다. 앞으로의 VR 멀티미디어 통신은 통신망의 발전과, 컴퓨터의 용량과 속도증가로 인하여 비약적으로 발전할 분야임에 틀림이 없다.

VR 멀티미디어 통신은 기존의 모든 통신 인프라를 이용하면서, 가상공간상에서 멀리 떨어진 상대방과 현실감을 공유하면서 정보를 주고받을 수 있도록 하는 기술 집약적인 통신이며, 그 응용분야는 기존의 통신 시장뿐만이 아니라 교육, 의료, 군사, 설계, 오락, 연예 등은 물론 전자상거래와 금융산업에서도 기본적인 매체로 자리잡을 것이다.

- * AR : Augmented Reality
- * ATM : Asynchronous Transfer Mode
- * CAVE : Cave Automatic Virtual Environments
- * DIS : Distributed Interactive Simulation
- * DMSO : Defense Modeling and Simulation Office
- * DOF : Degree of Freedom
- * FOM : Federation Object Model
- * HLA : High-Level Architecture
- * HMD : Head Mounted Display
- * HTML : Hypertext Markup Language
- * HTRF : Head related Transfer Function
- * HTTP : Hypertext transfer protocol
- * IPng : Internet Protocol Next Generation
- * IPv6 : Internet Protocol Version 6
- * MPEG : Motion Picture Experts Group
- * MR : Mixed Reality
- * MUD : Multi User Dungeon and Dragon
- * MUG : Multi User Graphic Dungeon and Dragon, Multi User Game
- * NICE : Narrative Immersive Constructionist/ Collaborative Environments
- * RTI : Run-Time Infrastructure
- * SDH/SONET : Synchronous Digital Hierarchy/ Synchronous Optical Network
- * SIGGRAPH : Special Interest Group on Computer Graphics
- * SMM : Shape Memory Metal
- * TTS : Text To Speech
- * VRD : Virtual Retina Display
- * VRML : Virtual Reality Modeling Language

※ 참고 문헌

- [1] 박찬중, 이지형, 김정각, 김풍민, 가상현실 기술 및 시장동향, ETRI 소프트웨어 기술동향, 제 2 권, 제 2 호, 1998년 6월.
- [2] 성만규, 최정단, 이찬수, 김상원, 다중 참여자

- 가상환경 구축과 아바타 처리기술, ETRI 소프트웨어 기술동향, 제 2 권, 제 2 호, 1998년 6월.
- [3] 김주완 김해동, 박상규, 이의택, Augmented Reality 기술동향, ETRI 주간기술동향, 제 892 호, 1999년 4월.
- [4] 장병태, 박찬중, 촉각상호작용 기술, ETRI 소프트웨어 기술동향, 제 2 권, 제 2 호, 1998년 6월.
- [5] Rob Koenen, Overview of the MPEG-4 Standard, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N2725.
- [6] Igor Pandzic, Tolga Capin, Nadia Magnenat Thalmann, Daniel Thalmann, MPEG-4 for Networked Collaborative Virtual Environments, MIRALab, University of Geneva, 1998.
- [7] Rob Koenen, MPEG-4 Multimedia for our time, IEEE Spectrum, Vol 36, No 2, Feb 1999 pp. 26-33.
- [8] Lawrence J. Rosenblum, Michael R. Macedonia, Multiway Tele-Immersion at Supercomputing 97, IEEE Computer Graphics and Applications, July/August 1998, pp. 6-9.
- [9] Lawrence J. Rosenblum, Grigore Burdea, Susumi Tachi, VR Reborn, IEEE Computer Graphics and Applications, November/December 1998, pp. 21-23.
- <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/talks/ipsonet.htm>
- <http://www.ipv6.org/>
- <http://drogo.cselt.stet.it/mpeg/>
- <http://drogo.cselt.stet.it/mpeg/standards/mpeg-4/mpeg-4.htm>
- <http://130.187.2.100/mpeg4-snhc/index.html>
- http://drogo.cselt.stet.it/mpeg/documents/mpeg-7_koenen/ppframe.htm
- <http://www.anl.gov/OPA/frontiers96/>
- <http://www.advanced.org/tele-immersion/>
- <http://cica.cica.indiana.edu/~ewernert/cave/index.html>
- <http://www.evl.uic.edu/cavern/cavernpapers/index.html>
- <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-iab-case-for-ipv6-04.txt>
- <http://www.dgp.utoronto.ca/upcoming/internetconf.html>
- <http://dss.ll.mit.edu/dss.web/96.14.103.Rection.html>
- <http://www.mak.com/>

※ 참고 site

<http://home.compart-multimedia.it/virtuale/index.html>

류 성 원

1987년 3월 ~ 1991년 2월 연세대학교 전자공학과
 1991년 3월 ~ 1993년 2월 연세대학교 대학원 전자
 공학과
 1993년 3월 ~ 1998년 8월 연세대학교 대학원 전자
 공학과
 1999년 2월 ~ 현재 한국 전자통신 연구원 선임연구원

박 상 규

1978년 3월 ~ 1982년 2월 연세대학교 전자공학과
 1982년 3월 ~ 1985년 9월 연세대학교 대학원 전자
 공학과
 1992년 3월 ~ 1996년 2월 충남대학교 대학원 전자
 공학과
 1985년 9월 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원

이 의 택

1974년 3월 ~ 1978년 2월 서울대학교공업교육학과
 1978년 3월 ~ 1982년 8월 서울대학교 대학원 전자
 공학과
 1989년 3월 ~ 1996년 2월 KAIST 전기 및 전자공
 학과
 1980년 2월 ~ 1984년 2월 한국통신기술연구소 및
 한국전기통신연구소 연구
 원
 1984년 2월 ~ 1993년 3월 한국전기통신연구소 및
 한국전자통신연구소 선임
 연구원
 1993년 4월 ~ 1998년 5월 한국전자통신연구소 실장
 1998년 6월 ~ 현재 한국전자통신연구원 부장