

기술 동향

## 3차원 TV와 실감방송④

— 미국의 3차원 TV

호요성, 이상범  
(광주과학기술원 실감방송연구센터)

### 1. 서론

최근 디지털 방송 기술의 급격한 발전과 더불어 고품질의 멀티미디어 서비스를 요구하는 사용자가 증가하고 있다. 이에 따라, 다양한 영상처리 기술을 이용하여 현실 세계를 재구성한 실감 콘텐츠를 사용자에게 제공할 수 있는 3차원 TV(Three-dimensional Television, 3DTV)가 차세대 방송기술 시스템으로 관심을 끌고 있다 [1]. 3차원 TV는 차세대 디스플레이 장치를 이용하여 사용자들에게 몰입감을 제공할 수 있기 때문에 조만간 현재 사용하고 있는 2차원 TV를 전격적으로 대체할 것으로 기대된다.

세계적으로 유명한 연구기관에서는 3차원 TV 시스템을 실현하기 위해 많은 연구를 진행하고 있다 [2]. 특히, 미국에서는 연구 환경이 우수한 NASA와 MIT에서 3차원 TV 개발을 위한 산학연 연계 연구를 진행하면서 3차원 TV에 관련된 원천 기술을 확보하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

본 논문에서는 최근 미국에서 개발하고 있는 3차원 TV 기술을 소개한다. 2장에서는 미국의 3차원 TV 기술 역사 및 동향을 소개하고, 3장에서는 3차원 TV에 관련된 주요 기술을 자세히 설명한다. 끝으로 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

### 2. 미국의 3차원 TV 기술 역사 및 동향

미국의 3차원 TV 기술은 20세기 초부터 이미 시작되었다 [3]. 1922년 9월 넷 데베릭 감독의 “사랑의 힘(Power of Love)”은 전 분량이 3차원 영상으로 제작된 최초의 입체영화로 LA에서 개봉되었다. 또한, 1950년대에 들어



〈그림 1〉 1950년대의 3차원 영화 홍보물

서면서 할리우드를 중심으로 65편이 넘는 3차원 영화들이 상영되었지만, 저화질의 한계로 인해 시청자들의 주목을 받는데 실패했다.

방송 시스템에 있어서도 3차원 영상이 도입되기 시작했는데, 1953년 4월에는 미국 최초의 3차원 방송이 실험적으로 시행되었고, 1980년 12월에는 상용화를 위한 3차원 방송이 LA의 Pay-TV 시스템에 의해 시행되었다. 초기의 3차원 방송은 기존의 방송 기술을 뛰어넘는 실감나는 방송으로 시청자들의 관심을 끄는 것 같았지만, 이 역시 저화질의 한계로 인해 일반인에게 보급되는 데에는 실패했다.

거듭되는 흥행 실패를 맞본 3차원 영상 서비스는 1990년대에 시작된 디지털 방송 서비스에 의해 다시 활기를 찾기 시작했다. 한 예로, 유럽의 IST(European Information Society Technologies)에서는 2002년 ATTEST

(Advanced Three-dimensional Television System Technologies) 프로젝트를 통해 3차원 영상에 대한 표준 및 기반 기술을 개발하기 시작했고, 3차원 영상을 제작하기 위한 시설 및 환경을 구축했다 [4]. 또한, 국제 표준화 기구인 MPEG(Moving Pictures Expert Group)에서는 2002년 스테레오 영상에 대한 부호화 기술인 MVP(multi-view Profile)를 개발했다 [5].

이러한 3차원 영상 개발에 대한 열기는 미국의 다양한 연구기관에까지 이어지고 있다. MERL(Mitsubishi Electronic Research Labs)에서는 새로운 3차원 TV 시스템을 구현하고 이와 관련된 기술을 개발하고 있으며, 현재는 다시점 비디오 부호화 관련 표준화 작업에 참여하고 있다 [6]. MSR(Microsoft Research)에서는 다시점 카메라 시스템을 이용하여 장면을 입체적으로 모델링하고, 이를 렌더링하는 시스템을 개발했다 [7]. 또한, MIT Media Lab에서는 3차원 디스플레이 장치의

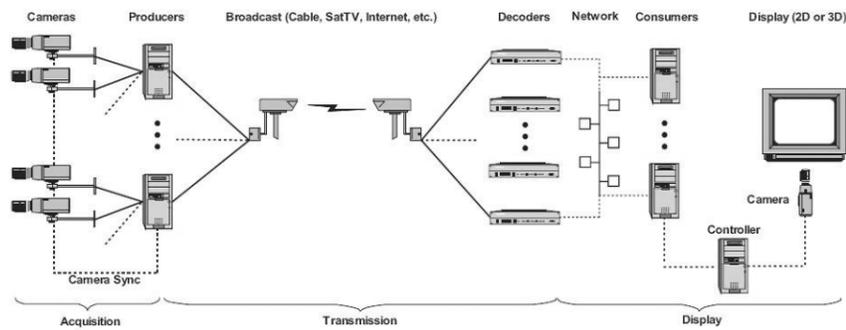
최종 목표로 생각되는 홀로그래피를 실용화하기 위한 연구를 수행 중이며, 이미 홀로그램을 이용한 3차원 디스플레이를 개발했다 [8]. NASA, HP 등은 항공우주, 방송통신, 의료 등의 응용에 사용될 수 있는 telepresence 관련 연구를 수행 중이다. 특히, 1998년 NASA는 화성 탐사선 패스파인더(pathfinder)에 3차원 입체 카메라를 탑재하여 화성 표면의 영상을 지구로 전송하여, 화성 표면을 입체적으로 살펴볼 수 있는 시스템을 개발했다 [9].

〈표 1〉 미국의 3차원 TV 기술 개발 개요

연구 기관/기술	개발 내용
MERL	3차원 TV 시스템 관련 연구 수행 다시점 비디오 부호화 표준화 참여
MSR	다시점 영상 기반 모델링/렌더링 기술 개발
MIT 미디어 랩	홀로그래피 실용화 연구 수행
HP, NASA	telepresence 관련 연구 수행



〈그림 2〉 MERL의 다시점 카메라 시스템



〈그림 3〉 3차원 TV 시스템의 구조도 [10]

### 3. 미국의 3차원 TV 기술

#### 1) 3DTV 프로젝트(MERL)

2004년 미국 MERL에서 수행된 3DTV 프로젝트에서는 실시간 영상 획득, 부호화 및 전송, 그리고 재현 등의 단계를 거치는 새로운 3차원 TV 시스템을 구현했다 [6]. 3DTV 프로젝트는 다시점 카메라와 PC로 구성된 3차원 영상 획득부, 다중 프로젝터를 이용한 3차원 디스플레이를 이용한 3차원 영상 재현부 등으로 구성된다.

본 절에서는 MERL에서 구현한 3차원 TV 시스템에 대해 자세히 알아본다.

#### ① 영상 획득

3차원 영상을 획득하는 단계에서는 1300×1030의

해상도를 가지는 CCD 카메라를 이용하여 다시점 영상을 실시간으로 획득한다. 최대 해상도로 촬영했을 때의 프레임율은 초당 12 프레임이며, 두 대의 카메라를 한 대의 PC에 연결하여 영상을 획득한다. 또한, 모든 카메라가 동일 시간에 장면을 획득할 수 있도록 하드웨어적으로 동기를 맞춘다. 16대의 다시점 카메라는 동일 간격에 위치하고 평행형(parallel) 카메라 배열이 되도록 설치된다.

#### ② 부호화 및 전송

다시점 영상의 부호화 및 전송 단계에서는 현재 2차원 TV 시스템의 부호화 및 전송 방식과의 호환성을 위해 각각의 영상을 독립적으로 부호화하는 기존의 부호화 방식을 이용한다. 각 시점의 영상은 MPEG-2 부호화기를 사용하여 부호화하고 전송된다.

#### ③ 복호화 및 사용자 처리

수신단에서는 전송된 비디오 스트림을 복호화하여 3차원 장면을 재현한다. 이상적으로는 각 사용자가

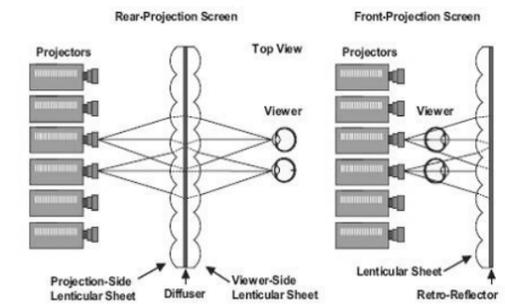
모든 시점의 영상을 복호화하고 이를 재현할 수 있어야 하지만, 대역폭의 제한 등 많은 제약으로 인해 모든 시점의 영상을 모두 수신할 수 없다. 따라서, 수신단에서 영상 기반 렌더링(image-based rendering, IBR) 기법을 이용하여 수신되지 않은 시점에 대한 영상을 복원한다 [11]. 다시 말해, 구조화되지 않은 루미그래프 렌더링 방법을 사용하여 가상시점의 영상을 복원한다 [12].

#### ④ 3차원 장면 재현

3DTV 프로젝트에서는 3차원 장면을 재현하기 위해 다중 프로젝터를 이용하는 3차원 디스플레이 장치를 사용한다. 〈그림 4(a)〉에서 알 수 있듯이, 사용된 프로젝터는 총 16대이며, 1024×768의 해상도를 가진다. 〈그림 4(b)〉는 렌티큘러(lenticular) 스크린에 프로젝터를 투사하여 3차원 장면을 재현하는 구조를 나타낸다. 3차원 장면을 재현하기 위한 스크린 방식으로는 후면 투사 스크린 방식과 전면 투사 스크린 방식이 있는데, 후면 투사 스크린 방식의 경우, 프로젝터 쪽의 렌티큘러 시트는 빛을



(a) 16대의 다중 프로젝터 시스템



(b) 투사 방식의 렌티큘러 3차원 디스플레이

〈그림 4〉 3차원 장면 재현을 위한 디스플레이 시스템

모으는 역할을 하고, 시청자 쪽의 렌티큘러 시트는 빛을 분산시켜 사용자의 시점 위치에 따라 이 빛을 투사한다. 전면 투사 스크린 방식의 경우, 단일 렌티큘러 시트가 빛을 모으고 분산시키는 두 가지 역할을 모두 수행한다.

⑤ 디스플레이 정렬(display calibration)

3DTV 프로젝트에서는 다중 프로젝터를 이용하여 3차원 장면을 재현하기 때문에 프로젝터 사이에 색상 부정합 문제가 발생할 수 있다. 따라서 3차원 디스플레이에 대한 자동 프로젝터 정렬 과정이 필요하다. 디스플레이 정렬을 위해 프로젝터들의 광선과 스크린 쪽에 투사되는 영상의 화소의 상관관계를 찾은 다음, 프로젝터의 화소값을 균일화한다.

디스플레이 장치의 정렬 순서는 우선, 각각의 프로젝터를 이용하여 동일한 사각형에 백색 영상을 투사한다. 그리고 각각의 프로젝터에 대응하는 영상에 대해 최소의 화소값을 저장하고 다시 모든 프로젝터를 비교하여 최소의 화소값을 결정한다. 이렇게 결정된 화소값을 균일화의 최대 화소값으로 설정하여 균일화를 수행한다.



〈그림 5〉 디스플레이에 투사되는 3차원 장면(위)과 각 시점에 대응하는 원영상(아래)

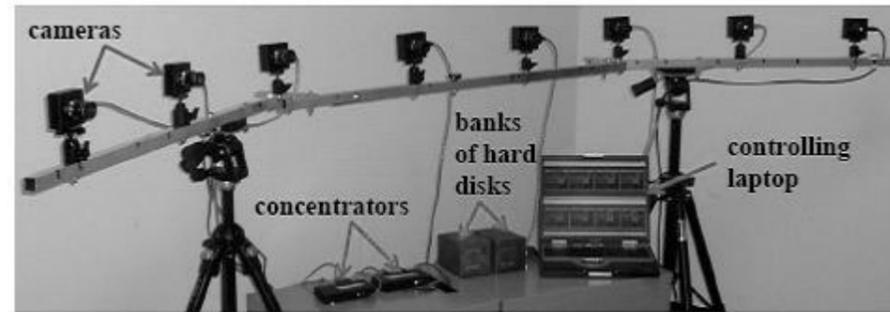
디스플레이 정렬을 마친 영상은 최종적으로 스크린에 투사되며, 3차원 디스플레이를 통해 실감나는 콘텐츠를 재현할 수 있게 된다.

2) 가상시점 비디오 프로젝트(MSR)

2004년 MSR에서 수행된 가상시점 비디오 프로젝트는 다시점 영상으로부터 복원된 고품질의 가상시점 영상을 이용한 부드러운 시점 변환을 가능하게 하였다 [7]. 이 프로젝트에서는 새로운 스테레오 정합 알고리즘을 개발하여 고품질의 깊이 맵을 추정했고, 이를 이용한 가상시점 영상을 복원했다. 본 절에서는 가상시점 영상 복원을 위한 세부적인 기술을 설명한다.

① 하드웨어 시스템

〈그림 6〉에서 알 수 있듯이, 8대의 다시점 카메라는 수렴형 배열이 되도록 설치했다. 영상 획득을 위해서는 1024×768 해상도 및 15프레임/초 프레임율, 8mm 렌즈, 수평 시야각이 약 30° 정도인 HD급 카메라 8대를 이용한다. 또한, 모든 시점의 영상을 실시간으로 저장하기 위해 집선 장치



〈그림 6〉 MSR의 다시점 영상 획득 시스템



〈그림 7〉 원영상(좌)과 스테레오 정합 알고리즘을 통해 얻은 변이맵(우)

(concentrator)를 사용한다. 각 집선 장치에는 4개의 비디오 스트림이 전송되어 동기화되고, 두 대의 집선 장치는 다시 서로 동기화된다.

② 3차원 정보 복원

중간시점 영상을 생성하기 위해서는 스테레오 영상을 이용하여 3차원 정보를 획득하는 스테레오 정합 알고리즘을 사용한다 [13]. 기존의 방법들의 가장 큰 문제점은 객체의 경계 부근에서 정합 오차가 많이 발생하는 것인데, 이러한 오차는 중간시점 영상을 생성할 때 객체 경계에 민감한 시청자의 눈을 피로하게 만든다.

최근 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 영역 분할(segmentation) 기반의 스테레오 정합 알고리즘이

제안되었다 [14]. 이 방법은 세그먼트(segment) 내의 모든 화소들은 비슷한 변이(disparity) 정보를 가진다는 가정에서부터 출발한다. MSR 역시 영역 분할 기반의 스테레오 정합 알고리즘을 개발하였다. MSR에서 제안하는 스테레오 정합 알고리즘은 다음과 같은 절차를 거친다. 우선, 각각의 영상에 대해 독립적으로 영역 분할 알고리즘을 적용한다. 그리고 각 세그먼트에 대해 초기 변이 공간 분포(disparity space distribution, DSD)를 계산한다. 그런 다음, 주변의 세그먼트들의 DSD를 고려하여 각각의 세그먼트들의 DSD를 정제(refinement)한다. 마지막으로 변이 불연속점을 따라서 알파 값을 계산한 다음, 영상 매칭을 사용하여 최종 변이맵을 얻는다.

3) 부호화

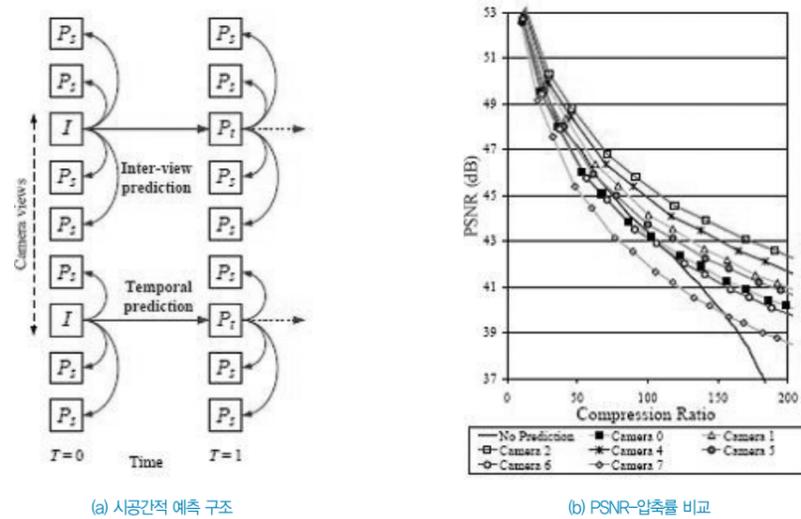
MSR에서는 다시점 영상을 압축하기 위해 시간적 상관도뿐만 아니라, 카메라 사이의 공간적 상관도 까지 고려한 부호화 방법을 사용했다. 시간적 예측은 기존의 부호화 방법에서 사용했던 움직임 예측 (motion estimation)을 그대로 사용하고, 공간적 예측은 기준 시점의 영상과 변이 맵을 인접 시점으로 변환하여 예측한다.

<그림 8(a)>에 보인 것처럼, 다시점 영상 부호화는 두 개의 기준 시점을 이용하여 주변 시점을 공간적으로 예측한 후 부호화한다. <그림 8(b)>는 3번 시점

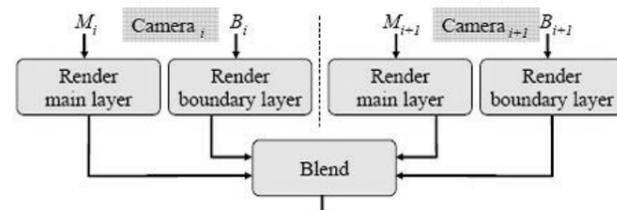
의 영상에 대해 참조하는 시점을 변화시키며 압축률을 서로 비교한 그래프를 나타낸다. <그림 8(b)>에서 알 수 있듯이, 공간적 예측 방법을 사용했을 때, 그리고 참조하는 시점과의 거리가 가까울수록 압축률이 증가하는 것을 알 수 있다.

4) 실시간 렌더링

부호화된 다시점 비디오 스트림을 실시간으로 부호화하기 위해, MSR은 GPU 기반 렌더링을 이용한다. 최근 GPU의 급속한 발달로 인해, 복호화된 스트림은 CPU를 거치지 않고 직접적으로 GPU와



<그림 8> 다시점 영상의 부호화 구조 및 압축률 비교



<그림 9> 실시간 렌더링 시스템

연결되기 때문에 실시간 렌더링이 가능하다. 복호화된 비디오 스트림은 텍스처 영상, 깊이 맵, 경계 알파 맵, 경계 색상, 경계 깊이 맵의 5가지 단계로 이루어져 있으며, 이를 실시간으로 렌더링하는 방법은 다음과 같다. 새롭게 생성할 시점에 대해 인접한 두 시점(i, i+1번째 시점)을 선택한다.

그런 다음, 각 시점의 텍스처 정보와 경계 정보를 가상 시점으로 투영한다. 이렇게 투영된 두 가지 정보를 이용하여 중간 시점을 합성한 후, 이를 렌더링한다.

3) 홀로그래피(MIT)

홀로그래피는 객체로부터 반사되는 3차원의 빛 정보를 획득하고 재생하는 기술을 말한다 [8]. MIT 미디어랩에서는 홀로그래피를 이용한 3차원 TV의 상용화를 목표로 다년간 이에 관련된 연구를 수행하고 있다. MIT 미디어랩에서 연구 중인 홀로그래피 비디오 프로젝트에서는 컴퓨터로 합성된 홀로그래피를 실시간으로 렌더링하고 재현하는 시스템을 개발하고 있다 [15].

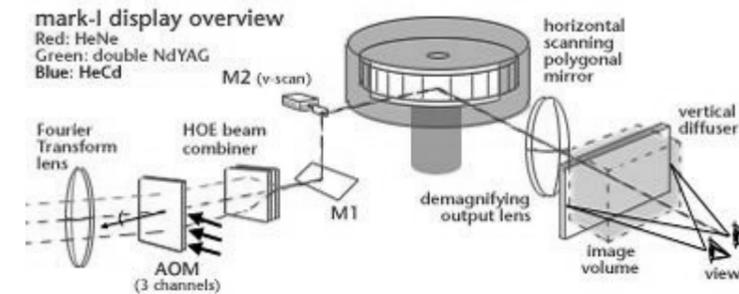
현재까지는 Mark-I과 Mark-II의 두 가지 형식의

디스플레이를 개발했고, 디스플레이를 위한 계산량을 줄이기 위한 연구를 진행 중이다.

① Mark-I 디스플레이

홀로그램을 만들기 위해서 하나의 레이저 빔은 기준 빔과 객체 빔으로 나누어지고, 이 두 개의 빔은 간섭 패턴(interference pattern)이 저장된 홀로그래피 필름에서 만나게 된다. 객체로부터 획득한 레이저 빛을 필름 뒤에서 투영하면, 우리는 홀로그래피를 통하여 객체를 입체적으로 볼 수 있게 된다.

Mark-I 디스플레이는 25×25×25 mm 해상도, 15° 시야각, 20프레임/초 프레임율로 3차원 영상을 재생할 수 있다. 홀로그래피 영상은 3 채널의 텔루르-이산화물 Acousto-Optic 변조기(Acousto-Optic Modulator, AOM)를 사용하여 생성된다. 또한, 충분한 해상도를 제공하기 위해 각각의 수평선은 색상 당 32,000개의 샘플을 가지게 된다. Mark-I 디스플레이는 18면으로 되어 있고, 수평으로 스캔하기 위해 회전하는 거울을 사용한다. 수직으로 스캔하는 거울은 64개의 스캔 선을 생성하기 위해 사용된다.



<그림 10> Mark-I 디스플레이의 구조도 [16]

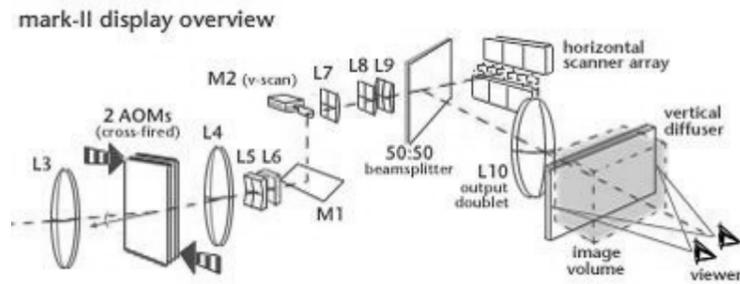
② Mark-II 디스플레이

Mark-II 디스플레이는 해상도가 큰 영상을 재현하는 데에 문제가 없도록 높은 해상도를 지원하는 것이 목적이다. 이를 위해서 150x75x150 mm 해상도, 36° 시야각, 2.5프레임/초 프레임율로 3차원 영상을 재생할 수 있도록 18채널의 AOM 변조기를

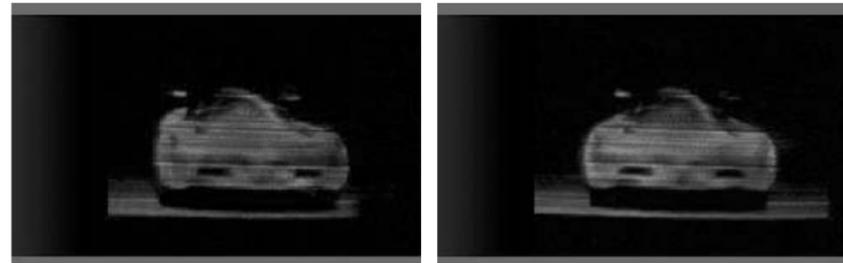
사용한다. Mark-II 디스플레이는 6개의 타일 모양의 수평 거울을 사용하며, 이 거울이 좌에서 우로 회전하면서 18개의 스캔 선을 만들어낸다.

4) 원격 화상회의(HP)

HP(Hewlett-Packard)에서 연구하는 Halo는 회



〈그림 11〉 Mark-II 디스플레이의 구조도 [17]



〈그림 12〉 Mark-II 디스플레이를 이용한 자동차 모델 재현



〈그림 13〉 Halo 회의실 전경

의 참가자들이 같은 공간에 있는 듯한 느낌의 환경을 구현하는 원격 화상회의 시스템이다 [18]. Halo는 회의실에서 다른 지역에 있는 회사 동료가 마치 한 자리에 있는 것과 같은 느낌을 가지고 함께 회의를 진행하도록 하는 것이 목적이다. Halo 회의실 각각은 3대의 고해상도 카메라와 3대의 50인치 디스플레이를 포함한다.

또한, Halo 비디오 교환 네트워크(Halo video exchange network, HVEN)는 광 통신망을 사용하여 전송 지연을 최소화한다. 이러한 시스템을 이용하면 보다 실감나는 회의를 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 3차원 TV 시스템 및 실감방송 기술에 관련된 미국의 3차원 TV 기술 동향을 살펴보았다. 살펴본 바와 같이, 미국 내의 3차원 TV 기술 개발은 산학연 연계 연구와 관련 연구기관의 노력으로 인하여 다양한 기술을 개발하고 있다.

이러한 3차원 TV 및 실감방송 관련 기술들은 고품질의 멀티미디어를 요구하는 시청자들을 만족시켜 줄 수 있을 것으로 전망되며, 방송뿐만 아니라 통신, 의학, 교육 등 다양한 분야에서도 널리 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터(ITRC)의 지원에 의한 것이다.

참고 문헌

[1] 3DTV NoE, <http://www.3dtv-research.org>  
 [2] 안충현, "3DTV 시스템," 3DTV 심층기술 워크샵 자료집, 2007.  
 [3] C. Fehn, "3D TV Broadcasting," 3D Videocommunication: Algorithms, concepts and real-time systems in human centred communication, O. Schreer, P. Kauff, T. Sikora, (eds.), Wiley, Chichester, Chapter 2, 2005.  
 [4] A. Redert, M. O. Beeck, C. Fehn, W. Ijsselstein, "ATTEST-Advanced Three-dimensional Television System Technologies," Proceeding of the First International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, pp. 313-319, June 2002.  
 [5] H. Imaizumi and A. Luthra, "Stereoscopic Video Compression Standard," Three-Dimensional Television, Video, and Display Technologies, B. Javidi and F. Okano, (Eds.), Springer, Berlin, Chapter 7, 2002.  
 [6] W. Matusik, H. Pfister, "3D TV: A Scalable System for Real-Time Acquisition, Transmission and Autostereoscopic Display of Dynamic Scenes," ACM Transactions on Graphics SIGGRAPH, vol. 23, issue 3, pp.814-824, Aug. 2004.  
 [7] C. L. Zitnick, S. B. Kang, M. Uyttendaele, S. Winder, R. Szeliski, "High-quality Video View Interpolation Using a Layered Representation," Proceeding of SIGGRAPH, pp. 600-608, Aug. 2004.  
 [8] MIT Museum: Collections - Holography, <http://web.mit.edu/museum/collections/holography.html>  
 [9] Mars Pathfinder Mission, <http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/index0.html>  
 [10] A. Vetro, W. Matusik, H. Pfister, J. Xin, "Coding Approaches for End-to-End 3D TV Systems," Proceeding of Picture Coding Symposium (PCS), Dec. 2004.  
 [11] H. Shum and S. B. Kang, "A Review of Image-based Rendering Techniques," Proceeding of Visual Communications and Image Processing, pp. 2-13, June 2000.  
 [12] C. Buehler, M. Bosse, L. McMillan, S. Gortler, M. Cohen, "Unstructured Lumigraph Rendering," Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.425-432, Aug. 2001.  
 [13] D. Sharstein and R. Szeliski, "A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-frame Stereo Correspondence Algorithms," Proceeding of IEEE Workshop on Stereo and Multi-Baseline Vision, pp. 131-140, Dec. 2001.  
 [14] L. Hong and G. Chen, "Segment-based stereo matching using graph cuts," Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 1, pp. 74-81, July 2004.  
 [15] MIT Media Lab: HoloVideo, <http://www.media.mit.edu/spi/holoVideoAll.htm>  
 [16] Mark-I overview, <http://www.media.mit.edu/spi/HV/mark1.htm>  
 [17] Mark-II overview, <http://www.media.mit.edu/spi/HV/mark2.htm>  
 [18] HP Halo telepresence and video conferencing solutions, <http://h20219.www2.hp.com/enterprise/cache/570006-0-0-0-121.html>