



1. 서론

체적 디스플레이는 스테레오 디스플레이와는 달리 실제 3차원 상에 있는 영상을 복셀(Voxel) 단위로 한다. 그리고 체적 디스플레이에 의한 3차원 영상은 눈의 원근 조절에 의해 양안 및 운동 시차를 가지는 것으로 느낄 수 있다. 체적 영상은 여러 위치에서 입체 영상을 느낄 수 있는데 홀로그래피를 제외한 대부분이 영상의 가려진 영역에서의 자연스런 음영을 주지는 못한다. 이로 인해 체적 영상에서 보여지는 영상은 투과성이 있는 영상으로 물체를 디스플레이하게 된다. 자연스런 음영은 이론적으로는 가능하지만^[1] 현재의 영상 기술로는 처리해야 하는 데이터가 너무 많아 실제 구현에 어려움이 있다.

본 논문에서는 홀로그래피를 제외한 현재까지의 개발된 체적 영상의 분야에 있어서 가장 유용한 방법들을 고찰하였다.

2. 실질 체적 디스플레이

실질 체적 디스플레이는 균일한 영상 매체 혹은 정상 상태에서 투명한 셀인 복셀(Voxel)로 나누어진 매체로 구성된다. 영상 매체는 외부의 전기 및 자기장에 따라 광학적인 특성이 바뀌는 영상을 보여준다. 가령, 복셀은 불투명하게도 되고 빛을 산란하거나 가시광선 등을 발현하기도 한다. 체적 영상은 전도체 및 전극을 경유한 전자기 파를 사용하여 전기적인 활성화를 일으키는 주사 방식과 초점이 맞추어진 빔 주사 방식이 있다.

특집 ─ 3차원 영상기술 II

최근의 체적 영상 기술에 대한 고찰

S.Shestak*

체적 영상은 의료, 항공, 오락 등에 응용이 되고 있는데, 체적을 만드는 영상의 방법에 따라 아래와 같이 몇 가지로 나눌 수 있다.

1. 실질 체적 디스플레이(Real Volume Display): 체적 영상이 균일한 광학매체 혹은 광학매체를 포함하는 셀(Cell)로 부터 만들어지는 방법이다.(체적영상을 연기상자, 투명한 물탱크, 형광 크리스탈 등의 산란 매질에 그려주는 방식)
2. 스캐닝 체적 디스플레이 (Volume Scanning Display): 체적 영상이 주기적으로 움직이는 2차원의 패널 및 스크린에 의해 구현되는 방법이다.
3. 가상 체적 디스플레이 (Virtual Volume Display) : 체적 영상이 패널 및 스크린 등을 이용한 원격 디스플레이에 의해 여러 개의 실제 혹은 가상 영상을 허공에 광학적으로 구현하는 방법이다.

2.1. 전기적인 주사 방식을 이용한 체적 디스플레이

전기적으로 주사 방식이 가능한 3차원 디스플레이는 일반적으로 3차원 배열(array) 셀로 구성이 되는데, 이 셀은 적절한 전기적인 자극에 의해 광학 특성이 변하는 성질이 있다. 외부의 전기적인 자극이 없으면 이 셀은 투명하지만 전기적인 자극을 가하면 불투명하거나 빛을 산란 및 발현을 한다. 전기적인 주사 방식의 3차원 디스플레이는 모든 방향에서 볼 수 있는데, 이 경우 셀들은 관측 방향에는 무관한 등방성을 가져야 한다(미국 특허5506785, 4134104, 5929572). 이러한 형태의 디스플레이는 복셀에서 관측자의 눈까지 빔이 가는 경로 상에 많은 장애물이 있게 된다는 단점이 있게 된다. 빛은 많은 선과 전극을 거치면서 약하게 되고 이로써 셀의 숫자에 제한이 있게 된다. 이러한

* 한국과학기술연구원

문제를 줄이기 위해 최근에는 광섬유를 통해 활성화를 시킴으로써 빛의 흡수를 줄이는 연구가 진행되고 있다 (미국 특허, 4391499, 4173391). 그러나 광섬유를 사용하여도 빛을 약하게 하여 시각 정보를 감소시키는 빛의 산란 문제를 해결하지는 못하고 있는 실정이다.

전기적인 주사 방식의 또 다른 방법으로는 다층 평면 디스플레이 (Multiplanar display) 방법이 있다. 이것은 3차원 블록에 차례차례 놓여 있는 평판 안에 셀이 위치하는 구조로 되어 있다 (미국 특허 5745197, 5990990, 일본 특허, 8280044A, 8016113A). 이 방법의 잇점은 액정과 같이 비싼 물질의 얇은 층을 이용할 때 평판을 저렴한 비용으로 대량 생산할 수 있다는 점이다. 그러나 LCD 액정과 같이 영상을 볼 수 있는 시역과 관측 방향이 제한되는 단점이 있다. 패널의 투과성이 좋지 못하기 때문에 놓여지는 패널의 수가 제한되나 가로 방향의 해상도는 LCD와 거의 유사한 특성을 가지고 있다

다층 평면 디스플레이 방법은 3차원 블록에 놓여지는 액정과 같이 전기적으로 활성화가 가능한 투명한 물질 층 상의 2차원의 연속적인 투사 영상을 응용한 것이다. 영상 층은 전체가 픽셀 단위로 되지는 않는다. 오직 필요한 것은 투명한 상태에서 전기적인 자극을 가함으로써 불투명하게 되거나 빛을 산란하는 상태로 바꿀 수 있는 것이다 (미국 특허 3891305, 5990990, 5764317, 4472737, 6100862, 일본 특허, 56125720A, 8016113A, 00172201). 특정한 층이 활성화가 될 때, 깊이 층에 해당하는 2차원 영상은 다층 평면 구조 위에 투사되게 된다. 활성화 층과 투사되는 2차원 영상을 주기적으로 바꾸어 줌으로써 3차원 영상을 얻을 수 있다. 영상이 깜박거리는 것을 막기 위해서는 투사기의 프레임 속도와 층의 동작 주파수가 TV 프레임의 속도와 깊이 방향의 층의 속도를 곱한 값이 되어야 한다

최근의 2차원 영상 기술은 보통의 프레임 주기 내에 수십 개의 해상도를 만들 정도가 되었다. 그러나 FELCD를 사용한다고 해도 투명한 전극 상의 빛의 상실을 고려할 때 현재의 기술에서는 프레임의 주기 내에서 수십 개의 해상도를 만들기는 어려운 실정이다.

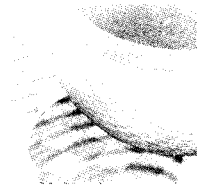
2.2. 빔 주사에 의한 체적 디스플레이

빔 주사에 의한 디스플레이는 광학적으로 투명한 3차원 매체로 구성되어 있는데 이 매체는 비가시광선 영역의 전자기 파의 빔을 전달, 발현 및 방향을 조정할 수 있는 특성을 가지고 있다. 이 매체 및 빔이 가지고 있어야 하는 필수 요소로는 빔이 교차하는 영역에서는 가시광선을 발현해야 한다는 점이다. 빔을 매체 내부의 몇몇 점에서 교차하도록 유지하고 교차점을 어떤 체적 내에서 움직일 수 있도록 빔의 방향을 조정할 수 있어야 한다. 이로써 빔의 교차점은 관측자가 어떠한 방향에서도 관측할 수 있고, 빔의 위치는 빔이 비가시광선 영역에 있는 동안, 지정된 체적 내의 어느 점으로도 움직일 수 있게 된다. 비 가시광선의 주사선을 통해 투명하고 균일한 매체의 어느 점을 활성화를 가능하게 하는 점은 도화식 체적 디스플레이에 요구되는 중요한 특성이다. 비 가시광선의 레이저 빔을 사용하여 데이터 흐름을 평행선 상에 두어서 영상을 구현할 수도 있다 (미국 특허 3789397, 3912856, 4041476, 4881068, 5214419, 5627554).

이러한 개념을 가장 성공적으로 구현한 것은 1994년에 이루어졌는데, 이는 프라세오디뮴 (원소 기호: Pr)으로 도핑한 중금속의 불소(원소 기호: F) 유리와 각각 1064 nm 와 840 nm 인 2개의 적외선 빔을 사용하는 방법^[2]이다. 첫 번째의 레이저는 불소 유리 내부의 Pr 이온을 중간 단계로 활성화시키고 다른 파장을 갖는 두 번째 레이저는 이러한 광자를 더 높은 단계로 활성화시키는 역할을 한다. 광자의 에너지 단계가 바닥 상태로 될 때 가시광선이 발현되게 된다. 이러한 방법은 가능성이 유망한 것이지만 현재까지 만들어진 것은 그 크기가 수 cm 를 넘지 않는 실정이다.

3. 스캐닝 체적 디스플레이

적층식 체적 디스플레이는 오직 2차원 디스플레이를 사용하여 체적 내에 분산되어 있는 여러 개의 발광 점들을 보여 주는 방식이다. 이것은 스크린에 보여지는 영상과 상응하는 정보를 갖는 다음 영상으로의 이동을 함으로써 2차원의 영상 정보를 3차원으로 확장



할 수 있게 한다. 이는 2차원 영상 디스플레이가 고속의 프레임 속도를 가져야 가능하다. 가장 단순한 형태의 적층식 체적 디스플레이는 평판을 교대로 움직이는 방식이다. 또 다른 형태는 스크린을 움직이고 영상 투사기는 고정시키는 것⁽³⁾인데, 영상이 Z축으로 단층 촬영 사진의 조각으로 나누고 스크린을 움직여서 계산량을 많이 줄일 수 있다는 잇점이 있다 (미국 특허 5954414, 5596340, 일본 특허 56123533A, 56104316A, 56102822A, 56071387A, 4096016A). 그러나 지금까지의 적층식 체적 디스플레이에서 가장 성공적인 방법은 스크린을 회전시키는 것이다. 스크린을 회전시키는 디스플레이 방식에서 가장 잘 알려진 것은 “음극선 구(cathode ray sphere)”라는 방법이다. 이것은 특별히 고안된 CRT 내부에 놓여진 축 주위로 회전하는 형광막이 입혀진 스크린에 주사가 가능한 전자 빔에 의해 구현된다⁽⁴⁾(미국 3140415).

이후에 몇 가지 주목할 만한 향상된 방식이 개발되었다. 360(회전 범위 내에서 주사가 가능하도록 하기 위해서는 여러 개의 전자총이 사용되었다 (미국 특허 5703606)). 그리고 산란 스크린을 회전시키고 2차원의 스캐닝 레이저 광원에 근거한 방식도 개발되었다. (미국 특허 5148310, 5936767, 4871231, 5042909, 일본 특허 7104213, 1193836). 레이저 스캐닝 방식은 음극선 방식보다 단순한 형태이지만 실제 상업적인 측면에서는 음극선 스캐닝 방식이 가격이 싸고 대량 생산에 적합하다.

이론적으로는 스크린을 회전시키는 방식의 영상이 모든 위치에서 관측이 가능하지만 회전 주기 내에 영상의 질이 떨어지는 곳이 두 군데 있게 된다. 이 곳은 시선이 스크린 평면 상에 있는 직선과 일치하는 곳일 경우인데 이 때 깜박거림과 체적을 가로지르는 불균일한 영상을 볼 수 있게 되는 것이다. 이러한 단점을 극복하기 위해 몇 가지 다른 형태의 회전 스크린이 개발되었다⁽⁵⁾(미국 특허 4294523).

회전 스크린 방식에서 중요한 발전은 나선형 스크린⁽⁶⁾의 발명이다(미국 특허 5854613). 나선형 스크린 방식은 체적 주사 알고리즘을 쉽게 만들 뿐만 아니라 깜박거림을 제거하였다. 그리고 회전축 가까이에 아주 작은 미사용 체적을 가지고 있기 때문에 단 하나의 레이저 스캐너 혹은 투사기로도 실린더 체적을 주사할

수 있게 되었다. 나선형 스크린의 회전축이 디스크에 고정되어 있는 초점 조절 렌즈의 배열을 사용하면 영상의 해상도를 높일 수 있다(미국 특허. 4922336). 영상의 크기는 지름이 91 cm, 높이는 46 cm, 프레임 속도는 10 Hz 가 되고 40, 000 컬러를 디스플레이할 수 있다.

4. 가상 체적 디스플레이

가상 체적 디스플레이는 공간 상에 3차원 영상을 띄우는 방법이다. 영상의 체적과 실제 영상의 보이는 위치는 물체의 내부 혹은 허공 상에 있게 된다. 일반적으로 가상 체적 디스플레이는 일정한 개수의 렌즈 구멍을 가지는 특정한 광학 장치를 사용하여 3차원 영상을 형성 및 이동을 하는 방식을 취한다. 이런 이유로 시역이 제한되고 주위 영상이 흐리게 보이는 것이다. 그러나 실제와 가상 물체를 혼합하여 보여줄 수 있기 때문에 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다. 실제 물체와 영상에 의한 가상 물체가 같은 체적에 중첩되어 관측자에게 보이게 된다. 이러한 가상 체적 디스플레이는 가상 체적을 만들기 위해 적층식 체적 디스플레이와 유사한 방법으로 거울, 쉼, 렌즈 등의 광학 소자를 이동시키는 방법을 취한다. 이러한 방법의 잇점은 광학 소자의 적은 이동으로도 비교적 깊은 가상 체적을 만들 수 있다는 데에 있다.

가상 체적 디스플레이의 방법 가운데 가장 널리 알려진 것은 “다초점 거울 디스플레이 (Varifocal mirror display)”⁽⁷⁾이다. 이 방법은 2차원 디스플레이 장치의 축에 45° 기울어진 위치에 거울이 입혀진 유연한 막이 달려 있다. 관측자는 2차원 디스플레이 스크린에 달려 있는 거울을 통해서 영상을 보게 되는데 이 거울의 곡률은 일련의 2차원 영상과 동기화 되어 주기적으로 변화하게 된다. 실제 혹은 가상 영상의 2차원 디스플레이와 깊이 방향의 영상의 위치는 각각 변할 수 있다 (미국 특허 349329, 4130832, 4799103, 일본 특허 63033722A). 원치 않는 영상 크기의 변형은 그에 해당하는 반대편 2차원 영상의 크기 변형으로 조정한다. 이러한 다초점 거울 방식의 잇점은 저렴한 비용과 단순함 뿐만 아니라 거울 표면이 수 밀리미터를 움직여

최근의 체적 영상 기술에 대한 고찰

도 거울을 통해 보이는 CRT 스크린은 수 미터 이내로 할 수 있다는 데에 있다. 그러나 복잡한 거울 표면의 곡률로 인해 영상의 수차(aberration)가 생기는 것과 거울로 인한 소음이다.

다초점 거울의 개발 이후로 가상 체적 디스플레이의 연구는 많이 이루어졌다. 최근에는 2차원 영상의 위치의 운동을 조절할 수 있도록 반사형 및 굴절형의 광학 장치가 쓰이고 있다(미국 특허 3956833, 3970361, 4315281, 4315281, 4692878, 4674837, 일본 특허 57171313A, 60105395A, 56161788A.). 그러나 가상 체적 디스플레이에서는 다초점 거울이 여전히 가장 실용적인 해결 방식이 되고 있다.

5. 결론

최근의 정보 기술의 발전은 체적 영상에 대한 관심을 증가시키게 하고 있다. 지난 30년 간 체적 영상의 연구가 진행되어 왔지만 아직까지 완전하지 못한 실정이다. 여러 가지 체적 영상 방법 가운데 오직 몇 가지만이 만족스러운 결과를 얻었고 상업적인 응용이 진행되고 있다. 그러나 눈부신 정보화 기술의 발전에 힘입어 향후에는 더 향상된 기술이 개발되어질 것이다.

참고 문헌

- {1} Son J.-Y., Shestak S.A., Choi Y.-J., Kim K.-T. "Emitting diagram control method for solid objects 3-D display". Proc. of SPIE, vol. 3012,

Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems 1997, pp.262-272.

- {2} "Researchers demonstrate 3-D volumetric images" Laser Focus World, November, 1994, pp28-32
- {3} Yamada, H., Akiyama, K., Muraoka, K., Yamaguchi, Y. 'The comparison of three kinds of screens for a volume scanning type 3D display.' TAO First Int.Symp. 1993 (Telecom. Advancement Org. of Japan, 2-31-19, Shiba, Minato-ku, Tokyo 105), S-5-3-3 - S-5-3-10
- {4} Ketchpel, R. "Direct view three dimensional display tube" IEEE Trans. Elect. Dev Vol 10 p.324-328 (1963)
- {5} Soltan, P., et al. "Laser Based 3-D Volumetric Display System" in E.Schlam(Ed.) High Resolution Displays and Projection Systems. Proc. SPIE Vol. 1554(1922)
- {6} Traub, A.C. Stereoscopic Display Using Varifocal Mirror Oscillations. Applied Optics, 6,6 (June 1967), pp. 1085-1087.

약 력

Shestak Sergei / Russia

1972	Moscow State University, Faculty of Physics, Dep. Of Radio-physics(Acoustooptics, Electrooptics)
1981	Ph.D(engineering), VEGA Corporation, Radiophysics incl. Quantum Radiophysics
1972-1976	Senior Engineer, Research and Manufacturing Corporation Vega. Laboratory of Gas-dynamic Lasers
1976-1989	Senior engineer-Principal researcher-Head of laboratory, R/D Institute of Radiooptics.
1978-1981, 1985-1989	Expert, All Union R/D Institute for Patent expertise Division of Technical Physics
1982-1985	Invited Professor, Moscow Institute of Radioelectronics and Automation, Training courses for engineers
1990-1995	Head of Laboratory for Optical Information, R/D Institute of Radiooptics.
8.1995-8.1998	Invited scientist, Korea Inst. of Science and Technology
8.1998-10.1999	Principal Research Scientist, Institute of Optical Neural Technologies
Present	Invited scientist, Korea Inst. of Science and Technology