

## 타일드 디스플레이 기술을 이용한 가상 현실 기반 기술 교육 시스템 개발

김도윤\*, 박현근\*\*, 김상연\*\*\*, 이재협\*\*\*

위드로봇 임베디드 시스템 팀\*, 위드로봇 소프트웨어 팀\*\*, 한국기술교육대학 인터넷미디어공학부\*\*\*

### Development of the Virtual Reality based Educational System using Tiled Display Technology

Do-Yoon Kim\*, Hyun Keun Park\*\*, Sang-Youn Kim\*\*\*, Jae-Hyub Lee\*\*\*

WITHROBOT Embedded System Team\*, WITHROBOT Software Team\*\*, Korea University of Technology and Education\*\*\*

**Abstract** - 본 연구에서는 여러 대의 저해상도 프로젝터 영상을 결합하여 인간의 시야각을 채울 수 있는 하나의 고해상도 영상처럼 보이게 만드는 타일드 디스플레이(tiled display) 기법을 활용하여 가상 현실 기반 몰입형 시스템을 제작한다. 제안된 시스템은 총 8대의 프로젝터를 이용해 4096 x 1536의 고해상도 화면을 구현하며 유효 해상도는 3200 x 1200을 구현하였다. 각 프로젝터 출력 영상간의 연결 이음매가 두드러지지 않는 심리스(seamless) 기법을 활용해 관찰자의 높은 몰입감을 획득할 수 있었다. 제안된 시스템에서는 반도체 CMOS 공정을 가상 현실 공간에 구현하여 다수의 학습자들에게 기존의 정적인 이미지로 전달되던 반도체 제조 공정을 보다 효율적으로 학습하도록 돕고 있다. 구성된 시스템은 일반 개인용 PC 시스템 한 대로 구현이 가능하며 상대적으로 저렴한 가격으로 시스템을 구성할 수 있어 가상 현실 기반 몰입형 기술 교육 시스템의 대중화에 기여할 것으로 기대된다.

#### 1. 서 론

빠르게 발전하는 마이크로프로세서와 그래픽 프로세서 기술 덕분에 가상 현실 기술은 그 쓰임새를 디자인, 시뮬레이션, 오락뿐만 아니라 의료 분야나 공학 분야의 학습 도구로도 넓혀가고 있다. 특히 현실 세계에서 파악하기 어렵거나 경험하기 어려운 실험 실행 과정을 가상 현실 기술을 이용하여 학습을 할 경우 반복적이면서, 원하는 방향에서 관찰이 가능함과 동시에 다양한 시각적 효과를 통해 효율적인 학습을 할 수 있다는 장점이 있어 교육 분야로의 응용이 활발히 연구되고 있다. 이러한 시스템을 구현하는데 있어 한정된 좁은 모니터에서 구현되는 가상 현실 공간은 그 한계가 명확하기 때문에 최근에는 여러 대의 모니터를 연결하거나 여러 대의 프로젝터를 연결하여 하나의 가상 공간을 구성하는 타일드 디스플레이 방식에 대한 연구가 많이 시도되고 있다[2-6]. 저해상도의 프로젝터를 여러 대 이용하여 고해상도의 큰 스크린을 만들어 내는 타일드-디스플레이 방식은 비교적 저렴한 가격으로 높은 해상도를 구현할 수 있고, 필요에 따라 프로젝터를 추가하면 그 해상도 및 전체 스크린의 크기를 원하는 대로 확장할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 타일드 디스플레이 방식을 이용하여 가상 현실 공간에서 학습용 콘텐츠를 이용해 보다 여러 명의 학습자로부터 높은 이해도를 끌어 낼 수 있는 시스템을 만드는 데 그 목적을 두었다.

2장에서는 타일드 디스플레이 방식을 이용한 기존 연구 동향 조사를 통해 다수 인원이 학습하는 학습 도구로서의 교육 시스템에 적합한 타일드-디스플레이 방식을 제안하고, 3장에서는 일반 개인용 PC 1대를 이용해 다수의 프로젝터에 3차원 영상을 출력하는 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 각 프로젝터의 영상간에 10%씩 겹치는 영역을 만들어 블렌딩 방식을 통해 연결 이음매가 매끄럽게 보이게 만드는 심리스 기법을 도입하였다. 4장에서는 구성된 시스템의 기하학 캘리브레이션 및 컬러 캘리브레이션 방법을 소개하고, 5장에서는 출력 결과를 통해 제안한 시스템의 성능을 파악한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

#### 2. 기존 연구 동향 및 스크린 형태 제안

##### 2.1 스크린 형태에 따른 분류

가상 현실의 구현에서 가장 중요한 요소는 입장감, 대화성, 자율성 3가지로 요약될 수 있다[1]. 이 중 입장감이란 자신의 눈 앞에 실제 물체와 차이가 없을 정도로 실감이 나는 정보를 제시하는 것으로 가상의 환경에 자신이 포함되어 몰입되는 느낌을 의미한다. 입장감을 구현하기 위해서는 관찰자의 시야각을 가상 현실 세계로 채우는 것이 중요하다. 인간의 시야각(field of view)은 측정 방법에 따라 차이는 있지만 대략 수평 방향으로는 200도, 수직 방향으로는 135도를 갖는 것으로 알려져 있으며 120도가 넘어가면 크게 차이를 못느끼는 것으로 알려져 있다[9]. 상당히 넓은 인간의 시야각을 스크린으로 채우기 위해 여러 가지 스크린 형태가 제안되었으며, 일부는 시야각을 완전히 채울 수 있지만 일부는 완전히 채우지는 못하고 120도 내외를 채우는 형태로 구성하는 경우가 있다.

스크린 형태에 따라 가상현실공간을 표현하는 시스템에 대한 연구 결과를 유사한 것들끼리 분류하여 그 특징들을 살펴본다.

(a) 벽면(wall) 스크린: 일반 프리젠테이션할 때 사용하는 방식으로 큰 스크린으로 교육자의 시야각을 충족시키는 방법으로 몰입감을 만들어 내지만 일정 크기 이상이 아니면 인간의 시야각을 채우기 어렵다는 단점이 있어 많이 사용되지 않는다.

(b) 실린더(cylinder) 스크린: 벽면 스크린이 시야각을 충족시키기 어렵다는 단점을 보완하기 제안된 방법으로 스크린이 실린더 형태로 휘어져 있다. 스크린이 곡면으로 구성되어 스크린 제작이 복잡하다는 단점이 있다.

(c) 돔(dome) 스크린: 반구형 스크린을 이용하는 방식으로 좁은 공간에서 관찰자의 시야각을 채우는데 매우 효과적이다. 하지만 관찰자가 1인 내지 소수로 한정되며 스크린 제작이 복잡하다는 단점이 있다.

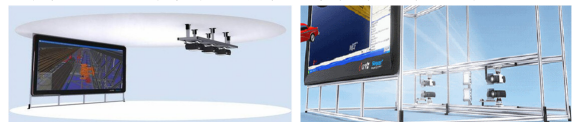
(d) 케이브(CAVE) 스크린[2]: 관찰자의 전방, 양쪽 벽면을 스크린으로 채우고, 더 나아가 천장과 바닥을 스크린으로 마감하는 경우도 있다. 시야각 측면에서는 가장 좋지만, 넓은 설치 공간이 필요하고, 많은 관찰자를 대상으로 할 수 없다는 단점이 있다.



〈그림 1〉 좌로부터 벽면 스크린, 실린더 스크린, 돔형 스크린, 케이브 스크린 방식

##### 2.2 프로젝터 투사 방법

영상을 투영하는 프로젝터와 관찰자, 스크린의 배치에 따라 전방 투사(front projection) 방식과 후방 투사(back projection) 방식으로 분류할 수 있다. 전방 투사는 일반 세미나실에서 많이 사용하는 방식으로 시청자와 프로젝터가 스크린 앞에 배치되는 형식으로 설치에 많은 공간을 필요로 하지 않지만 관찰자가 스크린에 다가갈 경우 그림자가 발생하게 된다. 반면 후방 투사 방식은 시청자와 프로젝터 사이에 스크린이 배치되는 형태로 관찰자 입장에서는 스크린 뒤에서 프로젝터가 영상을 투영하는 것으로 인식된다. 후방 투사 방식에서 사용되는 스크린은 영상을 표출하기에 충분한 정도로 투명해야 하지만, 광원의 밝은 부분이 바로 보이지 않도록 분산시킬 수 있을 정도로 불투명해야 한다. 따라서 후방 투사 방식 스크린은 일반적으로 옅이 가늘고 촘촘하게 짜여져 있어 빛이 많이 차단되고 광원의 밝은 부분을 무마시키기 위해 스크린의 중심 부분은 보다 더 촘촘하게 만들어져 있어 영상의 밝기감이 떨어진다는 단점이 있다. 또한 전방 투사 방식에 비해 설치에 많은 공간이 필요하다는 단점도 추가로 있다. 반면 스크린에 관찰자의 그림자가 발생하지 않는다는 장점이 있어 스크린에 접근해야 하는 일이 상대적으로 많은 케이브 스크린에서 후방 투사 방식이 자주 사용된다.

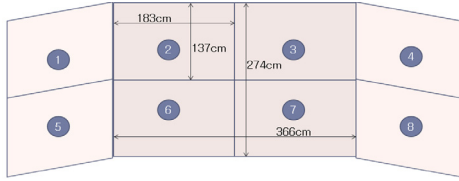


〈그림 2〉 전방 투사(좌)와 후방 투사 방식(우)

##### 2.3 스크린 형태 제안

본 연구에서는 위 스크린 형태의 장단점을 파악하여 구현하고자 하는 시스템에 적합한 스크린의 형태를 결정하였다. 여러 명의 학습자를 대상으로 가상 현실 세계가 출력되어야 하므로, 기존의 돔 스크린 및 케이브 스크린 형태는 고려 대상에서 제외되었다. 또한 벽면 스크린 방식은 다른 방식에 비해 시야각이 좁아 높은 몰입감을 만들어 낼 수 없기 때문에 제외되었다. 남은 후보 중에 실린더 스크린은 곡면으로 만들어야 한다는 어려움이 있으며 영상을 투사할 때 복잡한 캘리브레이션을

수행해야 하고, 모든 픽셀에 변환 행렬 연산을 수행하여 위치를 재계산해야 한다는 단점이 있다. 본 연구에서는 실린더 스크린의 장점을 살리면서 곡면의 단점을 제거하기 위해 실린더 스크린과 케이브 스크린의 중간 형태인 스크린의 양쪽 끝이 일정 각도를 가지고 꺾여있는 굴곡 스크린 형태를 제안하였다. 스크린의 형태는 다음 그림과 같다.



〈그림 3〉 제안한 굴곡 스크린 형태 및 크기

그림 3에서 각각의 부분은 80인치 스크린에 해당하며 하나의 프로젝터가 투사를 담당하기 때문에 총 8개의 프로젝터가 필요하다. 좌우 양쪽의 스크린(1번, 4번, 5번, 8번) 40도의 경사를 가지고 꺾인 형태로 배치되어 관찰자가 스크린으로부터 1m 정도 떨어진 곳에 위치할 때 시야각은 160도가 된다. 각각의 스크린은 평면이기 때문에 설치 및 유지보수가 쉬우며, 기하학 캘리브레이션이 용이하다는 장점이 있다. 투사 방식은 전방 투사 방식 및 후방 투사 방식을 필요에 따라 선택할 수 있으며, 본 연구에서는 전방 투사 방식을 채택하여 설치 공간을 줄였다.

### 3. 시스템 구성

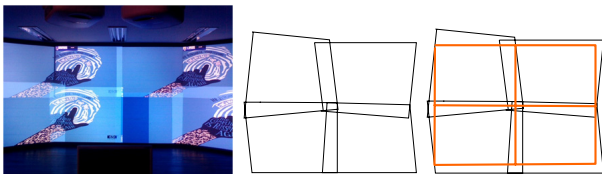
제작한 시스템은 일반 시중에서 구매 가능한 상용품으로 구성하여 저가화를 꾀하였다. 프로젝터는 XGA(1024 x 768)급 2000ANSI 밝기값을 가지는 DLP 프로젝터를 사용하였고, PC는 듀얼 코어 AMD Opteron 프로세서가 장착된 PC를 한 대 사용하였다. 그래픽 카드는 nVidia사의 FX5500 을 두 장 장착하였고, 한 대의 그래픽 카드에 두 개의 출력 포트가 있어 시스템에는 총 네 개의 그래픽 출력 포트가 존재한다. 한 포트가 출력하는 영상의 해상도는 2048 x 768을 출력하며, 각 포트에는 영상 분배기가 연결되어 한 대의 분배기에 두 대의 프로젝터가 연결된다. 따라서 총 프로젝터는 8대가 연결된다.



〈그림 4〉 시스템 구성

### 4. 캘리브레이션 및 실험 결과

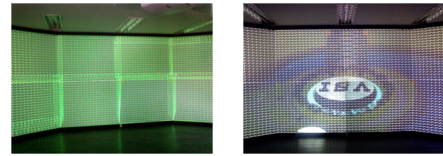
각 프로젝터 투영 영상은 서로 겹쳐져 있고, 배치에 따라 화면이 왜곡되어 아래 그림의 좌측 그림처럼 출력된다. 이러한 영상을 아래 그림의 우측 붉은색 영역처럼 만드는 것이 기하학 캘리브레이션 과정이다. 본 연구에서는 하나의 프로젝터에서 투영하는 화면을 단위 삼각형으로 분할하고, 삼각형의 각 꼭지점을 3x3 변환 행렬을 이용하여 근접한 영상과 경계선이 일치하도록 변환하였다.



〈그림 5〉 기하학 캘리브레이션

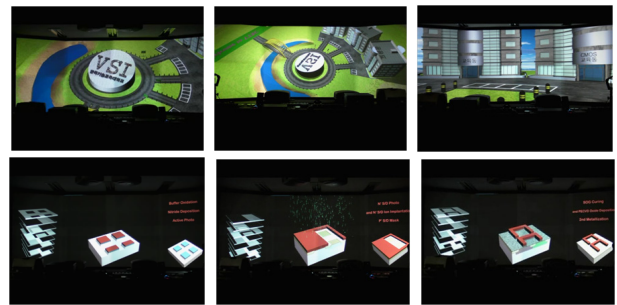
또한 프로젝터는 렌즈 특성상 중심 부분이 밝고 외곽으로 갈수록 영상이 어두워지는 비네팅(vignetting) 현상이 발생한다. 따라서 각 프로젝터의 영상을 기하학적으로만 배치하더라도 경계선 영역에서는 밝기값의 불연속선 영역이 생기게 된다. 컬러 캘리브레이션은 이러한 불연속적인 면을 제거하기 위하여 경계부분의 영상을 서로 겹치고 밝기 값을 조절하여 부드러운 하나의 화면처럼 보이게 하는 작업이다. 본 연구에서는 컬러 캘리브레이션을 구현하기 위하여 기하학 캘리브레이션에서

이용하였던 단위 삼각형을 이용하였다. 경계부분에서 단위 삼각형 노드 밝기 값을 적용하는 방식을 통해 프로젝터의 각 화면은 연결 부분에서 부드럽게 이어진다(seamless). 이와 같은 과정을 거치면 8대 프로젝터의 영상은 하나의 큰 영상으로 보이게 된다.



〈그림 6〉 기하학 및 컬러 캘리브레이션 설정 과정

제작된 가상 현실 공간은 VSI(Virtual Silicon Island) 공간으로 반도체 교육 건물이 배치되어 있는 가상의 섬을 가정하였다. 교육자들은 가상의 섬으로 이동하여 반도체 교육 건물을 들어가게 되며, 해당 건물에서는 반도체 제조 공정에 대한 과정을 큰 스크린을 통해 학습할 수 있다.



〈그림 7〉 구현된 교육 콘텐츠(CMOS 반도체 제조 공정)

### 5. 결 론

굴곡 스크린과 프로젝터 8대, PC 1대로 다수의 인원이 학습용도로 사용할 수 있는 가상 현실 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템은 유효 해상도 3200x 1200 를 가지며, 기하학 캘리브레이션과 컬러 캘리브레이션을 통해 이음새의 불연속 부분이 없는 시스템을 구성하였다. 제작한 시스템의 동영상 출력 속도는 40frame/s이며 CPU의 부하가 가능한 적도록 다이렉트 X를 통해 GPU에서 대부분의 연산이 이뤄지도록 하였다. 구성된 시스템에는 반도체 제조 공정을 학습할 수 있는 학습 콘텐츠가 작성되었으며, 이후 다양한 콘텐츠를 추가하여 학습 도구로 그 쓰임새가 높을 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 최한호, "가상현실 구현을 위한 소프트웨어와 하드웨어," 방송공학회지 2권, pp.261-277, 1997
- [2] C.Cruz-Neira, D.Sandin and T.DeFanti, "Surround-screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE," SIGGRAPH 1993 Conference Proceedings, Annual Conference Series, Vol. 27, pp.135-142, Anaheim, CA, Aug. 1993
- [3] M. Hereld, I. R. Judson and R.L.Stevens, "Introduction to Building Projection-based Tiled Displays," IEEE Visualization 1999, pp.215-224, San Francisco, CA, Oct, 1999
- [4] R. Yang, D. Gotz, J. Hensley, H.Towles, and M. Brown, "PixelFlex: A Reconfigurable Multi-Projector Display System," IEEE Visualization 2001, San Diego California, Oct. 2001
- [5] Y. Chen, H.Chen, D. Clark, Z. Liu, G. Wallace, and K. Li, "Software Environments for Cluster-based Display Systems," IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, pp.202-210, Brisbane, Australia, 2001
- [6] G. Humphreys, P. Hanrahan, "A Distributed Graphics System for large Tiled Displays," IEEE Visualization, pp.215-224, San Francisco, Oct. 1999
- [7] 조동식, 손옥호, "e-Manufacturing을 위한 가상현실 기술," 전자통신향분석 제 22권 6호, 2007
- [8] 고희동, 안희갑, 김진욱, 김종국, 송재복, 어홍준, 윤명환, 우인수, 박연동, "케이브 기반 자동차 시제품 평가," 한국 감성과학회지, Vol. 5, No. 4, pp.77-84, Dec. 2002
- [9] K. W. Arthur, "Effects of Field of View on Performance with Head-Mounted Displays," Master Thesis, Univ. of North Carolina, 2000