

## Binary Code를 이용한 CAVE용 자동 캘리브레이션 장치 개발

김도윤\*, 박현근\*, 박현우\*, 김은미\*, 김상연\*\*  
 \*위드로봇(주), \*\*한국기술교육대 인터넷미디어공학부

### Development of auto calibration system using binary code for CAVE

Do Yoon Kim\*, Hyun Keun Park\*, Hyun Woo Park\*, Eun Mi Kim\*, Sang-Youn Kim\*\*  
 Withrobot Co. Ltd.\*, Korea University of Technology and Education\*\*

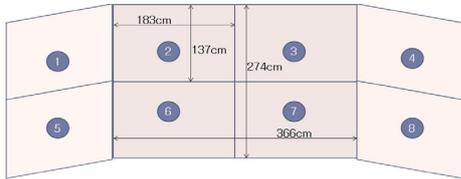
Abstract - 여러 대의 프로젝터로 VR 시스템을 구성할 경우 필연적으로 거쳐야 하는 캘리브레이션 과정을 자동으로 구성할 수 있는 방법을 제안한다. 프로젝터에서는 바이너리 코드 영상을 출력하고, 이 바이너리 영상을 주어진 위치에서 밝기값으로 측정하여 렌더링 시스템에 알려주는 형식으로 전체 시스템은 구성된다. 제안된 방식으로 하드웨어를 구성하였고, 실험을 통해 그 성능을 확인하였다.

#### 1. 서 론

저해상도 프로젝터 영상을 여러 개 연결하여 고해상도 영상을 만드는 타일드 디스플레이 기법은 CAVE 시스템을 구성할 때 매우 유용한 기법이다. 위드로봇(주)에서는 노동부 산하 능력교육개발원의 수주를 받아 렌더링 서버 1대, 프로젝터 8대로 구성되는 CAVE 시스템을 제작하여 한국기술교육대에 설치하였다. 스크린은 굴곡형 스크린으로 가로 7.32m x 세로 2.74m의 크기이며 해상도는 HD 영상의 2배에 해당하는 3200x1600에 해당한다[1]. 제작된 시스템은 반도체 제조 공정을 교육하는 용도로 사용되고 있으며, 추가 교육 콘텐츠가 계속 제작되고 있다[6].



〈그림 1〉 제작된 CAVE 시스템



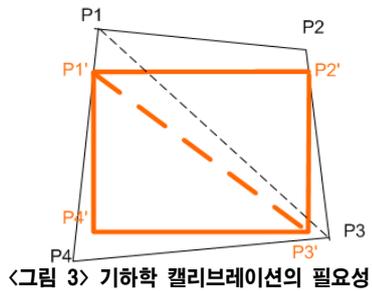
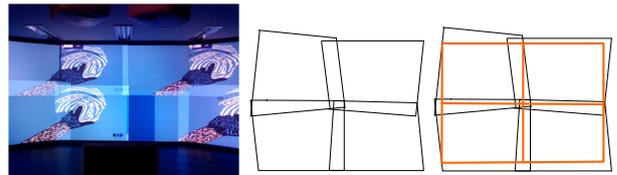
〈그림 2〉 사용 중인 굴곡 스크린 형태 및 크기

CAVE 시스템에서 가장 중요한 부분은 각 프로젝터의 투사 위치를 서로 정밀하게 정렬시켜 외부에 보았을 때는 마치 하나의 영상처럼 보이게 하는 기능이다. 단순히 프로젝터를 기구적으로 잘 배치하여 스크린에 영상을 투영하는 것만으로는 다수의 프로젝터 영상을 일치시키는데 부적절하며, 별도의 프로젝션 매트릭스를 이용한 변형을 통해 일치시키는 방식이 일반적이다. 이 때 각각의 프로젝터의 투사 영상을 어떤 식으로 변형시켜야 하는지 파악해야 하는데, 일반적으로 조작자가 시연 전에 수동으로 조정하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 이러한 기하학 캘리브레이션 과정을 숙련된 조작자의 도움 없이 시스템이 자동으로 수행하여 프로젝터의 위치가 변경되거나 스크린의 위치가 변경되어도 동일한 품질의 결과물을 낼 수 있도록 시스템을 구성하는데 목적을 두고 있다[2][3].

#### 2. 본 론

##### 2.1 타일드 디스플레이 장치에서 기하학 캘리브레이션

여러 대의 프로젝터로 구성되는 타일드 디스플레이 시스템에서는 공간적인 제약 때문에 스크린의 정중앙에 프로젝터가 위치할 수 없어 투영되는 이미지가 왜곡이 되는 경우가 많다. 또한 이러한 제한 조건이 없는 경우라도 장시간 사용에 따라 프로젝터의 위치가 조금씩 변경되기 때문에 좋은 영상 결과물을 얻기 위해서는 매번 기하학적인 교정을 해주는 것이 좋다. <그림 3>은 제작된 CAVE 시스템에서 스크린에 투사한 영상을 촬영한 것으로, 캘리브레이션이 수행되지 않으면 영상은 서로 정합되지 않아 하나의 영상으로 보이지 않는다. 따라서 <그림 3>의 (P1, P2, P3, P4) 형태로 투영되는 영상을 (P1', P2', P3', P4') 형태로 변형하여 투사해야 한다.



〈그림 3〉 기하학 캘리브레이션의 필요성

P와 P'의 상관관계는 3x3 호모그래피 행렬로 표시할 수 있으며, 이를 계산하는 과정은 다음과 같다.

$$P_1 = (x_1, y_1), P_2 = (x_2, y_2), P_3 = (x_3, y_3), P_4 = (x_4, y_4)$$

$$P'_1 = (s_1, t_1), P'_2 = (s_2, t_2), P'_3 = (s_3, t_3), P'_4 = (s_4, t_4)$$

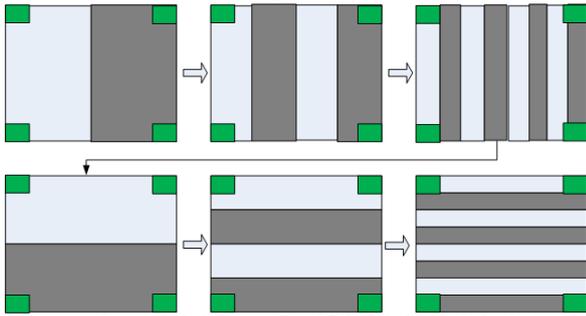
$$P' = MP$$

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

##### 2.2 바이너리 코드

CAVE 시스템에서는 각각의 프로젝터 출력 영상을 제어할 수 있다. 투영하는 영상 (P1, P2, P3, P4)에서 실제 투사할 영역 (P1', P2', P3', P4')을 찾아야 하는데, 프로젝터의 영상을 이용할 경우 프로젝터 해상도 (1024x768)가 찾아낼 수 있는 정밀도를 결정한다. 제작된 시스템의 경우는 해상도가 1.8mm로 한정되지만, 최종 출력물이 프로젝터에서 투영하는 영상의 정합은 한 픽셀이상 벗어나지 않으면 정합된 것으로 보이므로 CAVE에서 위 해상도는 충분하다. 바이너리 코드는 영상의 밝기값을 0(흑색)과 1(백색)으로 구성하고, x축으로 위치를 파악할 경우는 흑색과 백색으로 구성된 세로 줄무늬 영상을 점차적으로 그 폭을 줄여가면서 위치를 파악하며, y축으로 위치를 파악할 경우는 가로 줄무늬

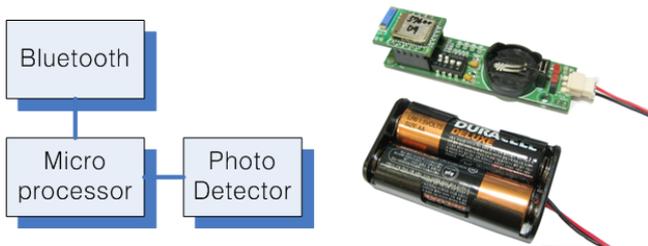
영상을 이용하여 위치를 파악하는 방법이다. 줄무늬 영상은 최소 1픽셀 폭을 가질 수 있으며, 바이너리 코드 영상에 대한 밝기값 변화를 수집하면 상대적인 위치를 바로 파악할 수 있다.



〈그림 4〉 바이너리 코드를 이용한 캘리브레이션 과정

### 2.3 하드웨어 구성

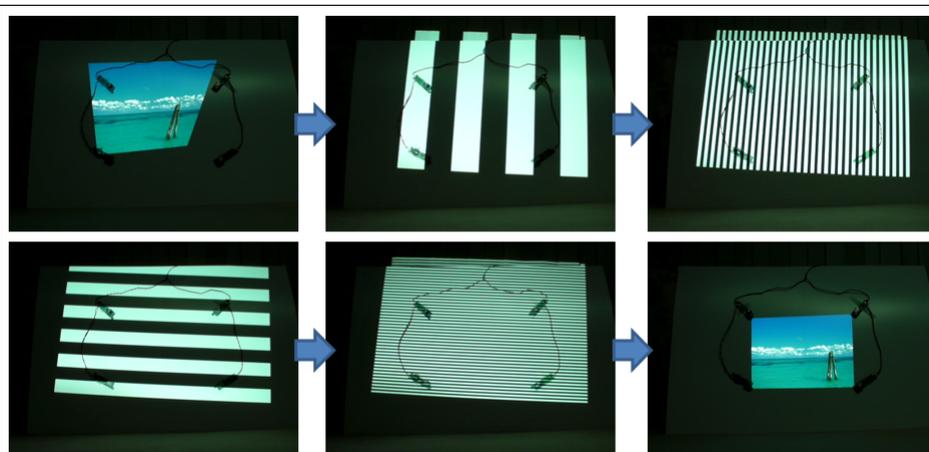
타일드 디스플레이 시스템에서 투사하는 바이너리 영상 이미지를 이용하여 프로젝터와 스크린 사이의 기하학적인 관계를 파악하기 위해서 영상의 흑백을 구별할 수 있는 센서와 매 단계마다 측정 내용을 렌더링 서버에 전달할 수 있는 통신 장치가 필요하다. 포토 디텍터와 마이크로 프로세서 및 블루투스로 구성되는 Wi-Grey라 불리는 장치를 제작하였으며, AA 건전지 2개로 구동된다.



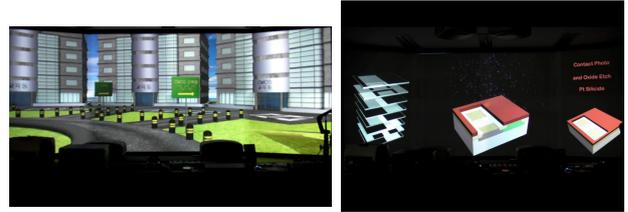
〈그림 4〉 제작된 캘리브레이션 장치와 블록 다이어그램

### 2.4 실험 결과

〈그림 6〉 좌측에 나와 있는 것처럼 초기에는 영상이 들어져 있다. Wi-Grey를 스크린 상에 출력하고자 하는 영역에 부착한 후 바이너리 코드를 출력하면 렌더링 서버에서는 매 단계마다 Wi-Grey의 입력값을 확인하여 스크린 상의 좌표를 추정할 수 있다. x 축의 좌표를 찾기 위해 세로 줄무늬 바이너리 영상이 먼저 출력되며, 그 다음에는 가로 줄무늬 영상이 출력된다. 두 단계를 거치고 나면 Wi-Grey를 부착한 곳에 영상이 투영되는 것을 확인할 수 있다. 〈그림 6〉의 우측은 실제 CAVE 시스템에서 이해를 돕기 위해 프로젝터 한 채널을 이용하여 캘리브레이션 된 결과를 확인하는 과정이다. 해상도는 픽셀 단위로 파악이 되며, 현재 설치된 시스템에서는 1.8mm의 정밀도를 가진다. 이 정밀도를 더 줄이기 위해서는 프로젝터의 해상도를 높이거나, 투사 거리를 줄이는 방법이 있으며, 현재 해상도에서 육안으로는 차이점을 느낄 수 없다. 〈그림 7〉은 제안한 방법으로 캘리브레이션을 수행한 후 전체 영상을 출력한 경우이다.



〈그림 6〉 제작된 캘리브레이션 장치와 블록 다이어그램



〈그림 7〉 캘리브레이션 수행 결과

8대의 프로젝터에서 투영하는 3200 x 1600 해상도의 영상이 하나의 영상처럼 보이는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

다채널 프로젝터로 구성된 CAVE 시스템에서 스크린과 프로젝터 사이의 기하학적 상관관계를 파악하는 것은 출력 영상 품질에 많은 영향을 미친다. 기존에는 조작자가 수동으로 이와 같은 캘리브레이션을 수행하였으나, 본 연구에서는 마이크로 프로세서와 포토 디텍터, 블루투스로 구성된 무선 캘리브레이션 장치를 제작하여 자동으로 수행하는 Wi-Grey 시스템을 제안하였다. Wi-Grey는 스크린에 부착되며, CAVE 렌더링 서버에서는 Wi-Grey와 블루투스로 연결되어 이진 영상을 차례로 출력함과 동시에 각각의 이진 영상에 대해 Wi-Grey의 출력값을 획득하여 스크린과 프로젝터의 기하학적 관계를 계산한다. 제안된 시스템은 실제 CAVE 시스템에 적용하여 성능을 검증하였다. 추후 연구로 컬러 캘리브레이션까지 같이 수행할 수 있도록 연구가 진행 중이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김도윤, 박현근, 김상연, 이재협, "타일드 디스플레이 기술을 이용한 가상 현실 기반 기술 교육 시스템 개발," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2008
- [2] Johnny C.Lee, Paul H.Dietz, D. Maynes-Aminzade, R. Raskar, S. E. Hudson, "Automatic Projector Calibration with Embedded Light Sensors," Symposium on User Interface Software and Technology Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology
- [3] Raskar, R., Beardsley, P.A., "A Self-Correcting Projector", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), December 2001.
- [4] R. Sukthankar, R. Stockton, and M. Mullin., "Smarter presentations: Exploiting homography in camera-projector systems," " In Proceedings of International Conference on Computer Vision, 2001.
- [5] Eric W. Weisstein. "Homography." From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/Homography.html>.
- [6] 위드로봇(주), "타일드 디스플레이 기술을 이용한 가상 현실 기반 몰입형 기술 교육 시스템," <http://withrobot.com/category/Projects/2007>