

# 임의의 영상면에 대한 프로젝션 디스플레이 구현

변기중\*, 최정단\*, 김도훈\*\*, 유원재\*\*, 장병태\*

\*한국전자통신연구원 가상현실연구부

\*\*전북대학교 기계항공시스템공학부

e-mail : [kbyun@etri.re.kr](mailto:kbyun@etri.re.kr)

## A Study on Projection Display for Arbitrary Display Surface

Ki-Jong Byun\*, Jeong-Dan Choi\*, Do-Hun Kim\*\*, Won-Jae Yu\*\*, Byung-Tae Jang\*

\*Dept. of Virtual Reality, ETRI

\*\*Dept of Mechanical Design, Chonbuk University

### 요 약

본 논문은 온라인 VR 게임 엔진 개발의 일환으로 임의의 형태의 스크린에 대한 프로젝션 디스플레이 할 때 발생하는 왜곡현상을 자동으로 보정하는 시스템 구현 방법에 관한 것이다. 기존에는 모니터와 컴퓨터로 이루어진 일반적인 아케이드 게임의 형태로부터 다양한 VR 장비들과 다수의 사용자가 온라인상에서 게임을 즐기는 멀티 유저용 게임의 형태에 이르기까지 다양한 종류의 상품이 나와 있다. 새로운 VR 기술들이 점차 저가화 됨에 따라 사용자에게 새로운 몰입형 아케이드 게임 환경을 제공하기에 이르렀다. 본 논문에서는 프로젝션 기법을 사용하여 단일화 된 디스플레이 스크린을 사용하지 않고 임의의 형태의 스크린에 대한 프로젝션 디스플레이 시스템을 구현하는 방법을 제안하여 협소한 공간에서도 게임 디스플레이가 가능하도록 한다. 또한 본 기술을 다수의 프로젝션 디스플레이로 확장하여 넓은 FOV(Field Of View)를 제공하는 방법을 제안한다.

### 1. 서론

기존의 아케이드 게임은 전통적으로 주 디스플레이 장치로서 하나의 모니터를 사용하고 있다. 하나의 모니터 디스플레이는 저렴하고 아케이드 게임에의 적용이 단순한 반면에 사용자에게 몰입감을 전달 하는 데에는 부족한 감이 있다. 최근 들어 VR 게임의 성장이 가속화 됨에 따라 HMD 또는 프로젝터와 같은 다른 디스플레이 장치가 등장하고 있다. 이러한 디스플레이 장비들은 사용자들에게 VR 게임 환경에 대한 몰입감을 효과적으로 전달 하는 것으로 알려져 있다.

멀티 프로젝션 디스플레이는 사용자에게 HMD 와는 다른 형태로 광역의 FOV(Field Of View)를 제공한다. 이러한 프로젝션 디스플레이를 사용한 장비의 예로는 CAVE 또는 DOME 등이 있으며, 이러한 장비들에 의해 영상되는 콘텐츠의 왜곡현상을 수정하기 위해서 프로젝터들을 캘리브레이션 해야 하는데 이 작업은

많은 노력과 시간을 소모하게 된다. 또한 이러한 캘리브레이션 작업은 주기적으로 이루어져야 한다. 이러한 단점을 보완하고 광역의 FOV 출력의 요구에 부응하기 위하여 임의의 형태의 영상면에 대한 멀티 프로젝션 시스템을 구현하여 스크린 형태에 관계없이 자동으로 캘리브레이션이 가능한 시스템을 구현하고자 한다. 또한 이러한 프로젝션 시스템은 대형 스크린이 준비되어 있지 않은 일반 가정에서 프로젝터와 임의의 형태의 벽면을 이용하여 비교적 큰 화면에서 게임을 즐길 수 있도록 응용할 수 있을 것이다.

### 2. 멀티 프로젝션 디스플레이의 요구사항

임의의 형태의 스크린에 대한 멀티 프로젝션 디스플레이를 구현하기 위해서는 다음과 같은 요구사항이 존재한다. 첫째, 각 멀티 프로젝터에 의한 디스플레이를 위해 멀티 채널 디스플레이 시스템이 요구된다. 현

제 3 채널 그래픽 카드가 출시 되어 있어 3 개의 프로젝터에 연결하여 하나의 화면을 만들 수 있다. 또한 다수의 프로젝터에 연결할 수 있는 멀티 채널 PC 클러스터 시스템을 본 과제에서 수행 중이나 본 논문에서는 제외한다. 둘째, 임의의 영사면의 2.5 차원 모델을 추출하기 위해 구조화 조명 (Structured Light Technique) 기술이 요구된다. 셋째, 구조화 조명에 의해 구해진 2.5 차원 영사면 모델을 이용하여 프로젝션 때 발생하는 왜곡 현상을 자동으로 보정하는 2 Pass 렌더링 알고리즘이 요구된다. 넷째, 다수의 프로젝터에 의한 광역의 프로젝터 게임 디스플레이를 만들 때 각 프로젝터가 디스플레이하는 영역사이에 겹치는 부분은 다른 부분에 비해 빛의 강도가 강하기 때문에 이 문제를 수정할 Intensity Blending 알고리즘이 요구된다. 본 논문에서는 구조화 조명, 2 Pass 렌더링 알고리즘, 그리고 Intensity Blending 알고리즘에 대해 다룰 것이다.

### 3. 구조화 조명 기술

멀티 프로젝터 디스플레이는 임의의 디스플레이 면, 카메라와 프로젝터, 그리고 레이저 트래커로 구성되어 있다. 한 쌍의 카메라와 프로젝터는 자신이 맡고 있는 디스플레이 영역에 대한 모델을 구조화 조명 기술을 이용하여 추출한다[1][3]. 이때 또한 사용된 프로젝터는 게임 콘텐츠를 디스플레이 면에 뿌리는데 사용된다.

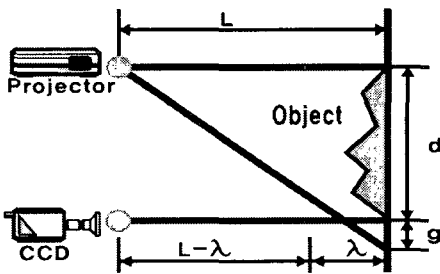


그림 1. Wavelength 를 계산하는 기본 개념

디스플레이 면의 모델을 추출하기 위하여, 본 연구에서는 그림 1 과 같이 프로젝터와 카메라를 설치한다. 프로젝터는 디스플레이 영역에 interference 무늬를 뿌리기 위해 사용되고 카메라는 이 무늬가 디스플레이 영역에 뿌려질 때 생기는 무늬를 얻는다.

본 논문에서 임의의 디스플레이 면의 모델을 추출할 때 사용하는 구조화 조명 기술은 이미 잘 알려진 two-wavelength phase shifting interferometry 기술이다. Phase-shifting 방법의 기본적인 개념은 interferometer 의 phase-shift 에 의해 생기는 interference pattern 으로부터 면의 높이를 측정해 내는 것이다. 일반적으로는 4-프레임 phase-shift 방법이 사용되고  $\pi/2$  의 phase 를 네 번 shift 하여 네 개의 interference 무늬를 얻는다. 다음의 식 1 은  $(x, y)$  에서 얻은 interference 무늬의 intensity 를 나타낸다.

$$I_p(x, y) = I_0(x, y) \{1 + \gamma(x, y) \cos[\phi(x, y) + \Delta]\} \quad (1)$$

$I_0(x, y)$  는  $(x, y)$  에서 평균 무아레 intensity 이고  $\gamma(x, y)$  는 무아레 interference 무늬의 표준 visibilty 이다. 또한  $\Delta$  는 phase-shifting 의 각도이고  $\phi(x, y)$  는  $(x, y)$  에서의 높이이다.

4 프레임 phase-shifting 방법에 의해 식 1 로부터 식 2 의 네 개의 식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_1(x, y) &= I_0(x, y) \{1 + \gamma(x, y) \cos[\phi(x, y)]\}, \\ I_2(x, y) &= I_0(x, y) \{1 + \gamma(x, y) \cos[\phi(x, y) + \pi/2]\}, \\ I_3(x, y) &= I_0(x, y) \{1 + \gamma(x, y) \cos[\phi(x, y) + \pi]\}, \\ I_4(x, y) &= I_0(x, y) \{1 + \gamma(x, y) \cos[\phi(x, y) + 3\pi/2]\} \end{aligned} \quad (2)$$

식 2 의 네 개의 식들은 다음의 식 3 으로 줄일 수 있다.

$$\frac{I_4(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_3(x, y)} = \frac{\sin\{\phi(x, y)\}}{\cos\{\phi(x, y)\}} = \tan\{\phi(x, y)\}, \quad (3)$$

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{I_4(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_3(x, y)} \right]$$

따라서,  $\phi(x, y)$  로부터 물체의 표면의 높이 정보를 구할 수 있다. 그러나, arctangents 를 이용하여 높이를 구함으로 높이 값은  $-\pi$  와  $\pi$  사이의 위상값을 가지고 이 위상값의 파장( $\lambda$ )은 다음의 식 4 으로 구할 수 있다.

$$\lambda = \frac{gL}{g+d} \quad (4)$$

따라서  $\lambda$  의 범위를 넘는 물체의 표면의 높이 값은  $\lambda$  로 나눈 나머지 값이 되기 때문에 정확한 높이 값을 구할 수 없다. 이러한 현상을  $2\pi$  모호성이라고 한다. 이러한 현상은 Phase Unwrapping 이라는 방법으로, 즉 각  $\lambda$  에서 끊기는 부분을 인위적으로 연결하여, 수정이 가능하나 높이차이가  $\lambda$  이상 차이가 날 때에는 정확한 높이를 찾을 수 없다.



그림 2. Phase Unwrapping

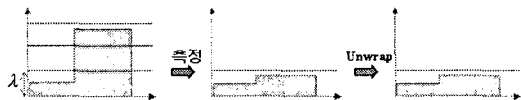


그림 3.  $2\pi$  모호성

이러한 문제를 해결하기 위하여 2 중 파장 위상측정법을 이용한다. 지금까지 한파치의 interference 무늬를 이용하여 구한 높이 값 ( $\phi_1$ ) 에 다른 파치의 interference 무늬에 의한 높이 값 ( $\phi_2$ ) 을 구하고 이들을 다음의 공식에 의해  $\phi_{12}$  와  $\lambda_{12}$  를 구한다.

$$\begin{aligned} \phi_{12} &= \phi_1 - \phi_2, \\ \phi_{12} > \pi &\Rightarrow \phi_{12} = \phi_{12} - 2\pi, \\ \phi_{12} < -\pi &\Rightarrow \phi_{12} = \phi_{12} + 2\pi \\ \lambda_{12} &= \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \end{aligned} \tag{5}$$

이렇게 구해진  $\phi_{12}$  와  $\lambda_{12}$  는 차수 ( $N$ ) 과 높이 ( $h$ ) 를 다음의 식을 이용하여 구하는데 활용된다.

$$\begin{aligned} N &= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{\lambda_{12}}{\lambda_1} \phi_{12} - \phi_1 \right), \\ h &= \frac{\lambda_1}{2\pi} (\phi_1 + 2N\pi) \end{aligned} \tag{6}$$

식 6 에 의해  $2\pi$  모호성에 의해 발생하는 높이 값의 모호성을 차수를 구함으로써 높이 값을 정확히 산출해 낼 수 있다. 본 구조화 조명 기술은 기존의 기술이 레이저로 interference 무늬를 뿌린 것에 반하여 서가의 프로젝터를 이용하여 interference 무늬를 뿌려 모델을 추출하는 장점이 있다. 그림 4 는 구조화 조명 기술에 의해 구한 디스플레이 면의 2.5 차원 모델이다.

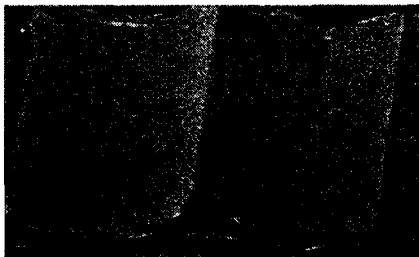


그림 4. 디스플레이 면의 2.5 차원 모델

#### 4. 2 Pass 렌더링 알고리즘

각각의 프로젝터의 임의의 디스플레이 면을 구조화 조명을 이용하여 구하여 지는데 이 모델을 고려하지 않는다면 사용자는 왜곡이 없는 게임 디스플레이를 즐길 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 실시간 렌더링 알고리즘을 사용한다.

렌더링 되는 게임 콘텐츠를 텍스처들로 저장된다. 이 텍스처들은 사용자의 시점에서 디스플레이 면의 모델에 투영된다. 그 이후 projective texture map 이 입력된 디스플레이 면의 모델은 프로젝터의 시점에서 렌더링 된다[2][3][4][5].

위의 알고리즘에 의하면 사용자의 시점은 실시간으

로 알 수 있어야 한다. 이것은 레이저 트래커를 이용하여 구할 수 있다. 트래커의 몸체는 천정에 붙여있게 되고 트래커의 센서는 사용자의 머리에 부착하게 된다. 레이저 트래커는 변화하는 사용자의 시점에서 완전히 왜곡 없는 디스플레이를 구현하기 위해 요구된다. 그러나, 만약 사용자가 거의 영사면의 정면을 바라 본다면 사용자의 시점은 적당한 위치와 각도로 고정하여 디스플레이 할 수도 있다. 사용자는 레이저 트래커를 사용할 때와 안 할 때를 잘 구별할 수 없을 것이다.

현재 게임에서 가장 많이 사용되는 그래픽 라이브러리는 Direct3D 이다[6]. 이 논문의 주된 목표는 사용자에게 몰입감 있는 게임 디스플레이를 제공하는 것이므로 Direct3D 는 이 알고리즘을 구현하는데 사용되어야 한다. 그림 5 는 위의 알고리즘을 적용하지 않을 때의 결과이고 그림 6 는 위의 알고리즘을 적용할 때의 결과이다.

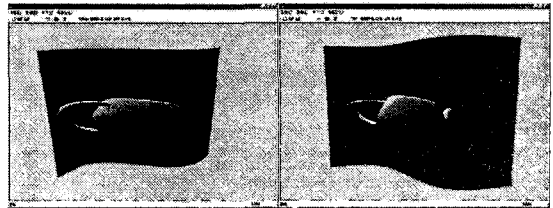


그림 5. 렌더링 알고리즘을 적용하지 않은 프로젝트 디스플레이

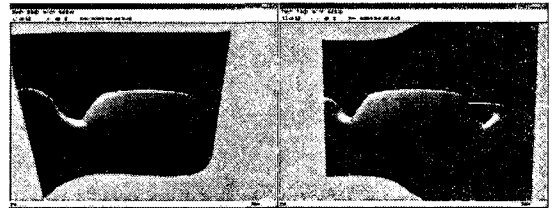


그림 6. 렌더링 알고리즘을 적용한 프로젝트 디스플레이

#### 5. Intensity Blending

각각의 프로젝터가 하나의 디스플레이 면을 책임지는 케브(Cave)와는 다르게 멀티-프로젝터 디스플레이는 각각의 프로젝터가 특정한 부분의 디스플레이 면을 책임진다는 가정이 없다. 따라서 여러 프로젝터를 이용하여 디스플레이 할 때 프로젝터 사이에 겹치는 부분이 발생하게 된다.

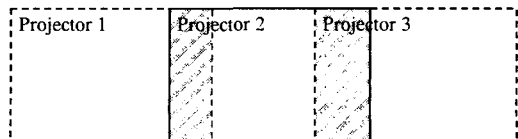


그림 7. 멀티 프로젝터사이에 겹치는 부분

이러한 겹치는 면이 발생할 때 이 부분의 빛의 강

도는 이 면에 디스플레이 하는 각각의 프로젝터의 빔 강도의 합이다. 따라서 이러한 현상은 자연스러운 하나의 게임 디스플레이가 안 되는 원인이 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 몇 가지 가능한 방법이 있으나 이러한 방법들은 모두 프로젝터의 캘리브레이션 변수들과 관계 있다. 이러한 프로젝터의 캘리브레이션 변수들은 초점과 FOV 을 포함하고 프로젝트 사이의 중복된 영역을 계산할 때 이용된다. 먼저 첫째 방법은 프로젝터에 필터를 사용하는 것이다. 중복되는 영역을 없애기 위해 이 영역에 대해 하나의 프로젝터는 중복된 영역을 포함한 모든 영역에 대해 디스플레이 하고 다른 프로젝터들은 이 중복된 영역에는 디스플레이 하지 않는 것이다. 두 번째 방법은 중복되는 영역에 디스플레이 하는 모든 프로젝터들에 이 영역의 알파 값을 1/(영역에 디스플레이 하는 프로젝터의 수)로 주는 것이다. 나머지 세 번째 방법은 이러한 중복된 영역에 해당하는 vertex 들에 대해 각각 다른 알파 값을 주는 방법이다. 예를 들어, 두 개의 프로젝터에 의해 중복되는 영역이 발생하면 프로젝션의 중앙에서 멀어질수록 낮은 알파 값을 주는 방식이다. 하지만 두 번째 방법과 같이 중복된 영역의 알파 값의 합은 항상 1 이 된다. 알파 값은 식 7 와 같이 표현된다.

$$\alpha_i(x, y) = \frac{d_i(x, y)}{\sum_j d_j(x, y)} \quad (7)$$

$\alpha_i(x, y)$  는  $(x, y)$  에 있는 vertex 의 알파 값이고  $(x, y)$  는 디스플레이 면  $i$  에 존재 한다.  $d_i(x, y)$  는 vertex 와 디스플레이 면  $i$  의 가장 가까운 가장자리까지의 거리이다.

두 번째와 세 번째 방법에서 중복된 영역에 속한 vertex 들은 각각의 프로젝터의 디스플레이 모델에 공유되어야 한다. 그러므로 이들 vertex 들은 디스플레이 영역을 공유하는 프로젝터들에 의해 공유된다. 이것은 mesh unification 을 이용하면 가능하다.

6. 구현 결과

본 실험에서는 Pentium 4, CPU 2GHz 와 nVIDIA GeForce 4 의 PC, Infocus 의 LP500 DLP 프로젝터와 Pulnix 사의 TM-7EX CCD 카메라를 이용하여 시스템을 구축하였다. 그림 8.은 임의의 디스플레이 면에 대한 프로젝션 디스플레이 때 발생하는 왜곡현상과 왜곡현상을 보정한 화면이다.



그림 8. 임의의 면에 프로젝션시 발생하는 왜곡현상과 왜곡현상의 보정

7. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 게임 디스플레이를 위해 임의의 디스플레이 면에 대해 자동으로 캘리브레이션하는 멀티 프로젝터 디스플레이 시스템의 기반이 되는 프로젝션 시스템 프로토타입을 소개하였다. 본 연구의 실험 결과는 단일 프로젝션 시스템을 구현한 결과로 향후 다수의 프로젝터를 이용한 디스플레이 시스템 구축을 위해 Intensity Blending 과 이를 위한 Mesh Simplification 과 Unification 등의 기술과 구조화 조명기술에서 사용되는 interference 무늬를 보이지 않게하는 Imperceptible Structured Light Technique 기술에 대한 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

- [1] Choi, J., "A Study on the Projection Moire Topography for shape measurement of 3D Object", Dept. of Mechanical Design Chonbuk National Univ.
- [2] Rasker, R., G. Welch, M. Cutts, A. Lake, L. Stesin, and H. Fuchs, "The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays," Siggraph 98 Computer Graphics Proceedings, (July 1998)
- [3] Rasker, R. and P. Beardsley., A Self Correcting Projector, TR-2000-46, (Jan 2002)
- [4] Segal, M., C. Korobkin, R. Widenfelt, J. Foran, and P. Haerberli, "Fast Shadows and Lighting Effects Using Texture Mapping", Computer Graphics, (July 1992)
- [5] Zhang, Z., "Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations", Computer Vision (1999), 666-673
- [6] Microsoft Corporation. DirectX 8.1 programming reference, <http://www.microsoft.com/windows/direct>

