

# 가상환경에서의 프로젝터 기반 텐저블 메뉴 시스템

이영보, 윤창옥, 윤태수, 이동훈  
동서대학교 디자인&IT 전문대학원 영상콘텐츠학과  
e-mail : {leeyb, coyun}@cgim.dongseo.ac.kr, {tsyun, dhl}@dongseo.ac.kr

## Projector-based Tangible Menu System in Virtual Environment

Young Bo Lee, Chang Ok Yun, Tae Soo Yun, Dong Hoon Lee  
Dept. of Visual Contents, Graduate of Design&IT, Dongseo University

### 요 약

본 논문에서는 가상현실(Virtual Reality) 환경에서 사용자의 입력을 처리할 수 있는 프로젝터 기반의 텐저블 메뉴 시스템을 제안한다. 텐저블 메뉴 시스템이란 텐저블 인터페이스(Tangible Interface)의 한 형태로서 가상현실을 체험하고 있는 사용자가 프로젝터를 통해 메뉴 스크린에 투영된 영상을 보면서 디지털 정보를 제어하는 직관적인 상호작용을 지원하는 장치이다. 텐저블 인터페이스의 또 다른 형태로서, 디지털 데스크(Digital Desk) 시스템의 경우 프로젝터의 영상이 투영되는 대상이 되는 데스크의 위치가 항상 고정되어 있기 때문에 본 논문에서 제안하는 휴대 가능한 메뉴 시스템에 적용하지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 가상 환경에서의 사용자의 입력이 가능한 메뉴의 위치를 실시간으로 추적하여 메뉴 스크린에 투영되는 영상을 자동으로 보정할 수 있는 방법을 제시한다. 제안된 시스템은 가상 환경상에서 높은 몰입감을 유지할 수 있으며, 가상현실 및 증강현실에서 사용자와의 유연한 상호작용이 가능한 인터페이스 시스템으로 사용 될 수 있다.

### 1. 서론

정보 통신 기술의 발달과 함께 컴퓨터 기술은 급속도로 성장하였다. 이와 더불어 컴퓨터 그래픽스의 발전으로 가상 공간을 실제 공간처럼 느끼게 하고 몰입시키는 가상현실 기술의 구현이 가능해 졌다 [1]. 이러한 가상의 공간상에서 키보드와 마우스 통해서 간단하게 건물을 제작하거나, 다른 사용자들과 온라인 게임을 즐길 수 있게 되었다. 가상현실 시스템에서 사용되는 키보드, 마우스, 모니터 등의 일반적인 컴퓨터 입출력 장치는 2 차원적인 인터페이스에 국한되어 있다. 그러나 인간의 경험은 물리적인 인터랙션, 즉 직접적인 신체 감각의 접촉을 통해 다차원적으로 정보를 인식할 때 보다 효율적이다 [2].

텐저블 인터페이스(Tangible Interface)는 현실 세계의 오브젝트를 사용자가 직접 조작하여 가상세계의 디지털 정보를 제어하는 직관적인 상호 작용을 지원한다 [3]. 텐저블 인터페이스의 한 예로서, 디지털 데스크

(Digital Desk)는 컴퓨터 디스플레이를 실제 책상 위에 프로젝터의 영상을 투영하여 가상 물체를 사람이 직접 조작할 수 있는 인터페이스를 제공한다 [4]. 또 다른 관련 연구로는 감각형 오브젝트를 이용한 증강 현실 기반 시스템인 ARTable 을 들 수 있다 [5].

본 논문은 현실 세계에서 가상의 정보를 제어할 수 있는 기술에 기초를 두고 착안하였다. 본 논문에서는 진보된 텐저블 인터페이스의 또 다른 형태로서, 가상의 환경에서 휴대가 용이하고, 이동이 가능하며, 직관적인 상호작용을 지원할 수 있는 텐저블 메뉴 시스템을 제안한다.

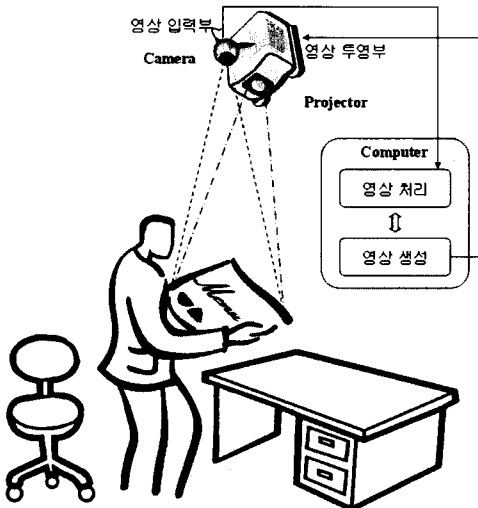
### 2. 프로젝터 기반 텐저블 메뉴 시스템

본 논문에서 제안하는 프로젝터 기반의 텐저블 메뉴 시스템은 텐저블 인터페이스의 한 형태로서, 천장에 달려있는 프로젝터를 통해 영상이 메뉴 스크린에 투영된다. 메뉴 스크린을 통해 입출력이 가능한 가상

현실 시스템을 체험하는 사람은 메뉴 스크린을 사용하여 가상 현실 시스템에서 필요한 정보를 확인하고 직접 손으로 입력을 할 수 있으며, 필요에 따라 메뉴 스크린을 회전시키거나 위치를 바꿀 수 있다.

2.1 시스템 구성

본 논문에서 제시하는 프로젝터 기반 메뉴 시스템은 크게 하드웨어와 소프트웨어 부분으로 나눈다. 하드웨어 부분은 다음과 같이 구성된다.



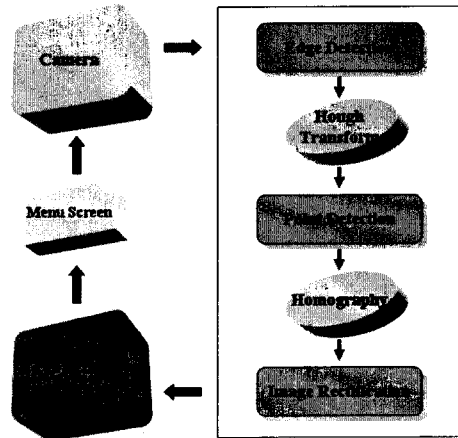
(그림 1) 시스템 구성.

그림 1 은 현대의 컴퓨터에 프로젝터와 카메라가 연결되어서 작동하는 모습이다. 천장에 설치되어 있는 프로젝터를 통하여 메뉴 스크린에 영상이 자동으로 키스톤 보정이 되어 투영된다. 키스톤 보정은 카메라에서 얻어진 영상을 통해 실시간으로 계산되고, 카메라는 프로젝터에 장착 되어 있다.

2.2 시스템 파이프라인

본 논문에서 제시하는 시스템의 소프트웨어 부분은 영상처리 모듈, 영상 생성 모듈로 구성되어 있다. 영상처리 모듈은 카메라를 통해 획득한 영상의 왜곡을 보정하고 사용자 명령을 인식하는 모듈이다. 영상 생성 모듈은 변경된 정보에 따라 영상을 새롭게 생성하는 모듈이다. 영상 처리 모듈에서 영상 생성 모듈까지의 자세한 과정은 그림 2 와 같이 구성된다.

먼저 카메라를 통해 프로젝터로부터 투영되는 메뉴 스크린의 영상을 획득하고, 메뉴 스크린의 코너점을 추적한다. 에지(Edge) 검출 과정을 거쳐서 계산된 코너점들은 카메라와 프로젝터간의 사영 변환 관계를 계산할 때에 이용된다. 메뉴 스크린을 이용한 사용자의 명령을 인식하게 되면 명령에 대한 결과 영상을 프로젝터를 통해서 메뉴 스크린에 자동으로 키스톤을 보정하여 출력하게 된다.



(그림 2) 시스템 흐름도.

3. 프로세스 구현

카메라 영상과 프로젝터 영상간의 변환 관계를 계산할 수 있는 방법으로서, 카메라와 프로젝터의 두 영상 간의 등극선 기하관계(Epipolar Geometry)를 알아내는 방법인 기본행렬(Fundamental Matrix)과 두 평면 사이의 점의 관계를 나타낼 수 있는 호모그래피(Homography Matrix)등이 있다. 기본행렬은 점과 점의 관계가 아닌 점과 선의 관계이며, 여러 평면을 고려해야 하기 때문에 호모그래피에 비해 노이즈(Noise)가 심하다 [6]. 이런 점을 고려하여 본 논문에서는 호모그래피를 이용하여 카메라와 프로젝터간의 변환 관계를 계산한다.

3.1 프로젝터-카메라 호모그래피

두 평면 사이의 기하학적 사영 관계를 계산할 수 있는 호모그래피의 계산 방법은 다음과 같다 [7].

입력 영상의 좌표  $X = (x, y, w)^T$  와 변환된 출력 영상  $X' = (x', y', w')^T$  간의 관계는 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ w \end{pmatrix} \quad (1)$$

식 (1)은  $X' = HX$ 와 같이 간단히 표현할 수 있다. 여기서  $H$  는  $3 \times 3$  크기의 호모그래피이고,  $H$  를 계산하기 위해서 식(1)을 다음의 식(2)와 같이 변형할 수 있다.

$$X'HX = 0. \quad (2)$$

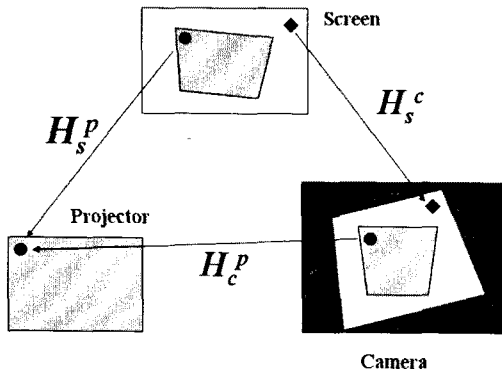
식 (2)를  $Ah = 0$  과 같이 전개하여  $A$  를 구하면 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -x & -y & -1 & y'x & y'y & y' \\ x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'x & -x'y & -x' \\ 0 & 0 & 0 & -x_2 & -y_2 & -1 & y_2'x & y_2'y_2 & y_2' \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2'x & -x_2'y_2 & -x_2' \\ 0 & 0 & 0 & -x_3 & -y_3 & -1 & y_3'x & y_3'y_3 & y_3' \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3'x & -x_3'y_3 & -x_3' \\ 0 & 0 & 0 & -x_4 & -y_4 & -1 & y_4'x & y_4'y_4 & y_4' \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -y_4'x_4 & -x_4'y_4 & -x_4' \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$h = (h_1 \ h_2 \ \dots \ h_8 \ h_9)^T. \quad (4)$$

여기서  $h$  는  $H$  행렬을 사전식으로 배열한  $9 \times 1$  벡터이고,  $A$  는  $X_i$  와  $X_i'$  를 조합한  $n \times 9$  ( $n \geq 4$ ) 행렬이다.  $A$  는 8 개의 자유도를 가지므로 최소 4 쌍의 좌표 값이 필요하다.  $h$  는  $A^T A$  의 가장 작은 고유값 (Eigenvalue)에 해당하는 고유벡터 (Eigenvector) 들로 구성되며, 이렇게 계산된  $h$  의 요소들을 호모그래피의 각 요소에 순서대로 대입하여 구성한다.

카메라와 프로젝터간의 호모그래피 관계는 다음 그림과 같다.



(그림 3) 프로젝터-카메라 호모그래피 관계.

그림 3 에서서는 메뉴 스크린과 프로젝터, 카메라 영상간의 대응점들의 호모그래피 관계를 보여준다 [8].

카메라로부터 영상을 입력을 받아서 프로젝터를 통해 투영할 영상의 키스톤을 보정하기 위해서는 투영될 메뉴와 프로젝터를 통해 뿌려져야 될 영상간의 호모그래피 관계  $H_s^P$  를 계산하여야 하며, 이 호모그래피는 다음의 과정을 통해 구할 수 있다.

### 3.1.1 메뉴와 카메라간의 관계

메뉴 스크린의 4 개의 꼭지점을 이루는 경계선 (Boundary Line)의 비율(Ratio)과 카메라에 맺혀진 메뉴 스크린의 꼭지점의 좌표들이 이미 알려져 있다면 메뉴와 카메라간의 호모그래피  $H_s^C$  를 구할 수 있다.

### 3.1.2 카메라와 프로젝터간의 관계

프로젝터에서 뿌려질 영상의 비율과, 카메라에 맺힌 영상의 4 개의 꼭지점의 좌표가 이미 알려져 있다면 카메라와 프로젝터간의 호모그래피  $H_c^P$  를 구할 수

있다.

### 3.1.3 메뉴와 프로젝터간의 관계

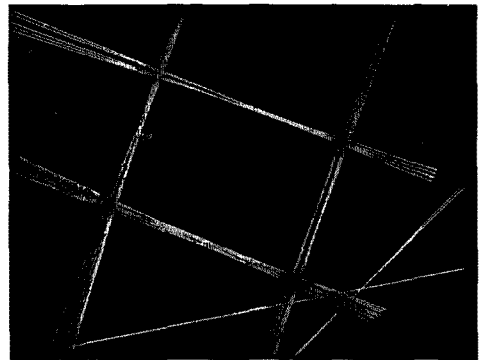
앞서 메뉴와 카메라간의 호모그래피  $H_s^C$  와 카메라와 프로젝터간의 호모그래피  $H_c^P$  를 구할 수 있다면 다음의 식 (5)을 통해 메뉴와 프로젝터간의 호모그래피  $H_s^P$  를 구할 수 있다.

$$H_s^P = H_s^C H_c^P. \quad (5)$$

## 3.2 에지 및 코너점 검출

카메라를 통해 입력된 영상에서 메뉴의 꼭지점의 좌표를 찾기 위하여, 본 논문에서는 메뉴 스크린의 4 개의 경계선을 허프 변환(Hough Transform)을 사용하여 검출하여 4 개의 코너점을 구할 수 있다 [9].

그림 4 는 허프 변환을 이용하여 메뉴 스크린의 경계선을 찾은 그림이다.



(그림 4) 허프 변환 영상.

4 개의 코너점을 구하기 위해서는 메뉴 스크린의 한 개의 경계선에 각각 1 개의 선만이 존재하여야 한다. 하지만, 그림 4 에서 보는 것처럼 허프 변환된 영상에서 한 경계선 영역에 다수의 선이 존재하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 한쪽 모서리에 겹쳐져 있는 다수의 경계선들은 극 좌표계로 표시되며, 이 선들의  $\rho$  와  $\theta$  의 값은 거의 비슷하다. 이러한 사실을 단서로 본 논문에서는 비슷한 크기의  $\rho$  와  $\theta$  를 가진 선들끼리 그루핑(Grouping)을 시도 하여 그루핑 된 선들을 평균을 계산해서 경계선을 구한다. 구해진 각 그룹에 포함된 선의 개수를 비교하여 값이 큰 순서대로 정렬을 하여 순서대로 얻어진 4 개의 선들로 메뉴 스크린의 코너점을 구할 수 있다.

### 3.3 실시간 키스톤 보정

메뉴 스크린과 프로젝터의 관계를 나타내는 호모그래피를 이용하면 프로젝터에서 영상이 메뉴 스크린에 투영되기 전에 사전 워핑(Warping)단계를 통하여 실시간에서 투영되는 영상의 키스톤을 자동으로 보정할 수 있다.

텐저블 메뉴 시스템은 사용자의 자연스럽게 효율적인 메뉴 스크린 조작을 위해 실시간 키스톤 보정에 있어서 높은 속도를 보장 받을 수 있어야 한다.

하지만, 스크린과 프로젝터 간의 기하학적 변환 관계를 풀기 위하여 허프 변환 과정을 거치고, 두 번의 호모그래피 연산을 수행하기 때문에 실시간에서 높은 속도를 얻기가 대단히 어렵다.

스크린과 카메라, 카메라와 프로젝터간의 두 번에 거친 호모그래피 연산 속도를 줄이기 위한 방법으로 프로젝터의 위치에 카메라를 장착하게 되면, 식(5)에서의 카메라와 프로젝터간의 호모그래피  $H_p$  를 계산할 필요가 없고, 상수 값으로 대체할 수 있기 때문에 속도 향상에 도움이 된다 [10].

프로젝터를 통해서 영상이 투영되기 전 사전 워핑 단계에서 일반적으로 호모그래피 계산 알고리즘에서 쓰여지는 Forward Mapping 알고리즘을 사용하면 사전 워핑 이후 투영된 결과 영상에 다수의 홀이 발생하게 된다. 이 문제점을 해결하기 위해 Backward Mapping 알고리즘을 구현하여 홀을 제거한다.

#### 4. 실험결과

실험에서 사용 된 프로젝트의 기종은 MITSUBISHI ELECTRIC 의 XD490U 프로젝터 이며, 카메라는 Point Grey Research 의 Flea IEEE-1394 카메라이다. 메뉴 스크린의 재질은 가로 388mm, 세로 267mm 크기의 하드보드지로 붉은색 절연 테이프로 테두리를 둘렀다.

본 논문의 소프트웨어 시스템은 Pentium IV 1.70 GHz Processor 에 탑재된 Visual C++ 6.0 을 사용하여 구현하였다.



(그림 5) 실험 결과 영상.

현재까지 구현된 시스템의 실험 결과 사용자가 휴대하고 있는 메뉴 스크린을 어느 정도 이상의 속력으로 움직였을 때에는 카메라에서의 경계선 인식률이 높지 않았다. 그러나, 메뉴 스크린이 움직이지 않고 고정되어 있거나 천천히 움직이고 있을 때에는 그림 5 에서 보는 것과 같이 실시간에서도 높은 키스톤 보정능력을 보여 주는 것을 확인 할 수 있었다.

#### 5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 가상환경 시스템에서 사용자의 입력을 제어할 수 있는 프로젝터 기반의 텐저블 메뉴 시스템을 제안하였다. 현재에도 연구가 진행 중에 있으며, 완성된 시스템을 보여주지는 못하였으나, 가상현실이나 증강현실 기반의 시스템에서 높은 몰입감을 줄 수 있는 미래형 입력력 장치로서의 가능성을 볼 수 있었다. 본 논문에서 제안한 시스템을 좀더 보완하고 많은 연구를 하여 가상의 환경에서 높은 이동성과 휴대성을 보장하며, 직관적인 상호작용을 지원하는 유용한 시스템임을 증명할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] 박세형, 고희동, “디지털 엔터테인먼트와 Tangible Space”, 21 권, 2 호, pp. 49-56, 2003.
- [2] 김혜린, 장혜정, 박승호, “체감형 게임 중심의 텐저블 인터페이스 디자인 연구”, HCI, 2004.
- [3] H. Ishii, & B. Ulmer, “Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms”, In Proceedings of CHI'97, pp. 234-241, 1997.
- [4] P. Wellner, W. Mackay, R. Gold, “Computer-Augmented Environments : Back to the Real World”, Special Issue of Communications of the ACM , 1993.
- [5] 박영민, 우운택, “ARTable: 감각형 오브젝트를 이용한 증강현실 기반 상호작용 시스템”, 한국컴퓨터종합학술대회, 2005.
- [6] S. Lee, “Planar Region Extraction for Visual Navigation using Stereo Camera”, Master thesis, Electronics Engineering, Korea University, pp. 6-11, 2003.
- [7] R. Hartly, A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Oxford University Press, pp. 71-73, 2000.
- [8] R. Sukthankar, R. Stockton, and M. Mullin., “Smarter Presentations: Exploiting Homography in Camera-Projector Systems,” In Proceedings of International Conference on Computer Vision, 2001.
- [9] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing - Second Edition*, Prentice Hall, pp. 587-591, 2002.
- [10] S. Borkowski, O. Riff, J. L. Crowley. “Projecting Rectified Images in an Augmented Environment”, In Proceedings of the ICCV Workshop on Projector-Camera Systems. IEEE Computer Society Press, 2003.