

가상카메라를 이용한 투사기반 디스플레이의 자유조정 기법*

박지영^{0,*}, 김명희^{*,**}

*이화여자대학교 컴퓨터학과

**이화여자대학교 컴퓨터 그래픽스/가상현실 연구센터

lemie⁰@ewhain.net, mhkim@ewha.ac.kr

Free Control of Projection-based Display using a Virtual Camera

Jiyoung Park^{0,*}, Myoung-Hee Kim^{*,**}

*Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University

**Center for Computer Graphics & Virtual Reality (CCGVR), Ewha Womans University

요 약

가상카메라 개념을 이용하여 프로젝터를 움직이지 않고도 투사 영상의 크기, 위치, 회전을 자유롭게 조정할 수 있는 디스플레이 기법을 제안한다. 먼저 디스플레이 초기화를 통해 가상의 3차원 공간을 설정하고 공간 내에 디스플레이 할 원본영상이 표시된 스크린과 가상카메라를 위치시킨다. 3차원 공간을 바라보는 가상카메라는 스크린을 바라보는 사용자의 눈을 가정하는 것이므로, 사용자는 가상카메라의 위치 및 속성을 지정함으로써 결과적으로 자신의 위치에 따라 투사영상의 크기조정, 위치조정, 회전의 모드 종류 및 조정 정도를 자유롭게 결정하여 최적의 화면을 볼 수 있다.

1. 서 론

디스플레이는 빠른 속도로 고해상도화, 대형화, 경량화되고 있으며 특히 이동이 가능하며 대형화면을 제공할 수 있는 투사형 디스플레이 시스템의 개발이 두드러지고 있다. LCD(Liquid Crystal Display) 또는 DLP(Digital Light Processing) 등을 이용한 프로젝터의 개발 및 보급이 급격하게 증가하고 있는 가운데 무선, 초소형/초경량 프로젝터와 거울을 이용하여 짧은 투사거리에도 대형화면을 제공하는 프로젝터는 현재 시장에서 큰 호응을 얻고 있다. 이에 따라 투사형 디스플레이 시스템을 이용한 스마트 디스플레이 관련 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 한 예로 프로젝터가 지면과 평행하지 않을 경우 발생하는 영상의 키스톤(keystone) 왜곡을 보정하는 기술은 현재 프로젝터 제품에 적용되어 시판되고 있다. 또한 스마트 디스플레이는 유비쿼터스 환경에서 사용자에게 필요한 정보를 효과적으로 제공하기 위한 방법으로 중요시되고 있다. 이에 대형의 복잡한 일상환경에 사용자의 자연스러운 행위를 보장하면서 시각정보를 제공할 수 있는 디스플레이 기법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 현재 대부분의 대형 디스플레이가 가지고 있는 문제는 그 위치가 고정적이며 이 때문에 사용자의 동작범위가 제한되고 자세 또한 자유롭지 못하다는 점이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 가상카메라 개념을 이용하여 프로젝터를 움직이지 않고도 투사 영상의

크기, 위치, 회전을 자유롭게 조정하여 사용자의 시선에 맞는 영상이 표시되도록 하는 디스플레이 기법을 제안한다. 이를 통해 사용자는 디스플레이 화면의 크기, 위치, 회전을 자유롭게 조정 할 수 있게 되어 다양한 위치에서도 그에 적합한 화면을 제공받을 수 있으며, 이는 프로젝터 설치장소 뿐만 아니라 보는 사람의 위치와 자세에 보다 높은 자유도를 제공할 수 있다.

2. 관련연구

대부분의 스마트 디스플레이 연구는 이동성과 대형화면 제공의 강점을 가진 프로젝터를 사용하며 임의의 기하특성을 가진 표면에 투사를 가능하게 하는 기하보정과 색상보정, everywhere display, 이동형 프로젝션 기술에 이르기까지 매우 다양하다. 특히 일상환경에서 사람의 이동성을 보장함과 동시에 시각적 정보를 효과적으로 제공하기 위한 디스플레이 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. Pingali [1]는 회전기술과 프로젝터를 사용하여 일상공간내 다양한 위치에 투사가 가능한 디스플레이 시스템을 개발하였다. 이와 유사한 목적으로 INRIA의 PRIMA [2] 프로젝트에서는 프로젝터를 회전시키는 방법을 제안하였다. Beardesley [3]는 휴대용 프로젝터를 사용하는 경우 실시간 기하보정을 지원하는 디스플레이와 상호작용 기법을 제안하였다. Holman [4]

* 본 연구는 정보통신부 대학정보통신연구센터(ITRC) 육성지원사업 지원에 의해 수행되었음.

에 의해 Paperwindows는 프로젝터와 비전트래킹 시스템을 이용하여 다양한 크기의 종이에 콘텐츠를 디스플레이하고 상호작용할 수 있는 시스템이다. Cotting[5]는 사용자의 능동적인 화면조정을 가능하게 하여 레이저포인터를 사용하여 화면의 회전과 확대/축소가 가능한 디스플레이를 제안하였다.

상술한 디스플레이는 화면의 위치 이동과 크기 조정이 가능하지만, 스크린 표면에 대한 기하보정을 수행하기 때문에 사용자의 위치와 시선방향에 적합한 화면을 제공하지는 못했다. 즉, 사용자가 스크린 정면에 위치한다는 가정 때문에 현재 대부분의 디스플레이 사용자는 정확한 비율의 왜곡 없는 화면을 보기 위해 반드시 스크린 정면으로 이동해야 한다. 이 같은 상황에서 옆이나 아래와 같이 사용자 위치가 스크린의 정면에서 비켜나갈수록 왜곡이 심한 영상을 보게 된다. 그러나 일상환경에서 사용자는 자유롭게 화면의 위치를 이동하고, 확대/축소 할 뿐만 아니라 다양한 자세로 다양한 시선방향으로 디스플레이를 보고자 한다. 이 때문에 디스플레이는 점차 환경 곳곳에 설치되고 있으며 디스플레이의 이동성을 개선시키기 위한 기술이 빠르게 발전하고 있다. 또한 회전이 가능한 모니터나 휴대폰 등 사용자 중심의 디스플레이를 제공하기 위한 기술이 각광받고 있다.

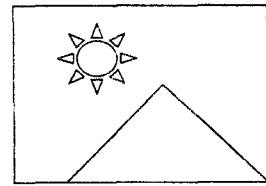
3. 가상카메라를 이용한 디스플레이 조정

디스플레이 화면조정은 기본적으로 3가지가 가능하며 화면의 이동, 크기 조정, 회전을 포함한다. 먼저 디스플레이 초기화를 통해 가상의 3차원 공간을 설정하고 공간 내에 디스플레이 할 원본영상이 표시된 스크린과 가상카메라를 위치시킨다. 다음으로 사용자는 가상카메라의 속성을 변경함으로써 투사영상의 크기를 확대 또는 축소하거나, 투사영상의 위치를 상하 또는 좌우로 이동할 수 있다. 또한 사용자가 스크린의 정면에서 벗어난 측면에 위치한 경우에는 왜곡 없는 영상을 인식할 수 있도록 투사영상을 회전할 수 있다.

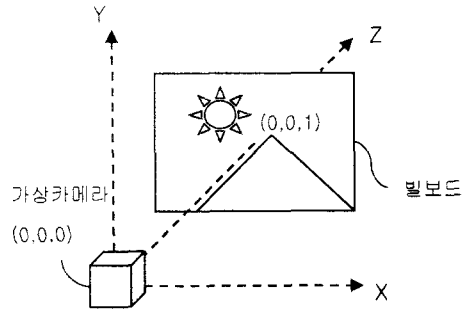
3.1 디스플레이 초기화

프로젝터를 움직이거나 기술이 조정을 하지 않고 디스플레이 화면을 소프트웨어적으로 조정할 수 있도록 하기 위해서 프로젝터가 원본 이미지 전체를 전체 투사영역에 담지 않도록 한다. 즉, 프로젝터의 전체 투사영역 중 일부 영역을 정의하고 원본 이미지를 빌보드화하여 위치시키도록 한다. 이를 위해 가상공간과 가상카메라 개념을 도입한다. 여기서 가상카메라(Virtual Camera)란, 실제로 존재하지 않는 가상의 개념적인 카메라를 말한다. 디스플레이 초기화 단계에서 먼저 3차원 가상공간을 설정한다. 이 공간상에 원본영상이 표시될 빌보드와 가상카메라를 생성하여 위치시킨다. 이 가상카메라로부터 획득된 영상이 최종 프로젝션될 결과 영상이 된다. 예를 들어 그림 1(a)가 프로젝션할 원본영상이라고 했을 경우, 그림 1(b)와 같이 가상공간을 생성하고 이 같은 가상공간을 바라보

는 카메라를 설정한다. 여기서 카메라의 좌표는 (0,0,0)이고 원본영상을 일컬 빌보드의 좌표는 (0,0,1)이다. 이 같은 상태에서 가상카메라로 획득한 영상을 프로젝터로 투사하게 되면 그림 2와 같은 결과를 얻게 된다. 이 때 가상카메라의 위치, 렌즈의 속성 등에 따라 다양하게 촬영된 영상을 얻게 된다.



(a) 스크린에 투사할 원본영상



(b) 원본영상이 표시된 스크린을 포함하는 가상의 3차원 공간을 가상카메라로 촬영하는 개념도

그림 1. 가상공간과 가상카메라의 초기화

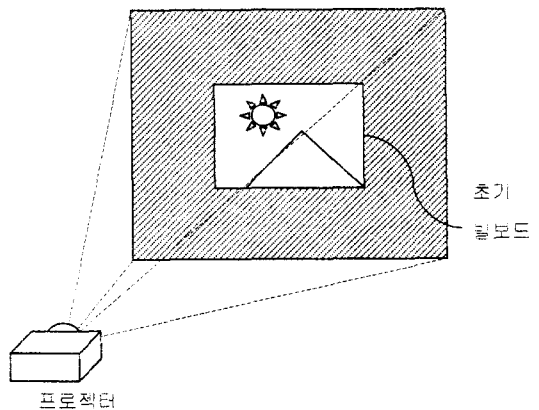


그림 2. 프로젝터로 스크린에 영상을 투사하는 장면

3차원 공간을 바라보는 가상카메라는 스크린을 바라보는 사용자의 눈을 가정하는 것이므로, 사용자가 자신의 위치에 따라 투사영상의 크기조정, 위치조정, 회전의 모

드 종류 및 조정 정도를 지정하는 것은, 결국 가상카메라의 위치 및 속성을 지정하는 것과 같은 효과이다. 또한 가상카메라의 위치 및 속성을 변경한다는 것은, 현재 투사영상의 뷰포트에 매핑된 뷰변환 및/또는 투영변환의 행렬값을 변경하여 새로운 뷰포트를 제공하는 것을 의미한다. 여기서 현재 투사영상이란, 영상변경요청 시점에 스크린에 표시된 영상장면을 말하는 것으로서, 최초의 영상변경요청인 경우에는 원본영상이 표시된 스크린을 가상카메라로 활용한 것이며, 이후의 영상조정 시에는 그 시점까지의 영상조정결과가 반영되어 변경된 영상장면을 말한다.

3.2 화면 위치 및 크기 조정

디스플레이의 위치조정의 경우, 사용자에 의해 입력된 평행 이동량을 요소로 갖는 평행이동 변환행렬, 식(1)을 구성하고 이를 현재 투사영상의 투영변환행렬, M 에 적용하고 그 결과 행렬, M' 로 M 을 식(2)와 같이 대체한다. 이로써 투사영상의 위치가 상하좌우로 이동한다. 여기서 t_x , t_y 는 각각 X, Y축에 대한 이동값을 의미한다.

$$T' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{식 (1)}$$

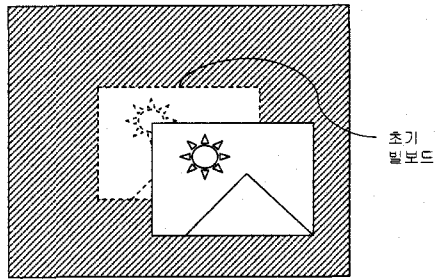
$$M' = S_m R_m T' T_m \quad \text{식 (2)}$$

크기조정의 경우는, 사용자에 의해 입력된 확대/축소 값을 요소로 갖는 확대/축소 변환행렬, S' 를 식(3)과 같이 구성하고 이를 현재 투사영상의 식(4)의 투영변환행렬, M 에 곱하고 식(5)와 같이 그 곱한 결과 행렬, M' 로 M 을 대체한다. 이로써 투사영상의 크기가 확대/축소된다. 여기서 s 는 X, Y축에 동일하게 적용될 확대/축소값을 의미한다. M 은 현재 장면에 적용되어 있는 확대/축소 변환, S_m , 평행이동 변환, T_m , 회전 변환, R_m 이 결합된 투영변환행렬이다.

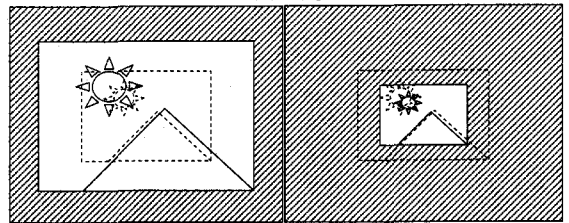
$$S' = \begin{bmatrix} s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{식 (3)}$$

$$M = S_m R_m T_m \quad \text{식 (4)}$$

$$M' = S' M \quad \text{식 (5)}$$



(a) 이동



(b) 확대

(c) 축소

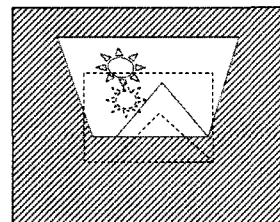
그림 3. 화면 위치 및 크기 조정

3.3 화면 회전 조정

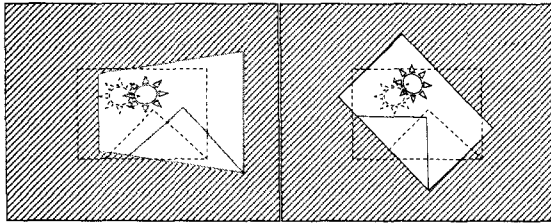
디스플레이 회전의 경우는, 사용자에 의해 입력된 현재 사용자 시선방향을 나타내는 가상 카메라 벡터를 이용해 뷰변환 행렬을 생성한다. 가상 카메라 벡터는 $p = (p_x, p_y, p_z)$, $r = (r_x, r_y, r_z)$, $u = (u_x, u_y, u_z)$, $d = (d_x, d_y, d_z)$ 로 구성되며, 이를 각각 카메라의 위치, 우향, 상향, 전방 벡터라고 하면 뷰 변환행렬 V 가 식(6)과 같이 구성된다. 식(7)과 같이 V 의 전치행렬로 현재 장면의 뷰변환행렬 V 를 대체함으로써 투사영상이 사용자 시선방향에 맞게 변환된다.

$$V' = \begin{bmatrix} r_x & u_x & d_x & 0 \\ r_y & u_y & d_y & 0 \\ r_z & u_z & d_z & 0 \\ (-p \cdot r) & (-p \cdot u) & (-p \cdot d) & 1 \end{bmatrix} \quad \text{식 (6)}$$

$$V = (V')^T \quad \text{식 (7)}$$



(a) X축 회전



(b) Y축 회전

(c) Z축 회전

그림 4. 화면회전

4. 실험결과

일반 환경에서 디스플레이 자유조정 실험을 수행하였다. 프로젝터는 Infocus X3를 사용하였으며 사용자에게 의해 임의로 초기위치를 설정하였다. 실험결과와 그림 5와 같다. 천정과 벽면에 투사할 경우 사용자는 다양하게 이동하며 자신의 위치와 시선에 맞는 화면을 설정할 수 있었다. 특히 천정을 투사표면으로 할 경우 사용자는 시선을 투사표면에 맞추기 위해 힘들여 자세를 조정하지 않아도 되었다.



(a) 천정에 투사된 화면



(b) 벽면에 투사된 화면

그림 5. 사용자에게 의해 조정된 화면

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 가상카메라 개념을 사용하여 프로젝터를 이동하거나 내부 하드웨어를 변경하지 않고 투사영상의 크기, 위치, 방향을 자유롭게 조정할 수 있는 방법을 제안하였다. 본 연구를 통해 스크린 정면 외의 위치에서도 왜곡이 적은 영상을 볼 수 있으므로, 프로젝터 설치 장소 및 설치 위치에 대한 제약이 완화되었고, 사용자의 위치 및 자세도 자유로워진다. 나아가, 투사영상이 소프트웨어적으로 조정되므로, 프로젝터 위치와 기울임의 정도를 사용자가 직접 손으로 조작하는 경우보다 쉽고 세밀하게 투사영상을 조정할 수 있다. 향후 연구로는 사용자의 위치와 시선방향을 탐지하여 자동적으로 최적의 화면조정효과를 제공하는 방법을 개발하고자 한다.

참고문헌

- [1] G. Pingali, C. Pinhanez, A. Levas, R. Kjeldsen, M. Podlaseck, H. Chen and N. Sukaviriya, "Steerable Interfaces for Pervasive Computing Spaces," In Proc. of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'03), pp. 315-322, 2003.
- [2] PRIMA project, <http://www.inria.fr/recherche/equipes/prima.en.html>
- [3] D. Cotting, R. Ziegler, M. Gross, and H. Fuchs, "Adaptive Instant Displays: Continuously Calibrated Projections Using Per-Pixel Light Control," In Proc. of Eurographics 2005, pp. 705-714, 2005.
- [4] D. Holman, R. Vertegaal, M. Altosaar, N. Troje, and D. Johns, "PaperWindows: Interaction Techniques for Digital Paper," In Proc. of ACM CHI 2005 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 591-599, 2005.
- [5] Beardsley, P., van Baar, J., Raskar, R., and Forlines, C., "Interaction using a handheld projector," IEEE Computer Graphics and Applications, 25(1). pp. 39-43, 2005.