

## 실시간 보정을 지원하는 Everywhere Display

최현철<sup>○</sup> 경동욱 한은정 양종열 정기철

송실대학교, IT대학, 미디어학과, HCI Lab.

{guscjfb3<sup>○</sup>, kiki227, hanej, yjhorse, kcjung}@ssu.ac.kr

### Real-Time Geometric Calibration of Everywhere Display

Hyunchul Choi<sup>○</sup> Dongwuk Kyoung, Eunjung Han, Jongyeol Yang, Keechul Jung  
HCI Lab., School of Media, College of IT, Soongsil University

#### 요약

최근 유비쿼터스 환경에서 프로젝터를 기반으로 사용자가 원하는 위치에 영상을 제공하는 유비쿼터스 디스플레이 연구가 진행 중이다. 프로젝터는 투사방향에 따라 영상의 왜곡이 발생함으로써, 프로젝터 기반의 유비쿼터스 디스플레이는 왜곡된 영상을 보정하는 것이 매우 중요하다. 영상 보정을 위한 기존 연구는 특정 마커를 설치하거나 특정 패턴의 영상을 투사하는 등의 선행 작업을 통해 기하보정을 수행한다. 이 방법들은 투사방향이 변화될 때마다 선행 작업을 요구하므로 실시간 기하보정을 수행할 수 없다는 단점이 있다. 본 논문은 특정 마커나 카메라와 같은 별도의 장치 없이도 투사되는 방향에 따라 영상의 왜곡 정도를 예측하여 실시간으로 보정된 영상을 제공하는 기하보정 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 특정 보정 장치를 사용하지 않고 보정함으로써, 약 27fps의 빠른 처리속도를 가진다. 또한 상용 리모컨을 사용하여 프로젝터의 투사방향을 쉽게 제어하는 편리한 인터페이스를 제공한다.

#### 1. 서론

지금까지의 디스플레이는 사용자가 정보를 획득하기 위하여 특정 장치(예, 컴퓨터 모니터, TV, 프로젝션 되는 스크린 등)가 위치한 장소로 이동하거나 반대로 특정 장치를 사용자가 있는 곳에 이동/설치하여야 하였으나 최근 많은 주목을 받고 있는 유비쿼터스(ubiquitous) 디스플레이는 사용자나 특정 장치의 이동 없이 사용자가 원하는 위치에 필요한 정보를 제공한다.

현재 진행되고 있는 유비쿼터스 디스플레이 연구로써 인터랙티브 프로젝션 (Interactive Projection), 타일드 디스플레이(Tiled Display) 그리고 ED-projector (Everywhere Display projector)가 있다. 인터랙티브 프로젝션은 웹카메라 일체형인 휴대용 프로젝터를 사용하여 다양한 물체에 필요한 정보를 제공한다. 이때 영상 보정에 필요한 위치와 방향을 계산하기 위해서 'piecodes' 라는 원모양의 컬러 마커를 사용한다. 하지만 보정된 영상을 제공하기 위해서 사전에 특정 마커를 설치해야만 한다[1]. 또한 타일드 디스플레이는 여러 대의 프로젝터를 이용하여 고해상도의 영상을 제공하는 연구이다 [2-4]. 이때 보정된 영상을 제공하기 위해서 그물형태의 점을 프로젝션 하여 기하보정 변환행렬을 구한다. ED-projector는 현재 IBM에서 진행하고 있는 연구로 사용자가 원하는 표면공간에 상, 하, 좌, 우로 조절이 가능한 거울과 카메라를 이용하여 보정된 영상을 제공한다. 반사경을 제어하여 원하는 표면공간에 영상을 제공한다는 점에서 우리 시스템과 매우 흡사하지만 우리가 제안하는 시스템은 사전 계산 없이도 실시간 보정이 가능한 반면, ED-projector는 기하보정 변환행렬을 사전에 계산해야만 보정된 영상을 제공할 수 있다는 점에서 큰 차이를 보인다. [5-8] 이외에도 특정마커를 설치하는 대신 출

력된 마커와 고정된 카메라를 통해 외곽 점을 추출하여 기하보정 변환행렬을 실시간으로 계산하고, 계산된 변환행렬에 의해 영상을 보정하는 연구가 진행되었지만 프로젝터의 투사각도가 좌우 45도 이상으로 기울어지거나 투사되는 표면공간이 정돈되어 있지 않을시 외곽 점을 구하지 못하는 문제점이 있다. [9]

본 논문은 보정을 위한 특정 장비 없이 프로젝션 중에도 실시간 보정된 영상을 끊임없이 제공하는 실시간 기하보정 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 출력하고자 하는 영상을 입력받아 직사각형 형태의 3D 오브젝트에 매핑하고, 시정을 회전함으로써 왜곡된 영상을 보정한다. 또한 상용되는 리모컨을 사용하여 프로젝터 전면에 설치된 반사경을 상·하·좌·우로 제어함으로써 벽, 바닥, 스크린 등 사용자가 원하는 장소에 영상을 투사한다. 본 시스템은 인터랙티브한 프레젠테이션이나 게임, 미래의 화상회의 등 유비쿼터스 환경(ubiquitous computing)에 사용할 수 있다.

표 1. 유비쿼터스 디스플레이어 비교

Display	Mobility	Image Calibration Method	
		Device Requirement	Processing Time
Traditional Monitor	Pixed	-	-
Interactive Projection[1]	Portable	With Camera and Marker	Not Real-Time
Tiled Displayer [2-3]	Pixed	With Camera and Marker	Real-Time
ED-Projector[4-7]	Pixed	With Camera	Not Real-Time
Our System	Pixed	-	Real-Time

2. 프로젝터 기반의 실시간 기하보정 시스템

본 시스템은 육면체의 실험실 벽에 설치하여 고정된 벽면을 제외한 나머지 5면에 사용자가 원하는 영상을 출력한다(그림 1).

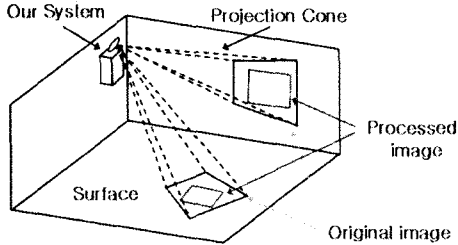


그림 1. 시스템 설치도

시스템 구성은 출력하고자 하는 영상을 보정하는 영상 처리기(Image Processor)와 보정된 영상을 출력하는 프로젝터(Projector), 출력된 영상을 사용자가 원하는 위치로 굴절시키기 위한 반사경(Mirror)으로 구성된다(그림 2).

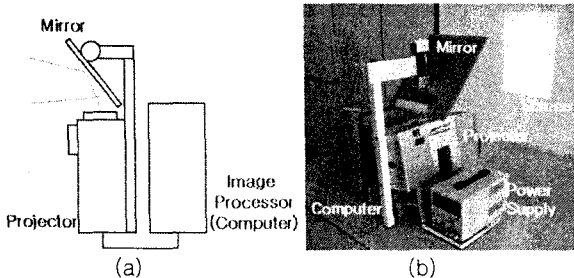
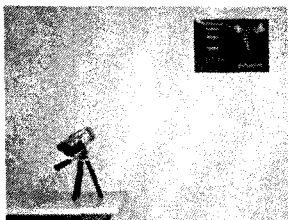
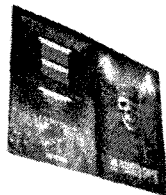


그림 2. 시스템 구성 : (a) 시스템 구성도, (b) 실사

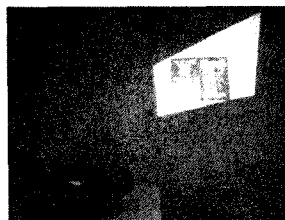
처리과정은 3D가상공간을 활용하여 영상을 보정하는 영상보정단계와 리모컨에 의해 반사경을 제어하는 리모컨 수신/제어 단계로 구분되며, 각 단계는 독립적인 처리과정을 수행한다(그림 3). 영상보정단계에서는 사용자에 의해 제어된 반사경의 방향과 각도에 따라 시점을 이동하여 실시간 기하보정을 수행한다. 또한 리모컨 수신/제어 단계에서는 리모컨을 사용하여 프로젝터 전면에 설치된 반사경을 제어함으로써 좌·우·전면 등 사용자가 원하는 곳에 영상을 투사한다.



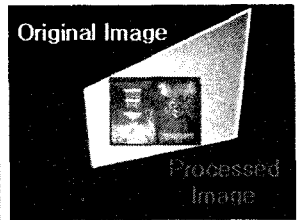
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 영상보정 원리 : (a) 오프라인 이미지 촬영, (b) 촬영한 이미지, (c) 출력, (d) 보정된 영상

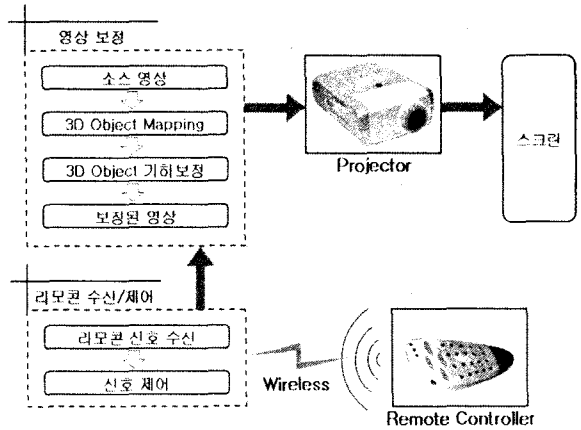


그림 3. 실시간 기하보정 시스템의 처리과정

2.1. 영상 보정

영상 보정은 프로젝트의 투사각과 시점의 시야각이 같고, 동일한 위치에서 동일한 방향을 향하고 있을 경우 프로젝트에서 투사한 장면과 카메라에서 바라본 이미지가 같다는 점에 착안하여(그림 4) 실제 이미지를 촬영하는 것 대신 3D 공간상에서 시점의 위치를 이동함으로써 같은 효과를 주어 왜곡된 영상을 보정한다.

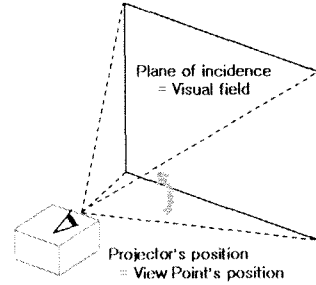


그림 4. 프로젝트와 시점

그림 5는 본 시스템의 영상보정 원리를 설명하는 그림으로 시점의 위치 이동만으로 영상을 보정할 수 있음을 알 수 있다. 그림 5(a)는 프로젝트의 투사각과 일치하도록 시야각을 설정한 카메라를 이용하여 오프라인상의 직사각형 이미지를 프로젝트와 동일한 위치에서 촬영하는 장면이다. 그림 5(b)는 촬영된 이미지로, 이 이미지를 카

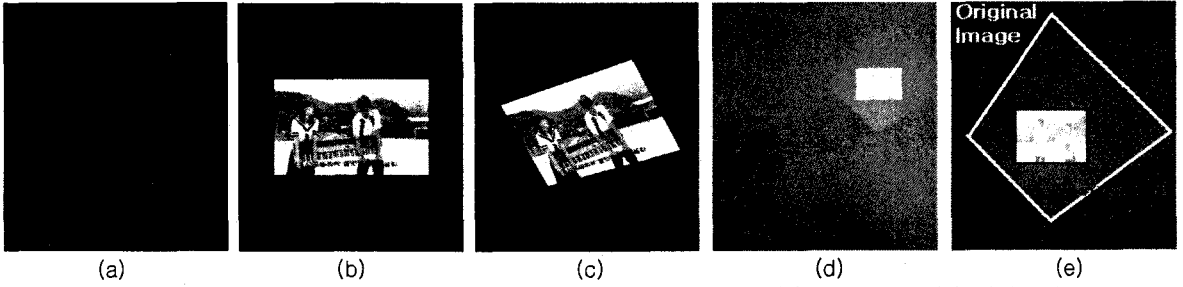


그림 6. 영상보정 과정 : Computer Process - (a) 3D Object, (b) 영상 매핑, (c) 기하보정  
Off-Line Process - (d) 영상 출력, (d) 보정된 영상

메라와 동일한 위치와 방향에 설치한 프로젝터를 통해 출력 시 그림 5(c, d)와 같이 프로젝터의 원래의 투사면은 많은 왜곡에도 불구하고 직사각형의 보정된 영상을 얻을 수 있다. 이러한 원리를 바탕으로 본 시스템은 제어된 거울의 방향에 따라 출력되는 이동 각도를 가지고 정면에서 바라보던 시점을 이동하여 그림 5(b)와 온라인 상에서 왜곡되어 보이는 이미지를 출력하여 오프라인 상에서 보정된 이미지를 만들어낸다.

그림 6은 실제 시스템이 입력받은 영상을 보정하여 출력하는 과정을 보여준다. 우선 마이크로소프트에서 제공하는 다이렉트쇼(Direct Show)를 이용하여 동영상 또는 캡처보드를 통해 입력받은 영상에서 매 프레임을 추출하고, 추출된 프레임 이미지를 그림 6(a)과 같은 3D가상공간 안에 있는 직사각형 형태의 오브젝트(그림 6(a))에 텍스처로 매핑하여 프로젝터와 시야각이 같은 시점을 오브젝트와 마주보게 배치함으로 그림 6(b)과 같이 오프라인 공간과 유사한 3D가상공간을 만든다. 이후 프로젝터 전면에 설치된 반사경이 이동한 방향과 각도에 따라 시점의 좌표를 이동, 회전하여(그림 6(c)) 출력함으로 프로젝션시 보정된 이미지를 얻는다(그림 6(d, e)). 이때 사용자에 의해 제어되는 반사경의 이동방향은 상·하·좌·우이며, 이동된 반사경의 방향과 범위에 따라 시점의 좌표는 프레임 이미지가 매핑된 오브젝트의 중심(x:0, y:0, z:0)을 기준으로 식 (1)에 따라 기존 카메라의 좌표(x, y)를 x축으로  $\alpha$ 만큼, y축으로  $\beta$ 만큼 회전한다(그림 7).

$$\begin{aligned} x' &= x(\cos \alpha) + y(\sin \alpha) \\ y' &= x(-\sin \beta) + y(\cos \beta) \end{aligned} \quad (1)$$

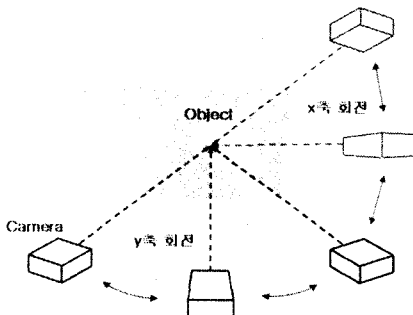


그림 7. Object를 중심으로 시점의 좌표 회전

또한 반사경 좌우 회전시 출력영상이 회전하게 되는데 그림 8은 반사경을 정면에서 25°씩 우측으로 회전한 결과 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이 반사경이 회전함에 따라 출력되는 이미지 역시 회전하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 시스템에서는 다이렉트쇼(Direct Show)에서 제공하는 D3DXMatrixLookAtLH() 함수를 이용하여 반사경이 회전한  $\alpha$ 만큼 시점을 회전시킴으로 회전에 따른 왜곡을 보정한다(식 2).

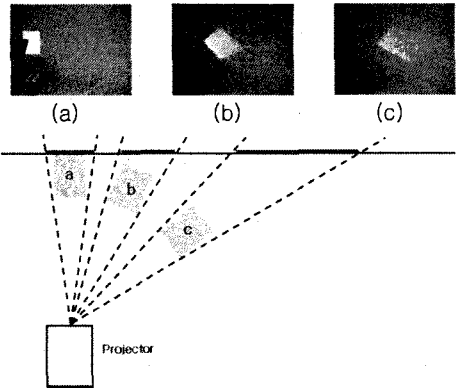


그림 8. 반사경 이동에 따른 출력 영상 회전

```
D3DXMatrixLookAtLH(
    &matView, // Out Matrix
    &D3DXVECTOR3( x, y, z ), // Eye Point
    &D3DXVECTOR3( 0.0f, 0.0f, 0.0f ), // Look Point
    &D3DXVECTOR3( sin(a), cos(a), 0.0f )
);
```

## 2.2. 리모컨 수신/제어

벽면에 고정된 프로젝터에서 출력되는 영상을 반사경에 의해 사용자가 원하는 장소에 투사한다. 이때 사용되는 것이 리모컨이다. 따라서 사용자는 리모컨을 통해 투사방향을 제어함으로써 사용자는 원하는 장소에서 정보를 전달받을 수 있다. 본 시스템에서 사용한 NEC Format은 국내 대부분의 가전제품에서 사용되고 있으며, 리모컨

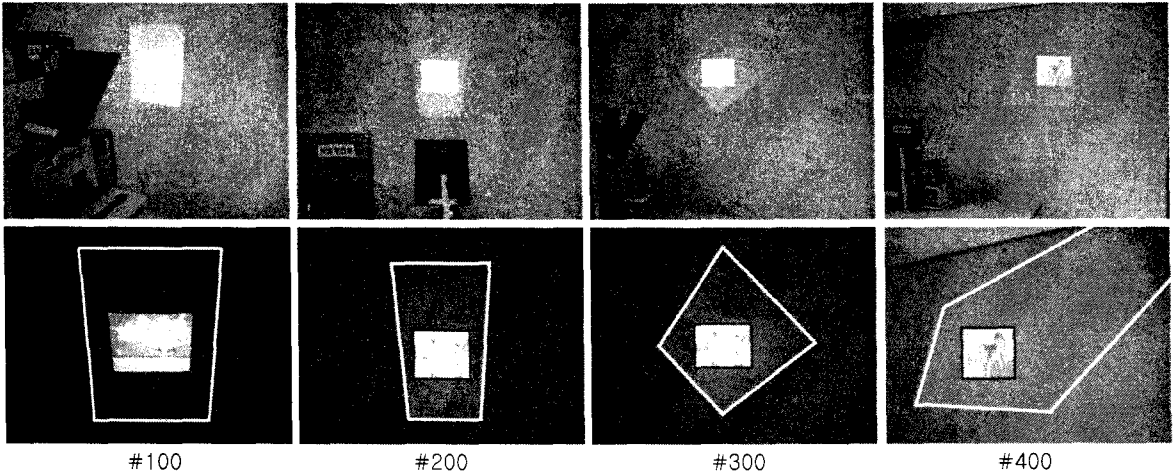


그림 8. 실시간 기하보정 시스템의 결과 영상 (프레임별)

신호임을 알려주는 Leader Code 부분과 제품의 제조사 정보를 담고 있는 Custom Code 부분, 정보를 담고 있는 Data Code 부분으로 구성되어 있다. (그림 9)

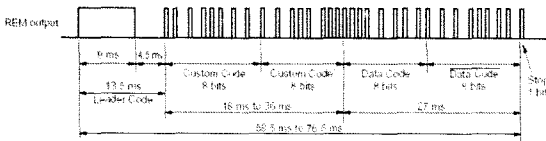


그림 9. NEC Format

현재 널리 사용되는 리모컨 수신 알고리즘으로는 포트 폴링 방식, 포트인터럽트 방식 그리고 타이머 샘플링 방식이 있다. 포트폴링 방식은 메인루틴에서 리모컨 신호를 수시로 체크하여 포트가 변했을 때 축적된 타이머 값을 통해 정보를 수신하며, 포트인터럽트 방식은 포트 변화 시 인터럽트를 발생시켜 축적된 타이머 값을 통해 리모컨 신호에 담긴 정보를 수신한다. 마지막 타이머 샘플링 방식은 일정시간마다 포트의 상태를 검사하여 타이머 값을 축적함으로써 리모컨 신호를 수신한다. (표 2)

표 2. 리모컨 수신 알고리즘 별 장/단점 비교

알고리즘	장 / 단점
포트폴링	장점 : 시스템 부하 고루 배분
	단점 : 부정확한 정보 수신
포트인터럽트	장점 : 정확한 정보 수신
	단점 : 노이즈에 민감 (불필요한 인터럽트 발생)
타이머 샘플링	장점 : 정확한 정보 수신
	단점 : 샘플링 타임에 많은 부하

제안된 시스템의 리모컨 수신 알고리즘은 포트인터럽트 방식과 타이머 샘플링 방식을 혼합된 형태로 리모컨 입력 신호(9ms의 긴 상승펄스)가 발견되기 전까지 포트 인터럽트 방식을 사용하여 리모컨 수신 여부를 확인하다가 리모컨 입력 신호 수신시 포트인터럽트 방식을 종료하여 불필요한 인터럽트 발생을 막고, 리모컨 신호 수신 이 끝날 때까지 타이머 샘플링 방식을 사용하여 정확한 리모컨 정보를 수신함과 동시에 샘플링 타임에 소요되는 부하를 줄이는 효과적인 방식이다. 수신된 정보에 따라 반사경을 제어함으로써 사용자가 원하는 장소에 영상을 투사한다(표 3).

표 3. 리모컨 신호별 반사경 이동 방향

리모컨 신호(비트)	동작
채널 올림 (00000000)	상
채널 내림 (10000000)	하
소리 크게 (11000000)	우
소리 작게 (01000000)	좌

### 3. 실험 및 결과

본 시스템은 영상 출력을 위한 프로젝터 1대와 영상처리용 컴퓨터 1대, 사용자 명령에 따라 회전하는 반사경 1개, 이 반사경을 움직일 Servo Motor 2개가 사용되며, 프로그램 구현을 위해서 Microsoft Visual C++ 6.0과 DirectShow가 사용되었다. 표 4는 제안된 시스템의 성능을 분석 결과이다. 다른 유비쿼터스 디스플레이와는 다르게 기하보정을 위한 변환행렬 계산 과정과 계산된 변환행렬에 의한 영상보정 과정 대신 최적화된 DirectShow의 함수를 사용하여 0.0031(s)의 짧은 시간 안에 기하보정을 수행한다. 따라서 기하보정에 소요되는 시간보다 외부 영상을 입력받는 하드웨어적인 소요시간

에 의해 시스템 전체의 수행시간이 결정된다. 제안된 시스템은 사이버 HDTV II (SIGMACOM) 모델의 TV Video Capture WDM Device를 사용하여 1초당 29.92프레임의 영상을 입력받고, 입력받은 영상마다 0.0031(s)의 기하보정 단계를 거침으로 입력된 영상의 1프레임이 보정되어 출력되기까지 0.0365(s)의 시간이 소요되며, 약 1초에 27프레임 정도의 속도를 가진다.

표 4. 시스템 성능 분석

	영상 입력	기하 보정	전체 수행 시간
처리시간 (s)	0.0334 (29.92 fps)	0.0031	0.0365 (27.39 fps)

#### 4. 결론

본 시스템은 보정을 위한 특정 장비의 필요 없이 실시간 보정된 영상을 제공하는 시스템이다. 즉, 프로젝트의 투사방향에 따라 시점을 이동하여 왜곡된 영상을 보정하고, 프로젝트의 전면에 설치된 반사경을 통해 보정된 영상을 사용자가 원하는 위치로 출력하는 실시간 기하보정 시스템이다. 또한 27.39fps의 빠른 보정수행시간을 가지므로 영화나 프레젠테이션 같은 멀티미디어 환경에 쉽게 적용이 가능하다. 하지만 몇 가지 문제점은 있다. 우선 본 시스템을 이용하여 다방면에 영상 출력시 투사되는 면(Surface) 정보를 입력받아야 한다. 즉, 보정된 영상을 시스템이 바라보는 정면에 출력을 할 것인지 좌측면에 출력을 할 것인지 등 투사되는 면을 선택하여야 한다는 문제점과 면과 면이 만나는 모서리 영역이나 기둥과 같은 곡면 영역에는 왜곡될 영상을 예측할 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제점은 차후 카메라를 사용하여 해결하고자 한다.

#### 참고문헌

[1]CS Pinhaez, FC Kjeldsen et al., "Ubiquitous Interactive Graphics," IBM. Research Report, TJ Watson Research Center, New York, USA, 2002.  
 [2]R. Raskar, et al., iLamps, Geometrically Aware and Self Configuring Projectors. Presented at SIGGRAPH, 2003.  
 [3]Beardsley, P., et al., "Interaction Using a Handheld Projector," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 25, pp. 39-43, 2005.  
 [4]R. Yang et a., "PixelFlex: A Reconfigurable Multi-Projector Display System," In Proceedings of IEEE Visualization, 2001.  
 [5]Claudio Pinhanez, "The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces," LNCS, Vol. 2201, pp. 315-331, 2001.  
 [6]Pingali et al., User-Following Displays. In

Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2002.  
 [7]Shree K. Nayar et al., A Projection System with Radiometric Compensation for Screen Imperfections. In Proceedings of International Workshop on Projector-Camera Systems, 2003.  
 [8]S. Borkowski, O. Riff, J. Crowley, Projecting rectified images in an augmented Environment. In Proceedings of International Workshop on Projector-Camera Systems, 2003.  
 [9]경동욱, 임현규, 정기철, "유비쿼터스 환경의 디스플레이를 위한 실시간 기하보정," 정보과학회 춘계학술대회, 2005.