

# 휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 디스플레이 시스템

\*오지현 이문현 박한훈 김재수 \*\*박종일  
한양대학교 전자통신컴퓨터공학

\*ohjh@mr.hanyang.ac.kr \*\*jipark@hanyang.ac.kr

## Portable Projection-Based Multimedia Display System

\*Jihyun Oh Moon-Hyun Lee Hanhoon Park Jaesoo Kim \*\*Jong-Il Park

Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University

### 요약

데스크탑 환경의 멀티미디어 디스플레이 시스템은 고해상도, 대화면의 영상을 제공해 줄 수 있는 반면 제약된 공간에서만 동작하므로 휴대할 수 없는 문제가 있다. PDA, PMP와 모바일 폰과 같은 휴대성을 가지는 멀티미디어 디스플레이 시스템은 해상도가 낮아 사용자에게 충분한 몰입감을 제공 해 주지 못한다. 본 논문에서는 기존의 데스크탑 환경에서 동작하는 프로젝션 기반의 증강현실 시스템을 모바일 플랫폼으로 확장한 프로젝션 기반의 휴대형 멀티미디어 디스플레이 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 PDA와 포켓 프로젝터를 결합한 것으로, PDA에서 전 처리된 멀티미디어 영상을 포켓 프로젝터를 이용하여 임의의 모양을 가지는 스크린에 왜곡 없이 영상을 표시해 줄 수 있다. 개발환경은 Window Mobile 5.0 기반의 ARM 플랫폼을 사용하는 PDA를 이용하였고, 시스템의 최적화를 위하여 x86 플랫폼에 최적화된 OpenCV 라이브러리를 모바일용으로 변환하였다. 또한 모바일 플랫폼에서는 부동소수점 연산으로 인한 시스템의 속도저하 문제가 발생하기 때문에 부동소수점 연산을 정수 연산으로 변환함으로써 처리 속도를 개선하였다. 프로젝션 기반의 디스플레이 시스템을 실현하기 위해서 필요한 기술적인 과제들을 모바일 환경에서 직접 처리해 봄으로써 휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 시스템의 가능성을 제시한다.

### 1. 서론

멀티미디어 디스플레이 시스템은 사용자에게 높은 몰입감을 제공하기 위하여 고화질과 대화면을 만들기 위한 기술에 집중하고 있다. 멀티미디어 디스플레이 시스템으로써 데스크탑 환경의 CRT/LCD 모니터 또는 프로젝터를 사용하거나 HDTV 등과 같은 디스플레이 장치의 고화질, 대화면의 기술 개발에 주력하고 있다. 하지만 이러한 디스플레이 장치는 그 크기와 무게 때문에 고정된 공간 안에서 사용되며 이동이 불편하다는 단점이 있다. 반면 휴대가 가능한 작고, 가벼운 멀티미디어 디스플레이 시스템으로는 PDA, PMP와 모바일폰 등이 있다. 이러한 휴대형 시스템에서도 고성능과 고화질의 서비스를 제공하기 위한 노력이 계속되고 있다. 하지만 이러한 휴대형 멀티미디어 디스플레이 시스템은 휴대성은 좋지만 디스플레이 화면이 작아 사용자에게 충분한 몰입감을 제공해 주지 못하고 시각적인 피로까지 주는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 고화질과 대화면을 가지며 휴대가 가능한 시스템에 착안하여, 언제 어디서나 사용자가 원하는 시점에 고화질, 대화면의 멀티미디어를 제공할 수 있는 휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 디스플레이 시스템을 제안한다.

휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 디스플레이 시스템은 기존의 데스크탑 환경에서 동작하는 프로젝션 기반의 증강현실 시스템을 모바일 플랫폼으로 확장한 것으로, 휴대성을 가지는 증강현실 시스템을 말한다. 이 시스템에서는 모바일 프로세서의 대표격이라 할 수 있는 PDA와 SDIO 타입의 모바일 카메라 그리고 휴대가 가능한 포켓 프로젝터로 구성된다.

최근 모바일 장치를 기반으로 한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다. PDA를 이용한 증강 현실 시스템으로 Wagner.D는 PDA 자체에서 마커를 트래킹하여 부가 정보를 PDA 디스플레이에 렌더링하는 시

스템을 제안하였다 [1]. 또한 Bruns, E.는 모바일 폰의 디스플레이 장치를 이용하여 박물관에서 각 전시 물품들에 대한 부가 정보를 사용자에게 전달하는 방법을 사용하였다 [2]. 이처럼 기존에 제안되었던 모바일 기반의 증강 현실 시스템은 휴대성을 이용하여 다양한 장소에서의 효용가능성을 보여준다. 하지만 작은 디스플레이를 통한 시각 정보의 전달은 몰입감을 감소시켜주며 시각적인 불편함에 대한 문제를 가지고 있다. 이러한 휴대형 디스플레이 장치의 낮은 몰입감과 시각적인 불편함을 해소하기 위한 방법으로 본 논문에서는 프로젝션 기반의 디스플레이를 도입하려한다. 프로젝션을 통한 고화질과 대화면의 멀티미디어 영상은 사용자에게 몰입감을 높여주고 시각적인 불편함을 해소될 수 있지만 프로젝션이 가능한 스크린이 필요하다. 스크린의 상태에 독립적으로 프로젝션이 가능하도록 하는 Rasker의 iLamp가 있다 [3]. iLamp에서는 프로젝터와 카메라, 센서 등을 사용하여 스크린의 상태에 독립적인 프로젝션이 가능한 지능형 프로젝션 시스템을 보여준다. 하지만 iLamp는 휴대형 프로젝션 시스템이라 하여 노트북과 프로젝터를 이용한 디스플레이 시스템이기 때문에 제약된 장소 안에서만 사용이 가능하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 모바일 장치의 작은 디스플레이 화면을 극복하고 휴대성을 가지기 위하여 PDA와 포켓 프로젝터를 이용하는 것으로 휴대형 디스플레이 시스템을 제안한다.

시스템의 휴대성을 극대화하기 위하여 사용자가 언제 어디에서나 시스템을 사용할 수 있도록 스크린의 형태에 독립적인 프로젝션이 가능하도록 기하 왜곡현상을 제거하는 기술을 이용하였다. 시스템의 개발 환경은 PDA에서 지원하는 Window Mobile 5.0 기반의 ARM 플랫폼을 이용하였고, 시스템의 최적화를 위하여 윈도우 기반의 알고리즘을 모바일 기반으로 변환하였다. 또한 모바일 플랫폼에서 부동소수점

으로 인한 연산 속도 저하를 극복하기 위하여 정수 연산으로 변환함으로써 처리 속도를 크게 개선하였다.

프로젝션 기반의 디스플레이 시스템이 가능하기 위해서 필요한 기술적인 문제들을 모바일 환경에서 직접 처리해 보는 것으로 휴대형 프로젝트 기반의 멀티미디어 시스템의 가능성을 제시한다.

## 2. 본론

휴대형 프로젝트 기반의 멀티미디어 디스플레이가 가능하기 위해서는 모바일 환경에서의 몇 가지 기술적 과제가 해결되어야 한다. 하나는 PDA, 카메라, 프로젝터를 통해 스크린의 기하 정보를 알아내는 것이다. 계산된 스크린의 정보를 이용하여 스크린의 기하에 따른 왜곡이 보정된 영상을 구할 수 있다. 다른 하나는 모바일 장치에서의 처리 속도를 개선하는 것이다. 모바일 환경에서 부동 소수점을 통한 연산은 데스크탑 환경에서의 연산 속도에 비해 느리다. 따라서 연산 속도를 개선하기 위한 정수 연산으로 변환이 필요하다. 이 절에서는 시스템에서 요구되는 기술적 해결 방법에 대하여 설명한다.

### 2.1. 기하 왜곡 보정

프로젝션 기반의 멀티미디어 영상은 프로젝트 방향에 따라 기울어짐(skewness)과 스크린 기하에 따른 왜곡이 발생할 수 있다. 본 논문에서 제시한 시스템의 장소에 대한 제약을 최소화하기 위하여 다음과 같은 기술을 도입하였다. 프로젝트된 화면의 기하학적 왜곡을 보정하기 위해서는 캘리브레이션(calibration)된 프로젝터와 카메라를 이용하여 스크린에 대한 기하 정보를 알아낸다. 알아낸 스크린 정보를 이용하여 보정 영상을 계산해 내는 것이다.

프로젝터는 카메라와 다르게 2차원 영상을 3차원 영상으로 투영하기 장치이기 때문에 캘리브레이션하기 위하여 전처리 단계가 필요하다. 프로젝트의 캘리브레이션 파라미터는 [6]에서 언급한 방법을 참고하였다. Zhang's calibration method [4]로 프로젝터와 카메라의 캘리브레이션 파라미터를 계산하였고 본 논문에서 자세한 설명 생략한다.

스크린의 기하에 정보를 얻기 위하여 선형 삼각 방법(linear triangulation method) [5]을 이용한다. 스크린은 평평한 조각들의 모임으로 구성되어 있다고 가정하기 때문에 스크린의 표면을 삼각형 단위의 mesh형태로 재구성한다. 삼각형의 작은 영역으로 구성된 mesh들은 정상적인 mesh와의 각 영역별 호모그래피를 구하여 각기 작은 삼각형 단위로 워핑하여 보정된 결과 영상을 얻는다 [6]. 스크린 표면을 모델링은 다음과 같은 방법을 이용한다.

스크린 표면에 대한 기하를 모델링하기 위하여 gray-coded binary 패턴(그림 1(a))들을 스크린에 프로젝트한다 [8]. 원본 패턴들을 합성한 영상과 프로젝트된 패턴들을 캡처하여 얻어진 영상들을 합성한 영상을 통하여 코드화된 셀을 얻을 수 있다 (그림 1(b)). 코드화된 두 개의 2차원 이미지에서 대응되는 셀의 중심점으로 선형 삼각 방법(linear triangulation method)로 스크린 표면을 모델링한다. 두 개의 2차원 이미지에서 각각의 프로젝트 매트릭스  $P$ 와  $P'$ 을 알고 있을 때, 대응되는 셀의 두 중심점  $x$ 와  $x'$ 을 이용하여 스크린 표면의 3차원 좌표  $X$ 를 알아낼 수 있다.

스크린 표면의 3차원 좌표를 알고 있다면 이 좌표가 임의의 시점에서 2차원 평면으로 투영되는 관계를 예측할 수 있다. 즉 임의의 시점에서 프로젝트된 영상을 원하는 형태로 변형해 줄 있다. 계산된 스크린 표면의 3차원 좌표 정보를 사용자 시점으로 투영하여 사용자 시점에서의 스크린 기하 형태를 mesh로 표현할 수 있다. 여기서 사용자

의 시점은 모바일 장치 위에 있다고 가정하기 때문에 스크린의 3차원 좌표를 모바일 장치가 있는 방향으로 투영하여 사용자 시점에서의 mesh를 얻을 수 있다. 스크린 표면은 작은 평면 조각들의 모임으로 구성되었다고 가정하기 때문에 mesh를 작은 삼각형 단위로 구성한다. 왜곡 되어 나타난 mesh를 보정하기 위하여 프로젝트 캘리브레이션 파라미터를 이용하여 사용자 시점을 기준으로 정상적인 스크린 mesh를 구한다. 두 개의 mesh에서 mesh를 구성하고 있는 작은 삼각형의 3점을 이용하여  $3 \times 3$  매트릭스를 가지는 호모그래피를 구한다. 대응되는 삼각형들에 의해 구해진 호모그래피로 삼각형 내부의 좌표들을 워핑한다. mesh를 구성하고 있는 모든 삼각형들에 대하여 같은 처리를 하는 것으로 보정된 결과 영상을 얻어 낸다. 보정된 결과 영상을 스크린으로 프로젝트하면 사용자 시점에서 왜곡이 없는 프로젝션을 통한 영상을 볼 수 있다 (그림 5).

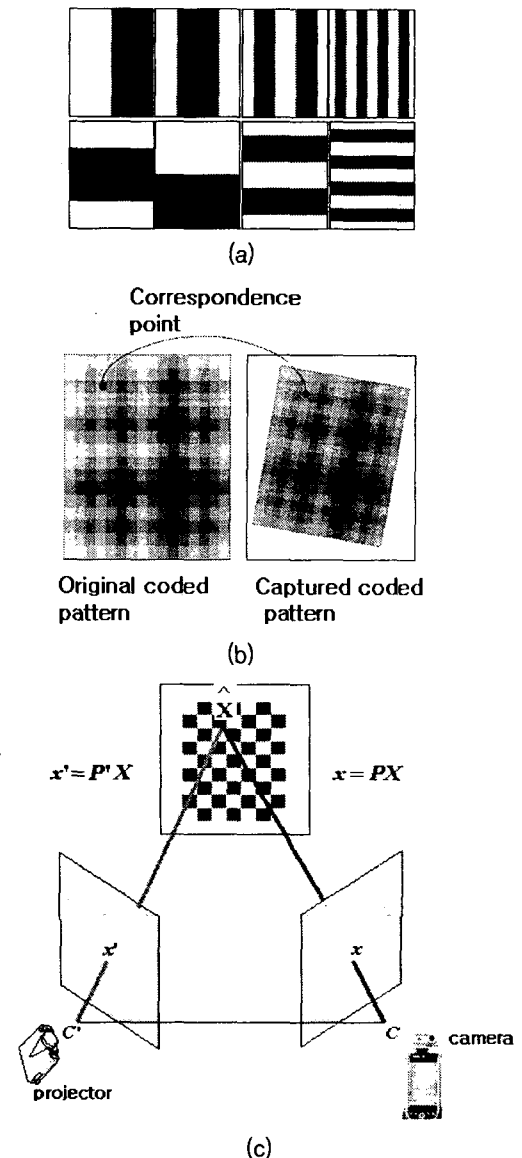


그림 1. (a) binary-coded pattern. (b) coded pattern image: (a)의 패턴 이미지들을 합성하여 코드화된 패턴 영상을 구한다. (c) linear triangulation method: (b)의 코드화된 두 개의 패턴 영상을 이용하여 스크린 표면의 3차원 좌표를 구한다.

## 2.2. 처리 속도

표 1.

480×536 color image			
		3D modeling	warping
processing time (s)	float point	8	0.265
	integer point	-	0.046

모바일 플랫폼에서는 부동 소수점 처리기(FPU)가 없기 때문에 부동 소수점 연산에 따른 속도 저하가 발생한다. 표 1에서와 같이 부동 소수점 연산을 이용하여 binary-coded pattern을 프로젝션하고 캡처된 패턴 영상을 통하여 스크린 표면의 3차원 좌표를 계산하는데 약 8초의 처리 시간이 소요된다. 계산된 스크린 표면의 좌표를 이용하여 보정된 영상을 만들기 위한 워핑 단계에서는 약 0.265초의 시간이 소요된다. 보정된 결과 영상을 얻기 위한 워핑 단계에서 부동 소수점이 아닌 정수 연산을 이용하면 5배 정도의 빠른 처리가 가능하다. 현 시스템에서 스크린 표면의 모델링은 모바일 장치의 위치가 정해진 다음 한번만 이루어진다는 가정을 가지고 있다. 따라서 스크린 표면의 모델링이 끝난 후 보정된 좌표로 이동하기 위한 정수 타입의 좌표 맵을 구성하였다. 정수 타입의 좌표 맵을 이용하면 한 프레임 당 약 0.046초의 처리 시간이 소요된다. 이것은 모바일 환경에서 초당 20프레임의 멀티미디어 영상의 처리가 가능하도록 해 준다.

## 3. 구현

표 1. 실험 환경

PDA	Projector	Camera
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dell AXIM X51V</li> <li>● 624MHz</li> <li>● 64MB SDRAM</li> <li>● 256MB Flash memory</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 삼성 포켓이미저</li> <li>● LED 광원</li> <li>● DLP 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● HP Mobile camera</li> <li>● SDIO type</li> <li>● 640×480</li> </ul>
Height : 119 mm Width : 73 mm	Height : 127 mm Width : 9.4 mm	

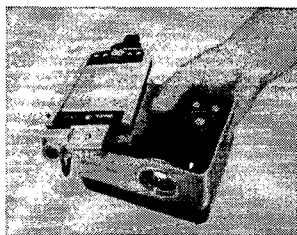


그림 2. PDA, 프로젝터, SDIO 카메라



(a)



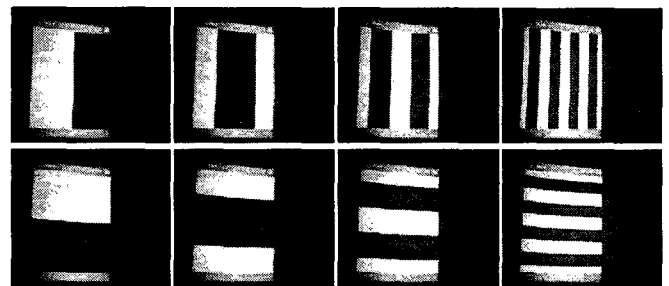
(b)

그림 3. (a): 실험을 위한 곡면 스크린, (b): 실험을 위한 원본 이미지

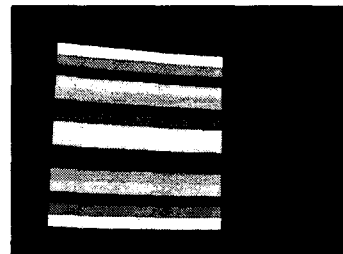
휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 시스템은 Dell Axim x51v PDA와 삼성 포켓 프로젝터를 이용하였고, 스크린의 정보를 얻기 위하여 SDIO 타입으로 PDA에 연결하여 사용할 수 있는 HP mobile camera를 사용한다 (표 1, 그림 2). 시스템은 실험용 PDA에서 지원하는 Window Mobile 5.0 환경에서 개발되었다. 실험용 PDA는 ARM 기반의 CPU를 사용하기 때문에 이미지 처리에 효율적이고, 최적화되어 있는 OpenCV 라이브러리를 모바일 플랫폼으로 변환하여 사용하였다. 스크린의 기하에 따른 왜곡을 보정 실험을 위하여 그림 3(a)과 같은 곡면 스크린을 사용하였다. 그림 2와 같이 PDA와 프로젝터를 고정하여 스크린을 향하여 순차적으로 프로젝션되는 binary-coded pattern들을 캡처하여 스크린의 기하를 측정할 수 있게 하였다.

그림 4에서 보여주는 것과 같이 PDA에 부착되어 있는 카메라를 이용하여 프로젝션된 binary-coded pattern의 상태를 캡처한다. 캡처된 패턴 이미지들을 그림 4(b)와 같이 합성하여 코드화된 각 셀을 얻는다. 원본 패턴들의 합성 영상과 그림 4(b)의 대응되는 셀의 중심점들을 이용하여 스크린 표면의 3차원 좌표 정보를 얻는다.

계산된 스크린의 기하 정보를 이용하여 미리 설정된 사용자의 시점에서 보이는 프로젝션된 영상의 상태를 예측할 수 있다. 그림 5(b)와 같이 스크린 표면의 3차원 정보를 이용하여 사용자 시점에서 프로젝션된 영상의 상태를 작은 삼각형의 구조를 가지는 mesh로 표현한다. 그림 5(a)는 프로젝터 파라미터에 의해 생성된 스크린 mesh로, 그림 5(b)의 mesh와 대응되는 삼각형의 관계를 호모그래피로 계산하여 워핑을 수행한다. mesh를 구성하고 있는 작은 삼각형 단위별로 호모그래피를 통한 워핑의 결과는 그림 5(c)와 같다. 그림 5(c)를 보면 스크린에 따른 왜곡을 보정한 영상은 mesh와 상대적으로 반대인 영상을 만든다. 최종적으로 보정 처리된 영상을 다시 프로젝션 하면 그림 6과 같이 곡면 스크린에서도 평평한 스크린에 영상을 프로젝션 하고 있는 것과 같은 결과를 얻을 수 있다.



(a)



(b)

그림 4. (a): 프로젝션된 binary-coded pattern들을 모바일 카메라로 캡처한 영상, (b): (a)의 영상을 합성한 코드화된 셀을 가지는 영상. 원본 pattern 영상에 의해 미리 코드화된 영상과 (b)는 대응되는 셀의 위치는 다르지만 같은 코드화 셀을 알고 있기 때문에 linear triangulation method를 이용하여 3차원상의 스크린 기하 좌표를 모델링하기 위한 두 개의 2차원 평면으로 사용된다.

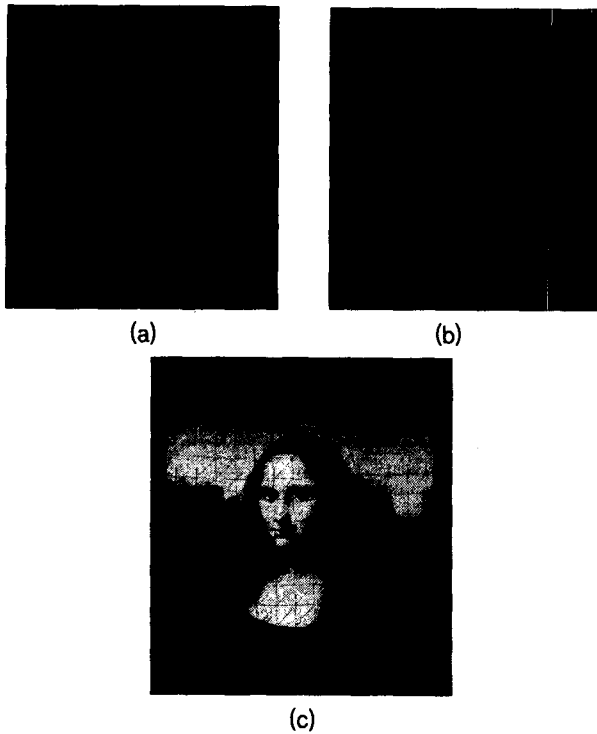


그림 5. (a): 프로젝터 캘리브레이션 파라미터에 의한 정상적인 mesh, (b): 그림 4에서 계산된 스크린 표면의 3차원 좌표를 이용한 사용자 시점에서 보이는 스크린의 mesh, (c): 곡면 스크린에 의한 왜곡 보정 영상 (a)와 (b)의 대응되는 각 삼각형 mesh관계를 호모그래피로 계산하여 (b)의 좌표들이 호모그래피에 의해 워핑될 좌표를 계산한다.

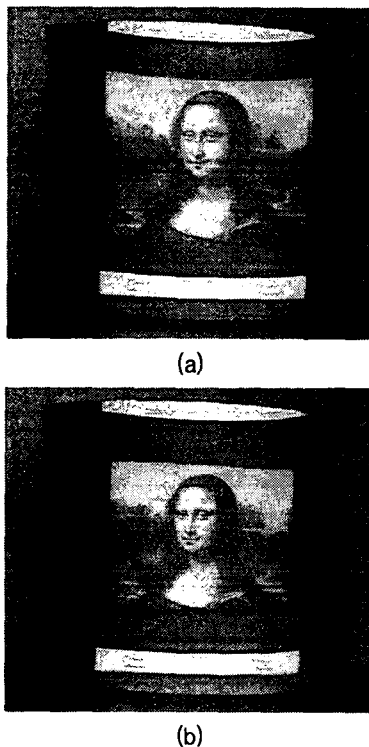


그림 6. (a): 곡면 스크린의 기하 특성에 따른 왜곡된 영상, (b): 곡면 스크린의 기하 정보를 통해 보정된 결과 영상. 스크린 기하 정보에 따라 보정된 영상을 실제 프로젝터를 통하여 프로젝션한 결과 영상(b)는 원본 영상을 프로젝션한 영상(a)에 비해 보다 정확한 영상 전달이 가능하다.

#### 4. 결론 및 향후 연구 방향

실험에서 사용한 PDA와 포켓 프로젝터의 크기와 무게는 기존에 데스크탑 환경에서 고정된 장소에서만 사용할 수 있던 장치들에 비해 작고 가볍기 때문에 사용자가 장치들을 휴대할 수 있도록 해 준다. 또한 PDA의 디스플레이 화면은 3.7inch의 작은 화면을 가지고 있지만 포켓 프로젝터를 통한 프로젝션 기반의 디스플레이를 이용하기 때문에 스크린과 프로젝터의 거리에 따라 약 12~64inch를 가지는 고화질의 대화면을 통한 영상 정보 전달이 가능하다. 이러한 휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 디스플레이 시스템은 공원이나 좁은 공간 등에서도 사용이 가능하여 언제 어디서나 프로젝션을 통한 멀티미디어 영상을 즐길 수 있도록 해준다. 프로젝션을 통한 고화질의 대화면은 시각적인 피로를 줄여주면서 몰입감을 높여주고 다수의 사람들이 함께 즐길 수 있는 환경을 제공해 준다.

본 논문에서 논의한 기하 보정과 함께 광학 보정을 도입함으로써 멀티미디어 디스플레이 시스템의 응용 범위를 확대할 수 있다 [6]. 본 시스템은 가시적인 패턴을 통하여 스크린의 기하 정보를 얻기 때문에 시간적인 소모와 시각적인 불편함을 가진다. 이러한 가시적인 패턴에 의한 문제를 해결하기 위하여 패턴의 은닉을 통한 연구들이 나오고 있다 [7][8]. 향후 모바일 환경에서도 패턴 은닉의 방법을 이용하여 시각적인 불편함을 제거함과 동시에 프로젝터의 움직임에 따라 실시간으로 스크린의 기하 정보를 얻을 수 있는 기술에 대한 접목이 필요하다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Wagner, D., Schmalstieg, D.: First steps towards handheld augmented reality. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Wearable Computers(ISWC 2003), White Plains, NY, USA, IEEE Computer Society (2003) 127-137
- [2] Bruns, E., Brombach, B., Zeidler, T., Bimber, O.: Enabling mobile phones to support large-scale museum guidance. IEEE Multimedia, 2006
- [3] Raskar, R., et al.: iLamps: Geometrically aware and self-configuring projectors. Proc. of SIGGRAPH, vol.22 (2003) 809-818
- [4] Zhang, Z.: Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientation. Proc. of ICCV (1999) 666-673
- [5] Hartley, R., Zisserman, A.: Multiple View Geometry, Cambridge University Press (2003)
- [6] Park, H., Lee, M.-H., Kim, S.-J., Park, J.-I.: Surface-independent direct-projected augmented reality. Proc. of ACCV (2006) 892-901
- [7] J. C. Lee et al.: Automatic projector calibration with embedded light sensors. Proc. of the 17th annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology (2004)
- [8] Park, H., Park, J.-I.: Invisible marker based augmented reality system. Proceedings of Visual Communications and Image Processing (VCIP) 2005, vol.5960 (2005) 501-508