

논문 2007-44SP-4-4

휴대형 지능형 프로젝션 시스템 개발

(Developing a Portable Intelligent Projection System)

박한훈*, 서병국**, 진윤종**, 오지현**, 박종일***

(Hanhoon Park, Byung-Kuk Seo, Yoonjong Jin, Jihyun Oh, and Jong-II Park)

요약

지능형 프로젝션 시스템이란 임의의 환경에서 프로젝터를 이용하여 임의의 스크린에 영상을 왜곡없이 보여줄 수 있는 시스템을 말한다. 최근 프로젝터의 보편화로 인해 지능형 프로젝션 시스템에 대한 요구는 크게 증가했으며, 이러한 요구들은 지능형 프로젝션 시스템과 관련된 기술의 획기적인 발전을 가져왔다. 그러나, 여전히 지능형 프로젝션 시스템이 극복하지 못한 환경들(대부분 주어진 환경이나 시스템의 특성이 시간에 따라 변하는 것과 관련됨)이 존재하며, 이는 지능형 프로젝션 시스템들의 적용 범위를 크게 제약해왔다. 본 논문에서는 이러한 환경들 중에 대표적인 두 가지 예로 스크린에 전반사가 존재하는 경우와 스크린의 기하가 동적으로 변하는 경우에 대한 효과적인 해결책(다수의 중첩 프로젝터 시스템, 보색패턴 삽입) 및 실험 결과를 제공한다. 또한, 사용자분석을 통해 사용자 관점에서 제안된 방법들의 효용성을 검증한다. 단, 각 환경들은 독립적으로 다루어지며 모든 환경에 대해 동시에 적응하는 것에 대해서는 다루지 않는다. 이는 모든 환경들을 동시에 고려하기 위해서는 각 기술들을 단순히 조합하는 것으로는 불가능하며, 새로운 모델 및 기술이 개발되어야 하기 때문이다. 따라서, 지극히 일반적인 환경이 아니라면 본 논문에서 제안한 방법들을 이용함으로써 지능형 프로젝션 시스템의 응용 범위를 크게 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

Intelligent projection system indicates a system that displays desired images on an arbitrary screen in an arbitrary environment using projector without noticeable image distortion. In recent years, projectors have become widespread and ubiquitous due to their increasing capabilities and declining cost. Moreover, the size of projectors is getting smaller and handheld projectors are emerging. Thanks to these advances, the demand for intelligent projection system has been significantly increased and the demand has led to remarkable progress of the related techniques or technologies to intelligent projection system. However, there are still some environments (or conditions, mainly dynamic ones) that intelligent projections systems cannot handle and they have limited the application area of intelligent projection systems. This paper exemplifies such environments (e.g. specular screen, dynamic screen) and propose effective solutions (i.e. multiple overlapping projectors, complementary pattern embedding) for them. And the usefulness of the solutions is verified through experimental results and user evaluation. Notice that the environments are considered not simultaneously but independently because it is impossible to consider them simultaneously by simply combining the solutions for each. Actually, a totally different solution would be necessary to consider them simultaneously. Therefore, we expect that the proposed methods would largely extend the application area of intelligent projection systems except for severely arbitrary environment.

Keywords : projector-camera system, geometric correction, radiometric compensation, complementary patterns, intelligent portable projection system

I. 서론

프로젝터는 대화면, 고화질 영상을 제공해 줄 수 있는 반면, 프로젝터의 위치나 스크린의 위치 및 반사 특성, 주변 조명환경 등을 고려하지 않으면 원하는 영상을 보여줄 수 없다^[1]. 일반적으로, 임의의 환경에서 프로젝터를 이용하여 원하는 영상을 제공해주는 시스템을

* 학생회원, 한양대학교 전자통신전공학과
(Department of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)

** 학생회원, *** 정회원, 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과
(Department of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의해 이루어진 것임(O2-PJ3-PG6-EV04-0003).
접수일자: 2006년12월22일, 수정완료일: 2007년6월7일

지능형 프로젝션 시스템이라고 한다. 지능형 프로젝션 시스템과 관련된 기술들은 괄목할만한 진보를 해 왔으며^[2], 일부 환경을 제외한다면 환경적 영향을 전혀 받지 않고, 원하는 영상을 제공해 줄 수 있게 되었다^[1,3].

지능형 프로젝션 시스템이 여전히 어려움을 겪는 환경의 대표적인 예로, 스크린이 반짝이는 재질을 가지거나 프로젝션 시스템의 기하 및 컬러 특성이 동적으로 변하는 경우를 들 수 있다. 이와 같은 환경은 일반적이므로, 이와 관련된 기술이 마련되지 않는다면 지능형 프로젝션 시스템의 응용 범위는 크게 제약된다. 특히, 최근 프로젝터의 기능으로 휴대성을 강조하는 추세를 감안한다면, 동적인 환경에서 동작하는 프로젝션 시스템을 위한 관련 기술이 시급히 마련되어야 한다. 본 논문에서는 위에서 제시한 환경에서 동작하는 지능형 프로젝션 시스템을 제안한다. 단, 위의 환경들은 독립적으로 다루어지며 모든 환경에 대해 동시에 적용하는 것에 대해서는 다루지 않는다. 이는 위의 환경들을 동시에 고려하기 위해서는 각 기술들을 단순히 조합하는 것으로는 불가능하며, 새로운 모델 및 기술이 개발되어야 하기 때문이다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 우선, II장에서는 지능형 프로젝션 시스템과 관련된 기술에 대해 간략히 설명한다. III장에서는 반짝이는 재질을 가지는 스크린에 원하는 영상을 제공하기 위한 기술을 설명하고 실험 결과를 제시, 분석한다. IV장에서는 지능형 프로젝션 시스템이 휴대성을 갖기 위해 필요한 사항을 제시하고, 이와 관련된 선행 기술을 살펴본 후, 본 논문에서 제안하는 기술에 대해서 자세히 설명한다. 또한, 제안된 기술의 유용성을 검증하기 위한 다양한 실험 및 사용자 평가 결과를 제시한다. V장에서는 결론 및 추후 과제를 제시한다.

II. 지능형 프로젝션 시스템

프로젝터를 이용하여 임의의 환경에서 임의의 물체에 영상을 프로젝션 할 경우, 영상의 형태나 색상은 크게 왜곡된다. 이는 기존의 2 차원 디스플레이와는 달리 영상을 직접 3 차원 물체에 프로젝션하기 때문에 발생하는 것으로, 프로젝션 된 영상의 형태나 색상은 물체의 모양 및 색상, 주위 조명의 색상, 사용자 시점의 변화, 프로젝터의 특성 등 다양한 조건에 의해 결정된다. 지능형 프로젝션 시스템이란 이러한 조건들을 분석하여 임의의 환경에서 임의의 물체에 영상을 프로젝션 하더라도 원하는 형태와

색상을 가진 영상을 보여줄 수 있는 시스템을 말한다.

지능형 시스템을 개발하기 위해서는 다양한 기술들이 마련되어야 한다. 우선, 스크린이 평면이 아니거나 사용자의 시점이 스크린의 법선 상에 존재하지 않을 경우, 프로젝션 된 영상의 형태는 왜곡된다. 이러한 기하 왜곡은 프로젝터 입력 영상과 사용자 시점 영상 사이의 기하 변환 행렬을 계산한 후, 프로젝터 입력 영상에 변환 행렬의 역함수를 적용함으로써 보정될 수 있다^[1]. 프로젝터 입력 영상과 사용자 시점 영상 사이의 기하 변환 행렬은 structured light 기술을 이용하여 스크린을 3 차원 메쉬(mesh)로 재구성한 후, 프로젝터 입력 영상과 사용자 시점 영상에서의 각 메쉬 사이의 homography에 의해 정의된다^[1,4]. 사용자의 시점은 일반적으로 3 차원 추적 장치를 사용하거나 스크린의 평균 법선 방향으로 일정한 거리에 떨어져 있다고 가정한다^[1].

프로젝션 된 영상의 밝기는 프로젝터와 스크린의 거리 및 각도에 의해 달라진다. 밝기 변화와 관련된 함수(form factor^[5])를 정의하고 프로젝터 입력 영상에 역함수를 적용하여 보정한다. 또한, 렌즈의 특성으로 인해 가장자리 영역의 밝기는 가운데 영역의 밝기에 비해 약하다(흔히 vignetting effect라고 함). 일정한 밝기(i)를 가지는 영상을 프로젝션한 후 카메라로 측정된 각 픽셀의 밝기(r)의 비(i/r)를 프로젝터 입력 영상에 적용하여 보정한다.

프로젝션 된 영상의 색상은 스크린의 색상(혹은 반사 특성), 주변 조명의 색상, 프로젝터의 컬러 특성에 따라 달라진다. 프로젝터 각 컬러 채널의 입력 밝기에 대한 출력 밝기 비는 독립적인 비선형성을 가지며, 이는 각 채널에 대해 0~255의 입력 밝기에 대한 출력 밝기의 값을 HDR(high dynamic range) 카메라를 이용하여 측정함으로써 비선형함수로 모델링될 수 있다^[6]. 카메라의 비선형성은 노출(exposure)값을 다르게 하여 촬영된 여러 장의 영상으로부터 계산된다^[7]. 카메라와 프로젝터의 컬러 특성이 결정되면, 프로젝터의 입력 영상(I)의 색상과 프로젝션된 영상(P)의 색상 사이의 관계는 다음과 같은 선형 방정식으로 정의된다^[1].

$$C = g(P) = Vf(I) + F \quad (1)$$

여기서, f, g 는 프로젝터와 카메라의 비선형함수를 의미하고, F 는 주변 조명의 색상을 의미한다. V 는 카메라와 프로젝터 각 컬러 채널 사이의 간섭 및 스크린의 반사 특성을 표현한다. C 는 카메라 영상을 의미한다. V 는 각각 ($R=a, G=0, B=0$), ($R=0, G=a, B=0$), ($R=0, G=0, B=a$)

인 세 장의 영상을 프로젝션한 후 카메라 영상에서의 R , G , B 크기 값과의 비로부터 계산된다^[1]. α 값은 사용자에 의해 결정된다. 주변 조명의 색상 F 는 R , G , B 값이 0인 프로젝터 입력 영상을 프로젝션한 후 카메라도 촬영하여 획득된다. 식 (1)의 모든 파라미터 값들이 결정되면 프로젝터 입력 영상을 다음과 같이 변환함으로써, 프로젝션된 영상의 색상을 원하는 색상($P_{desired}$)으로 결정할 수 있다.

$$I' = f^{-1}(V^{-1}\{g(P_{desired}) - F\}) \quad (2)$$

스크린의 색상이나 주변 조명 환경이 시간에 따라 계속 변할 경우 이에 대한 적절한 보정이 이루어져야 한다. 식 (1)을 주변 조명 색상 F 에 대해 정리하면

$$F^{(t)} = C^{(t-1)} - Vf(I'^{(t-1)}) \quad (3)$$

이 된다. 즉, 시간 (t)일 때의 주변 조명 색상은 ($t-1$)일 때의 프로젝터 입력 영상을 프로젝션 했을 때 측정된 카메라 영상과, 주변 조명의 영향을 배제하고 계산된 프로젝션 영상의 차로부터 구할 수 있다. 이 식은 매우 간단하기 때문에 모든 픽셀에 대해 실시간 처리가 가능하다^[8]. 식 (2)로부터 주변 조명의 변화에 적응하기 위해 시간 (t)일 때의 프로젝터 입력 영상은 다음과 같이 변환된다.

$$I'^{(t)} = f^{-1}(V^{-1}\{g(P_{desired}) - F^{(t)}\}) \quad (4)$$

스크린의 색상의 변화에 대한 적응과 관련해서는 Fujii 등의 논문^[9]을 참조하기 바란다.

이 장에서는 지능형 시스템을 개발하기 위해 필요한 기본적인 기술들에 대해서 간략히 설명하였다. 자세한 설명 및 기타 기술들에 대한 설명은 관련 논문을 참고하기 바란다^[1,2,3,4].

III. 전반사 회피

II장에서 설명한 기술들을 이용하면 임의의 스크린에 원하는 영상을 형태나 색상 왜곡 없이 보여줄 수 있다. 그러나 II장에서 설명한 기술들은 스크린이 반짝이지 않는 재질을 가진다는 가정을 필요로 한다. 스크린이 반짝이는 재질인 경우 전반사가 발생하고 이는 영상을 관찰하고자 하는 사용자에게 시각적 불편함을 야기한다^[10]. 더구나, 전반사가 발생하는 영역에 프로젝션된 영상의 형태나 색상은 카메라로 측정할 수 없기 때문에, 형태나 색상 보정이 불가능하다.

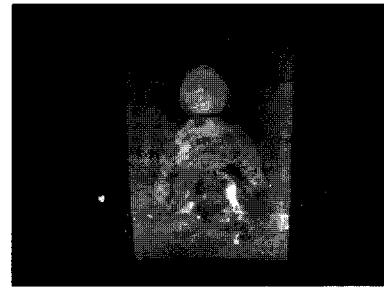


그림 1. 일치되지 않은 두 프로젝션

Fig. 1. Unregistered two projections.

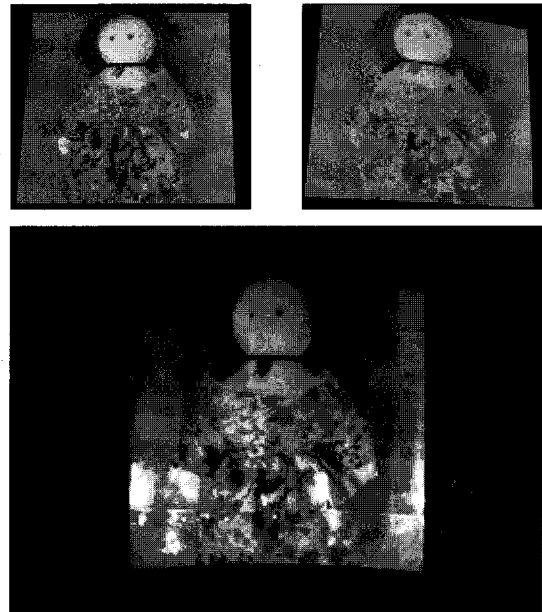


그림 2. 프로젝터 입력 영상을 미리 변환하여 일치된 두 프로젝션. 위 영상: 미리 변환된 두 프로젝터 입력 영상, 아래 영상: 기하가 일치된 프로젝션 영상

Fig. 2. Overlapped (or registered) two projections by prewarping the projector input images. upper images: prewarped projector input images; lower image: overlapped projection.

스크린이 반짝이는 재질인 경우 한 대의 프로젝터를 이용하여 전반사(specular reflection)에 의한 영상의 가시도(visibility) 저하를 해결하기 힘들지만, 두 대 이상의 중첩된(overlapped) 프로젝터를 이용함으로써 효과적으로 전반사를 회피할 수 있다^[10]. 전반사가 회피될 수 있다면 II장에서 설명한 형태나 색상 보정을 그대로 적용될 수 있으며 임의의 스크린에 원하는 영상을 형태나 색상 왜곡 없이 보여줄 수 있다^[11]. 이 장에서는 두 대의 프로젝터를 이용하여 반짝이는 재질을 가지는 스크린에 대해 색상 보정을 하는 과정을 설명한다. 기하 보정과 관련된 내용은 색상 보정을 하는 과정과 다르지 않기 때문에 생략한다.

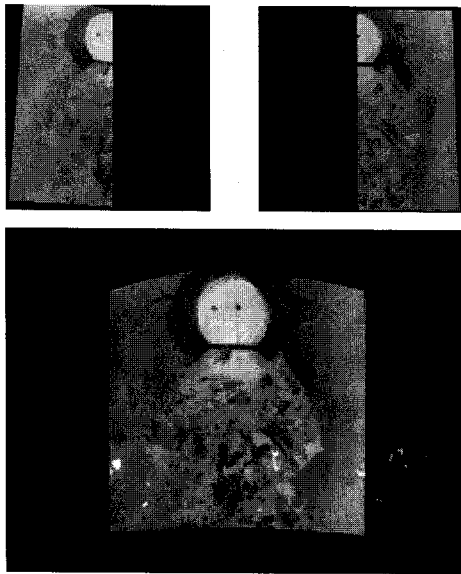


그림 3. 반짝이는 곡면 스크린에 컬러 보정을 적용한 결과. 위 영상: 각 프로젝터에 대해 부분적으로 보상된 프로젝터 입력 영상, 아래 영상: 보정 결과 영상. 일부 스크린의 표면이 고르지 못해서 왜곡이 남아 있지만, 컬러 왜곡이 크게 개선됨.

Fig. 3. Result of radiometric compensation on a specular curved screen. upper images: projector input images which are partially compensated for compensating the whole image; lower image: compensated projection image. The color of the whole projection image was successfully compensated except for artifacts due to the unevenness of the projection surface.

그림 1에서 보는 것처럼 아크릴 재질로 만들어진 스크린을 사용하여 프로젝션 영역 전반에 걸쳐 전반사 성분이 존재하고, 프로젝터 사이의 기하관계를 모를 경우, 동일한 영상을 프로젝션 하더라도 두 프로젝션 영상은 서로 일치하지 않는다. 그러나, 2 장에서 설명한 것처럼 각 프로젝터 입력 영상과 대응되는 카메라 영상 사이의 변환 행렬은 structured light 기술을 이용하여 계산될 수 있으며^[10], 그림 2에서 보는 것처럼 계산된 행렬의 역행렬을 각 프로젝터 입력 영상에 적용함으로써, 카메라 시점에서 일치된 프로젝션 영상을 얻을 수 있다.

두 프로젝션의 카메라 영상 좌표를 (u_i, v_i) , (u_2, v_2) 라고 하고, 프로젝터 입력 영상의 좌표를 (x, y) 라고 하면, 다음과 같은 식이 성립된다.

$$(u_i v_i 1)^T = H_{p_i-c}(xy 1)^T, \quad i = 1, 2. \quad (5)$$

여기서, H_{p_i-c} 는 i 번째 프로젝터 입력영상과 카메라 영상 사이의 대응관계를 나타낸다. 프로젝터 입력 영상이 다음과 같이 미리 변환된다면,

$$(x'_i y'_i 1)^T = H_{p_i-c}^{-1}(xy 1)^T, \quad i = 1, 2, \quad (6)$$

두 프로젝션 영상은 다음과 같이 카메라 시점에서 일치된다.

$$\begin{aligned} (u'_i v'_i 1)^T &= H_{p_i-c}(x'_i y'_i 1)^T \\ &= H_{p_i-c}[H_{p_i-c}^{-1}(xy 1)^T] \\ &= [H_{p_i-c}H_{p_i-c}^{-1}](xy 1)^T \\ &= (xy 1)^T, \quad i = 1, 2. \end{aligned} \quad (7)$$

각 프로젝터에 의한 프로젝션 영상이 일치할 경우, 각 프로젝션 영상에서 전반사가 발생하는 영역은 프로젝션하지 않고 전반사가 발생하지 않는 영역만 프로젝션함으로써 전반사를 효과적으로 회피할 수 있다^[10]. 그림 3에서 보는 것처럼 전반사를 회피하기 위해 각 프로젝터에 의해 부분적으로 프로젝션 되는 영역에 2 장에서 설명한 색상 보정 기술을 적용함으로써, 반짝이는 재질을 가지는 스크린에 대해서도 스크린의 색상에 영향을 받지 않고 원하는 영상을 프로젝션 할 수 있다.

IV. 휴대형 지능형 프로젝션 시스템

II장에서 설명한 모든 기술들은 프로젝션 시스템이 고정되어 있고, 정지 영상에 대해서만 적용될 수 있다. 자칫 프로젝션 시스템이 움직이거나 동영상일 경우에도 II장에서 설명한 기술들을 반복해서 적용하면 해결할 수 있을 것 같다는 생각이 들 수도 있다. 하지만, 대부분의 기술들은 프로젝션 될 영상과는 별도로 보정을 위한 패턴 영상을 프로젝션하고 이를 카메라로 촬영, 분석하는 과정을 필요로 한다. 결국 한 대의 프로젝터를 사용한다면 프로젝션되는 영상의 프레임 수(frame rate)는 줄어들고, 특히 반복적으로 프로젝션 된 패턴 영상들은 사용자의 몰입감을 크게 떨어뜨리게 된다. 일부 기하 보정과 관련하여 프로젝터 입력 영상과 프로젝션 영상에서 특징점(feature)을 추출하고, 블록매칭(block matching)을 통해 특징점 사이의 관계로부터 기하 왜곡을 보정하는 방법이 제안되었으나^[12], 프로젝터 입력 영상에 존재하는 특징점의 수 혹은 분포에 영향을 받고, 특히 특징점이 부족한 영상의 가장자리 영역의 보정이 힘들다. 색상 보정과 관련해서 부가적인 패턴 영상을 사용하지 않고 연속된 프레임간의 변화를 분석하여 반복적으로(iteratively) 동영상을 색상 왜곡 없이 프로젝션하는 기술도 제안되었지만^[9], 프로젝터와 카메라

라의 시점을 물리적으로 맞춘 시스템을 이용하기 때문에 형태 왜곡에 대해서는 다루지 않았으며, 여전히 초기화를 위해서 패턴 영상을 필요로 한다.

지능형 프로젝션 시스템이 휴대성을 갖기 위해서는, 또한 동영상 왜곡 없이 프로젝션 하기 위해서는, 보정을 위한 패턴 영상들을 고속으로 혹은 비가시적(invisible or imperceptible)으로 프로젝션 하는 것이 효과적이다.

Raskar 등은 DLP 프로젝터의 비트 평면(bit plane) 별로 영상을 프로젝션 하는 특성을 이용하여 24 개의 비트 평면 중에서 2 개의 비트 평면에 이진(binary) 패턴 영상과 보색(complement) 패턴 영상을 삽입하는 방법을 제안하였다^[13]. 삽입된 패턴은 사용자에게는 보이지 않지만, 각 비트 평면의 지속 시간(duration)의 역수만큼의 속도(1000Hz 이상)를 가지고 각 비트 평면의 프로젝션과 동기화된 카메라에서는 관찰될 수 있다. 그러나 일반적으로 이러한 조건은 현실적으로 불가능하다. Cotting 등은 각 픽셀 값을 표현하기 위한 DLP 프로젝터의 미소 거울(micro mirror) 개폐 시퀀스를 측정 한 후, 이진 패턴 영상을 삽입하기 위해 아주 짧은 시간 동안의 거울 개폐를 조절하는 방법을 제안하였다^[14]. 그들은 거울 개폐를 조절하기 위해 DMD discovery kit^[15]를 사용하지 않고, 픽셀 값을 조절하였다. 예를 들어, 어떤 위치의 픽셀 값이 175일 때, 패턴 영상이 삽입되는 시간에 거울은 닫혀있는데 패턴 영상을 삽입하기 위해서는 거울이 열려야 한다면, 그 시간에 거울이 열려 있는 픽셀 값 중에서 175에 가장 근사한 값(176 혹은 174)으로 대체한다. 그러나 픽셀 값을 조절하는 것은 색상이나 명암의 대비(contrast)를 크게 감소시킬 수도 있다. 더구나, 아주 짧은 시간동안 프로젝션 되는 패턴 영상을 관찰하기 위해서 카메라 셔터를 정교하게 컨트롤해야 한다. 이외에도 다양한 방법들이 제안되고 있으나^[16,17,18], 대부분 적외선 프로젝터와 같은 특수한 장비를 필요로 하거나 프로젝터를 특수한 목적으로 개조해야 하거나 프로젝션 영상 정보를 왜곡하는 등의 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 부가적인 장비 없이 간단한 픽셀 연산을 통해 프로젝터 입력 영상에 패턴 영상을 비가시적으로 삽입하는 방법을 제안한다^[19]. 패턴 영상은 프로젝터 입력 영상에 삽입되어 함께 프로젝션 되기 때문에 프로젝터 입력 영상의 프로젝션 속도에 영향을 주지 않으며, 비가시적으로 삽입되기 때문에 사용자의 몰입감에도 영향을 주지 않는다. 따라서 프로젝션 시스템이 움

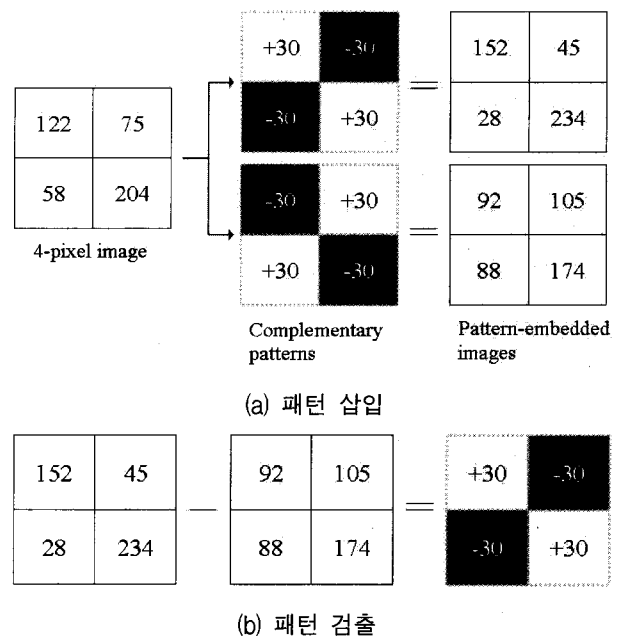


그림 4. 4-픽셀 그레이 영상에서의 패턴 영상의 삽입 및 검출 예

Fig. 4. Example of embedding and detecting a pattern image in a 4-pixel 1-channel image.

직이거나 동영상을 프로젝션하는 상황에 대해서 효과적으로 적용할 수 있다(보정은 II장에서 설명된 방법을 그대로 사용하여 이루어진다).

그림 4에서 보는 것처럼, 연속된 프로젝터 입력 영상의 픽셀 값을 더하거나 빼줌으로써, 패턴 영상과 보색 패턴 영상이 삽입된다. 패턴 영상 및 보색 패턴 영상이 삽입된 프로젝터 입력 영상을 일정한 속도(75Hz) 이상으로 프로젝션하게 되면, 패턴 영상과 보색 패턴 영상은 서로 상쇄되어 보이지 않는다. 단, 프로젝션 속도와 동기화된 카메라를 이용하여 패턴 영상을 검출할 수 있다.

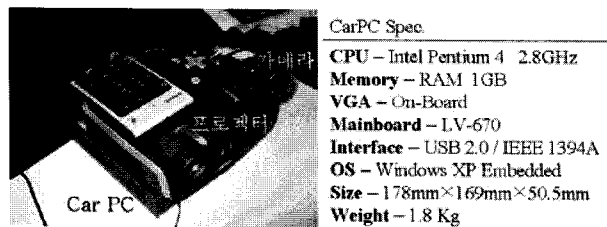
프로젝터의 동적 영역(dynamic range)가 제한되어 있기 때문에, 픽셀 값의 증감에 의해 오버플로우(overflow)나 언더플로우(underflow)가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 프로젝터 입력 영상의 픽셀 값들은 미리 압축된다. 이 과정에서 발생하는 색상이나 명암의 대비 감소를 완화하기 위해 프로젝터 입력 영상의 색상이나 공간 주파수 등을 분석하여 부분적으로 다른 크기로 픽셀 값을 압축할 수 있다^[20].

삽입되는 패턴 영상의 세기는 패턴 영상의 비가시성(invisibility or imperceptibility)이나 패턴 영상의 검출 성능에 영향을 준다. 그림 9에서 보는 것처럼 패턴 영상의 비가시성과 패턴 영상의 검출 성능은 상충 관계에 있으므로, 적절한 세기(그림 9에서 보는 것처럼, 30 정

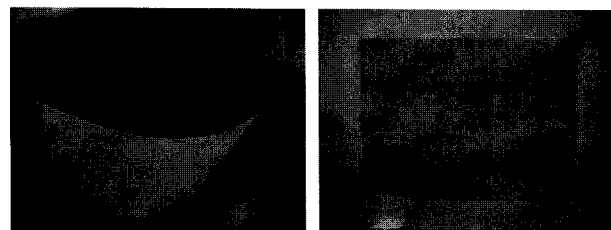
도가 바람직함)의 패턴 영상을 삽입함으로써 패턴 영상의 비가시성과 검출 성능을 모두 만족할 수 있어야 한다. 또한, 패턴 영상의 비가시성은 패턴 영상이 삽입되는 채널의 종류에 따라라도 달라질 수 있는데, 일반적으로 색상 채널, 특히 YIQ 색상 공간에서의 Q 채널에 패턴 영상을 삽입함으로써 패턴 영상의 비가시성을 개선할 수 있다. 보다 최적화된 방법으로, 프로젝터 입력 영상의 색상이나 공간 주파수 등을 분석하여 부분적으로 패턴 영상을 삽입하는 세기나 채널을 다르게 하는 방법도 제안되었다^[21].

제안된 방법을 검증하기 위해 그림 5-(a)에서 보는 것과 같은 CarPC와 프로젝터(HP MP-2210), 카메라(Prosilica EC 655C), 키패드로 구성된 휴대형 지능형 프로젝션 시스템을 제작하였다. 이는 시스템 성능을 고려한 구성으로 휴대성을 높이기 위해서 PDA 기반의 시스템을 구성할 수도 있다^[22]. 그림 5-(b)는 실험에서 사용된 복잡한 색상 분포를 가지는 곡면 스크린을 보여준다.

실험에서 사용된 휴대형 프로젝션 시스템은 60Hz(일반적인 프로젝터의 속도)에서 동작하며 640×480의 해상도를 가진다. 프로젝터로 들어가는 비디오 신호 중에 V-Sync 신호를 카메라의 외부 트리거 신호로 사용함으로써, 프로젝터와 카메라 사이의 동기를 맞추어 준다. 프로젝션 속도로 인해 패턴 영상과 보색 패턴 영상은 완전히 상쇄되어 보이지 않고 약간의 깜박거림이 보인다. 이러한 깜박거림은 패턴의 세기를 서서히 변화시키



(a) 실험에서 사용된 휴대형 프로젝션 시스템



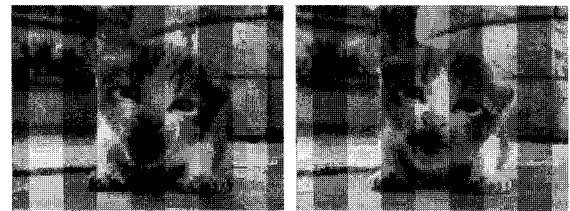
(b) 실험에서 사용된 스크린, 크기: 112cm × 82cm

그림 5. 실험에서 사용된 프로젝션 시스템과 스크린
Fig. 5. Experimental setup. A portable projection system and screen.

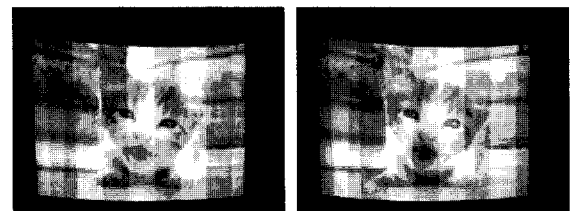
면서(fade-in, fade-out) 삽입하거나^[23], 프로젝터 입력 영상의 색상이나 공간 주파수 등을 분석하여 부분적으로 패턴 영상을 삽입하는 세기나 채널을 다르게 함으로써^[21] 줄일 수 있다.

그림 6은 프로젝터 입력 영상에 이전 패턴 영상을 삽입하고 검출하는 예를 보여준다. 그림 6-(c)에서 보는 것처럼 사용자에게는 패턴 영상이 보이지 않지만, 프로젝터와 동기화된 카메라 영상으로부터 그림 6-(d)와 같이 패턴 영상을 검출할 수 있다. 검출된 패턴 영상으로부터 II장에서 설명한 것처럼 프로젝터, 카메라, 스크린 사이의 기하 관계를 계산할 수 있으며, 이로부터 왜곡된 프로젝션의 형태나 색상을 보정할 수 있다. 그림 7은 비가시적인 패턴 영상을 이용하여 프로젝션의 형태 및 색상 왜곡을 보정한 결과 영상을 보여준다.

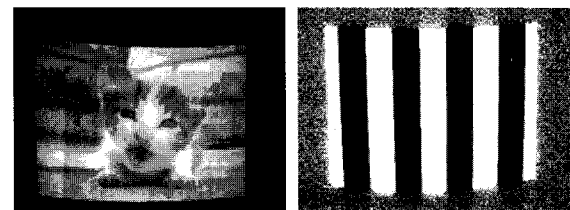
그림 8-(a)에서 보는 것처럼, 프로젝션 시스템은 시간



(a) 패턴이 삽입된 프로젝터 입력 영상



(b) 프로젝터와 동기화된 카메라 영상



(c) 사용자에게 보이는 영상 (d) 검출된 패턴 영상

그림 6. 보색 패턴 삽입 및 검출

Fig. 6. Results of embedding and detecting a binary code pattern. (a) projector input image in which a code pattern is embedded and its complement; (b) images captured by a camera after projecting the projector input images of (a); (c) two images of (b) are computationally added to determine a visible image; (d) the code pattern image extracted from the camera images.

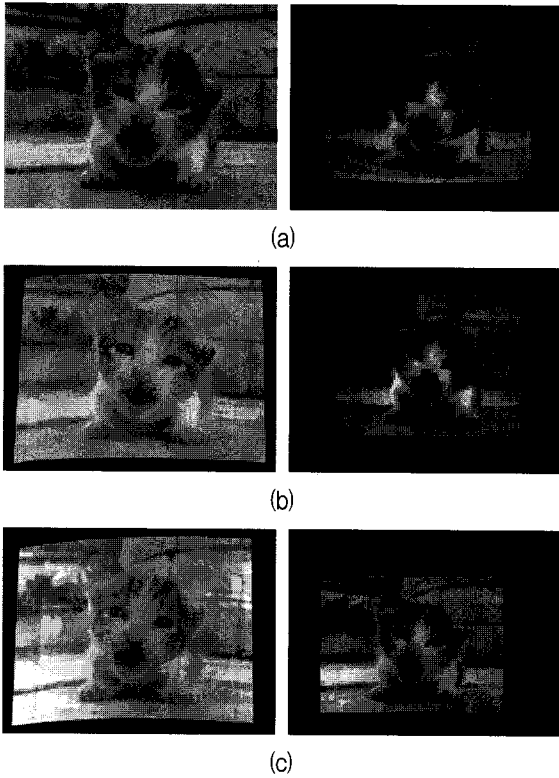
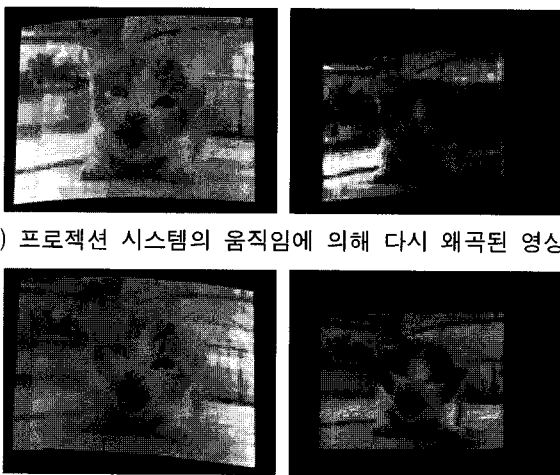


그림 7. 텍스처가 있는 스크린에서의 컬러 보정
 Fig. 7. Results of compensating the geometric and radiometric image distortion of the projection. (a) original image and its distorted projection image; (b) geometric compensation only; (c) radiometric compensation combined. The left images of (b) and (c) are the projector input images which are modified for geometric or radiometric compensation in advance.



(a) 프로젝션 시스템의 움직임에 의해 다시 왜곡된 영상
 (b) 기하, 컬러 보정을 위해 변형된 프로젝터 입력 영상 및 보정된 결과 영상
 그림 8. 프로젝션 시스템의 움직임에의 적응
 Fig. 8. Adaptation to the movement of the projection system. The projection image is re-distorted for a while, but the projection is adapted immediately.

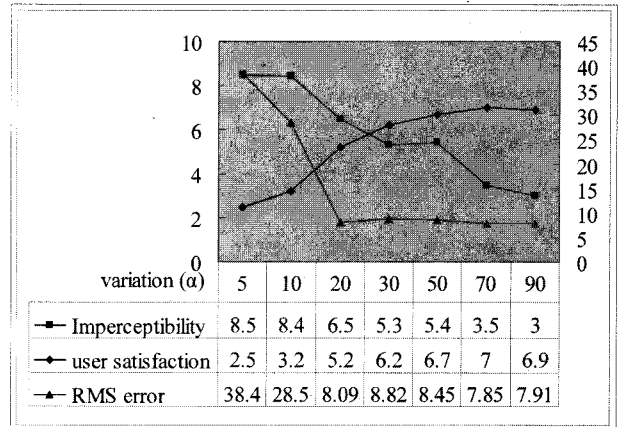


그림 9. 패턴 영상의 세기에 따른 패턴의 비가시성과 사용자 만족도 사이의 상충관계. 패턴의 세기가 클 경우, 눈에 잘 띄지만 보정 성능은 좋음. 반대로 패턴의 세기가 작을 경우, 패턴은 눈에 띄지 않지만 보정 성능은 크게 떨어짐

Fig. 9. Trade-off relation between imperceptibility of embedded pattern images and level of user satisfaction (or RMS error) of geometric and radiometric compensation results according to the magnitude of the variation of the input image pixels for pattern embedding. If the magnitude of the variation of the pixels is larger, embedded pattern images are more perceptible but geometric and radiometric compensation is more robust and users are more satisfied (RMS error is small). Conversely, if the magnitude of the variation of the pixels is smaller, embedded pattern images are less perceptible, but it is vulnerable to noise and the degree of satisfaction drops (RMS error is large).

적으로 움직이기 때문에 이전에 계산된 보정 영상을 프로젝션 하더라도 다시 형태나 색상 왜곡이 발생한다. 그러나 왜곡된 영상 속에는 패턴 영상들이 삽입되어 있으므로, 이로부터 다시 프로젝터 입력 영상을 보정할 수 있으며, 그림 8-(b)에서 보는 것처럼, 실시간으로 재보정된다.

본 논문에서는 동영상에 대한 실험은 제공하지 않는다. 그러나 동영상일 경우 프로젝션 영상의 형태 왜곡은 일어나지 않으며, 색상 왜곡만 발생한다. 따라서, 동영상을 프로젝션 하는 것은 프로젝션 시스템이 움직이는 상황의 하위 문제로 동일하게 해결될 수 있다.

삽입되는 패턴 영상의 세기에 따른 패턴 영상의 비가시성 및 보정 결과 영상에 대한 사용자 만족도를 분석하기 위해 사용자 평가를 실시하였다. 10 명의 대학생에게 패턴 영상의 비가시성과 보정 결과 영상에 대한

만족도를 10점 만점으로 평가하도록 하였다. 또한, 보정 결과 영상의 정량적인 분석을 위해 RMS 오차를 측정하였다. 보정 결과 영상의 RMS 오차는 다음과 같이 계산된다.

$$error = \sqrt{\frac{\{\bar{I}_R - \hat{I}_R\}^2 + \{\bar{I}_G - \hat{I}_G\}^2 + \{\bar{I}_B - \hat{I}_B\}^2}{3}} \quad (8)$$

여기서, \bar{I} , \hat{I} 는 목표 영상, 보정 결과 영상을 의미한다. 그림 9는 삽입된 패턴 영상의 세기에 따른 패턴 영상의 비가시성 및 보정 결과 영상에 대한 사용자 만족도, 보정 결과 영상의 RMS 오차의 변화를 보여준다.

삽입된 패턴 영상의 세기가 약할 경우, 비가시성 면에서는 좋지만 삽입된 패턴의 검출이 어렵기 때문에 보정 결과 영상의 RMS 오차가 크게 증가하고, 사용자의 만족도가 크게 떨어진다. 반면, 삽입된 패턴 영상의 세기가 강할 경우, 패턴 검출이 용이하여 보정 결과 영상의 RMS 오차가 크게 감소하고 사용자의 만족도가 크게 증가하지만, 삽입된 패턴 영상이 눈에 띄게 되기 때문에 사용자의 몰입감을 크게 떨어뜨릴 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 지능형 프로젝션 시스템들의 적용 범위를 크게 제약해 왔던 두 가지 대표적인 환경의 예를 열거하고, 각각에 대한 효과적인 해결책 및 실험 결과를 제공하였다. 또한, 사용자분석을 통해 사용자 관점에서 제안된 방법들의 효용성을 검증하였다. 본 논문에서 논의한 환경은 대부분 동적인 환경과 관련된 것으로, 최근 프로젝터의 기능으로 휴대성을 강조하는 추세를 감안한다면, 동적인 환경에서 동작하는 휴대형 지능형 프로젝션 시스템을 제안함으로써, 프로젝션 시스템의 응용 범위를 크게 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 서론에서 언급한 것처럼 본 논문에서 논의된 환경을 동시에 고려하기 위해서는 제안된 기술들을 단순히 조합하는 것으로는 불가능하며, 새로운 모델 및 기술이 개발되어야 한다. 결국, 지극히 일반적인 환경에서 동작할 수 있는 프로젝션 시스템을 개발하는 것은 여전히 숙제로 남아 있다.

참 고 문 헌

[1] H. Park, M.-H. Lee, S.-J. Kim, and J.-I. Park, "Surface-independent direct-projected augmented

reality," *Lecture Notes in Computer Science* 3852, pp.892-901, 2006.

- [2] H. Park and J.-I. Park, "Modern approaches to direct-projected augmented reality: a review," *Proc. of ISUVR'06*, pp.15-18, Yanji City, China, July 2006.
- [3] O. Bimber and R. Raskar, "Spatial augmented reality: a modern approach to augmented reality," *SIGGRAPH'05 Course Notes*, 2005.
- [4] Projector-related papers. Available at: <http://www.cs.unc.edu/~raskar/Projector/projbib.html>
- [5] O. Bimber, F. Coriand, A. Kleppe, E. Bruns, S. Zollmann, and T. Langlotz, "Superimposing pictorial artwork with projected imagery," *IEEE Multimedia*, pp.16-26, 2005.
- [6] A. Rajj, G. Gill, A. Majumder, H. Towles, and H. Fuchs, "PixelFlex2: a comprehensive, automatic, casually-aligned multi-projector display," *Proc. of PROCAMS'03*, 2003.
- [7] T. Mitsunaga and S.K. Nayar, "Radiometric self calibration," *Proc. of CVPR'99*, pp.374-380, 1999.
- [8] 이문현, 박한훈, 서병국, 박종일, 정문식, 박태서, 이영범, 김상룡, "지능형 프로젝션 시스템에서의 조명 환경 적응," *광정보처리기술워크샵 논문집*, pp.73-76, 2006년 8월
- [9] K. Fujii, M.D. Grossberg, and S.K. Nayar, "A projector-camera system with real-time photometric adaptation for dynamic environments," *Proc. of CVPR'05*, pp.814-821, 2005.
- [10] H. Park, M.-H. Lee, S.-J. Kim, and J.-I. Park, "Specularity-free projection on nonplanar surface," *Lecture Notes in Computer Science* 3767, pp.606-616, 2005.
- [11] H. Park, M.-H. Lee, B.-K. Seo, H.-C. Shin, and J.-I. Park, "Radiometrically-compensated projection onto non-Lambertian surface using multiple overlapping projectors," *Lecture Notes in Computer Science* 4319, pp.534-544, 2006.
- [12] R. Yang and G. Welch, "Automatic projector display surface estimation using every-day imagery," *Proc. of WSCG'01*, 2001.
- [13] R. Raskar, 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," *Proc. of SIGGRAPH'98*, 1998.
- [14] D. Cotting, M. Naef, M. Gross, and H. Fuchs, "Embedding imperceptible patterns into projected images for simultaneous acquisition and display," *Proc. of ISMAR'04*, 2004.
- [15] DMD discovery kit. Available at: <http://www.dmddiscovery.com>

- [16] Y. Yasumuro, M. Imura, Y. Manabe, O. Oshiro, and K. Chihara, "Projection-based augmented reality with automated shape scanning," Proc. of SPIE EI'05, 2005.
- [17] J.C. Lee, S.E. Hudson, J.W. Summet, and P.H. Dietz, "Moveable interactive projected displays using projector based tracking," Proc. of UIST'05, pp.63-72, 2005.
- [18] J. Summet and R. Sukthakar, "Tracking locations of moving hand-held displays using projected light," Proc. of Pervasive'05, pp.37-46, 2005.
- [19] H. Park, M.-H. Lee, B.-K. Seo, and J.-I. Park, "Undistorted projection onto dynamic surface," Lecture Notes in Computer Science. 4319, pp.582-590, 2006.
- [20] D. Wang, I. Sato, T. Okabe, and Y. Sato, "Radiometric compensation in a projector-camera system based on the properties of human vision system," Proc. of PROCAMS'05, 2005.
- [21] 박한훈, 이문현, 서병국, 진윤중, 박종일, "비간섭 프로젝션 기반 증강현실을 위한 콘텐츠 적응형 보색 패턴 삽입 기술," HCI 2007 논문집, 강원도, 2007년 2월
- [22] 오지현, 이문현, 박한훈, 김재수, 박종일, "휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 디스플레이 시스템," 방송공학회 추계학술대회 논문집, pp.265-288, 서울, 2006년 11월
- [23] O. Bimber, A. Grundhöfer, S. Zollmann, and D. Kolster, "Digital illumination for augmented studios," J. of Virtual Reality and Broadcasting, 2006.

 저 자 소 개



박 한 훈(학생회원)

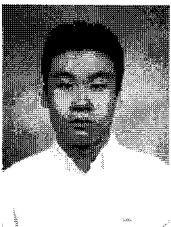
2000년 한양대학교 전자통신전파 공학과 학사 졸업.
 2002년 한양대학교 전자통신전파 공학과 석사 졸업.
 2007년 현재 한양대학교 전자통신 전파공학과 박사과정.

<주관심분야 : 가상현실, 증강현실, HCI, 3차원 영상처리>



서 병 국(학생회원)

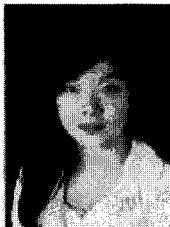
2006년 한양대학교 전자전기 컴퓨터공학과 학사 졸업.
 2007년 현재 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학과 석사과정.
 <주관심분야 : 증강현실, HCI>



진 윤 중(학생회원)

2006년 동국대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
 2007년 현재 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학과 석사과정.

<주관심분야 : 증강현실, HCI>



오 지 현(학생회원)

2006년 한성대학교 정보시스템 공학과 학사 졸업.
 2007년 현재 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학과 석사과정.

<주관심분야 : 증강현실, HCI>



박 종 일(정회원)

1987년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1989년 서울대학교 전자공학과 석사 졸업.
 1995년 서울대학교 전자공학과 박사 졸업.
 1992년~1994년 일본 NHK방송기술연구소 객원연구원.
 1995년~1996년 한국방송개발원 선임연구원
 1996년~1999년 일본 ATR지능영상통신연구소 연구원

1999년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수

<주관심분야 : 가상현실, 증강현실, HCI, 3차원 영상처리, 컴퓨터그래픽스/비전>