
비간섭 프로젝션 기반 증강현실을 위한 콘텐츠 적응형 패턴 은닉

Content Adaptive Pattern Concealment for Nonintrusive Projection-based AR

박한훈, Hanhoon Park*, 이문현, Moon-Hyun Lee**, 서병국, Byung-Kuk Seo**

진윤중, Yoonjong Jin**, 박종일, Jong-Il Park***

요약 최근 보색 패턴(complementary pattern)을 이용한 비간섭 프로젝션 기반 증강현실 기술이 제안되었으며, 가상 스튜디오에 활용하는 방안이 모색되고 있다. 그러나, 관련 기술은 삽입된 보색 패턴의 비가시성과 보정 성능과 상충된다는 문제를 안고 있다. 본 논문에서는 이러한 보색 패턴의 비가시성과 보정 성능 사이의 상충관계를 완화하기 위해 콘텐츠 적응형 패턴 은닉 기술을 제안한다. 증강현실 영상의 색감 및 텍스처의 복잡도에 따라 지역적으로(locally) 다른 채널 및 세기로 보색 패턴을 삽입한다. 우선, YIQ 컬러 공간에서 표현된 증강현실 영상을 균일한 크기의 영역으로 나눈 다음, 각 영역에 대해 I 성분이 지배적이면 Q 채널에 패턴을 삽입하고 Q 성분이 지배적이면 I 채널에 패턴을 삽입한다. 또한, 각 영역에 대해 미분 필터를 이용하여 텍스처의 복잡도를 계산한 후, 텍스처의 복잡도가 크다면 강한 패턴을, 복잡도가 작으면 약한 패턴을 삽입한다. 다양한 실험 및 사용자 평가를 통해, 제안된 방법은 기존 방법에 비해 크게 두 가지 상반되는 장점을 가짐을 확인하였다. 스크린의 기하 및 컬러 정보를 획득하는 성능 면에서 제안된 방법이 기존의 방법과 유사하도록 채널 및 패턴의 세기를 결정한다면, 기존의 방법에 비해 패턴의 비가시성이 크게 개선된다. 반대로, 제안된 방법의 패턴의 비가시성이 기존의 방법과 유사하도록 채널 및 패턴의 세기를 결정한다면, 기존의 방법에 비해 스크린의 기하 및 컬러 정보를 획득하는 성능이 크게 개선된다.

Abstract A nonintrusive projection-based AR approach using complementary pattern has been recently proposed and applied to virtual studio. However, the approach faces the tradeoff between the pattern imperceptibility and compensation accuracy. To alleviate the tradeoff, we propose a content adaptive pattern concealment approach. The projector input images (AR images) are divided into rectangular regions and spatial variation and color distribution are computed in the regions. Based on the spatial variation and color distribution, we embed locally different strength of pattern images into different color channels. It is demonstrated that the proposed approach has two opposite advantages by comparing it with the previous (non-adaptive) approach through a variety of experiments and subjective evaluation. Our content adaptive approach can obtain the same performance using weaker pattern than the previous approach and thus significantly improve the imperceptibility of the pattern. On the contrary, our content adaptive approach can make strong pattern less perceptible and thus produce better compensation results.

핵심어: *Nonintrusive projection-based AR, complementary pattern, content adaptive, pattern concealment*

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(02-PJ3-PG6-EV04-0003).

*주저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 박사과정

**공동저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 석사과정

***교신저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수; e-mail: jipark@hanyang.ac.kr

1. 서론

프로젝션 기반 증강현실이란 프로젝터-카메라 시스템을 기반으로 임의의 환경에서 임의의 모양과 컬러를 가지는 스크린에 원하는 증강현실 영상을 왜곡없이 디스플레이 해 주는 기술을 말한다. 프로젝트 기반 증강현실을 구현하기 위해서는 기본적으로 스크린의 기하(geometry) 및 컬러(photometry) 정보 등을 획득하는 과정이 선행되어야 하는데, 이는 프로젝터를 이용하여 정해진 패턴 영상을 투사하고 이를 카메라로 캡처한 후, 카메라 영상에 다양한 컴퓨터비전 기술을 적용함으로써 행해진다[1]. 이처럼 스크린의 기하 및 컬러 정보를 획득하는 과정은 가시적인(visible) 패턴 영상을 필요로 한다는 점에서 사용자의 몰입감을 저해할 수 있다. 특히, 시스템이 움직이거나 스크린의 기하 및 컬러 정보가 수시로 변하는 환경에서 가시적인 패턴 영상을 사용하여 스크린의 기하 및 컬러 정보를 획득하는 기술은 유용하지 못하다[2]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 패턴 영상을 고속으로 혹은 비가시적(invisible)으로 투사하는 기술들이 제안되었다. 본 논문에서는 관련 기술들을 비간섭 프로젝트 기반 증강현실이라고 한다.

Raskar 등은 DLP 프로젝터의 비트 평면(bit plane) 별로 영상을 투사하는 특성을 이용하여 24개의 비트 평면 중에서 2개의 비트 평면에 이진(binary) 패턴 영상과 역(complement or inverse) 패턴 영상을 교대로 삽입하는 방법을 제안하였다[3]. 삽입된 패턴은 사용자에게는 보이지 않지만, 각 비트 평면의 지속 시간(duration)의 역수 만큼의 속도(1000Hz 이상)를 가지고 각 비트 평면의 투사와 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 측정한 후, 이진 패턴 영상을 삽입하기 위해 아주 짧은 시간 동안의 거울 개폐를 조절하는 방법을 제안하였다[4]. 그들은 거울 개폐를 조절하기 위해 DMD discovery kit[5]를 사용하지 않고, 픽셀 값을 조절하였다. 예를 들어, 어떤 위치의 픽셀 값이 a 일 때, DMD는 패턴 영상이 삽입되는 시간에 a 값을 표현하기 위해서 거울을 단지만, 패턴 영상을 삽입하기 위해서는 거울이 열려야 한다면, 그 시간에 거울이 열려 있는 픽셀 값 중에서 a 와 가장 근사한 값($a-1$ 혹은 $a+1$)으로 대체한다. 그러나, 픽셀 값을 조절하는 것은 색상이나 명암의 대비(contrast)를 크게 감소시킬 수도 있다. 더구나, 아주 짧은 시간 동안 투사되는 패턴 영상을 관찰하기 위해서 카메라 셔터를 정교하게 컨트롤해야 한다. 이외에도 다양한 방법들이 제안되고 있으나[6-8], 대부분 적외선 프로젝터와 같은 특수한 장비를 필요로 하거나 프로젝터를 특수한 목적으로 개조해야 하거나 증강현실 영상 정보를 왜곡하는 등의 문제점을 가지고 있다.

Park 등은 부가적인 장비 없이 간단한 픽셀 연산을 통해 증강현실 영상에 패턴 영상을 비가시적으로 삽입하는 방법을 제안하였다[2]. 그들은 연속된 증강현실 영상의 픽셀 값에 일정한 컬러 혹은 밝기 값을 더하거나 빼줌으로써, 패턴 영상과 역 패턴 영상을 삽입하였다. 패턴 영상 및 역 패턴 영상이 삽입된 증강현실 영상을 일정한 속도(75Hz[9]) 이상으로 투사할 경우, 패턴 영상과 역 패턴 영상은 서로 상쇄되어 보이지 않지만, 프로젝터와 동기화된 카메라를 이용하여 검출된다. 그러나, 프로젝터의 속도가 충분히 빠르지 않으면 패턴 영상과 역 패턴 영상은 완전히 상쇄되지 못하고, 깜박거림이 발생한다. 이를 해결하기 위해 Bimber 등은 여러 장의 증강현실 영상에 패턴 영상을 페이드 인/아웃(fade in/out)이 되도록 삽입하였다[10]. 그러나, 이는 시스템의 디스플레이 속도를 크게 저하시키는 문제를 안고 있다. 프로젝터의 속도와 관련된 문제는 본 논문에서는 더 이상 다루지 않는다.

프로젝터의 속도와는 별도의 문제로, 삽입된 패턴 영상의 세기가 클 경우에도 패턴 영상의 비가시성은 크게 떨어진다. 그러나, 삽입된 패턴 영상의 비가시성과 보정 성능 사이는 상충관계(trade-off)를 가지기 때문에, 비가시성을 보장하기 위해 단순히 패턴 영상의 세기를 감소시킬 경우, 시스템 성능을 크게 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 증강현실 영상을 분석하여 지역적으로(locally) 패턴 영상의 세기를 조절함으로써, 주관적인 시스템의 성능은 저하시키지 않으면서, 패턴 영상의 비가시성은 크게 개선할 수 있는 방법을 제안한다.

증강현실 영상의 색감 및 텍스처의 복잡도에 따라 지역적으로 다른 채널 및 세기로 패턴 영상 및 역 패턴 영상을 삽입한다. 우선, YIQ 컬러 공간에서 표현된 증강현실 영상을 균일한 크기의 영역으로 나눈 다음, 각 영역에 대해 I 성분이 지배적이면 Q 채널에 패턴 영상을 삽입하고 Q 성분이 지배적이면 I 채널에 패턴 영상을 삽입한다. 또한, 각 영역에 대해 텍스처의 복잡도가 크다면 강한 패턴 영상을, 복잡도가 작으면 약한 패턴 영상을 삽입한다. 여기서, 텍스처의 복잡도는 간단한 미분 필터(derivative filter)를 이용하여 계산된다. 따라서, 텍스처의 복잡도가 큰 영역에 삽입된 강한 패턴 영상은 시스템 성능을 보장하면서도 복잡한 텍스처로 인해 눈에 잘 띄지 않고, 텍스처의 복잡도가 약한 영역에 삽입된 약한 패턴은 눈에 거의 띄지 않으면서도 텍스처의 복잡도가 약하기 때문에 약한 패턴에 의한 시스템의 성능 저하는 눈에 띄지 않는다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 보색 패턴을 이용한 비간섭 증강현실에 대해서 간략히 설명하고, 3장에서는 보색 패턴의 비가시성을 개선하기 위한 컨트라스트 적응형 패턴 삽입 기술에 대해서 설명한다. 4장에서는 제안된 방법의 유

용성을 검증하기 위해 다양한 실험 결과 및 사용자 평가를 제시하고, 5장에서는 결론 및 추후 과제에 대해서 논의한다.

2. 보색 패턴을 이용한 비간섭 증강현실

비간섭 증강현실이란 앞에서 설명한 것처럼 사용자가 증강현실 영상을 관찰하는 동안 사용자의 시계를 방해하지 않고, 지속적으로 보정된 영상을 제공해 주는 기술을 말한다. 이를 위해서는 보정을 위해 필요한 패턴 영상을 비가시적으로만 들어야 하는데, 본 논문에서는 보색 패턴을 사용한다.

보색 패턴(complementary patterns)이란 그림 1-(a)에서 보는 것처럼 증강현실 영상에 패턴 영상을 비가시적으로 삽입하기 위해 증강현실 영상의 픽셀 값에 일정한 컬러 혹은 밝기 값을 더하고 빼줌으로써 생성되는 패턴 영상과 역 패턴 영상의 쌍을 말한다.

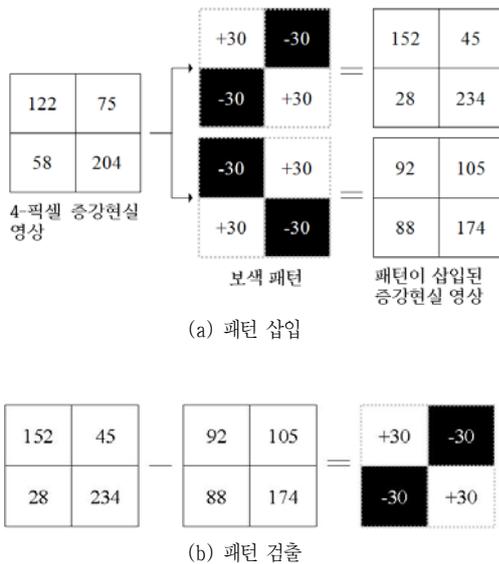


그림 1. 4-픽셀 그레이 영상에서의 패턴 영상의 삽입 및 검출 예.

보색 패턴을 삽입할 때, 프로젝터의 동적 영역(dynamic range)이 제한되어 있기 때문에, 픽셀 값의 증가에 의해 오버플로우(overflow)나 언더플로우(underflow)가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 증강현실 영상의 픽셀 값 범위를 미리 압축한다. 즉, 패턴의 크기가 p 일 경우, 미리 픽셀 값 범위를 $p \sim 255 - p$ 로 압축한다. 이 과정에서 발생하는 색상이나 명암의 대비 감소를 완화하기 위해 증강현실 영상의 색상이나 공간 주파수 등을 분석하여 부분적으로 다른 크기로 픽셀 값의 범위를 압축할 수 있다[11].

그림 1-(a)와 같은 원리로 삽입된 패턴 영상은 그림 1-(b)에서 보는 것처럼, 프로젝터와 동기화된 카메라의 연속된 영상의 차에 의해 쉽게 검출될 수 있으며, 검출된 패턴 영상을 이용하여 투사된 증강현실 영상의 왜곡을 보정한다.

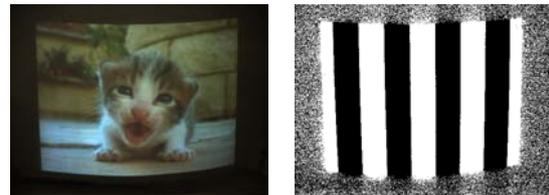
그림 2-(a)의 보색 패턴이 삽입된 증강현실 영상을 고속으로 투사할 경우, 그림 2-(b)의 투사된 패턴 영상과 역 패턴 영상의 합은 이론적으로 0이 되기 때문에 그림 2-(c)에서 보는 것처럼, 눈에 띄지 않고 증강현실 영상만 투사되는 것처럼 보인다. 하지만, 그림 2-(d)에서 보는 것처럼, 프로젝터와 동기화된 카메라 영상으로부터 삽입되어 있는 패턴 영상을 검출할 수 있다.



(a) 보색 패턴 영상이 삽입된 증강현실 영상



(b) 프로젝터와 동기화된 카메라 영상



(c) 사용자에게 보이는 영상 (d) 검출된 패턴 영상

그림 2. 실(real) 영상에 기하 보정을 위한 보색 패턴 삽입 및 검출. 컬러 보정을 위한 패턴 영상은 영상 전체에 걸쳐 특정 채널에 일정한 값을 가진 것으로, 동일한 과정을 거쳐서 삽입, 검출된다.

그림 2-(b)에서 보는 것처럼, 임의의 스크린에 투사된 증강현실 영상은 흔히 기하 왜곡과 컬러 왜곡을 포함한다. 이를 보정하는 기술을 기하 보정, 컬러 보정이라고 하는데, 이에 대해 간략히 설명한다. 보다 자세한 설명에 대해서는 [1]을 참조하기 바란다.

기하 보정: 스크린이 평면이 아니거나 사용자의 시점이 스크린의 법선 상에 존재하지 않을 경우, 투사된 영상의 형태는 왜곡된다. 이러한 기하 왜곡은 증강현실 영상과 사용자 시점 영상 사이의 기하 변환 행렬을 계산한 후, 증강현실 영상에 변환 행렬의 역함수를 적용함으로써 보정될 수 있다[1]. 증강현실 영상과 사용자 시점 영상 사이의 기하 변환 행렬은 structured light 기술을 이용하여 스크린을 3 차원 메쉬(mesh)로 재구성한 후, 증강현실 영상과 사용자 시점 영상에서의 각 메쉬 사이의 homography에 의해 정의된다[1]. 사용자의 시점은 일반적으로 3 차원 추적 장치를 사용하거

나 스크린의 평균 법선 방향으로 일정한 거리에 떨어져 있다고 가정한다[1].

컬러 보정: 투사된 영상의 컬러는 스크린의 컬러(혹은 반사 특성), 주변 조명의 컬러, 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[12]. 카메라의 비선형성은 노출(exposure)값을 다르게 하여 촬영된 여러 장의 영상으로부터 계산된다[13]. 카메라와 프로젝터의 컬러 특성이 결정되면, 증강현실 영상의 컬러와 투사된 영상의 컬러 사이의 관계는 카메라와 프로젝터 각 컬러 채널 사이의 간섭, 스크린의 반사 특성, 주변 조명의 컬러 등에 의한 선형 방정식으로 정의된다[1]. 선형 방정식의 해는 $(R=v, G=0, B=0)$, $(R=0, G=v, B=0)$, $(R=0, G=0, B=v)$, $(R=0, G=0, B=0)$ 인 네 장의 영상을 투사한 후 카메라 영상에서의 R, G, B 크기 값으로부터 계산된다[1]. v 값은 사용자에 의해 결정된다. 모든 해가 구해지면 선형 방정식을 증강현실 영상에 대해 정리하여 변환함으로써, 투사된 영상의 색상을 원하는 색상으로 결정할 수 있다.

그림 3은 기하 및 컬러 왜곡을 보정한 예를 보여준다.

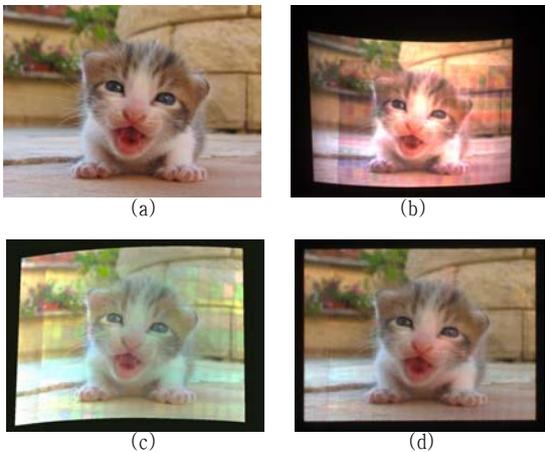


그림 3. 기하 및 컬러 왜곡을 보정한 결과. (a) 원 영상(목적 영상), (b) 원 영상을 투사한 왜곡 영상, (c) 보정 영상, (d) 보정 영상을 투사한 보정 결과 영상.

3. 콘텐츠 적응형 패턴 은닉

이 장에서는 콘텐츠 적응형 보색 패턴 삽입 및 검출하는 방법에 대해 설명한다. 보색 패턴을 삽입하는 원리는 2장에서 설명한 것과 같다. 단, 그림 4에서 보는 것처럼, 증강현실 영상을 $n \times n$ (n 은 증강현실 영상의 가로 길이나 세로 길이보다 작다.) 블록으로 나눈 후, 각 블록에 대해 컬러 분포 및 텍스처의 복잡도를 분석하여 보색 패턴은 지역적으로 다

른 세기를 가지고 다른 컬러 채널에 삽입된다. 여기서, 부가적인 텍스처 복잡도나 컬러 분포를 계산하는 과정이 포함됨으로써 발생할 수 있는 계산 속도 저하를 최소화하기 위해 텍스처 복잡도나 컬러 분포는 간단한 수식으로 표현된다.

우선, 각 영역에 대해 텍스처의 복잡도에 비례하는 세기를 가지는 패턴을 삽입한다. 결국, 텍스처의 복잡도가 큰 영역에 삽입된 강한 패턴 영상은 보정 성능을 보장하면서도 복잡한 텍스처로 인해 눈에 잘 띄지 않고, 텍스처의 복잡도가 약한 영역에 삽입된 약한 패턴은 눈에 거의 띄지 않으면서도 텍스처의 복잡도가 약하기 때문에 약한 패턴에 의한 시스템의 성능 저하는 눈에 띄지 않는다.

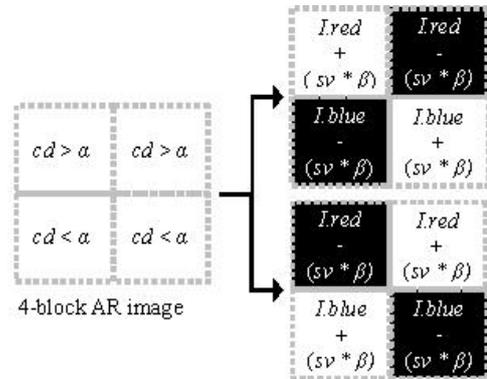


그림 4. 4-블록 증강현실 영상에서의 콘텐츠 적응형 패턴 삽입의 예. cd , sv 는 증강현실 영상의 컬러분포, 텍스처의 복잡도를 의미한다. a 와 β 는 사용자에 의해 정해지는 상수.

텍스처의 복잡도(sv)는 아래와 같은 1차원 미분 필터를 결합한 2차원 미분 필터를 이용하여 계산된다.

$$sv = \sqrt{F_h * I^2 + F_v * I^2}. \quad (1)$$

여기서, *는 공간 컨볼루션을 의미하고, F_h , F_v 는 수평, 수직 미분 필터를 의미한다. I 는 증강현실 영상을 의미한다. 미분값 계산을 위해 필터 커널 $[-1 \ 8 \ -1]$ 이 사용된다.

다음으로, 컬러 분포를 계산하기 위해 증강현실 영상의 컬러 공간을 다음과 같이 RGB에서 YIQ로 변환한다.

$$\begin{aligned} y &= 0.299r + 0.587g + 0.114b, \\ i &= 0.596r + 0.274g + 0.322b, \\ q &= 0.211r + 0.523g + 0.312b. \end{aligned} \quad (2)$$

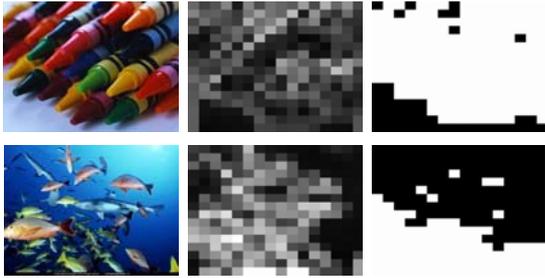
변환 식에서 보는 것처럼 i 값은 주로 r 값에 의해 결정되는 반면, q 값은 주로 g 값에 의해 결정된다. 그러므로, 증강현실 영상의 컬러 분포를 분석한 후, r 값이 많은 영역에서는 Q 채널에 패턴 영상을 삽입하고, g 값이 많은 영역에서는 I 채널에 패턴 영상을 삽입한다. 이는 사람의 눈이 지배적인(dominant) 컬러의 변화에는 민감하지만, 그렇지 못한 컬러의 변화에는 둔감하기 때문이다. 구체적으로, 증강현실 영상의 컬러 분포는 다음과 같이 계산된다.

$$cd = \text{sgn} \left(\frac{\sum_N r/N}{\sum_N g/N} - 1 \right). \quad (3)$$

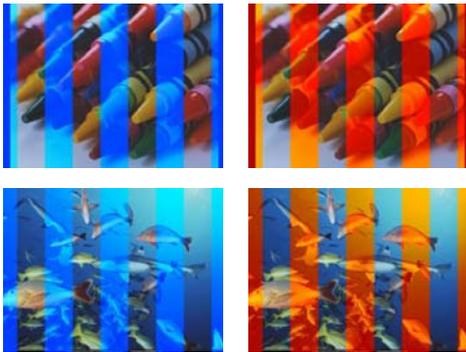
여기서,

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

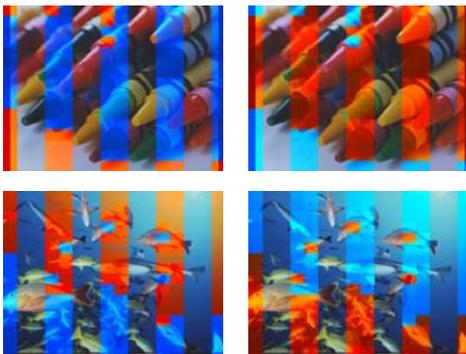
N 은 픽셀의 수를 의미한다.



(a) 원 영상, 미분 영상, 컬러 분포 영상



(b) 비적응형 보색 패턴 삽입



(c) 적응형 보색 패턴 삽입

그림 5. 실영상에 대한 콘텐츠 적응형 보색 패턴 삽입의 예. 패턴의 세기는 미분 값에 의해 결정된다. 삽입 채널은 컬러 분포에 의해 결정된다. 미분 영상은 0~255의 값을 가지고, 컬러 분포 영상은 0 혹은 1의 값을 가진다.

그림 5는 실 영상에 대한 콘텐츠 적응형 보색 패턴 삽입 예를 보여준다. 패턴이 삽입된 증강현실 영상을 투사했을 때, 그림 5-(c)에서 패턴의 비가시성이 우수하다.

삽입된 패턴 영상을 검출하는 방법은 2장에서 설명한 것과

동일하다. 그림 6은 콘텐츠 적응적으로 삽입된 패턴 영상을 검출한 예를 보여준다. 지역적으로 다른 세기 및 다른 컬러 채널에 삽입된 패턴 영상이 정확하게 검출될 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 콘텐츠 적응형 패턴 은닉 방법이 보정 성능에 영향을 주지 않음을 의미한다.

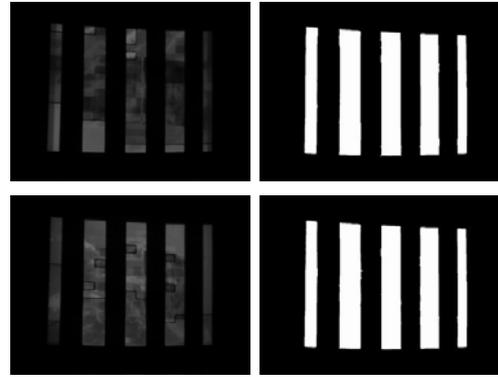


그림 6. 그림 5-(c)의 영상을 투사하여 카메라로 획득된 영상으로부터 패턴을 검출한 예.

4. 실험 결과 및 분석

그림 7은 본 논문에서 사용된 실험 환경을 보여준다. 프로젝터와 카메라는 프로젝터로 들어가는 VGA 신호에서 V-sync 신호를 카메라의 외부 트리거로 입력해 줌으로써 서로 동기화된다. 영상의 크기는 1024×768이다. 스크린은 곡면이며, 컬러 텍스처를 가진다. 카메라와 프로젝터의 프로젝션 행렬 및 비선형 응답 함수는 미리 계산되었다. 모든 처리는 실시간으로 이루어지며, 60Hz로 동작한다.

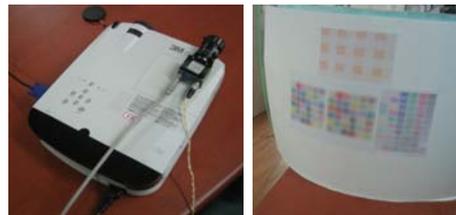
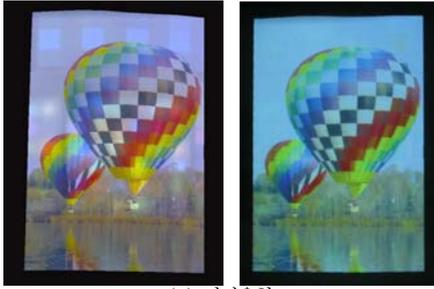


그림 7. 실험 환경.

그림 8은 동일한 환경 하에서 콘텐츠 적응형과 비적응형 보색 패턴 삽입 기술을 이용한 보정 결과를 보여준다. 전반적인 보정 성능에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 앞에서 설명한 것처럼, 콘텐츠 적응형 패턴 은닉 방법이 보정 성능에 영향을 주지 않음을 실증적으로 보여준다. 단, 콘텐츠 적응형 방법의 경우, 증강현실 영상의 텍스처 복잡도나 컬러 분포를 계산하는 과정이 포함되기 때문에, 계산 속도가 다소 떨어진다. 그러나, 증강현실 영상을 실시간으로 보정하는 데 영향을 줄 정도로 심각한 계산 속도 저하는 발생하지 않았다.



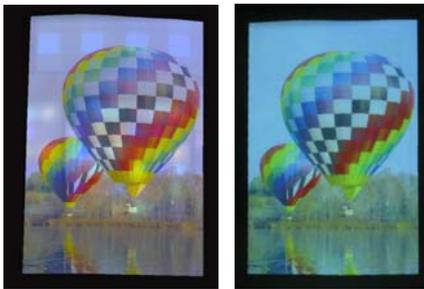
(a) 원 영상 및 왜곡된 프로젝션 영상



(b) 비적응형



(c) 컬러 분포에 적응형



(d) 텍스처 복잡도에 적응형

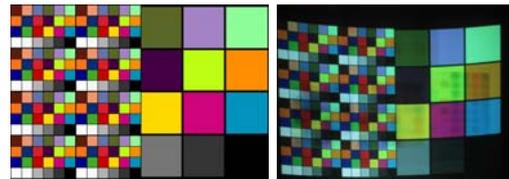


(e) 컬러 분포 및 텍스처 복잡도에 적응형

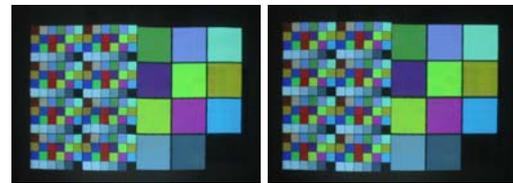
그림 8. 콘텐츠 적응형과 비적응형 보색 패턴 삽입 기술을 이용한 보정 결과. (b), (c), (d), (e)에서 좌측 영상은 미리 변형된 증강현실 영상, 우측 영상은 변형된 증강현실 영상을 투사함으로써 보정된 프로젝션 영상.

보정 성능의 차이를 확인하기 위해 그림 9에서 보는 것처럼 합성(synthetic) 영상을 이용한 실험을 수행하였다. 보정 성능을 줄이기 위해 패턴 세기를 크게 줄였다. 전반적으로, 패턴의 세기가 컸을 때보다 보정 성능이 떨어졌다. 그러나, 적응형의 경우, 텍스처가 복잡한 영역에서는 패턴의 세기가 충분히 크기 때문에, 비적응형에 비해 보정 성능이 뛰어났다. 일반적으로 텍스처의 복잡도가 높은 영역에서의 오차는 눈에 쉽게 띄기 때문에 이를 줄이는 것은 매우 중요하다.

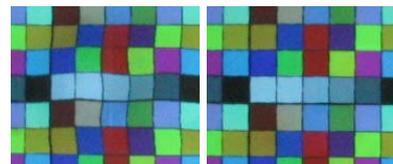
콘텐츠 적응형 보색 패턴 삽입 및 검출 방법의 유용성을 검증하기 위해 사용자 평가를 실시하였다. 14 명의 대학생들에게 콘텐츠 적응형 방법을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 보정 결과 및 패턴 영상의 비가시성에 대해 10점 만점으로 평가하도록 요구하였다. 그림 10은 사용자 평가 결과를 보여준다. 사용자들은 콘텐츠 적응형 방법을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 보정 결과에 대해서는 큰 이견이 없었지만, 콘텐츠 적응형 방법을 사용하지 않았을 때의 패턴 영상의 시각적 거슬림에 대해서 큰 불편을 느꼈다. 전반적으로, 콘텐츠 적응형 방법을 선호하는 것으로 평가된다.



(a) 원 영상 및 왜곡된 프로젝션 영상



(b) 보정 결과(비적응형) (c) 보정 결과(적응형)



(d) (b)와 (c)에서 텍스처가 복잡한 일부 영역을 확대한 영상

그림 9. 합성 영상을 이용한 콘텐츠 적응형과 비적응형 보색 패턴 삽입 기술을 이용한 보정 결과.

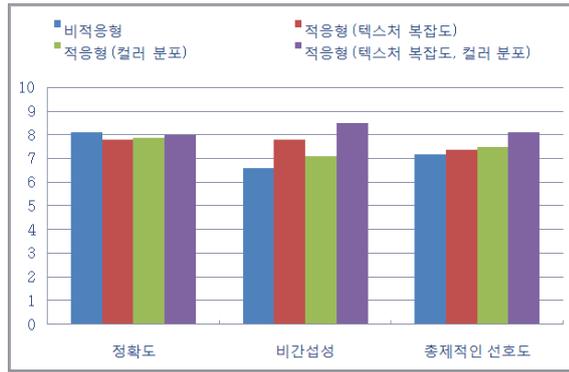


그림 10. 콘텐츠 적응형 보색 패턴 삽입을 사용했을 때의 보정 결과 및 패턴 영상의 비가시성에 대한 사용자 평가 결과.

5. 결론

본 논문에서는 콘텐츠 적응형 패턴 은닉 기술을 제안하고, 실험 및 사용자 평가를 통해 기존의 비적응형 방법에 비해 패턴의 비가시성 및 영상 보정 성능이 우수함을 증명하였다.

추후 과제로, 콘텐츠 적응형 패턴 은닉 기술의 성능을 정량적으로 검증하는 것이 필요하다.

증강현실 영상의 텍스처 복잡도나 컬러 분포를 계산하기 위해 사용되는 블록의 크기는 삽입된 패턴의 가시성 및 영상 보정 결과에 영향을 준다. 따라서, 블록의 크기 역시 증강현실 영상의 정보에 따라 지역적으로 다르게 하는 것이 효과적이다.

참고문헌

- [1] H. Park, M.-H. Lee, S.-J. Kim, and J.-I. Park, "Surface-Independent Direct-Projected Augmented Reality," LNCS 3852, pp.892-901, 2006.
- [2] H. Park, M.-H. Lee, B.-K. Seo, and J.-I. Park, "Undistorted Projection onto Dynamic Surface," LNCS 4319, pp.582-590, Dec. 2006.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] DMD discovery kit. Available at: <http://www.dmdiscovery.com>
- [6] 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.

- [7] 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.
- [8] J. Summet and R. Sukthankar, "Tracking Locations of Moving Hand-Held Displays Using Projected Light," Proc. of Pervasive'05, pp.37-46, 2005.
- [9] A. B. Watson, "Temporal Sensitivity," Handbook of Perception and Human Performance, 1986.
- [10] O. Bimber, A. Grundhöfer, S. Zollmann, and D. Kolster, "Digital Illumination for Augmented Studios," J. of Virtual Reality and Broadcasting, 2006.
- [11] 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.
- [12] A. Raij, G. Gill, A. Majumder, H. Towles, and H. Fuchs, "PixelFlex2: A Comprehensive, Automatic, Casually-Aligned Multi-Projector Display," Proc. of PROCAMS'03, 2003.
- [13] T. Mitsunaga and S.K. Nayar, "Radiometric Self Calibration," Proc. of CVPR'99, pp.374-380, 1999.



박 한 훈

1996년 3월 ~ 2000년 2월 한양대학교 전자통신전공공학과 졸업(공학사). 2000년 3월 ~ 2002년 2월 한양대학교 전자통신전공공학과 졸업(공학석사). 2002년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자통신전공공학과 박사과정. 관심분야는 증강현실, HCI, 3차원 영상처리, 컴퓨터 그래픽스임



이 문 현

1997년 3월 ~ 2005년 8월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학과 졸업(공학사). 2005년 9월 ~ 현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사과정. 관심분야는 증강현실, 3차원 영상처리임



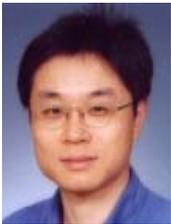
서 병 국

1999년 3월 ~ 2006년 2월 한양대학교 전자전기컴퓨터공학과 졸업(공학사). 2006년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사과정. 관심분야는 HCI, 증강현실임



진 윤 중

2001년 3월 ~ 2006년 2월 동국대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 2006년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사과정. 관심분야는 HCI, 증강현실임



박 중 일

1989년 3월 ~ 1995년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학박사). 1992년 ~ 1994년 일본 NHK방송기술연구소 객원 연구원. 1995년 ~ 1996년 한국방송개발원 선임연구원. 1996년 ~ 1999년 일본 ATR지능영상통신연구소 연구원. 1999년 ~ 현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 가상현실, 3차원 영상처리, HCI, 컴퓨터그래픽스/비전임