프로젝션 기반의 감소현실 시스템

이승훈[O] 박한훈 서병국 박종일
한양대학교
{hoon[O], hanuni, nwseoweb}@mr.hanyang.kr, jipark@hanyang.ac.kr

Projection-Based Diminished Reality System

Seung-Hoon Lee[O], Hanhoon Park, Byung-Kuk Seo, Jong-Il Park
Hanyang University

요 약

본 논문은 프로젝터를 이용한 색상 및 기하 보정기술과 영상완성(image completion)기술을 결합하여 감소현실(diminished reality, DR)을 체험 할 수 있는 시스템을 제안한다. 감소현실은 증강현실(augmented reality)과 반대되는 개념으로 실세계에 존재하는 불필요한 객체 혹은 정보를 가상으로 은닉함으로써 사용자에게 시각적 편의를 제공하는 기술이다. 기존에 데스크탑 혹은 HMD 기반의 감소현실 기술은 개발된 사례가 있으나, 프로젝션 기반의 감소현실 기술에 대한 개발 사례는 없었다. 최근 고화질, 경량의 프로젝터의 일반화와 함께 프로젝션 기반 디스플레이의 응용분야가 크게 증가하고 있음을 감안해 볼 때, 프로젝션 기반의 감소현실 기술에 대한 요구는 크게 증가할 것이다. 본 논문에서는 프로젝션 기반의 감소현실을 구현하기 위한 기술적 과제들을 해결하고 그 응용사례를 제시함으로써 프로젝션 기반의 감소현실 시스템의 필요성 및 가능성을 제시하고자 한다.

Abstract

Diminished reality (DR) is a technique that provide a visual convenience by virtually hiding an object. Most of existing DR systems have been implemented based on HMDs or desktop displays. However, there has been no report on the development of DR system based on projection displays due to technical difficulty in spite of its superiority in the aspect of human factor to conventional displays. Rapid advances of projection displays and projection-based vision technologies motivated us to develop a projection-based DR system. As the first attempt, this paper proposes a projection-based diminished reality system using an image completion technique. Its usefulness is demonstrated through experiments and its potential applications are discussed.

키워드(국문) : 프로젝터-카메라 시스템, 감소현실, 영상완성
Keyword : Projector-camera system, diminished reality, image completion

1. 서론

증강현실(Augmented Reality)은 현실세계와 부가정보를 갖는 가상세계를 합쳐 하나의 영상으로 보여주는 가상현실의 하나이다. 주로 가상현실에서 사용자의 몰입감을 높여주고 유용한 정보를 효율적으로 제공하기 위해서 사용된다. 증강현실에 관한 기술은 1990년대 후반부터 연구되기 시작했으며 특히 근래에는 프로젝션 기반의 증강현실 기술이 활발히 연구되어지고 있다. 따라서 이를 이용한 다양한 응용사례들이 제시되었고 그 필요성과 가능성이 부각되고 있다[1][2].

프로젝션 기반의 가상현실 시스템이 부각된 이유는 부가적인 디스플레이 장치를 거치지 않고 사용자에게 직접 정보를 제공함으로써 몰입감을 극대화 시키고 편의를 제공하는데 있다. 프로젝션 기반 시스템이 기술적으로 극복해야할 문제는 투사되는 대상 고유의 색상과 모양

때문에 발생하는 왜곡현상을 어떻게 보정하느냐 이다. 따라서 이에 대한 다양한 연구가 있었으며 현재는 그 기술적 과제가 어느 정도 해결된 상황이다. 이와 관련된 연구 및 성과는 2 장에서 소개하도록 하겠다.

앞서 설명한 증강현실과는 반대되는 개념으로, 감소현실(Diminished Reality)은 현실세계에서 불필요한 정보를 가상으로 제거함으로써 사용자에게 편의를 제공하거나 가상현실에 몰입하도록 도움을 주는 기술이다. 이와 관련된 기술들도 꾸준히 제안되어 왔으며, 여러 분야에 활용되고 있다[3]. 다만, 대부분의 시스템은 데스크탑 혹은 HMD와 같은 디스플레이를 활용한 것으로, 프로젝션 기반의 감소현실 시스템을 개발한 사례는 찾아볼 수가 없었다. 따라서 본 논문을 통해서 프로젝션 기반의 감소현실을 구현하기 위한 절차 및 방법을 제안하고 그 가능성을 제시하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 프로젝션 기반 감소현실을 구현하기 위해서는 한 가지 중요한 요소기술이 필요한데, 이는 최근 영상처리 분야에서 활발하게 연구되고 있는 영상완성(image completion) 기술이다. 프로젝션 기반의 증강현실은 목적 영상이 이미 주어진 상태에서 이를 단순히 부가함으로써 구현되지만 본 논문에서 제안하는 감소현실의 경우는 동적으로 필요한 입력영상을 획득하여 실세계의 대상을 감소시킬 수 있는 목적영상으로 가공한 후 이를 이용하여 감소현실을 구현한다는 차이를 갖는다. 이때 입력영상의 가공을 위해 사용되는 기술이 영상완성 기술이다. 영상완성 기술에 대해서는 차후에 자세히 설명한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 관련 연구에 대해서 설명하고, 3 장에서는 프로젝션을 이용한 감소현실을 구현하는 방법을 설명한다. 4 장에서는 간단한 활용 예를 통해 프로젝션 기반 감소현실의 유용성과 그 실현 가능성을 제시한다. 5 장에서는 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

프로젝션 기반의 감소현실과 달리 프로젝션 기반의 증강현실은 그 연구가 활발히 이루지고 있고 이미 다양한 응용사례들이 제시되었다. 오지현 등은 프로젝션 기반의 휴대형 멀티미디어 플레이어를 제안하였다[1]. 논문에서는 PDA 기반으로 휴대가 용이하며 기하 보정과 색상 보정 기술을 이용하여 스크린이 존재 하지 않아도 어디서나 영상을 투사하여 볼 수 있는 시스템을 소개한다. 강갑철 등은 환자의 환부에 종양모양의 3차원 영상을 직접 투사함으로써 의사가 종양의 위치를 쉽게 인지하도록 도와주는 시스템을 제안하였다[2]. 이 시스템은 환자의 환부와 3차원 모델 간의 기하학적 사상 관계를 이용하여 환자의 환부에 가상의 종양 모델을 투사한다.

영상완성 기술은 최근 영상처리 분야에서 크게 주목받고 있는 기술로서, 다양한 방법들이 제안되고 있다. 영상완성 기술은 크게 보간(interpolation) 기술을 이용한 것[4]과 표본(exemplar)들을 이용하는 것[5][6][7]으로 나뉜다. Tony 등은 보간법을 이용한 영상완성기술을 소개하였다[4]. 보간법을 이용한 영상완성은 빠른 속도로 영상을 완성할 수 있다는 장점이 있지만 결과의 완성도에 있어서 한계가 있다. 따라서, 완성도 높은 결과의 도출의 위하여 대부분의 영상완성 기술에서 표본영상을 이용한 방법을 사용하고 있다. Criminisi 등은 표본영상을 이용하여 영상을 완성해주는 방법을 제안하였다[5]. 논문에서는 사용자가 영상에서 삭제할 부분을 선택하면 주변의 표본영상으로 삭제된 부분을 채우는 방법을 소개하고 있다. 차후 이와 유사하게 표본 영상을 이용해 영상을 완성하지만 영상의 구조를 좀 더 용이하게 복원할 수 있는 방법들이 Drori 등과 Sun 등에 의해서 소개되었다[6][7]. 그들은 영상의 구조를 쉽고 정확하게 복원하기 위해 보간법을 이용한 영상완성 작업을 선행하거나 사용자가 직접 구조의 모양을 선택하는 방법을 사용하였다.

3. 프로젝션 기반 감소현실 시스템

본 논문에서는 2 장에서 소개한 연구들에 착안하여 프로젝션 기반으로 사용자의 몰입감을 높이면서 이미지 완성 기술을 응용한 감소현실 시스템을 고안하였다. 이미지 완성 기술이 주변의 표본영상을 이용해 필요한 부분에 채워 넣는 기술이지만 특정대상을 영상에서 제거한다는 측면에서 감소현실의 의미와 유사 하므로 프로젝션 기반 감소현실 시스템에 적합하여 요소기술로 사용하였다.

감소현실을 프로젝션 기반으로 구현하여 실세계의 물체를 은닉하거나 변형하기 위해서는 일련의 과정을 따라

야 한다. 먼저 카메라와 프로젝터간의 기하학적 사상 관계를 구하여 카메라의 이미지 평면상의 좌표와 프로젝션 평면의 좌표를 일치시킨다. 그 후 카메라로 영상을 획득하고 획득영상에서 제거할 부분을 사용자의 지정에 따라 결정한다. 영상이 제거되면 해당 부분이 부자연스럽지 않도록 영상완성 기술을 이용하여 표본영상으로 적절히 채워 넣는다. 이렇게 가공된 영상을 목적영상으로 하여 투사한다. 목적영상과 투사된 영상은 은닉할 부분만큼 색상의 차이를 나타내고 이는 카메라에 의해 인식된다. 인식된 두 영상간의 색상차이를 통해 색상 왜곡 보정기술을 이용한 보정영상을 만들고 이를 다시 투사한다. 보정 영상을 투사하면 왜곡되었던 색상이 목적영상처럼 보정된다. 이 장에서는 이러한 일련의 과정에 필요한 기술적 내용들을 과정이 진행되는 순서에 따라 차례로 설명한다.

3.1. 2D-2D의 기하학적 사상

입력영상을 획득하기 위해서는 먼저 카메라의 이미지 평면과 프로젝션 평면의 좌표가 일치하도록 조절해 줘야 한다. 이는 프로젝터에서 뿌려주는 점과 카메라에서 받아들이는 점과의 2D-2D 대응관계를 구해서 DLT 알고리즘을 사용하여 2D 호모그래피를 구함으로서 구현된다[8]. 프로젝터에서 뿌려주는 점의 좌표를 P_i(X,Y)라 하고, 카메라에서 찾아진 점의 좌표를 C_i(x,y)라 하면 호모그래피(homography)는 식(1)과 같이 계산된다.

$$\begin{pmatrix} x_i\omega_i \\ y_i\omega_i \\ \omega_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

각 점들의 대응 관계를 다음 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$x_i = \frac{x_i\omega_i}{\omega_i} = \frac{h_1X_i + h_2Y_i + h_3}{h_7X_i + h_8Y_i + h_9},$$
$$y_i = \frac{y_i\omega_i}{\omega_i} = \frac{h_4X_i + h_5Y_i + h_6}{h_7X_i + h_8Y_i + h_9}. \tag{2}$$

나머지 각 대응점에 대해서도 위와 같은 방법으로 대응관계를 구한 후 행렬 연산을 통해서 호모그래피를 구한다. 대응점은 최소 4개 이상이 돼야 하며 호모그래피가 구해지면 행렬 연산을 통해 카메라의 영상 평면위의 모든 점을 프로젝션 평면상에 사상시킬 수 있다.

3.2 영상 완성

영상완성은 주어진 이미지에서 사용자의 필요에 따라 불필요한 부분을 삭제하고 나머지 배경으로 삭제된 부분을 자연스럽게 채워 넣는 기술이다. 영상완성 기술은 보간(interpolation) 기술을 이용한 것[4]과 표본기반(exemplar-based)의 완성기술[5]로 나뉘는데 본 논문에서 후자의 방법을 사용한다.

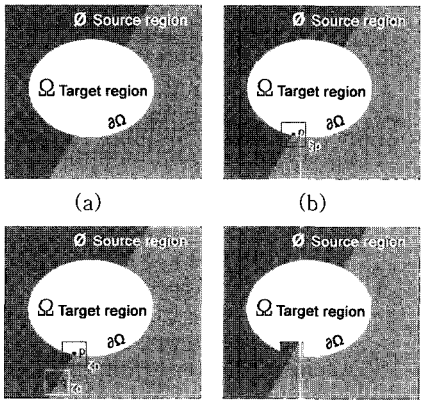


그림 1. 영상완성의 과정. (a)사용자의 지정으로 영역이 완성될 부분(Ω), 외곽선(∂Ω) 그리고 표본영역(ϕ)으로 나뉨, (b)외곽선 위의 점을 중심으로 한 사각 패치 중 가장 높은 우선순위를 갖는 패치(ζp)를 선택, (c)선택된 패치와 가장 유사한 패치(ζq)를 표본 영역에서 찾음, (d)표본 영역에서 찾은 패치를 복사해서 완성할 부분에 채움.

그림 1에서 보는 것처럼, 영상완성을 위해서 사용자는 취득된 이미지에서 삭제할 부분을 선택한다. 선택이 이루어지면 이미지는 완성될 영역, 외곽선, 표본 영역으로 분류된다. 그 후 외곽선위의 점을 중심으로 하는 패치 중 가장 높은 우선순위를 갖는 패치를 찾는다. 패치의 우선순위는 패치의 중심점이 갖는 신뢰도와 패치 내의 구조(structure)를 고려하여 결정된다. 중심점의 신뢰도는 패치의 픽셀(pixel)중 이미 색상 정보를 가지고 있는 픽셀의 신뢰도의 합을 패치의 크기로 나눈 값이다. 픽셀의 신뢰도는 표본 영역에 포함되는 픽셀의 경우 1로 나머지 픽셀은 0으로 초기화 되어있다. p를 외곽선 위의 픽셀, q를 표본영역의 픽셀, n을 패치의 크기라고 놓으면 p의 신뢰도 C(p)는 다음과 같이 정의 된다.(각 기호에 대한 설명은 그림 1을 참조하기 바란다.)

$$C(p) = \frac{\sum C(q)}{n} \quad (\text{단, } C(q) \in \zeta p \cap \overline{\Omega}) \qquad (3)$$

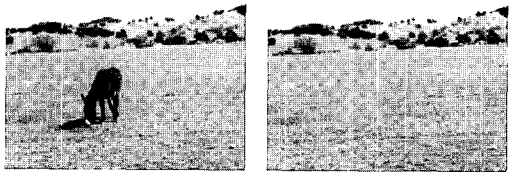
우선순위는 신뢰도 값에 표본영상의 구조와 패치의 상관관계를 나타내는 데이터 값을 곱함으로 결정된다. 표본영상의 경계면이나 구조를 복원하려면 경계나 구조의 연장선에 놓여있는 패치를 우선하여 복원해야 한다. 데이터 값은 패치가 경계나 구조의 연장선에 놓여 있을수록 큰 값을 갖는다. 데이터 값은 패치의 중심 픽셀의 법선 벡터와 패치에 내의 구조의 방향을 나타내는 벡터가 일치하는 정도를 수치적으로 나타낸 값이다. 중심 픽셀 p의 법선 벡터를 N, 패치 내의 구조의 방향성을 나타내는 벡터를 V라고하고 F를 정규화 값(normalization factor)이라고 하면 p를 중심으로 한 패치의 데이터 값은 다음과 같이 정의 된다.

$$D(p) = \frac{N \bullet V}{F} \qquad (4)$$

신뢰도와 데이터 값의 곱으로 우선순위가 구해지면 중심점의 순위가 가장 높은 패치를 선택하고 표본영상으로부터 선택된 패치와 가장 유사한 패치를 찾는다.

$$Priority = C(p) \times D(p) \qquad (5)$$

이렇게 얻어진 표본 영역의 패치를 복사해 완성될 영역에 채워 넣는다. 일련의 과정을 반복하여 이미지를 완성한다. 그림 2는 영상완성의 결과 예를 보여준다.



(a) (b)

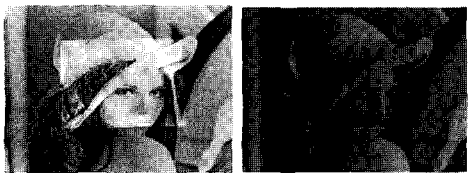
그림 2. 영상완성의 적용 예. (a)입력영상, (b)출력영상.

3.3. 색상 왜곡 보정

영상완성 기술을 적용한 후 해당 영상을 목적영상으로 하여 투사하면 입력영상에서 삭제된 부분과 은닉해야 될 대상의 색상이 배치되게 된다. 이 부분을 해결하여 마치 투사된 대상이 삭제된 것처럼 보여주려면 은닉될 대상이 갖는 고유의 색과 합쳐져 목적영상의 색처럼 만들어주는 보정 영상을 생성해야 한다. 이러한 보정 영상을 생성해주는 기술을 색상 보정기술이라 한다.

색상 보정기술은 프로젝터와 카메라의 특성을 이용하여 투사된 영상의 색상을 인식하고 스크린에 투사 되었을 때 스크린 고유의 색상성분과 섞여도 목적영상의 색상을 왜곡시키지 않는 보정영상을 생성하는 기술이다. 본 논문에서는 [9]와 [10]에서 제시하고 있는 광학보상(radiometric compensation) 방법을 이용하여 카메라의 응답 특성과 프로젝터의 출력 특성을 구하여 보정된 색상의 영상을 만들었다. 이와 같은 보정 영상의 생성 방법은 수식 (6)과 (7)로 간결하게 설명될 수 있다.

(a) (b)



(c) (d)

그림 3. 광학보상 적용 예. (a)입력영상 I, (b)칼라패턴이 부착되어 있는 스크린에 투사된 영상, (c)칼라 왜곡을 보정하기 위한 영상, (d)(c)영상을 투사하여 보정한 영상.

장치의 고유한 특성인 카메라의 응답 특성과 프로젝터의 출력 특성이 주어졌을 때, 스크린의 반사특성 및 주변광의 영향에 의해 프로젝터 입력 영상 I와 투사된 영상 I_P사이의 관계는 다음과 같이 정의된다.

$$I_P = f(I). \tag{6}$$

여기서, f는 카메라 및 프로젝터의 응답특성, 스크린의 반사 특성, 주변광의 영향을 포함하는 함수를 의미한다. 식 (6)으로부터 입력 영상 I의 본래 색상을 찾기 위한 $\hat{I}$는 다음과 같이 계산된다.

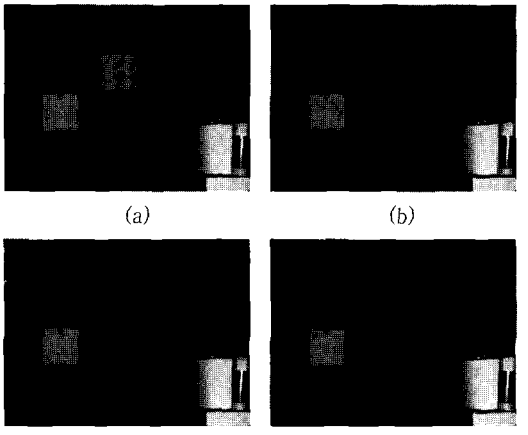
$$\hat{I} = f^{-1}(I_P). \tag{7}$$

입력영상 I를 투사하면 색상 성분이 왜곡되어 입력영상을 그대로 볼 수 없지만, $\hat{I}$는 스크린의 색상과 프로젝터의 출력 특성을 고려하여 계산된 영상으로 주변 상황에 영향을 받지 않는 것과 같은 그대로의 영상을 볼 수 있다. 그림 3은 색상 왜곡을 보정한 예를 보여준다.

4. 실험 결과

제안방법의 유효성을 검증하기 위해 프로젝터 카메라 시스템을 이용하여 실험을 수행하였다. 카메라는 PointGrey사의 Dragonfly를 사용했으며 프로젝터는 Sony사의 VPL-CX6 모델을 사용하였다. 실험에 사용된 PC의 사양은 CPU가 펜티엄4 3.0GHz이며 메모리는 512Mb이다.

실험은 크게 2 가지 조건 하에서 수행하였다. 그림 4는 단순한 텍스쳐 위에 은닉할 패턴을 부착하였고, 그림 5는 서로 다른 텍스쳐의 경계(영상완성을 적용할 때 경계선의 구조를 고려해야 함) 위에 은닉할 패턴을 부착하였다.



(a) (b)

(c) (d)

그림 4. 단순한 텍스쳐 위에 존재하는 패턴을 은닉한 결과. (a)입력영상 (b)제거할 대상을 선택 (c)영상완성기술 적용한 목적영상 (d)결과영상

그림 4와 5에서 입력영상은 프로젝터에서 단일 그레이 영상을 투사한 후, 카메라와 프로젝터의 2차원 기하 관계를 적용하여 얻어진다. 입력영상의 해상도는 1024×768이다. 입력영상을 획득한 뒤 목적영상을 얻기 위해서 입력영상을 영상완성 기술을 이용하여 가공한 후 칼라 패턴이 제거된 영상을 만들었다(그림 4-(c), 그림 5-(c)). 가공된 목적영상을 투사하면 투사된 영상은 은닉 대상의 고유한 색상과 섞여 카메라에 인식된다. 인식된 영상과 목적영상을 이용해 보정영상을 생성하였다. 생성된 영상은 영상완성 기술에 의해 은닉될 대상 부분만 수정되었을 뿐 나머지는 투사되어지는 대상과 동일한 영상이다. 따라서 은닉할 대상을 제외한 부분은 영상의 왜곡이 발생하지 않고 은닉 대상의 색상만 보정되었다(그림 4-(d), 그림 5-(d)).

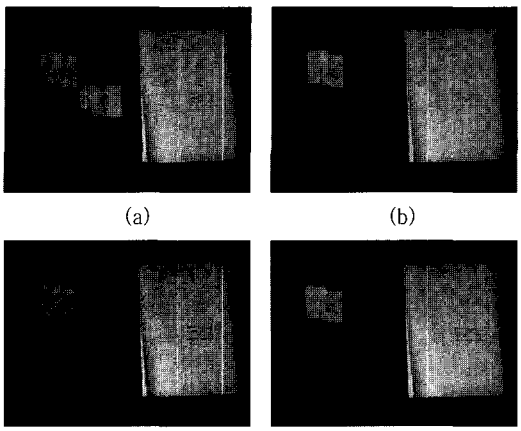


그림 5. 서로 다른 텍스쳐의 경계 위에 존재하는 패턴을 은닉한 결과. (a)입력영상 (b)제거할 대상을 선택 (c)영상완성기술 적용한 목적영상, 영상의 구조복원 (d)결과영상

5. 결론

본 논문에서는 프로젝션 기반의 감소현실 시스템을 제안하였다. 데스크탑이나 HMD 기반의 시스템에 국한되어 연구가 이루어진 기존 감소현실 시스템의 한계에서 벗어나 프로젝션 기반으로 시스템을 구현함으로써 프로젝션 기반의 감소현실이라는 새로운 개념을 제안하고 그 가능성을 제시했다는 데에 본 논문의 의의를 두고자 한다. 논문의 목적에 대한 이해를 돕기 위해 프로젝션 기반 감소현실에 필요한 기술적 과제를 정의하고 이를 순차적으로 적용한 실험 결과를 보여주었다.

본 논문에서는 실험의 편의를 위해 평면상의 대상만을 은닉하여 감소현실을 구현하였지만 입체적인 모양을 가진 대상의 은닉도 그에 대한 기반기술이 이미 마련되어 있으므로[10], 쉽게 확장될 수 있다. 따라서 추후의 연구는 평면이 아닌 입체적인 대상을 은닉하는 한편 다양한 응용사례를 보이는 방향으로 이루어져야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의해 수행되었음(02-PJ3-PG6-EV04-0003).

참고문헌

[1] 오지현, 이문현, 박한훈, 김재수, 박종일, "휴대형 프로젝션 기반의 멀티미디어 디스플레이 시스템," 한국방송공학회 추계학술대회 논문집, pp.265-268, 2006.

[2] 강갑철, 박종일, 김영수, 최가열, 전혜림, 김상준, "지능형 수술을 위한 직접 투사형 증강현실," 의용생체공학회, 2004.

[3] S. Zokai, J. Esteve, Y. Genc, and N. Navab, "Multiview paraperspective projection model for diminished reality," Proc. of ISMAR, pp.217-226, 2003.

[4] T. F. Chan and J. Shen, "Variational image inpainting," Communications on Pure and Applied Mathematics, vol.58, pp. 579-619, 2005.

[5] A. Criminisi, P. Perez, and K. Toyama, "Object removal by exemplar-based inpainting," IEEE Transactions on Image Processing, vol.13, no.9, 2004.

[6] I. Drori, D. Cohen-Or, and H. Yeshurun, "Fragment-based image completion," Proc. of SIGGRAPH, pp.303-312, 2003.

[7] J. Sun, L. Yuan, J. Jia, and H.-Y. Shum, "Image completion with structure propagation," Proc. of SIGGRAPH, Vol.24, pp. 861-868, 2005.

[8] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry, Cambridge University Press, 2003.

[9] T. Mitsunaga and S. K. Nayar, "Radiometric self calibration," Proc. of CVPR, pp.374-380, 1999.

[10] H. Park, M.-H. Lee, S.-J. Kim, and J.-I. Park, "Surface-independent direct-projected augmented reality," Proc. of ACCV, pp.892-901, 2006.