

투명 e-퍼포먼스를 위한 텍스처 중화 시스템 개발

이동훈[†], 윤태수^{**}

요 약

연극이나 뮤지컬과 같은 라이브 퍼포먼스 분야에서는 관객의 몰입도를 극대화하기 위한 다양한 무대 효과가 사용된다. 이러한 무대 효과는 전통적인 연출 기법으로부터 장면에 몰입을 줄 수 있는 다양한 무대 효과를 위한 장치들을 활용하고 있다. 본 논문에서는 공간증강현실 기반의 사물의 표면 텍스처를 제어할 수 있는 새로운 디지털 시각 효과를 제안한다. 이를 위하여 프로젝터-카메라 시스템을 사용하여 임의의 물체의 표면을 중화할 수 있는 방법을 제시한다. 객체의 표면에 신중하게 결정된 보상 영상(Compensation Image)을 투영함으로써 투명한 객체처럼 나타나도록 만들기 위해, 본 논문에서는 간단하고 효과적인 오프라인 프로젝터-카메라 보정을 위한 호모그래피 방법(Homography Method)을 사용한다. 따라서 제안하는 Radiometric 매개 변수를 측정하기 위한 스마트 프로젝터(Smart Projector)의 기본 알고리즘은 연극이나 뮤지컬에서의 시간적 변화에 유용하게 사용될 것이다.

Development of Texture Neutralization System for the Invisible e-Performance

Dong-Hoon Lee[†], Tae-Soo Yun^{**}

ABSTRACT

On live performance such as play and musical, various stage effects are utilized to attract a diverse audience. These stage effects include traditional direction techniques, striking display effects and all kinds of ways of being immersed in the scene. In this paper, we propose a novel digital visual effects(digilog) for controlling the surface texture of objects based on spatial augmented reality. For this purpose, we present a method of neutralizing the appearance of an arbitrary object using a projector-camera system. To make the object appear as if it is a transparent object by projecting a carefully determined compensation image onto the surface of objects, we use the homography method for a simple and effective off-line projector-camera calibration. The successful uses of the basic algorithm of Smart Projector for measuring radiometric parameters led us believe that this method may be used for temporal variation of plays and musicals.

Key words: Project-Camera System(프로젝터-카메라 시스템), Photometric Calibration(광도 보정), Texture Neutralization(텍스처 중화)

※ 교신저자(Corresponding Author): 이동훈, 주소: 부산광역시 사상구 주례2동 동서대학교 뉴밀레니엄관 NM230호(617-716), 전화: 051-320-1731, FAX: 051-320-2673, E-mail: dhl@dongseo.ac.kr

접수일: 2011년 3월 24일, 수정일: 2011년 4월 12일
완료일: 2011년 4월 20일

[†] 정회원, 동서대학교 디지털콘텐츠 학부

^{**} 정회원, 동서대학교 디지털콘텐츠 학부
(E-mail: tsyun@dongseo.ac.kr)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

※ 본 연구는 지식경제부의 지역혁신센터의 연구결과로 수행되었음.

1. 서론

연극이나 뮤지컬과 같은 공연문화에서는 장면의 사실성이나 극적인 효과를 높이기 위해 보다 사실적인 무대 배경을 보여주거나 장면의 전환 등을 통한 시각적 효과를 사용하곤 한다. 공연문화에서 영상 미디어를 활용하는 이유 가운데 하나는 영상 미디어 기술이 관객에게 시각적인 만족감을 줄 수 있을 정도로 충분히 활용할만하며, 그로인해 이전의 공연문화와는 색다른 다양성을 확보할 수 있기 때문이다. 즉, 관객으로 하여금 기존의 공연기법과는 달리 많은 양의 정보를 시각적으로 충족시켜 줄 수 있는 디지털 기술과의 접목을 통해 영상미를 표현함으로써 색다른 경험을 할 수 있게 한다. 그러한 예로, 프로젝터를 이용하는 방법이 있다. 프로젝터의 디스플레이 기능을 통해 다양한 영상을 무대 공간에 투사함으로써 무대의 공간적인 한계를 확장하거나 일반적인 공연 기법으로는 표현할 수 없는 다양한 퍼포먼스 등을 관객에게 제공함으로써 이전과는 차별화된 무대를 보여줄 수 있다. 이러한 프로젝터의 활용은 공연을 좀 더 역동적이고 생동감 넘치는 장면으로 연출할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 프로젝터를 활용하여 무대 내에 존재하는 사물이나 사람을 투명화 하는 e-퍼포먼스 기법을 제안한다. 이를 위해 직접 투사 증강현실 시스템(Direct-Projected Augmented Reality System)을 사용한다. 직접 투사 증강현실 시스템은 실제 세계의 한 공간에 임의의 정보를 투사하여 가상의 물체나 정보가 사용자와 상호 작용하도록 하는 시스템이다. 증강현실에 대한 개념은 원래 가상의 정보를 실제 세계에 추가하거나 보완하는 개념으로 생겨났다. 본 논문에서는 증강현실의 개념을 조금 다르게 해석하여 가상의 정보를 추가하는 것이 아니라 실제 존재하는 정보를 없애는 용도로 증강현실을 사용한다. 실제 존재하는 사물을 없애는 것은 사실상 불가능하지만 존재하지 않는 것처럼 보일 수는 있다.

본 논문에서는 사물을 투명화하기 위해 사물의 원색상을 중화시킬 수 있는 보정 영상을 투사하는 시스템을 제안한다. 이를 위해 프로젝터-카메라 시스템을 기반으로 하며, 일반적으로 프로젝터에 의해 영상이 투사되어 물체나 스크린 등에 투영될 경우 원 영상과는 다른 형태의 왜곡된 영상이 투영되곤 하는데,

이를 바로 잡아주기 위하여 기하 보정(Geometric Calibration)의 과정을 거친다. 그리고 프로젝터에서 투사되는 영상의 색상을 보정하는 방법으로는 광도 보정(Radiometric Compensation) 기법을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제2장에서는 프로젝터를 활용하여 영상의 광도 정보를 조정하는 기존의 선행 연구들에 대해서 기술한다. 제3장에서는 본 논문에서 활용되는 기하 및 광도 보정 기법 및 텍스처 중화를 위한 제안 알고리즘에 대해 기술한다. 제4장에서는 제안한 기법의 결과와 실험환경에 대해 기술하고 마지막으로 논문의 결론 및 향후 과제에 대해 논한다.

2. 관련 연구

본 논문에서 사용하는 프로젝터-카메라 시스템은 증강현실 시스템 가운데 하나이다. 프로젝터-카메라 시스템은 프로젝터만을 사용하여 증강현실을 구현하는 시스템에서 몇 가지 문제점을 보완하기 위해 카메라를 활용하는 시스템이며, 카메라를 이용하여 스크린에 투사된 영상의 정보를 통해 스크린의 색상 보정기술이 연구되고 있으며, 정확한 카메라 노출 값 정보를 이용한 카메라 응답 함수를 도출하여 HDR 영상을 생성하는 연구가 진행되고 있다[1-5] (그림 1 참조).

또한, 여러 대의 프로젝터를 사용하여 대형 디스플레이 화면 등을 구성할 때 나타나는 각 프로젝터의 중첩되는 부분의 밝기를 균일하게 보정하여 단일 대형 디스플레이 화면과 동일한 효과를 나타내는 연구

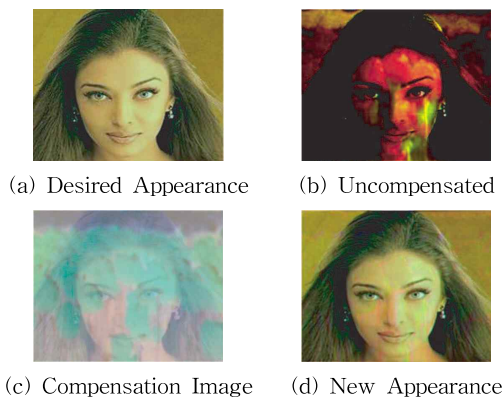
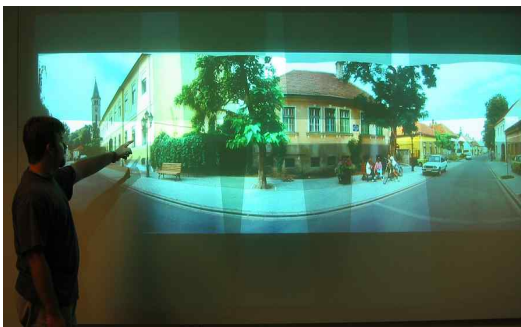


그림 1. 색상 보정 예

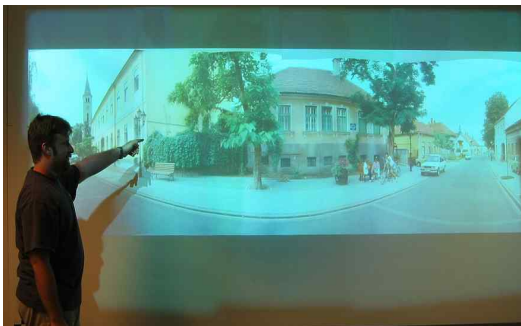
도 진행되고 있다[6-8] (그림 2 참조).

이러한 선행 연구들은 다양한 조명 환경과 스크린의 특성에 대한 정보를 카메라를 통해 획득하고, 획득한 정보의 분석을 통해 원 영상의 광도에 대한 보정 값을 획득하는 것이 목적이다. 이를 통해 고품질 영상의 디스플레이가 가능하게 된다.

본 연구와 기존 연구와의 차별성으로는 본 연구가 기존의 프로젝터-카메라 시스템의 기하보정 및 광도보정 기법을 활용하되 원영상의 품질 향상의 목적이 아닌 공간상에 존재하는 물체의 특성 분석을 통해 물체의 재질을 배경의 재질로 바꾸기 위한 새로운 광도보정 알고리즘의 제안으로 요약할 수 있다.



(a) 중첩되는 영역을 보정하지 않은 상태



(b) 프로젝터 영상의 밝기를 보정한 후
그림 2. 이중 프로젝터 디스플레이 시스템

3. 프로젝터-카메라 시스템을 이용한 영상보정

본 논문에서 제안하는 시스템의 전체적인 흐름도는 그림 3과 같다. 영상을 스크린에 투사한 후, 영상 보정을 위해 투영된 영상을 카메라로 얻어온다. 카메라를 통해 가져온 영상으로 기하보정 및 색상보정의 단계를 거쳐 보정 영상을 구하고, 마지막으로 보정

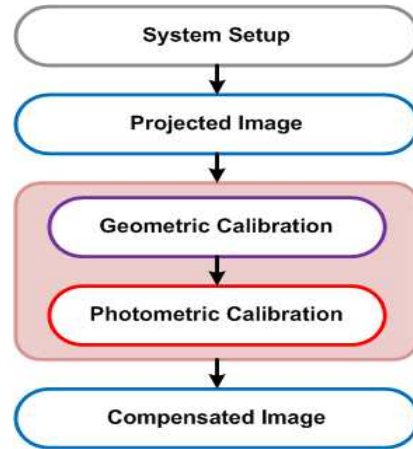


그림 3. 시스템 흐름도

영상을 프로젝터로 다시 투사함으로써 전체적인 시스템의 흐름이 이루어지게 된다.

3.1 기하보정 (Geometric Calibration)

일반적으로 프로젝터에 의해 영상이 투사되어 물체나 스크린 등에 투영될 경우 원 영상과는 다른 형태의 왜곡된 영상이 투영되곤 한다. 이는 프로젝터가 스크린에 영상을 투사할 때 이루는 각이 스크린과 직교하지 않기 때문에 일어나는 문제이다. 그러나 증강현실에서는 이러한 사소한 왜곡조차 관찰자로 하여금 실제와 가상의 경계가 명확해져 몰입감을 저해하는 결과를 가져올 수 있기 때문에 왜곡된 영상을 바르게 보정해주어야 만 한다.

본 논문에서는 프로젝터에서 투사된 영상의 왜곡을 보정하는 여러 가지 방법 가운데 앞서 소개한 프로젝터-카메라 시스템을 사용한다. 본 논문에서는 영상의 형태를 보정하기 위해서 기하 보정 알고리즘을 사용하는 것이 아니라, 기하보정을 통해 픽셀 사이의 영상처리를 바르게 계산하기 위해서 영상을 와핑(warping)하기 위한 수단으로 사용한다.

프로젝터-카메라 시스템을 사용하여 영상을 보정하기 위해서는 먼저 프로젝터와 카메라의 기하학적 관계를 정의해야 한다. 이는 그림 4와 같이 프로젝터에서 투사된 영상과 카메라로부터 얻게 되는 영상의 픽셀 사이의 위치가 정확히 일치하지 않는 현상이 발생하기 때문이다. 최근에는 그림 5와 같이 광선 분산기(Beam Splitter)를 이용하여 프로젝터의 출력 영상과 카메라의 입력영상이 1:1 매칭이 가능한 형태

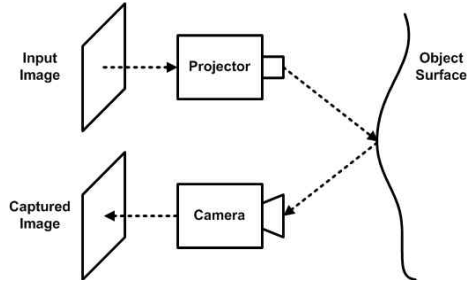


그림 4. 프로젝터-카메라 시스템의 데이터 흐름도

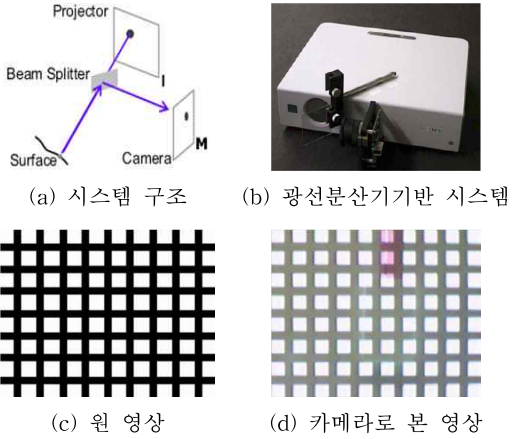


그림 5. 입/출력 영상 간 1:1 매칭이 가능한 프로젝터-카메라 시스템

의 시스템이 제안되기도 하였다[9].

이 방법을 사용하면 프로젝터와 카메라의 기하 관계를 정의할 필요가 없게 되지만, 하드웨어의 구성을 조작해야하는 사용상의 제약이 있기 때문에 본 논문에서는 프로젝터와 카메라의 일반적인 기하 보정 방법을 사용한다. 영상의 크기를 변화시키기 위한 기하 변환 방법에는 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 프로젝터와 카메라의 이러한 기하학적 사상 관계를 나타내기 위해서 호모그래픽 변환 방법을 사용한다. 이 방법은 프로젝터에서 투사하는 픽셀의 좌표와 카메라 영상에서 픽셀의 좌표 사이의 대응관계를 구한 후, DLT(Direct Linear Transform) 알고리즘을 이용하여 호모그래피(homography)를 구함으로써 두 장치 사이의 기하학적 사상 관계를 정의한다[10].

Homographic Transform 방법을 이용해서 카메라를 통해 획득한 영상(x, y)을 원 영상(X, Y)의 크기로 변환하기 위해서는 (식 1)의 a, b, c, d, e, f, g, h 값을 구해야한다.

$$\begin{bmatrix} XW \\ YW \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

각 점들의 대응 관계를 다음 (식 2)와 같이 쓸 수 있다.

$$X = \frac{ax+by+c}{gx+hy+1}, \quad Y = \frac{dx+ey+f}{gx+hy+1} \tag{2}$$

(식 2)를 X, Y 에 대해서 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X &= ax+by+c-gXx-hYy \\ Y &= dx+ey+f-gYx-hYy \end{aligned} \tag{3}$$

여기에 계수가 0인 값들이 있다고 가정하면,

$$\begin{aligned} X &= ax+by+c+0d+0e+0f-Xxg-Yyh \\ Y &= 0a+0b+0c+xd+ye+f-Yxg-Yyh \end{aligned} \tag{4}$$

(식 4)와 같이 X, Y 에 대한 식을 나타낼 수 있으며, (식 4)를 행렬식으로 표현하면 (식 5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -X_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 0 & -Y_1x_1 & -Y_1y_1 \\ & & & & & & & \vdots \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_2x_2 & -X_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -Y_2x_2 & -Y_2y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -X_ny_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -Y_nx_n & -Y_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \tag{5}$$

(식 5)를 n 개의 (X, Y)에 대한 식으로 변형하면 (식 6)과 같다. 구하고자하는 변수가 8개 이므로, (식 6)에서 $n=8$ 을 대입하면 된다.

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -X_1y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 0 & -Y_1x_1 & -Y_1y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_2x_2 & -X_2y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -Y_2x_2 & -Y_2y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -X_ny_n \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -Y_nx_n & -Y_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \\ g \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \tag{6}$$

(식 6)에서 SVD(Singular Value Decomposition)를 이용하면 a, b, c, d, e, f, g, h 값을 전부 계산할 수 있다. 이로써 카메라를 통해 획득한 영상을 원 영상의 크기로 와핑 시킬 수 있게 된다. 지금까지의 계

산 과정을 간략하게 표현하면, (식 7)과 같다. 행렬 λ 를 구하기 위해 필요한 모든 매개변수들을 알고 있기 때문에 행렬 λ 는 간단하게 계산할 수 있다. 이렇게 최종적으로 계산된 행렬 λ 를 통해 프로젝터 평면과 카메라 평면 사이의 기하학적 사상 관계를 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} A\lambda &= B \\ A^T A\lambda &= A^T B \\ \lambda &= (A^T A)^{-1} A^T B \end{aligned} \quad (7)$$

3.2 광도 보정(Photometric Calibration)

프로젝터에서 투사된 영상의 색상과 카메라에서 인식하는 영상의 색상은 그림 6과 같이 선형 함수가 아닌 비선형 함수로 나타난다. 이러한 비선형 함수의 형태로 나타나는 문제점으로 인해 올바른 영상 보정 결과를 기대할 수 없다.

비선형 관계로 인하여 프로젝터와 카메라의 색상 관계를 정확히 예측하기 어렵기 때문에 이를 반드시 해결해야 한다. 비선형 함수를 정의하기 위해 본 논문에서는 26장의 영상을 이용한다. 이 영상은 밝기 값이 0, 10, 20, ..., 250인 Gray-level 영상이다. 26장의 영상을 통해 각 단계별로 대응하는 값을 구한 뒤 4차 근사함수를 이용하여 프로젝터와 카메라의 응답 함수를 정의한다.

Radiometric Compensation 방법은 프로젝터-카메라 시스템에서 색상 보정을 위해 사용하는 일반적인 방법이다. 이 방법을 통해 영상 위의 한 점 \mathbf{P} 가 프로젝터에 의해 임의의 표면 위의 점 \mathbf{C} 에 투사될 때, 점 \mathbf{C} 는 프로젝터와 카메라의 색상 혼합 행렬 \mathbf{V} 와 환경 조명 \mathbf{F} 에 의해 (식 8)과 같이 표현할 수 있다[11].

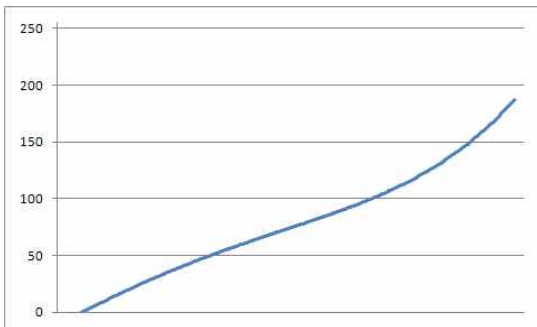


그림 6. 프로젝터 응답 함수의 비선형성

$$\mathbf{C} = \mathbf{V}\mathbf{P} + \mathbf{F} \quad (8)$$

(식 8)에서 \mathbf{C} , \mathbf{V} , \mathbf{P} , \mathbf{F} 를 행렬로 표현하면 아래와 같으며, 이 식에서 \mathbf{V} , \mathbf{F} 를 최종적으로 구해야만 한다.

먼저, 행렬 \mathbf{V} 을 계산하기 위해서 행렬을 대각성분과 그 외 성분으로 나눈다. 즉, 행렬 \mathbf{V} 의 대각성분인 V_{kk} 값을 가지고 있는 행렬 \mathbf{D} 와 행렬 \mathbf{V} 에서 대각성분이 모두 1인 $\tilde{\mathbf{V}}$ 행렬로 분리한다. 이러한 \mathbf{V} , \mathbf{D} , $\tilde{\mathbf{V}}$ 의 관계를 정의하면, $\tilde{\mathbf{V}} = \mathbf{V}\mathbf{D}^{-1}$ 가 된다. 여기에서 행렬 $\tilde{\mathbf{V}}$ 의 값을 구하게 되면 원하는 (식 8)의 모든 미지수들을 구할 수 있게 된다. 행렬 $\tilde{\mathbf{V}}$ 의 값을 결정하기 위해서, 프로젝터에서 투사하는 입력영상의 채널(RGB) 가운데 한 채널의 밝기 값만 변경하고 나머지 두 채널의 값은 고정된 채 결과 영상의 변화를 구한다. (식 9)에서 보는 것과 같이 입력 영상을 $\mathbf{I}^{(1)}$ 과 $\mathbf{I}^{(2)}$ 는 G, B 채널 값을 동일하며 R 채널 값만 다른 동일한 영상이다.

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{bmatrix}, \mathbf{V} = \begin{bmatrix} V_{RR} & V_{RG} & V_{RB} \\ V_{GR} & V_{GG} & V_{GB} \\ V_{BR} & V_{BG} & V_{BB} \end{bmatrix}, \mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_R \\ P_G \\ P_B \end{bmatrix}, \mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_R \\ F_G \\ F_B \end{bmatrix}$$

- \mathbf{C} - Projected Image
- \mathbf{V} - Color Mixing Matrix
- \mathbf{P} - Desired Image
- \mathbf{F} - Environment Lighting

$$\mathbf{I}^{(1)} = \begin{bmatrix} I_R^{(1)} \\ I_G^{(1)} \\ I_B^{(1)} \end{bmatrix}, \mathbf{I}^{(2)} = \begin{bmatrix} I_R^{(2)} \\ I_G^{(1)} \\ I_B^{(1)} \end{bmatrix}$$

(식 9)와 $\tilde{\mathbf{V}} = \mathbf{V}\mathbf{D}^{-1}$ 관계식에 의해 (식 8)은 (식 10)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$\begin{bmatrix} C_R^{(1)} \\ C_G^{(1)} \\ C_B^{(1)} \end{bmatrix} = \tilde{\mathbf{V}}\mathbf{D} \begin{bmatrix} P_R^{(1)} \\ P_R^{(1)} \\ P_R^{(1)} \end{bmatrix} + \mathbf{F}, \begin{bmatrix} C_R^{(2)} \\ C_G^{(2)} \\ C_B^{(2)} \end{bmatrix} = \tilde{\mathbf{V}}\mathbf{D} \begin{bmatrix} P_R^{(2)} \\ P_R^{(1)} \\ P_R^{(1)} \end{bmatrix} + \mathbf{F} \quad (10)$$

(식 10)을 토대로 결과 영상의 변화에 따른 몇 가지 값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta C_R &= \tilde{V}_{RR} V_{RR} \Delta P_R, \\ \Delta C_G &= \tilde{V}_{GR} V_{RR} \Delta P_R, \\ \Delta C_B &= \tilde{V}_{BR} V_{RR} \Delta P_R. \end{aligned} \quad (11)$$

(식 11)은 R 채널 값의 변화와 관련된 값들을 나타내는 식이다. 여기에서 행렬 $\tilde{\mathbf{V}}$ 의 대각 성분은 모두

1이기 때문에, (식 3.11)에서 $\tilde{V}_{RR}=1$ 이다. 그러므로 (식 11)을 다시 정리하면,

$$\tilde{V}_{RG} = \frac{\Delta C_G}{\Delta C_R}, \tilde{V}_{RB} = \frac{\Delta C_B}{\Delta C_R} \quad (12)$$

(식 12)와 같이 행렬 \tilde{V} 의 두 성분의 값을 구할 수 있게 된다. R 채널의 변화를 통해서 $\tilde{V}_{RR}, \tilde{V}_{RG}, \tilde{V}_{RB}$ 값을 구하는 것처럼 행렬 \tilde{V} 의 나머지 값들은 G, B채널을 각각 변경하여 지금까지 사용한 방법과 동일한 방법을 사용하면 모두 구할 수 있다. 이로써 행렬 \tilde{V} 의 모든 값을 결정할 수 있게 된다. \tilde{V} 에 비해 F 는 상대적으로 훨씬 쉽게 계산할 수 있다. 입력 영상의 채널을 모두 0으로 하는 영상을 투사하면 카메라로 측정된 영상의 값이 F 의 값이 된다. 이제 마지막으로, 행렬 V 의 대각 성분(D)을 계산하기 위해서 지금까지 구한 행렬 \tilde{V} 와 F 를 이용한다. (식 8)의 양변에 \tilde{V}^{-1} 를 곱하면 아래와 같이 표현된다.

$$\tilde{C} = DP + \tilde{F} \quad (13)$$

(식 13)에서 $\tilde{C} = V^{-1}C$, $\tilde{F} = \tilde{V}^{-1}F$ 이다. D 는 행렬 V 의 대각성분이므로,

$$\tilde{C} = V_{KK}P + \tilde{F} \quad (14)$$

와 같이 표현할 수 있다. 식을 정리하면 행렬 V 의 모든 성분들을 구할 수 있다.

3.3 텍스처 중화(Texture Neutralization)

Bimber는 기존의 Radiometric Compensation 방법과는 조금 다른 개념의 Radiometric Compensation 방법을 사용하는 Smart Projector라는 방법을 제안하였다. 3.2절에서 설명한 Radiometric Compensation 방법은 각 상황에 따라 여러 가지 매개변수들을 계산해야하는 단점을 가지고 있기 때문에 상대적으로 복잡한 계산 과정과 많은 시간을 필요로 하지만, Bimber는 좀 더 계산과정을 단순화 시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 Bimber가 제안한 방법을 그대로 적용하지 않는다. Bimber의 방법은 프로젝터를 투사할 영역을 지정해서 영역 전체의 색상을 보정하는 방법이기 때문에 본 논문에서 제안하는 시스템에서 사용하기에는 무리가 있다. 그림 7은 Bimber가 제안한 기존 방법과 본 논문에서 사용하는 방법에 대한 흐름을 비교한 그림이다[12-14].

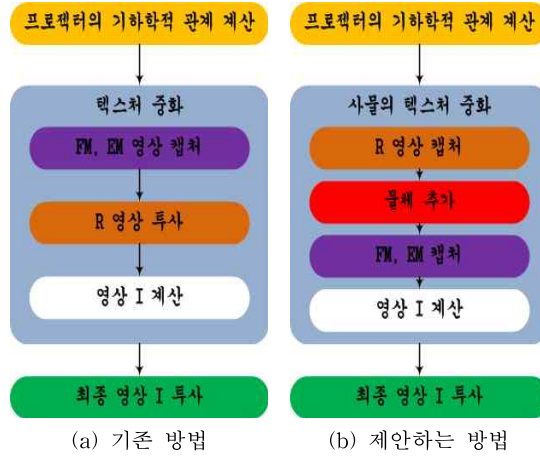


그림 7. 시스템 흐름 비교

Bimber가 제안한 기존 방법[그림 7] (a)와 본 논문에서 제안하는 방법[그림 7] (b)의 가장 큰 차이점은 영상을 캡처하는 과정이 다르다는 것이다. Bimber는 전체 영역을 먼저 계산한 후 영상 R 을 투사하여 보정 영상을 계산하기 때문에 영상의 한 영역을 보정하기 보다 전체 영역을 보정하는데 중점을 두었다면, 본 논문에서는 영상 R 을 먼저 투사하여 캡처한 후 투명화 할 물체를 놓고 캡처하고 EM, FM 영상을 구한 후 보정 영상을 투사함으로써 전체 영역이 아닌 임의의 물체의 색상을 보정하는데 중점을 두는 점이 가장 큰 차이점이다. 다만, 처리 과정의 순서가 변경되고 몇 가지 과정이 추가되었을 뿐, Bimber가 제안한 계산 과정은 동일하게 진행된다. 이 방법에 의해 최종 영상 I 는 (식 15)와 같이 구할 수 있다.

$$I = \frac{(R - EM)}{FM} \quad (15)$$

(식 15)를 통해 최종적으로 계산된 영상 I 를 프로젝터로 투사하면, 물체의 표면 색상을 중화하여 물체를 투명화 할 수 있게 된다.

텍스처 중화를 위한 절차는 아래의 6단계로 정리할 수 있다.

- (1) 프로젝터와 카메라 간의 관계를 호모그래피 관계식을 이용하여 계산하여 일대일 픽셀 매핑 관계를 구한다.
- (2) 주변광을 켜 놓은 상태에서 카메라를 통해 원하는 영상을 획득한다(R).
- (3) 스크린 표면에 중화시킬 물체를 추가한다.

(4) 주변광을 꺼놓고($E=0$), 밝은 흰색 영상($I=1$)을 프로젝터를 통해 투사시킨다. 이 때 카메라를 통해 영상을 획득한다(FM).

(5) 주변광을 켜놓고 프로젝터를 끈 상태에서 스크린 평면에 비춰진 영상을 획득한다(EM).

(6) 앞의 과정에서 얻어진 EM, FM, R값을 (식 15)에 대입하여 I값을 얻어 프로젝터를 통해 스크린 평면에 투영시킨다.

일단 기하관계는 제안한 알고리즘에 의해 알게 되며 광도 파라미터들이 계산된다. 이 때 자동 밝기 조절, 포커스, 화이트 밸런스 기능을 끈 상태에서 프로젝터와 카메라에 의해 보정된 컬러와 밝기를 포함하는 환경에서 실험된다. 따라서 근사값을 통해 원하는 파라미터를 얻게 되며 이러한 연산은 각각의 RGB 컬러 채널 각각에 대해 수행된다. 이를 통해 스크린 평면에서 물체를 중화할 수 있는 텍스처를 투사하게 된다.

4. 실험 결과

4.1 기하 보정

기하보정을 위해서 프로젝터와 카메라의 기하학적 관계를 정의해야 한다. 이를 위해서 프로젝터로 임의의 영상을 투사하고 스크린에 영상이 어떻게 투영되는지 살펴본다. 실험에서 사용된 영상은 그림 9(a)와 같으며, 그림 9(b)는 이 영상이 스크린에 투영되었을 때 카메라로 바라본 영상이다.

그림 9(b)영상을 Homography Transform 방법을 사용하여 변환하면 그림 10과 같이 영상처리를 위한 기본적인 영상을 구할 수 있다.



그림 8. 실험 환경



(a) 원 영상



(b) 카메라를 통해 본 영상

그림 9. 원 영상과 카메라 영상의 기하학적 차이



(a) 원 영상



(b) 카메라를 통해 본 영상

그림 10. 기하보정 결과

실험에서 사용한 프로젝터의 기종의 DONGWON DLP-380이며, 사용된 IEEE1394 카메라는 Point-Grey사의 Flea이다. 시스템 사양은 Sony VAIO 노트북을 사용하여 영상처리과정을 진행하였다. 전체적인 시스템 환경은 그림 8과 같다.

4.2 광도 보정

기하보정을 통해 영상을 와핑한 후, 색상보정 단계를 거친다. 먼저, 3.2절에서 말한 프로젝터 응답 함수를 계산해야 하는데 이를 위해서 그림 11과 같이 26장의 Gray-level 영상을 사용한다.

Gray-level 영상을 차례대로 프로젝터를 통해 투사한 후, 투영된 각 영상의 RGB 값을 이용하여 프로젝터 응답 함수를 계산한다. 그림 12는 26장의 Gray-level 영상을 이용하여 계산된 응답 함수이다.

그림 13은 각각의 Gray-level 영상(64, 192)을 균일한 Gray 패턴 표면(0, 64, 128, 192, 255)에 놓고

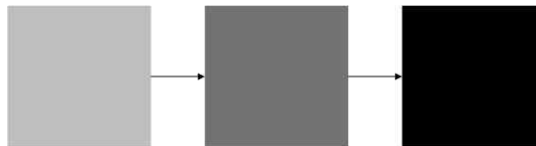


그림 11. Gray-level 영상(0, ..., 255)

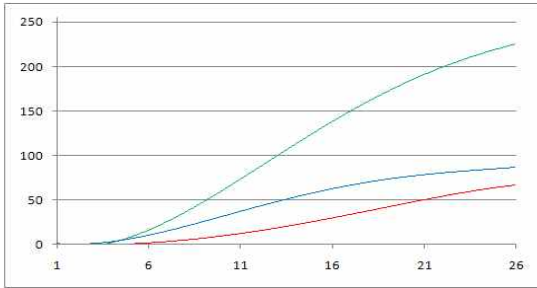
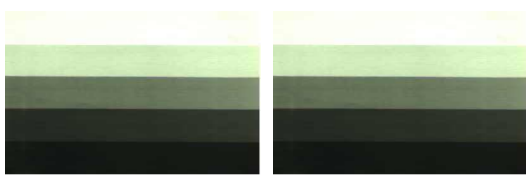
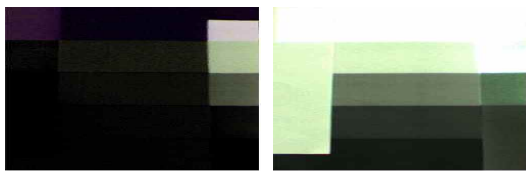


그림 12. 프로젝터 응답 함수



(a) 원하는 영상(R) (b) Gray-level 영상

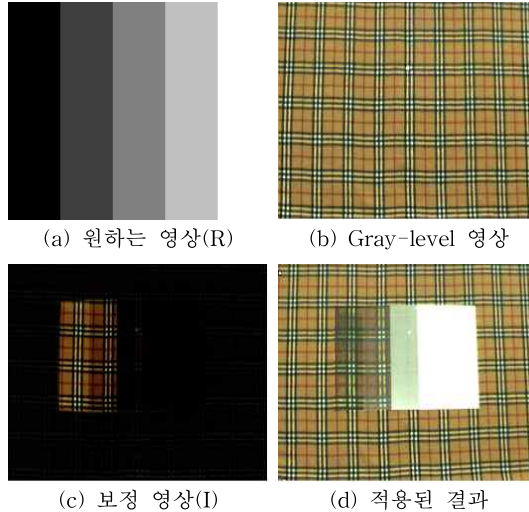


(c) 보정 영상(I) (d) 적용된 결과

그림 13. 규칙적인 Gray-level 패턴에 대한 결과

실험한 결과이다. 그림 13(a)는 사용자가 보려고 하는 영상을 카메라를 통해 획득한 영상이다. 균일화하기 위해 투영된 보정 영상은 보정에 의해 얻어진 모델 영상을 이용하여 결정된다(그림 13(a)참조). 이러한 영상을 스크린 표면에 투영한 결과는 균일화된 형태이다. 영상의 색상 레벨이 192라면 Gray-level 192에서 255까지의 색상에서 사라지게 된다(그림 13(d) 좌측 참조). 그리고 Gray-level 값이 64라면 Gray-level 64에서 255에서 사라진다(그림 13(d) 우측 참조). 따라서 물체의 색상 레벨이 사용자가 원하는 표면의 색상 레벨보다 높으면 물체의 텍스처를 잘 중화할 수 있다.

그림 14는 특정한 무늬가 있는 담요를 배경으로 하고, 균일한 Gray-level 패턴(0, 64, 128, 192, 255)을 가진 종이를 사용했을 때 물체의 텍스처 중화가 어떤 결과로 나타나는지 보여준다. 그림 14(d)의 결과 영상을 통해서 복잡한 패턴 등의 배경 영상이 존재할 경우, 물체의 밝기와 세기에 영향을 많이 받는다는 사실을 알 수 있다. 그렇다면, 배경 영상과 물체를



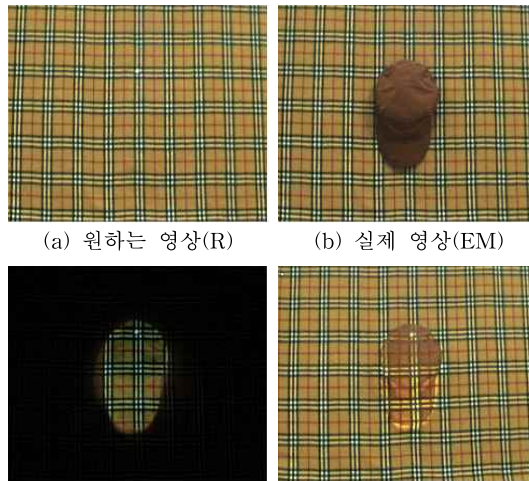
(a) 원하는 영상(R) (b) Gray-level 영상
(c) 보정 영상(I) (d) 적용된 결과

그림 14. 균일한 Gray 패턴 영상을 적용한 결과

적절히 선택했을 때 어떤 결과가 나타나는지 다음 실험을 통해 알아보았다.

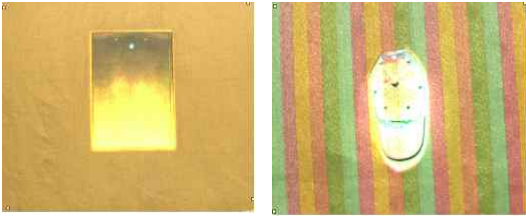
그림 15(d)는 보정 영상(I)을 물체의 텍스처를 중화하기 원하는 모자 그림 15(b)위에 투사했을 때 나타나는 최종 결과이다. 이 영상은 부분적으로 밝기 차이가 나타나지만, 실제 무대를 배경으로 적용된 상황에서 육안으로 확인할 때는 물체의 투명화에 만족스러운 결과를 보여준다.

이와는 달리 특정한 환경에서는 그림 16과 같이 잘못된 결과가 나타나기도 했다. 그림 16(a)는 재질



(a) 원하는 영상(R) (b) 실제 영상(EM)
(c) 보정 영상(I) (d) 적용된 결과

그림 15. 불규칙한 물체를 이용한 결과



(a) 반사율이 높은 물체 (b) 합성 섬유와 같은 재질의 배경

그림 16. 잘못된 결과 영상

이 플라스틱인 물체를 사용하였는데, 물체의 반사율이 높은 나머지 잘못된 결과를 보여준다. 그림 16(b)는 배경이 잘못된 경우를 나타내는데 합성 섬유를 배경으로 하고 그림 15와 동일한 환경에서 진행하였음에도 전혀 다른 결과를 보여주고 있다. 이를 통해서 알 수 있는 사실은 프로젝터와 카메라의 매개변수들이 결정된 후, 고정된 상황에서 물체나 배경이 정확히 인식할 수 있는 범위 내에서 선택이 되어야 한다는 점이다. 특별히 카메라의 FOV, 조리개 등 여러 가지 매개변수 값들이 환경에 유동적이지 못하기 때문에 물체의 투명화를 올바르게 진행하기 위해서는 현재로서는 적절한 물체와 환경을 구비해야 하는 한계를 가지고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 프로젝터-카메라 시스템을 이용하여 임의의 형태를 가진 물체의 표면을 시각적으로 중화하여 투명화 시키는 시스템을 제안하였고, 그에 따른 실험을 통해 시스템의 가능성을 확인하였다. 본 논문은 Smart Projector의 기본 알고리즘을 기반으로 스크린의 표면과는 상관없이 다양한 색상과 무늬를 가진 물체의 텍스처를 중화시킬 수 있다. 그러므로 본 논문에서 제안하는 시스템을 사용하여 공연이나 뮤지컬에서 무대 위에 위치한 물체나 사람의 표면을 중화할 수 있다. 이를 통해 다양한 공연과 뮤지컬에서 일시적인 장면 연출을 위해 사용함으로써 기존의 공연문화로부터 좀 더 다양한 퍼포먼스를 제공할 수 있는 환경을 관객들에게 부여할 수 있다.

하지만, 본 시스템의 경우에도 영상이 투영되는 물체의 반사율이 높거나, 프로젝터와 카메라의 매개변수가 결정된 후 고정된 상황에서 물체나 배경이 정확히 인식할 수 있는 범위 내에서 선택이 되어야하

는 개선해야 할 사항이 있다. 그리고 보다 효과적인 결과 도출을 위해 GPU 기반의 연산 처리를 통해 처리 시간을 단축시킴으로써 좀 더 복잡하고 많은 양의 대규모 연산 처리를 할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] M.D. Grossberg, H. Peri, S.K. Nayar, and P.N. Belhumeur, "Making One Object Look Like Another: Controlling Appearance Using a Projector-Camera System," Proc. of CVPR, Vol.1, pp. 452-459, 2004.
- [2] T. Amano and H. Kato, "Appearance Control Using Projection with Model Predictive Control," 2010 20th International Conference on Pattern Recognition, pp. 2832-2835, 2010.
- [3] A.J. Law, D.G. Aliaga and A. Majumder, "Projector Placement Planning for High Quality Visualizations on Real-World Colored Objects," *Visualization and Computer Graphics*, Vol.16, Issue 6, pp. 1633-1641, 2010.
- [4] 김진현, "노출 시간이 다른 두 HDR 영상의 융합 기법," 한국멀티미디어학회논문지, Vol.13, No.4, pp. 526-534, 2010.
- [5] 정준우 and 김경환, "색 상관 관계 기반의 색조 검출 및 핵밀도 추정을 이용한 색 항상성 알고리즘," 한국멀티미디어학회논문지, Vol.13, No.4, pp. 535-546, 2010.
- [6] A. Raij, G. Gill, A. Majumder, H. Towles, and H. Fuchs, "PixelFlex2: A Comprehensive, Automatic, Casually-Aligned Multi-Projector Display," IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems, 2003.
- [7] B. Sajadi and A. Majumder, "Auto-Calibration of Cylindrical Multi-Projector Systems," Virtual Reality Conference (VR), pp. 155-162, 2010.
- [8] B. Sajadi and, A. Majumder, "Scalable Multi-view Registration for Multi-Projector Displays on Vertically Extruded Surfaces," Computer Graphics Forum, Vol.29, Issue 3, pp. 1063-1072, 2010.
- [9] K. Fujii, M. D. Grossberg, and S. K. Nayar, "A

Projector-Camera System with Real-Time Photometric Adaptation for Dynamic Environments,” IEEE Computer Society Conference on Computers Vision and Pattern Recognition CVPR’05), Vol.1, pp. 814-821, 2005.

- [10] <http://alumni.media.mit.edu/~cwren/interpolator>
- [11] H. W. Ok, S. D. Lee, W. H. Choe, D. S. Park, and C. Y. Kim, “Color processing for Multi-Primary Display Devices,” Image Processing, IEEE International Conference, Vol.3. pp. 980-983, 2005.
- [12] O. Bimber, A. Emmerling and T. Klemmer, “Embedded Entertainment with Smart Projector,” *IEEE Computer*, Vol.38, No.1, pp. 56-63, 2005.
- [13] O. Bimber, D. Iwai, G. Wetzstein, and A. Grun-dhöfer, “The Visual Computing of Projector-Camera Systems,” Computer Graphics Forum, Volume 27, Issue 8, pp. 2219-2245, December 2008.
- [14] Y. Sheng, T. C. Yapo, and B. Cutler, “Global Illumination Compensation for Spatially Augmented Reality,” Computer Graphics Forum, Volume 29, Issue 2, pp. 387-396, May 2010.



이 동 훈

동서대학교 컴퓨터공학과 공학사
 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학
 석사
 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학
 박사
 동서대학교 디지털 콘텐츠학부
 조교수

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 3D Vision, 가상현실, 영상 기반 모델링 및 렌더링



윤 태 수

경북대학교 컴퓨터 공학과 공학사
 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학
 석사
 경북대학교 컴퓨터 공학과 공학
 박사
 동서대학교 디지털 콘텐츠학부
 부교수

관심분야 : Machine Vision, 멀티미디어, 게임개발