

논문 2004-41CI-1-4

# 프로젝션 화면에서 전경물체 검출

## (Foreground object detection in projection display)

강 현\*, 이 창 우\*, 정 기 철\*\*, 박 민 호\*\*\*

(Hyun Kang, Chang Woo Lee, Keechul Jung, and Min Ho Park)

### 요 약

색상 정보를 이용한 프로젝션 화면(projection display)상의 전경물체 검출(foreground object detection)은 조명 변화나 복잡한 배경 때문에 어렵다고 알려져 있다. 본 논문에서는 프로젝터의 입력 영상과 프로젝션 화면을 촬영한 카메라 영상들로부터 얻어진 색상 정보를 이용한 전경물체 검출 방법을 제안한다. 두 영상사이에 기하 왜곡과 색상 왜곡이 존재한다고 가정한다. 두 영상사이의 관련된 화소를 찾기 위해 투영변환방법(projective transformation)을 사용하여 기하 왜곡을 보정한다. 프로젝션 화면상에 전경물체가 없을 때 관련된 화소사이의 색상 차이를 프로젝션 화면상의 자연스러운 왜곡으로 모델링한다. 이를 다항식 근사 방법(polynomial fitting)으로 모델링한다. 영상 내 어떤 위치에서 관련된 화소 사이의 차이가 주어진 다항식에서 예측된 색상차이보다 클 때 전경물체가 있는 것으로 간주한다. 실험 및 결과에서 제안된 전경물체 검출 방법이 디지털 데스크(DigitalDesk)같은 프로젝션 화면 시스템에 적용 가능하다는 것을 보였다.

### Abstract

The detection of foreground objects in a projection display using color information can be hard due to changing lighting conditions and complex backgrounds. Accordingly, the current paper proposes a foreground object detection method using color information that is obtained from the input image to the projector and an image captured by a camera above the projection display. After pixel correspondences between the two images are found by calibrating the geometry distortion and color distortion, the natural color variations are estimated for the projection display. Then, any pixel that has another variation not resulting from natural geometry or color distortion is considered a part of foreground objects, because a foreground object in a projection display changes the values of pixels. As shown by experimental results, the proposed foreground detection method is applicable to an interactive projection display system, such as the DigitalDesk.

**Keywords :** Human Computer Interface; DigitalDesk; Augmented Reality; Projection Display

## I. 서 론

모니터 화면의 제약을 극복할 수 있는 프로젝션 화면(projection display)<sup>[1]</sup> 상에서의 상호작용은 증강 현실(augmented reality)이나 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing) 등의 연구 분야에서 많이 연구, 활용

되고 있다. 사용자는 프로젝션 화면 위의 아이콘을 직접 손으로 클릭하여 조작하거나 명령을 내릴 수 있다. 그리고, 상호작용 시스템은 전자 정보를 책상위 종이 문서 위에 도시할 수 있다. 이런 상호작용은 디지털 데스크 (DigitalDesk)<sup>[2-4]</sup>, 브라이트 보드(Bright Board)<sup>[5]</sup>, 인텔리전트 룸(Intelligent Room)<sup>[6]</sup> 등의 응용 제품 들에서 보여져왔다.

디지털데스크는 보통의 책상에 컴퓨터의 특성을 혼합한 것이다. 컴퓨터의 화면은 책상 위에 투사되고, 책상을 바로 보는 카메라를 통해 입력된 영상은 영상처리 시스템에 의해 처리됨으로써 사용자의 행동을 감지한다<sup>[2-4,7,8,9]</sup>. 프로젝션 화면상의 상호작용 시스템의 전

\* 정희원, 경북대학교 컴퓨터공학과  
(Dept. of Computer Engineering at Kyungpook National Univ.)

\*\* 정희원, 숭실대학교 미디어학부 - 교신저자  
(College of Information Science at Soongsil Univ.)

\*\*\* 정희원, 경북대학교 전산정보원  
(Computer Center at Kyungpook National Univ.)

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음  
접수일자 : 2003년9월5일, 수정완료일 : 2003년12월26일

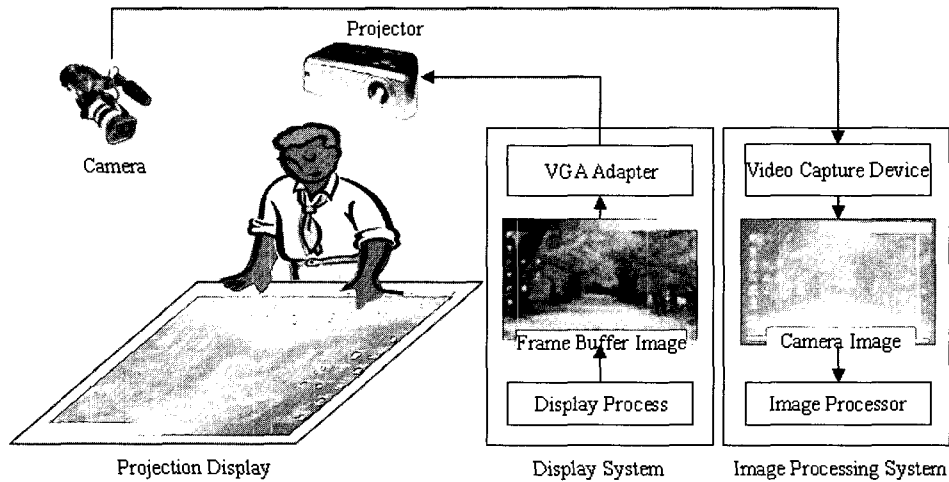


그림 1. 프로젝션 화면상의 상호작용 시스템의 전형적인 프로토타입  
 Fig. 1. Typical prototype of interactive system for projection display.

형적인 프로토타입이 그림 1에 보여 진다. 사용자가 프로젝션 화면상에서 작업을 하는 동안, 사용자 의도는 카메라에 의해 촬영된 영상 시퀀스를 처리하여 알아낸다. 이러한 프로젝션 화면 응용 분야에서 전경물체 검출은 필수 단계이다.

기존의 연구에서 전경물체를 검출하기위해 추가적인 센서나 프레임 차영상을 사용하였다. 디지털데스크의 일종인 EnhancedDesk<sup>[7]</sup>의 경우 사람의 체온에 반응하는 적외선 카메라를 사용하여 사용자의 손(전경물체)을 검출하였다. Rekimoto<sup>[8]</sup>는 책상 표면의 압력 센서를 사용하여 전경물체를 찾았다. 영상 처리 기법으로는 연속된 프레임들 간의 차영상을 사용하는 방법이 있다. 이는 전경물체의 움직임을 가정한 방법으로써 구현상의 용이함으로 인하여 많이 사용되었다<sup>[5,9,10]</sup>.

물체의 고유한 색상정보는 물체 검출 시에 중요한 정보이다. 그러나 프로젝션 화면상에서 색상정보의 이용은 조명의 변화와 복잡한 배경 때문에 충분한 성능을 내지 못한다<sup>[7,10]</sup>. 제안된 방법은 프로젝터의 입력영상과 카메라에서 획득한 영상간의 차이를 기반으로 한 방법으로써, 기하보정 및 색상 보정을 이용하여 전경물체를 검출하고자 한다. 본 논문에서 프로젝터의 입력영상을 프레임 버퍼 영상, 카메라의 획득영상을 카메라 영상이라고 부른다. 이들 간에는 왜곡이 존재한다. 우리는 이 왜곡중에서 주된 요인을 두가지로 가정한다. 하나는 기하 왜곡이며, 다른 하나는 색상간의 왜곡이다. 이러한 왜곡을 보정하기 위해, 투영변환(projective transformation)이 기하보정에 사용되어 두 영상간의 관련된 화소들을 찾는다. 프로젝션 화면상에 전경물체가 없을 때 관련된 화소사이의 색상 차이를

프로젝션 화면상의 자연스러운 왜곡으로 모델링한다. 이는 다항식 근사 방법(polynomial fitting)을 사용한다. 영상 내 한 위치에서 관련된 화소와 주어진 다항식에서 예측된 밝기가 차이가 날 때 전경물체가 있는 것으로 간주한다.

본 논문 II장에서는 전경물체 검출 시의 문제점에 대해서 언급한다. III장에서는 본 논문에서 제안되는 전경물체 검출 방법을 소개하며, IV장에서는 실험 및 결과를 보였고, 결론을 V장에 맺는다.

## II. 문제 정의

색상 정보를 이용한 전경물체 검출방법은 다른 방법보다 많은 장점을 가진다. 예를 들어, 사람의 손은 고유의 색상 모델을 사용하여 전경물체(손)를 다른 배경이나 물체로부터 쉽게 구별된다. 그러나 Oka<sup>[7]</sup>와 Kjeldsen<sup>[10]</sup>의 연구에서 기존의 영상 처리 기법으로 프로젝션 화면상에서 전경물체를 찾는 것은 프로젝션 화면의 조명 변화와 복잡한 배경 때문에 어렵다고 하였다. 그림 2에 손의 색상이 프로젝션 화면상에서 변화된 것을 볼수가 있다. 이러한 색상 변화의 결과로, 기존의 색상기반의 방법으로는 전경물체 검출하기 어렵다.

프로젝션 화면에서 상호작용은 가상 물체와 실제 물체(손 또는 종이 문서)사이에서 주로 일어난다. 가상 물체의 색상 정보는 프로젝터의 입력 영상(프레임 버퍼 영상)에서 얻을수 있으며, 실제 물체의 색상 정보는 프로젝션 화면을 촬영하고 있는 카메라를 통해 구할 수

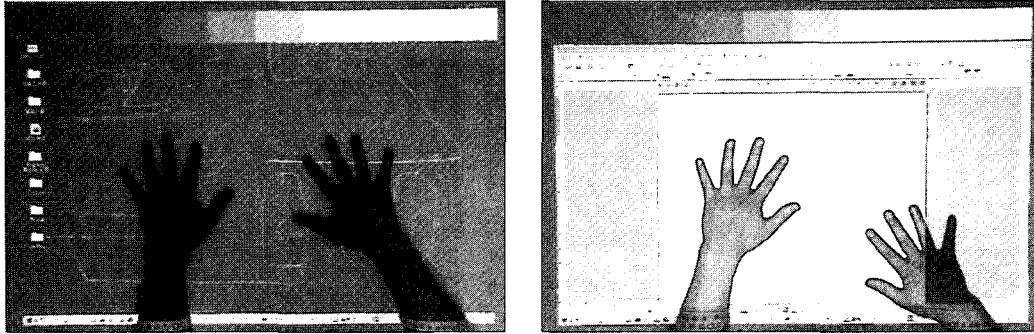


그림 2. 프로젝션 화면위의 손을 촬영한 카메라 영상들  
Fig. 2. Hands on projection display.

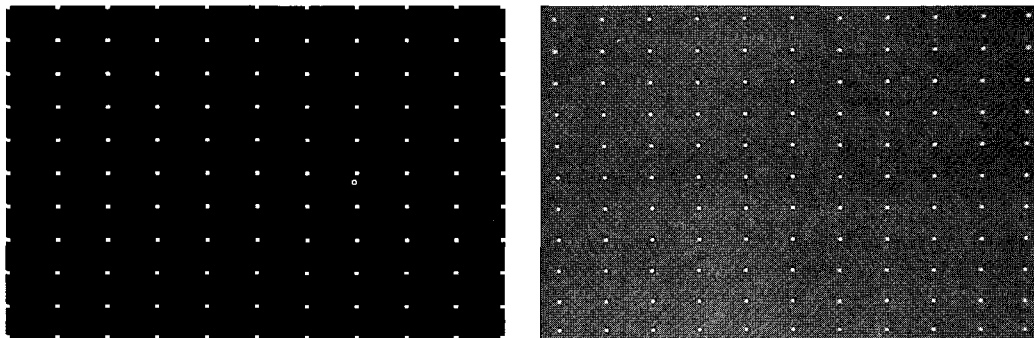


그림 3. 프레임버퍼 영상(좌)과 카메라 영상(우)사이의 기하 왜곡  
Fig. 3. Geometry distortion between frame buffer image (left) and camera image (right).

있다. 그러나 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상간의 왜곡 때문에 두 영상간의 간단한 차이만으로는 전경물체를 쉽게 추출할 수 없다.

본 논문에서는 프로젝션 화면의 대표적인 왜곡으로 기하 왜곡과 색상 왜곡이 있다고 가정한다. 카메라 영상과 프레임 버퍼 영상사이에서 관련된 화소의 위치 차이를 기하 왜곡이라고 정의하며, 이는 카메라와 프로젝터와의 실제 위치 차이 때문에 일어난다. 그림 3에 프레임 버퍼 영상의 흰 점들의 위치가 카메라 영상에서 변하였다. 이런 기하 왜곡은 카메라 보정 문제(camera calibration)로 알려져 있다.

프로젝션 화면의 다른 왜곡 현상으로 색상 왜곡이 있다. 그림 4에 프로젝션 화면상에 나타나는 색상 왜곡을 SMPTE 칼라바<sup>1)</sup> 영상과 10단계 명암 영상으로 보였다. 프레임 버퍼 영상(좌측)의 채도와 색상이 카메라 영상(우측)에서 크게 변하였다. 그림 4 (b)에서도 명암도가 두 영상에서 많은 차이를 보인다. 우리는 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상간의 관련된 화소의 색상의 차이를 색상 왜곡이라 정의한다.

### III. 전경물체 검출

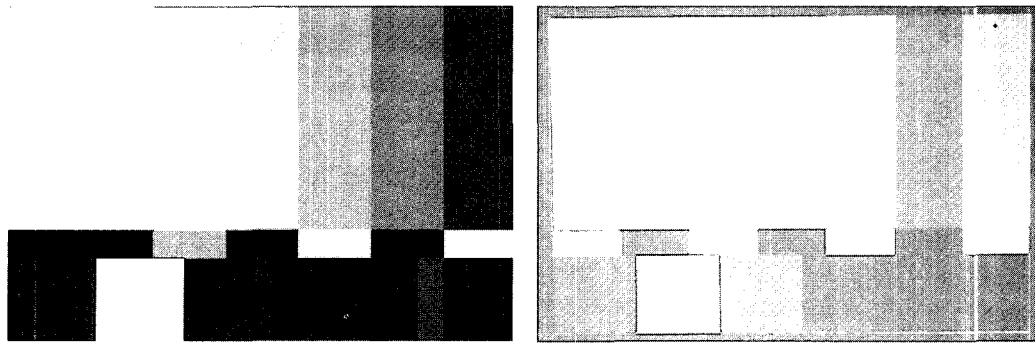
색상정보는 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상에서 얻어지며, 만일 이 두 영상 사이에 왜곡이 존재하지 않는다면 두 영상 차이로 전경물체를 검출할 수 있다. 그러나 기하 왜곡과 색상 왜곡을 극복하기 위해서 두 단계로 구성된 방법을 제시한다. 먼저 기하 왜곡을 보정하여 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상간의 관련된 화소들을 찾고, 다음에 두 영상 간의 샘플 색상의 변화가 측정되어 프로젝션 화면상에 존재하는 자연스러운 색상 변화 모델을 만든다. 이 모델로부터, 전경물체에 의한 색상 변화를 감지함으로써 위치를 알아낼 수 있다.

#### 1. 기하 보정 (Geometry Calibration)

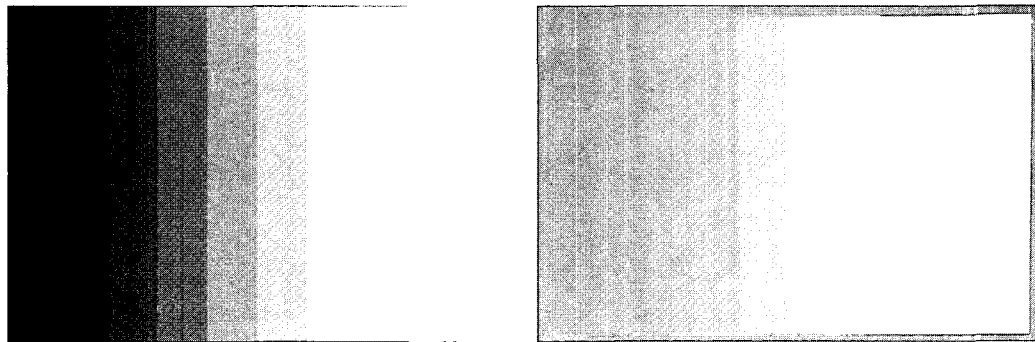
프레임 버퍼 영상과 카메라 영상 간의 관련된 화소를 찾기 위하여, 기하 보정 방법이 필요하다. 디지털 데스크 응용 시스템들은 사용자의 손과 가상물체간의 상호작용을 가능하게 하며, 이런 상호작용을 위해서 손 좌표계와 가상 물체의 좌표계 간의 좌표 변환 과정이 필요하다.

Ashdown은 프로젝션 화면에서 좌표변환시에 투영변환방법이 대응점 워핑 기법(point warping)보다 낫다고

1) SMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers) 칼라바는 인코더, 디코더 및 각종비디오 장비를 테스트하기위한 대표적인 패턴이다<sup>[11]</sup>.



(a) SMPTE 영상에서의 색상 왜곡 예시  
(a) Color distortion in SMPTE bar image



(b) 10단계 회색 영상에서의 색상 왜곡 예시  
(b) Color distortion in 10-step gray image brightness distortion

그림 4. 프레임버퍼 영상과 카메라 영상 사이의 색상 왜곡  
Fig. 4. Color distortion between frame buffer image and camera image.

하였다<sup>[9]</sup>. 책상에 투사된 프로젝션 화면은 카메라에 의해 촬영되며, 프로젝션 화면과 이와 관련된 카메라 영상은 평면이라 가정할 수 있으므로, 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상간의 관계는 투영변환 관계로 가정할 수 있다. 그림 5에서 원점 O는 카메라와 프로젝터의 위치이다. 두 점 P와 P'는 각각 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상내 있다. 이때 두 영상간의 좌표 변환 관계는 식 1로 표현된다.

$$(x, y, w) = \mathbf{H} \begin{pmatrix} u \\ v \\ z \end{pmatrix} \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} u_0 & v_0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_0x_0 & -v_0x_0 & -x_0 \\ u_1 & v_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_1x_1 & -v_1x_1 & -x_1 \\ u_2 & v_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_2x_2 & -v_2x_2 & -x_2 \\ u_3 & v_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -u_3x_3 & -v_3x_3 & -x_3 \\ 0 & 0 & 0 & u_0 & v_0 & 1 & -u_0y_0 & -v_0y_0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 0 & u_1 & v_1 & 1 & -u_1y_1 & -v_1y_1 & -y_1 \\ 0 & 0 & 0 & u_2 & v_2 & 1 & -u_2y_2 & -v_2y_2 & -y_2 \\ 0 & 0 & 0 & u_3 & v_3 & 1 & -u_3y_3 & -v_3y_3 & -y_3 \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

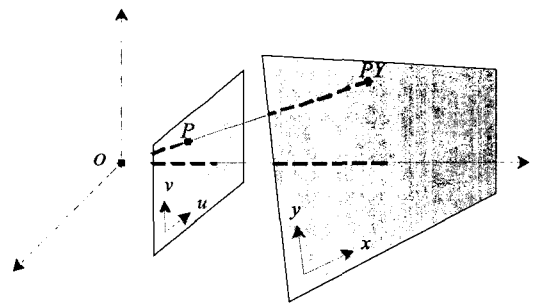


그림 5. 두 점 P와 P'간의 투영변환 관계  
Fig. 5. Projective transformation.

행렬 H안의 a부터 i까지 9개의 상수는 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상의 4개 이상의 대응점들로 계산된다. Hartley와 Zisserman<sup>[15]</sup>은 이런 투영변환을 다음 식으로 구하였다.

이 행렬 A는 4개 이상의 매칭되는 점들로 구성된다. 식 2는 프레임 버퍼 영상안의 점  $(u_i, v_i)$ 와 카메라 영상안의 점  $(x_i, y_i)$ 의 4쌍으로 만든 행렬이다. H의 상수 a부터 i는  $A^T A$ 의 최소 고유값과 고유벡터로 구해진다.

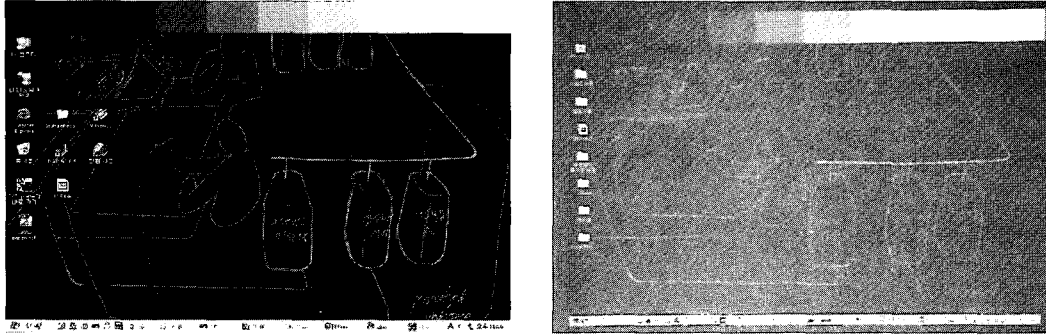


그림 6. 프레임버퍼 영상(좌)과 카메라 영상(우)에 나타난 밝기 마커  
Fig. 6. BCMs in frame buffer image (left) and camera image (right).

2. 색상 보정 (Color Calibration)

프로젝션 화면상의 색상왜곡을 보정하기위한 방법이 이 장에 기술된다. 색상왜곡은 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상 간의 관련된 화소들의 색상 차이를 말한다.

본 논문에서는 전경물체 검출을 위해 프로젝트션 화면의 자연스러운(intrinsic) 색상 변화를 이용한다. 전경물체가 없는 상황에서 입력 영상과 출력 영상간의 관련된 화소간의 색상 차이를 자연스러운 색상 변화라고 한다. 여기서 입력 영상(프레임 버퍼 영상)과 출력 영상(카메라 영상)의 각 화소의 색상 정보는 밝기값만을 사용한다. 색상의 밝기는 실시간으로 얻기 쉽고 1차원 값으로 가공하기가 편리하다. 이는 NTSC신호의 휘도로도 잘 알려져 있는 Y값 (식 3)을 사용한다. 여기서 R, G, B는 화소의 각각 빨강, 초록, 파랑의 색상 성분의 값이다.

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (3)$$

자연스러운 색상 변화를 얻기 위해서, 프레임 버퍼 영상은 밝기의 전 레벨값이 있어야한다. 그러나 임의 영상 안에서 신호의 전 범위가 나오지 않는다. 본 논문에서는 프로젝트션 화면의 일부에 밝기 마커를 만든다 (그림 6). 밝기 마커는 서로 다른 k단계의 밝기값을 가진 사각형으로 이루어진다. 이 밝기 마커를 통해서 자연스러운 색상 변화를 예측한다.

프로젝션 화면상에는 조명의 변화나 화면의 전체 밝기에 따라 시간적으로 변한다. 밝기 마커는 화면 상단에 위치하여 환경 변화에 상관없이 자연스러운 색상 변화 예측한다. 화소의 공간적 위치에 따라 동일 밝기값의 변화도 존재하지만 이 변화는 전경물체에 의한 변화값보다 극히 작다고 가정한다. 밝기 관계는 대체적으로 시그모이드 함수를 따르나 최대밝기에서 시그모이드함수를 많이 따르지 않음을 확인하였다 (그림 7).

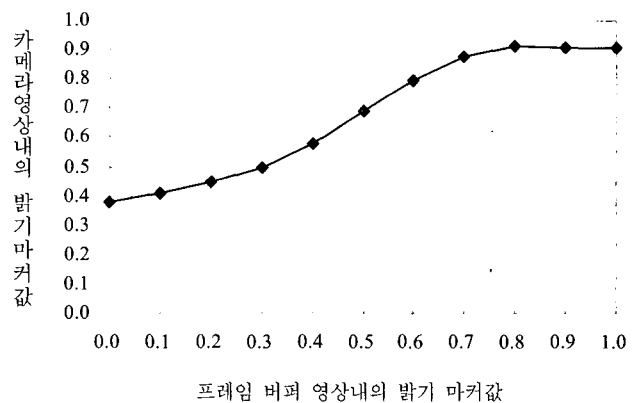


그림 7. 특정 시간에서의 밝기 바의 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상간의 관계 도표  
Fig. 7. Natural color distortion of BCMs in current experimental environment.

주어진 k개의 밝기 관계를 통해서 전 범위에서의 밝기 관계를 예측하기 위해서 다항식 근사 방법 (polynomial fitting)을 사용한다(식 4).

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \dots + \alpha_n x^n \quad (4)$$

식 4는 n차 다항식으로 상수 = (0, 1, , n)T를 가지고 있다. 밝기 마커를 통해 얻은 k개의 입력 신호값  $x = (x_1, x_2, , x_k)T$ 와 출력 신호값  $y = (y_1, y_2, , y_k)T$ 들을 가지고 식 5에 적용한다. 식 5를 최소 자승법으로 풀게 되면 식 6를 얻게 되며 상수 로 n차 다항식을 구하게 된다 [17]. 식 5에서의 = (1, 2, , k)T는 여러 벡터이다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_k & x_k^2 & \dots & x_k^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$y = X \cdot \alpha + \epsilon$$

$$\hat{a} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (6)$$

프레임 버퍼 영상과 카메라 영상 내에서 화소들의 밝기 값과 밝기 마커에 의해 구해진 근사곡선을 이용하여 화소의 변화가 전경물체에 의해 일어났는지 아닌지를 판별한다.

### 3. 후 처리 (Postprocessing)

실험상으로 제안된 방법으로 왜곡을 완전히 제거할 수는 없었다. 이는 동일 색상의 공간적인 위치에 따른 변화 때문이었다. 프로젝션 화면이 만들어질 때, 프로젝터의 투사중심에 가까울수록 밝아지고 멀어질수록 어두워지는 현상이 존재한다. 다른 이유로 프로젝터가 정확하게 투사하지 못하였다. 그림 8에서 아이콘 경계와 'cwlce'라는 글자가 CRT모니터(우측)에 비해 많이 흐려져 있다.

잡음을 제거하기 위해 모폴로지 연산과 연결 성분 (connected component) 분석을 수행한다. 모폴로지 연산은 클로징(closing)과 오픈닝(openning)을 수행한다. 이는 덩어리에 붙어있는 틈니형상의 잡음, 점이나 선들을 없애준다. 연결 성분 분석은 모폴로지 연산된 영상에서 연결된 블록을 얻고 이들 중에 휴리스틱 룰에 만족하는 요소가 전경물체가 된다.

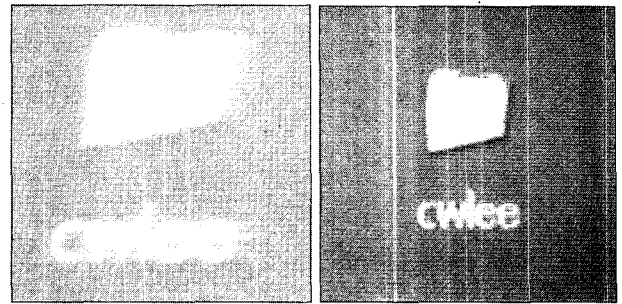


그림 8. 프로젝션 화면상의 블러링 현상(좌측)과 CRT 모니터상의 같은 글자(우측)  
 Fig. 8. Blurring phenomenon on projection display (left) compared with CRT monitor (right).

## IV. 실험 및 결과

제안된 방법은 디지털데스크 시스템에서 실험하였다. 구현된 디지털데스크 시스템은 프로젝터, 카메라, 일반 책상, 2.66GHz의 표준 PC로 구성된다. 시스템은 Visual C++ 6.0과 DirectShow 9.0 SDK으로 720×480 컬러 영상을 초당15프레임을 획득하였다 (그림 9). 제안된 방법을 검증하기 위해 색상 왜곡의 확인 실험과 제안된 방법의 여러 환경에 대한 실제 적용을 해보았다.

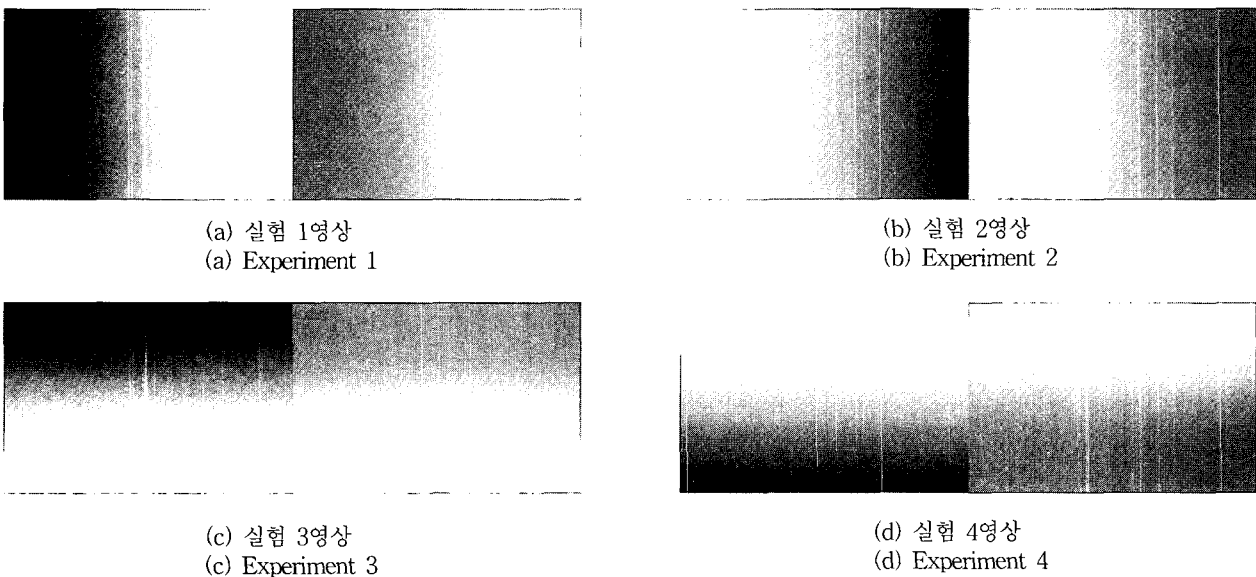


그림 10. 색상보정 실험에 쓰인 프레임 버퍼 영상(좌측)과 카메라 영상(우측)  
 Fig. 10. Frame buffer images (left) and camera images (right) used for color calibration.

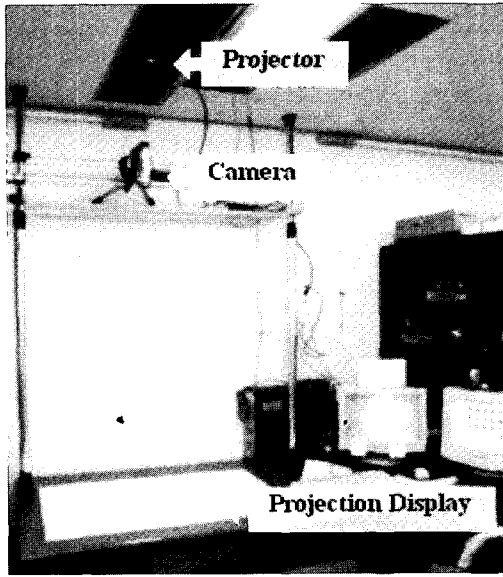


그림 9. 실험에 사용된 디지털데스크 시스템  
Fig. 9. Implemented DigitalDesk.

제안된 방법은 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상 간의 전경물체가 없을 때 자연스러운 색상 변화관계를 이용한다. 이 변화관계를 보기위해 4방향의 연속 회색조 영상으로 실험을 하였다(그림 10). 연속 회색조 영상에는 전 범위의 입력 밝기 값이 있다. 실험 결과 4종 모두 같

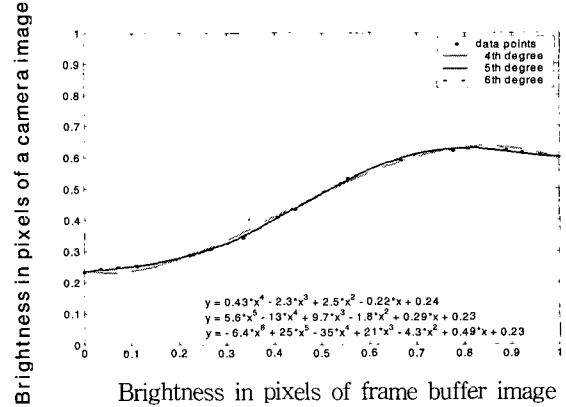
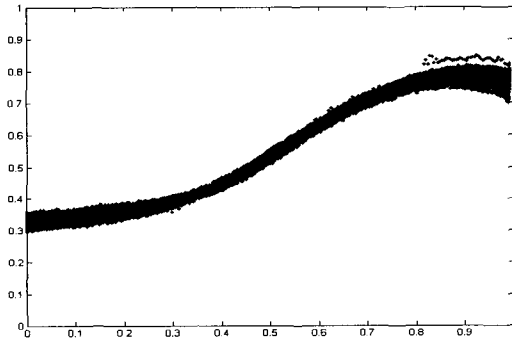
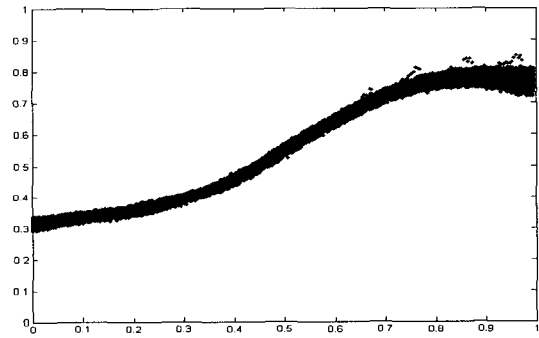


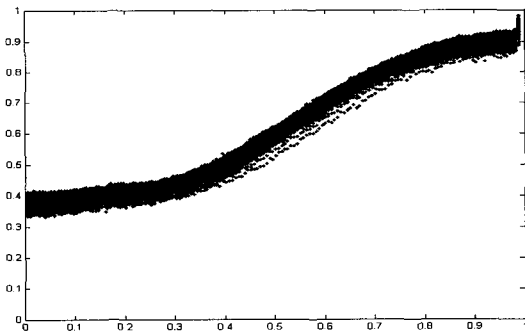
그림 12. 밝기 마커 데이터에 대한 3종의 근사곡선  
Fig. 12. Regression curves.



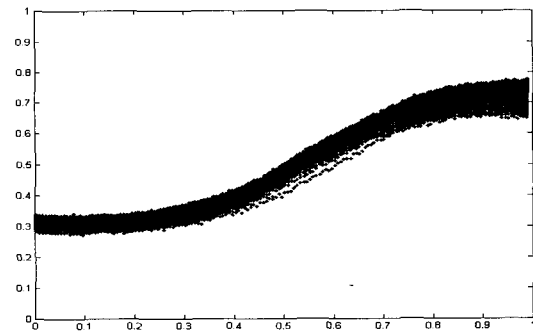
(a) 실험 1의 결과  
(a) Result graph for Experiment 1



(b) 실험 2의 결과  
(b) Result graph for Experiment 2



(c) 실험 3의 결과  
(c) Result graph for Experiment 3



(d) 실험 4의 결과  
(d) Result graph for Experiment 4

그림 11. 프레임 버퍼 영상 4종에 대한 카메라 영상의 출력 밝기 관계 그래프  
Fig. 11. Result graphs correlation between frame buffer images and corresponding camera images.

은 형태의 변화 곡선을 가지며 (그림 11) 그래프 간의 절댓값 차이도 크지 않다.

실험 1, 2의 결과 그래프가 실험 3, 4 그래프에 비해 상하 폭이 좁게 나온다. 이는 동일 밝기 픽셀의 공간적 위치에 대한 변화가 수직방향보다는 수평방향에서 크다는 것을 보인다.

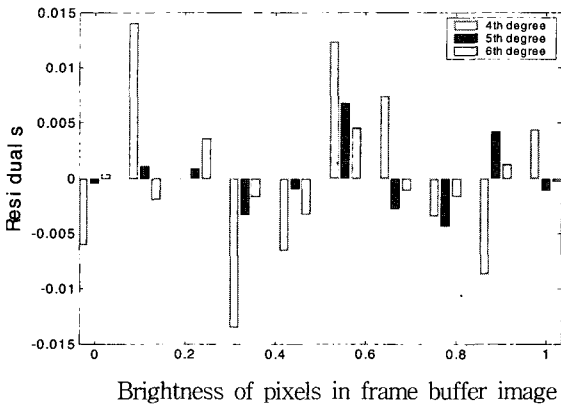


그림 13. 밝기 마커 데이터에 대한 3종의 근사 곡선 적합도  
Fig. 13. Residuals according to degree of polynomial.

이는 화면 가로길이가 세로 길이보다 크기 때문이다. 프로젝터의 투사 중심이 영상 중앙 하단부에 위치하여 실험 3의 흰색부분이 크게 강조됨을 보이고 있다. 그러나 가장 두꺼운 부분일지라도 그 두께가 0.15 밝기 값크기(밝기값은 0~1사이 값을 가진다)에 미치지 못한다. 이는 전경물체로 인한 색상변화에 대해서 사소하다.

다음 실험으로 밝기 마커에 의해 구해진 k개의 데이터로 근사곡선을 구하는 실험이다. 근사곡선은 다항식을 사용하였다. 다항식의 차수에 따라 근사곡선(그림 12)과 데이터간의 적합도(그림 13) 또한 표시하였다. 실험은 디지털데스크에서 얻어진 데이터를 MATLAB을 사용하여 근사곡선을 구하였다. 근사곡선식으로 4차, 5차, 6차 다항식을 사용하였다.

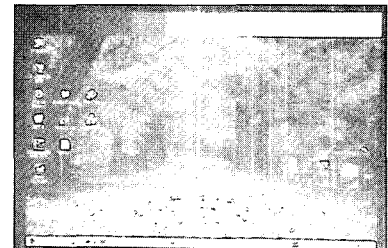
제안된 방법을 다양한 환경에서 실험하여 그림 14와 15에 보였다. 그림 14는 전경물체가 없는 복잡한 배경에서의 영상이다. 그림 15는 전경물체인 손을 검출한 중간 결과 영상이다. 두 그림의 (a)영상은 프레임버퍼 영상, (b)영상은 카메라 영상, (c)영상은 기하 보정된 카메라 영상, 그리고 (d)영상은 (a)와 (c)의 단순한 차영



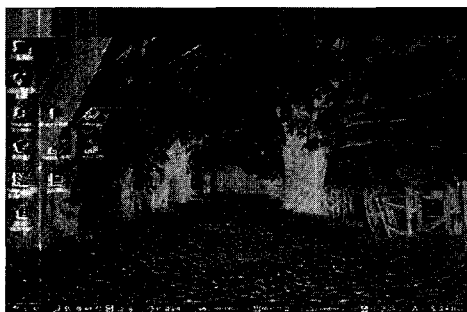
(a) 프레임 버퍼 영상  
(a) Frame buffer image



(b) 카메라 영상  
(b) Camera image



(c) 기하 보정된 카메라 영상  
(c) Geometry calibrated camera image



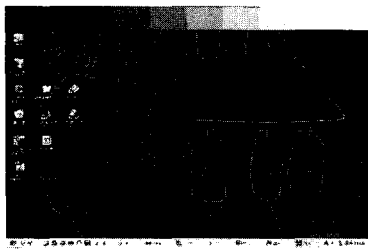
(d) 영상 a와 b의 화소간 단순한 차이를 구한 영상  
(d) Simple difference between (a)&(b)



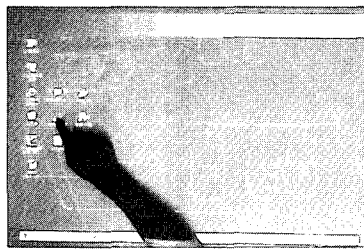
(e) 제안된 방법의 결과 영상  
(e) Result image with the proposed method

그림 14. 전경물체가 없고 복잡한 배경 하에서 제안된 방법에 의한 중간 결과 영상들  
Fig. 14. Intermediate images of proposed method with no foreground objects and complex background.

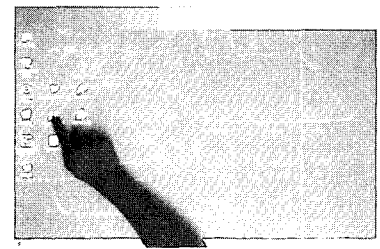




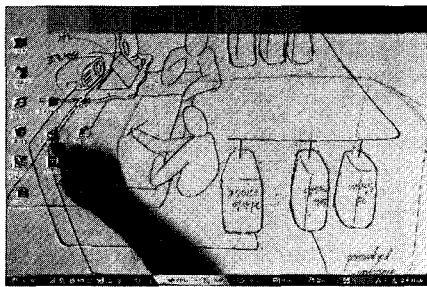
(a) 프레임 버퍼 영상  
(a) Frame buffer image



(b) 카메라 영상  
(b) Camera image



(c) 기하 보정된 카메라 영상  
(c) Geometry calibrated camera image



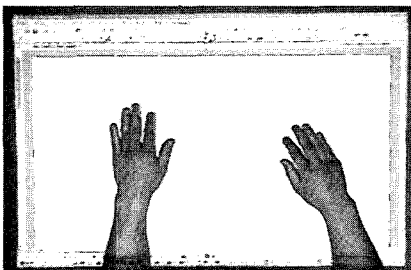
(d) 영상 a와 b의 화소간 단순한 차이를 구한 영상  
(d) Simple difference between (a)&(b)



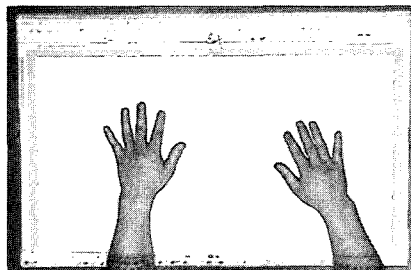
(e) 제안된 방법의 결과 영상  
(e) Result image with the proposed method

그림 15. 전경물체가 없고 복잡한 배경 하에서 제안된 방법에 의한 중간 결과 영상들

Fig. 15. Intermediate images of proposed method with no foreground objects and complex background.



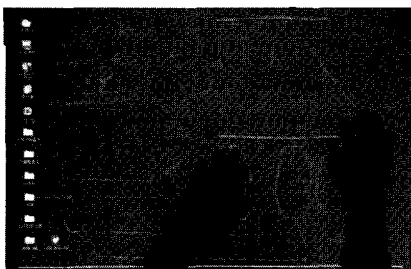
(a) t-1 번째 영상  
(a) t-1 frame



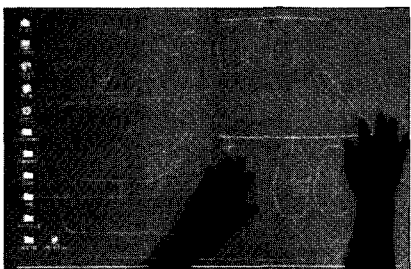
(b) t 번째 영상  
(b) t frame



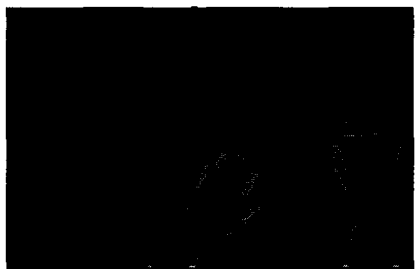
(c) (a, b)영상의 차영상  
(c) differencing result in (a)&(b)



(d) t-1 번째 영상  
(d) t-1 frame



(e) t 번째 영상  
(e) t frame



(f) (d, e)영상의 차영상  
(f) differencing result in (d)&(e)

그림 16. 밝은 배경과 어두운 배경 하에서의 차영상 방법의 예시

Fig. 16. Example of differencing method with bright background (a-c) and dark background (d-f).

상이다. (e)영상은 제안된 방법으로 전경물체를 검출하여 후처리 전 영상이다.

그림 16에서는 차영상을 이용하여 전경물체 검출한 중간 결과 영상을 보였다. 차영상 방법은 (a, b)영상과 (d, e)영상같은 연속 프레임에서 움직임 검출에 의해서 전경물체(c, f)를 찾는다. 움직임 검출은 각 화소 위치에서 연속된 프레임의 밝기 차이로 계산된다. 차영상 기법은 간단하고, 빠르며 하드웨어로도 지원이 가능하다. 그러나 카메라 영상 획득 시에 초당 프레임 수에 따라 후처리 과정이 복잡해진다. 그리고 움직임이 없는 전경물체를 탐지하지 못한다<sup>[18]</sup>.

그림 17은 연속 프레임을 입력받아 제안된 방법으로 전경물체를 찾은 결과를 보였다. 전경물체는 맨손이며 배경화면은 Microsoft Word 화면이다. 후처리 후 잡음을 감쇄한 영상도 예시하였다. 후처리 작업시 모폴로지 연산은 클로징, 오프닝연산을 33 마스크를 이용하였다. 연결 성분 분석 후 찾은 연결 요소는 다음 조건 중에 하나라도 만족하면, 전경물체이다. 1) 300 화소 크기 이상의 연결요소, 2) 중횡비가 30%에서 300%인 연결 요소, 3) 40%이상의 화소 밀도를 가진 연결 요소.

다음 표 1은 실험상으로 측정된 각 단계의 속도이다. 전체 속도는 200 msec를 넘지 않는다. 이는 초당 5프레임 이상을 처리하여 실시간 인터페이스가 가능하다. 각단계는 프레임 버퍼 영상 워핑, 카메라 영상 기하 보정, 전경물체검출, 모폴로지연산, 연결성분분석으로 이루어져 있다. 프레임 버퍼 영상 워핑은 프레임 버퍼 영상을 카메라 영상의 기준 크기인 720×480으로 변환하는 단계이다. 화면 해상도 영상 크기에 수행 시간이 의존한다. 기하보정과 전경물체 검출은 카메라 영상 크기에만 의존하므로 시간은 변하지 않는다. 색

표 1. 시스템 화면 해상도에 따른 각 단계의 시간.  
(단위 : 10<sup>-3</sup> second)

Table 1. Execution Times (unit: micro second)

시스템 화면 해상도	800 ×600	1024 ×768	1152 ×864	1280 ×768	1280 ×960
프레임버퍼 영상 워핑	32	47	62	78	94
카메라영상기하보정	16	16	16	16	16
전경물체 검출 (색상 보정 연산 포함)	31	31	31	31	31
모폴로지연산	31	31	31	31	31
연결성분분석	35~640	35~640	35~640	35~640	35~640
합(연결성분분석 제외)	110	125	140	156	172

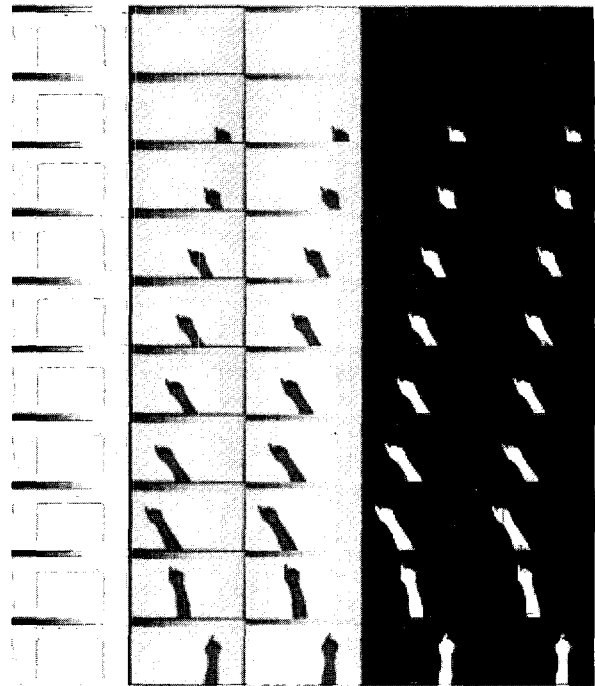


그림 17. 연속 프레임 하에서의 결과 영상들  
Fig. 17. Result image sequence.

상 보정연산은 한 장의 영상을 처리하는 시간에 비해 매우 작은 시간만이 소비 된다. 연결성분 분석은 화면상에 전경물체가 많이 존재할 경우에 연산 시간이 증가 한다.

### V. 결 론

본 논문은 프로젝션 화면상에서 색상정보를 이용하여 전경물체를 찾는 새로운 방법을 제안하였다. 색상정보를 사용하여 전경물체를 찾는 것은 어렵다고 알려져있다. 우리는 프로젝션 화면의 입력 영상(프레임 버퍼 영상)과 이를 찍은 카메라 영상 사이에 기하 왜곡과 색상 왜곡이 있다고 가정하였다. 기하 왜곡은 투영 변환으로 보정하고, 색상 왜곡은 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상의 관계를 다항식 곡선으로 근사하여 자연스러운 색상 변환을 추정하였다.

실험 결과, 복잡한 환경 하에서도 실시간 성능을 내는 것을 확인하였다. 카메라의 해상도와 프로젝터의 왜곡 현상으로 인한 오류는 후처리로 제거할 수 있었다.

현재 시스템은 시간에 따른 밝기 변화를 추정하기 위해 밝기 마커를 화면에 항상 도시하였다. 앞으로 밝기 마커 없이 시간에 따른 밝기 변화도를 추정하기 위한 방법이 고안될 것이다. 또한 색상 정보의 밝기성분뿐만 아니라 색상, 채도의 변화도 고려하여 더 정확한 전경물체 검출방법을 제안할 것이다.

참 고 문 헌

[1] E. H. Stupp and M. S. Brennessoltz, *Projection Display*, John Wiley & Son, pp. 1, 1999.

[2] P. Wellner, "Interacting with Paper on the DigitalDesk," *Communication of the ACM*, vol. 35, no. 7, pp. 87-96, 1993.

[3] P. Wellner, "Self Calibration for the DigitalDesk," *EuroPARC Technical Report EPC*, pp. 93-109, 1993.

[4] P. Wellner, "The DigitalDesk Calculator: Tactile Manipulation on a Desk Top Display," *Proceedings on ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 27-33, 1991.

[5] J. Q. Stafford-Fraser, and P. Robinson, "Bright Board: A Video-Augmented Environment," *Proceedings on CHI'96*, ACM, pp. 134-141, 1996.

[6] M.H. Coen, "Design Principles for Intelligent Environments," *In Proceedings of the Fifteenth National Conference on Artificial Intelligence*, Madison, WI., USA, 1998.

[7] K. Oka, Y. Sato, and H. Koike, "Real-time Tracking of Multiple Fingertips and Gesture Recognition for Augmented Desk Interface Systems," *Proceedings on the 5th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2002.

[8] J. Rekimoto, "SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces," *Proceedings on CHI 2002*, Apr 20-25, 2002.

[9] M. Ashdown and P. Robinson, "The Escritoire: A Personal Projected Display," *Journal of WSCG*, vol. 11, no. 1, pp. 33-40, 2003.

[10] R. Kjeldsen, C. Pinhanez, G. Pingali, J. Hartman, T. Levas, and M. Podlaseck, "Interacting with Steerable Projected Displays," *Proceedings on the 5th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2002.

[11] J. Whitaker and B. Benson, *Standard Handbook of Video and Television Engineering*, McGraw-Hill, 2000.

[12] M. C. Stone, "Color and Brightness Appearance Issues in Tiled Display," *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 58-66, Sep/Oct, 2001.

[13] Y. Kwak and L. MacDonald, "Characterisation of a desktop LCD projector," *Displays*, vol. 21, pp. 179-194, 2000.

[14] R. Sukthankar, R.G. Stockton, and M. D. Mullin, "Smarter Presentations: Exploiting Homography in Camera-Projector Systems," *proceedings on ICCV*, pp. 247-253, 2001.

[15] R. Hartley, and H. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.

[16] G. Sharma, M.J. Vrhel, and H.J. Trussell, "Color Imaging for Multimedia," *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 6, June, 1998.

[17] D.C. Lay, *Linear Algebra and Its Applications*, Addison Wesley, pp.376-378, 1994.

[18] J. Q. Stafford-Fraser, "Video-Augmented Environments," *Thesis for the degree of doctor of philosophy in University of Cambridge*, February, 1996.

저 자 소 개



강 현(정회원)  
1999년 : 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사), 2000년~2001년: ㈜네비웍스 책임연구원, 2004년: 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사), <주관심분야 : 게임, HCI, Augmented Reality, 이미지 처리, 제스처 인식, 문자 인식>



이 창 우(정회원)  
1998년 : 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사), 1999년~2001년: 포항1대학 교수, 2004년: 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사), <주관심분야 : 비전인식, 비디오 인덱싱, Video Retrieval, 문자 검출>



박 민 호(정회원)  
1971년 : 한양대학교 원자력공학과 (공학사), 1984년: 연세대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사), 1976년 현재: 경북대학교 진산정보원 교육지원부 교수<주관심분야 : 멀티미디어, 컴퓨터 비전, 패턴 인식, 컴퓨터 구조>



정 기 철(정회원)-교신저자  
1996년 : 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사), 2000년: 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사), 2001년~2002년: 미국 미시간대 Anil K. Jain 교수 PRIP 연구실 연구원, 2003년~현재 : 숭실대학교 미디어학부 교수 <주관심분야 : 문자 인식, 이미지 처리, 패턴 인식, 비디오 인덱싱, augmented reality, mobile vision system>