

색상 정보를 이용한 디지털데스크 상의 전경물체 검출

*김상호[○], *강현, *이창우, **정기철, *김항준

*경북대학교 컴퓨터공학과 인공지능연구실, **숭실대학교 정보과학대학 미디어학부
{shkim[○], hkang, cwlee, kimhj}@ailab.knu.ac.kr, kcjung@comp.ssu.ac.kr

Foreground Objects Detection on DigitalDesk using Color Information

*Sang Ho Kim[○], *Hyun Kang, *Chang Woo Lee, **Keechul Jung, and *Hang Joon Kim
*Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National Univ., Daegu, South Korea,
**School of Media, College of Information Science, Soongsil Univ. Seoul, South Korea

요 약

디지털데스크는 일반 책상 표면에 프로젝션 화면을 만들어 가상물체를 사람이 직접 조작할 수 있는 인터페이스를 제공한다. 이러한 인터페이스를 구축하기 위해서는 전경물체 검출이 필수 과정인데, 지금까지는 조명과 배경의 변화로 인한 색상의 변화로 인하여 색상 정보를 사용하지 못하였다. 본 논문에서는 디지털데스크 상에서 색상 정보를 이용하여 전경물체를 검출하는 방법을 제안한다. 디지털데스크의 화면은 프로젝터를 통해 책상 표면에 투사되고, 투사된 화면은 카메라를 통해 영상으로 획득되는데, 이때 많은 왜곡이 존재하게 된다. 우리는 이런 왜곡을 기하 왜곡과 색 왜곡의 왜곡 두가지로 정의하여 모델링하였고, 실험 결과에서 제안된 방법의 실효성을 입증하였다.

1. 서론

프로젝션 화면(projection display)은 디스플레이의 일종으로, 최근 프로젝트션 화면상의 실제물체 및 가상물체와의 상호 작용에 대한 많은 관심과, 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)과 증강 현실(augmented reality)의 한 응용 제품으로 많은 연구 사례가 있다. 사용자는 프로젝트션 화면상에서 가상물체를 마치 실제물체처럼 직접 만지고, 쥐고, 명령을 내릴 수 있다. 이런 상호 작용은 디지털데스크(DigitalDesk), 브라이트보드(BrightBoard), 인텔리전트 룸(Intelligent Room) 등의 시스템들로 소개되었다 [1-5, 7].

이러한 프로젝트션 화면을 이용한 시스템에서 전경물체 검출은 기본적인 단계이다. 기존의 동영상에서 전경물체 검출 방법으로 색상을 이용하는 방법, 차영상을 이용하는 방법, 백그라운드 모델을 이용하는 방법 등이 있다. 기존의 디지털데스크에서는 차영상을 이용하여 전경물체를 탐지하였다 [1, 2, 4, 7]. 전경물체를 검출하기 위해서 영상처리외의 방법을 쓰는 시스템들이 있다. Oka는 자신의 시스템에서 적외선으로 사람의 손과 손가락 끝을 탐지하고 추적하는 방법을 제안하였다 [3]. 또 다른 방법으로 압력 센서를 이용하여 사용자의 의도를 파악하는 시스템이 있다 [5]. 그러나 이러한 방법들은 한계를 가지고 있다. 차영상 방법은 움직이지 않은 물체, 적외선 센서는 무생물체의 검출이 불가능하며, 압력센서는 손의 제스처와 같은 다양한 상호 작용이 불가능하다.

이에 우리는 색상 정보를 이용하여 전경물체를 찾고자 한다. 제안된 방법에서 디지털데스크 시스템에서 화면상의 왜곡은 색 왜곡과 기하 왜곡, 두 가지가 있다고 가정한다. 우리는 기하 왜곡을 투영 변환을 통해 모델링하고, 색 왜곡의 왜곡은 프로젝터 시스템의 특성에 의해서 모델링되어지며 밝기 마커를 통해서 조사된다.

2. 문제 정의

전경물체 검출은 비전 시스템에서 필수적인 단계이다. 전경물체를 검출하는 많은 방법이 있으나, 색상 정보를 이용한 전경물체 검출 방법은 프로젝트션 화면 응용 시스템에서 많은 장

점을 가진다. Oka[3]와 Kjeldsen[4]의 연구에서 기존의 영상 처리 기법으로는 프로젝트션 화면 상에서 전경물체를 찾는 것은 매우 어려운 일이라고 주장하였다. 이는 프로젝트션 화면 상의 심한 조명의 변화와 복잡한 배경에 기인한다.

프로젝션 화면에서 상호 작용은 화면에 투사되어야 하는 가상물체와 손 또는 종이 문서 같은 실제물체 사이에서 일어난다. 가상물체의 색상 정보는 프로젝터의 입력 영상(프레임 버퍼 영상)로부터 쉽게 얻을 수 있다. 실제물체의 색상 정보는 프로젝트션 화면 상단에 장착된 카메라를 통해 카메라 영상을 획득한다. 프레임 버퍼 영상은 디지털데스크상의 배경 영상에 대한 모든 정보를 포함하고 있다. 따라서 이를 사용하여 전경물체를 검출할 수 있다. 그러나, 프로젝트션 화면을 촬영한 카메라 영상은 원 프레임 버퍼 영상에 비해 많은 왜곡을 포함하고 있다.

본 논문에서는 대표적인 왜곡으로 기하 왜곡과 색상 왜곡이 있다고 가정한다. 우리는 기하 왜곡을 카메라 영상과 프레임 버퍼 영상 사이에 연관되는 점의 위치 차이라고 정의한다. 이러한 왜곡은 카메라와 프로젝터와의 위치 차이 때문에 생긴다. 그림 1에서 프레임 버퍼 영상의 하얀 점들의 위치들이 카메라 영상에서는 많이 변한 것을 알수가 있다. 이런 기하 왜곡은 카메라 보정(camera calibration) 문제로 잘 알려져 있다.

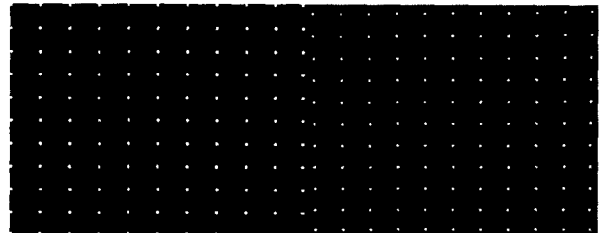
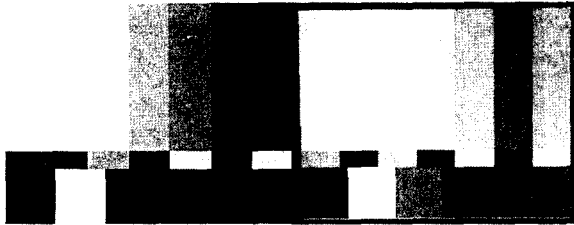


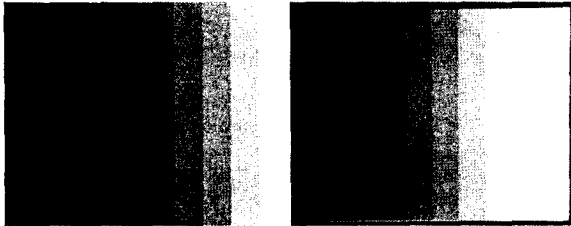
그림 1. 프레임 버퍼 영상(좌측)과 카메라 영상(우측)사이의 기하 왜곡

우리는 색상 왜곡을 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상의 연관되는 픽셀의 색상 차이라고 정의한다. 프레임 버퍼 영상 내의 픽셀의 색상은 프로젝터 및 카메라의 특성에 의해 왜곡된

다. LCD 프로젝터의 경우 입력 신호의 세기에 대해서 출력 신호의 세기가 시그모이드 함수 형태를 가지는 특성곡선을 가진다 [8, 9]. 그림 2는 SMTPE 영상과 그라데이션 영상을 이용한 색상 왜곡의 예이다. 그림 2(가)의 경우 색상(Hue)에서도 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 2(나)의 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상으로부터 프로젝터의 특성곡선을 볼 수 있다.



(가) SMTPE 영상에서의 색상 왜곡 예시



(나) 10단계 회색 영상에서의 색상 왜곡 예시

그림 2. 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상 사이의 색상 왜곡

3. 전경물체 검출

프로젝션 화면 상에서 전경물체를 색상 정보로 사용하여 검출할 때 발생하는 문제점을 해결하기 위해 다음의 두 단계 방법이 사용된다. 첫 번째 단계는 카메라 보정에서 사용되는 방법을 사용하여 기하 왜곡을 제거하고, 두 번째 단계는 색상 휘도 추정 방법을 통하여 색상 왜곡을 제거한다.

3.1 기하 보정 (Geometry Calibration)

Ashdown[7]와 Sukthankar[9]은 투영 변환을 서로 다른 좌표계 간의 일치 방법으로 사용하였다. 본 논문에서도 투영 변환 방법을 통하여 기하 보정을 한다. 우리는 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상 간의 연관되는 픽셀의 위치 차이를 기하 왜곡이라고 정의하고, 이러한 연관되는 픽셀들의 관계는 투영 변환으로 설명할 수 있다. 우리는 기하 왜곡을 투영 변환 관계에 있는 두 점의 위치로서 모델링한다. 이는 식 (1)로 표현된다.

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

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

9개의 상수로 이루어진 투영변환 행렬은 4개 이상의 프레임

버퍼 영상과 프로젝션 화면 상의 매칭되는 점들에 의해서 계산된다. 식 (2)에서 8×9 행렬을 A라하고 A는 4개 이상의 매칭되는 점들에 의해서 만들어 진다. 투영 행렬 H의 상수 a부터 i는 $A^T A$ 의 최소 고유값과 고유벡터에 의해 결정된다 [8].

3.2 색상 보정 (Color Calibration)

색상 보정 단계에서는 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상 간의 색상 차이를 고려하여 현재 픽셀 또는 블록이 전경물체에 속하는지 여부를 결정한다. 앞에서 언급한 바와 같이, 프레임 버퍼 영상의 색상이 다른 원인에 의해 왜곡된다. 이런 왜곡을 정확하게 모델링 하는 것은 어려운 일이며, 좀 더 간단하고 실시간 수행이 가능한 접근 방식을 택하였다. 본 논문에서는 색상 정보의 밝기 값만을 사용한다. 한 픽셀(R, G, B)의 밝기 정보(Y)는 식 (3)에 의해 결정된다.

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

프로젝션 화면상에서 밝기 값의 왜곡은 시간과 공간에 따라 다양하게 변한다. 본 논문에서는 공간 위치에 따라 화면의 동일 밝기 픽셀의 변화는 전경물체에 의한 변화 값 보다 극히 작다고 가정하여, 동일 밝기 픽셀은 공간 위치에 따라 변화가 없다고 가정한다. 반면에 시간에 따른 밝기 값의 변화는 좀 더 복잡하다. 조명의 변화나 프로젝션 화면내의 전체 밝기에 따라 밝기의 시간적 변화가 있다. 이런 경우에도 시간에 따른 변화를 측정하기 위해 프로젝션 화면의 일부에 밝기 마커(brightness color marker)를 만든다. 밝기 마커는 10개의 블록으로 이루어져 있고, 각각의 블록은 10단계의 회색 값을 가진 사각형이다. 이는 프로젝션 화면의 상단에 항상 보이도록 설치된다. 프로젝터의 특성에 따르면 입력 신호에 대해 LCD 프로젝터의 출력 신호는 시그모이드 함수 형태를 가진다고 한다 [6, 7]. 제안된 시스템에서도 특정 시간에서의 프레임 버퍼 안의 밝기 마커의 Y값들과 카메라 영상내의 밝기 마커의 Y값들의 관계 곡선은 그림 3처럼 나타난다. 프로젝터, 카메라의 세팅 또는 조명의 상태에 따라 전체 그래프가 아래위로 움직이지만 전체의 형태는 변하지 않았다. 이 변화 곡선에 의해서 어떤 픽셀/블록이 전경물체에 속하는지 여부는 선형 보간에 의해 결정한다.

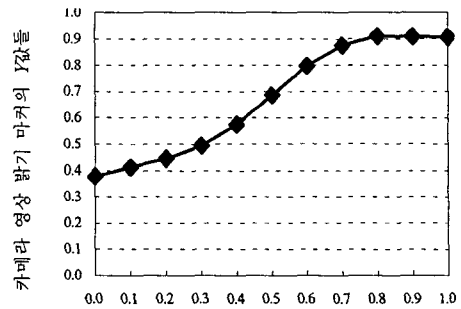


그림 3. 밝기 마커의 프레임 버퍼 영상과 카메라 영상간의 관계 도표

4. 실험 및 결과

제안된 방법은 그림 4와 같은 디지털데스크 시스템에서 실험되었다. 구현된 디지털데스크 시스템은 프로젝터, 카메라, 일반 책상과 2.66GHz의 일반 IBM PC장비로 구성되어있다. 프로젝터는 필립스의 ProScreen 4750 LCD 프로젝터이며, 카메라는 소니의 DCR-TRV 530 캠코더를 사용하였다. 시스템은 Visual

C++ 6.0과 DirectShow 9.0 SDK를 사용하여 별도의 하드웨어 장비없이 초당 15프레임으로 720x480 크기의 컬러 영상을 사용한다. 그림 5에서 (가)는 프레임 버퍼 영상, (나)는 카메라에서 획득한 영상, (다)는 기하 보정 후 영상이고, (라)는 전경물체를 검출한 결과 영상으로 잡음에 대한 후처리를 실시하지 않은 영상이다.

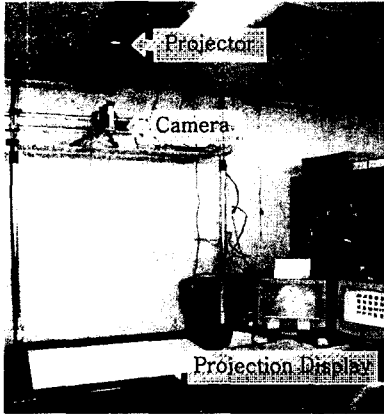
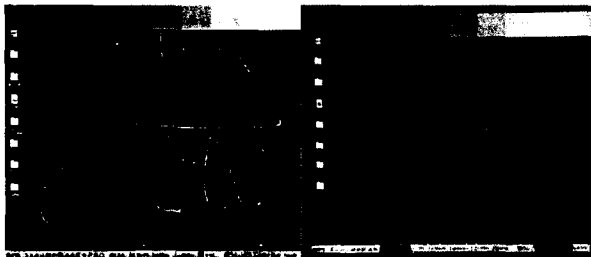
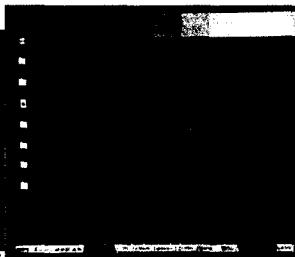


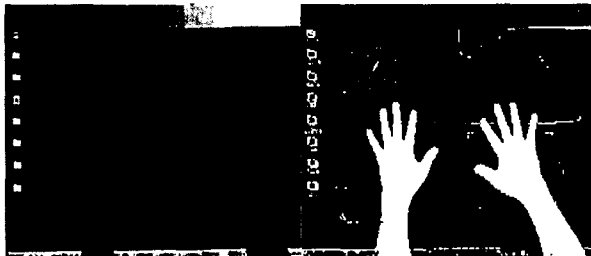
그림 4. 디지털데스크 시스템



(가) 프레임 버퍼 영상



(나) 카메라 영상



(다) 기하 보정 영상



(라) 전경물체 검출 영상

그림 5. 어두운 배경에서 중간 결과 영상들

그림 6은 연속 프레임에 대한 전경물체 검출 결과 예이다. 첫 번째 열은 프레임 버퍼 영상이고, 두 번째 열은 카메라 영상, 세 번째 열은 기하 보정 영상, 네 번째 열은 후 처리된 전경물체 검출 영상, 다섯 번째 열은 후 처리된 전경물체 검출 영상이다. 전경물체는 맨 손을 사용하였고 배경 화면은 MS-Word 화면을 사용하였다. 후 처리 작업시 모폴로지 연산은 클로징, 오프닝연산을 3x3 마스크를 이용하여 3회하였다. 이후 연결 성분 분석시에 3개의 풀을 사용하여 잡음을 걸러 내었다. 연결 성분은 다음 조건 중에 하나라도 만족하면 전경물체가 된다: 1) 300 픽셀 크기 이상의 연결요소, 2) 중형비가 30%에서 300%인 연결 요소, 3) 40%이상의 픽셀 밀도를 가진 연결요소.

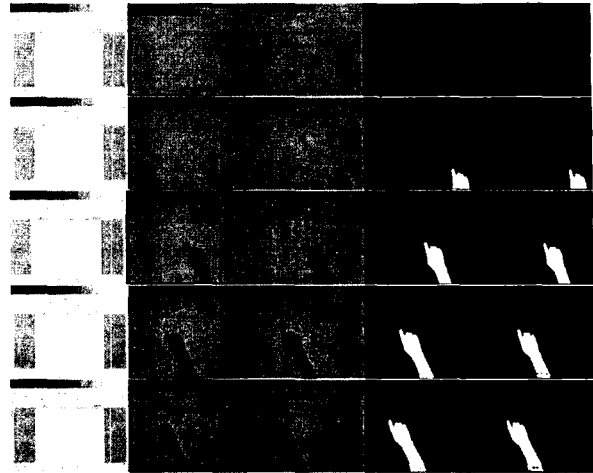


그림 6. 연속 프레임에서의 결과 영상들

5. 결론

본 논문은 프로젝션 화면 상에서 색상 정보를 이용하여 전경물체를 찾는 방법을 제안하였다. 프로젝션 화면의 카메라 영상에 나타난 왜곡을 두가지로 모델링하며, 투영 변환 기법을 이용하여 기하 보정을 하고, 색상 중에 밝기 왜곡을 모델링하여 전경물체 검출 방법에 응용하였다. 이런 결과 복잡한 환경 하에서도 실시간적인 성능을 내는 것을 확인하였다.

현재 시스템은 시간에 따른 밝기 왜곡을 추정하기 위해서 밝기 마커를 화면에 항상 표시하였다. 이를 표시하지 않고서도 시간에 따른 밝기 왜곡의 변화도를 자동으로 업데이트 하는 방법을 고안할 것이다. 또한 밝기 성분뿐 만 아니라 색상, 채도의 변화도 고려하여 더 정확한 전경물체 검출 방법을 제안할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Wellner, P., "Interacting with Paper on the DigitalDesk," *Communication of the ACM*, 1993, Vol. 35, No. 7, 87-96.
- [2] Stafford-Fraser, J. Q., Robinson, P., "BrightBoard: A Video-Augmented Environment", *Proceedings on CHI'96, ACM*, 1996 134-141.
- [3] Oka, K., Sato, Y., Koike, H., "Real-time Tracking of Multiple Fingertips and Gesture Recognition for Augmented Desk Interface Systems", *Proceedings on the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2002.
- [4] Kjeldsen, R., Pinhanez, C., Pingali, G., Hartman, J., Levas, T., Podlasek, M., "Interacting with Steerable Projected Displays", *Proceedings on the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2002.
- [5] Rekimoto, J., "SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces", *CHI 2002*, April, 2002.
- [6] Kwak, Y., MacDonald, L., "Characterization of a desktop LCD projector", *Displays*, Dec. 2000, Vol. 21, No. 5, 179-194.
- [7] Ashdown, M., Robinson, P., "The Escritoire: A Personal Projected Display", *Journal of WSCG*, 2003, Vol.11, No. 1, 33-40.
- [8] Hartley, R., Zisserman, A., *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.
- [9] Sukthankar, R., Stockton, R.G., Mullin, M. D., "Smarter Presentations: Exploiting Homography in Camera-Projector Systems", *proceedings on ICCV*, 2001, 247-253.