Journal of Korea Multimedia Society Vol. 10, No. 9, September 2007(pp. 1135-1142)

전방 투사 인터랙티브 디스플레이를 위한 맨손 검출

남양희[†], 오수진[††]

요 약

전방투사형 인터랙티브 디스플레이에서는 프로젝터의 빔이 사용자의 손이나 몸에도 투사되는 특성으로 인해 보편적 칼라 추적 기법을 통한 맨 손 영역의 검출이 어렵다. 본 논문에서는 원본 영상의 칼라가 카메라 영상으로 포착되기까지 칼라의 변환 관계를 분석하여 결과를 추정함으로써, 기대치와의 차이 영역 계산을 통해 손 영역을 검출하였다. 이 때, 기존 논문의 부정확한 칼라 추정을 보완하기 위해, 프로젝터와 카메라 반응값의 칼라 채널별 간섭현상 및 투사된 프레임 내부의 밝기 오차를 룩업테이블로 모델링하고 맨 손 영역에 대해 유동적인 밝기 차 임계치를 적용하여 정확도를 개선하였다.

Hand Detection for Front-Projected Interactive Displays

Yanghee Nam[†], Su-Jin Oh[††]

ABSTRACT

Front-projection type displays make it difficult to apply traditional skin color detection for human hand because the projected beam not only reaches to the screen but also to the user's hand. This paper solves this problem by modeling the distortion between original image and its final camera input. Our approach improves hand detection rate by modeling of interference effect among color channels and of intra-frame intensity difference, and also by introducing adaptive threshold for color difference in skin region.

Key words: Hand Detection(맨손 검출), Front-Projection(정면 투사), Interactive Display(인터랙티브 디스플레이), Color Estimation(칼라 추정)

1. 서 론

본 논문에서 다루는 전방 투사형 인터랙티브 디스플레이는 프로젝터와 카메라가 스크린을 향하고 있고 사람이 그 사이에 서서 스크린의 영상과 인터랙션하는 디스플레이 유형을 가리킨다. 공간 소모형 구조인 후방 투사형 시스템에 반해, 이와 같은 전방 투사형은 가장 일반적이고 값싼 형태로서 설치 및 재설치, 관리가 쉽고 사용이 간편하여 전시공간이나 각종 프레젠테이션 환경 등에 대개 채택되고 있다.

그러나, 이러한 전방투사 환경에서 별도의 센서 없이 비전에 의해 맨 손을 추적하여 인터랙티브 콘텐츠와 상호작용하게 하는 것은 매우 드물고 어렵다고 알려져 있다[1]. 그 이유는 두 가지로 요약된다 : 첫째로, 투사되는 콘텐츠가 정지된 영상이 아니므로 단순히 고정된 배경과 카메라 영상의 차영상만으로는 손을 검출할 수 없다. 둘째로, 전방투사 빔이 스크린에 도달함과 더불어 사람의 손이나 몸에도 도달하므로 손의 고유한 피부색이 사라진다. 따라서, 후방 투사 환경에서 일반적으로 적용하는 손의 고유 색상 추적

※ 교신저자(Corresponding Author) : 남양희, 주소 : 서울시 서대문구 대현동 11-1(120-750), 전화 : 02)3277-3330, FAX : 02)3277-3363, E-mail : yanghee@ewha.ac.kr
접수일 : 2007년 5월 29일, 완료일 : 2007년 9월 12일
[†] 정회원, 이화여자대학교 디지털미디어학부
[††] 이화여자대학교 디지털미디어학부
(E-mail : bluerhino@hanmail.net)
※ 본 연구는 서울시의 산학연 협력사업의 전략산업 혁신클러스터 육성 지원사업과 이화여자대학교 2007년 연구년 수혜에 따른 결과임.

을 사용할 수 없다.

본 논문은 전방 투사형 디스플레이에서 위와 같은 맨 손 인터랙션을 위한 손 영역 검출의 어려움을 극복하기 위해, 원본 영상이 프로젝션과 카메라 포착과정을 거쳐 컴퓨터에 어떤 칼라로 인식될지 예측하는 방법을 채택하였다. 즉, 실시간에 사용자와의 인터랙션을 통해 디스플레이할 영상이 결정되었을 때, 해당 프레임의 투사된 영상 원본에 대응되는 카메라 입력을 예측함으로써, 기대한 영상 분포와 카메라 포착 영상의 차이가 큰 곳에서 손의 영역을 검출하는 것이다. 이 방법은 매 프레임에 대해 카메라 포착 영상을 예측하므로 변화하는 동적 영상에 적용 가능하고, 손의 고유색 대신 차이값을 이용함으로써 정면 투사 환경에서 손 검출의 안정적 성능을 보인다.

2. 전방투사형 인터랙티브 디스플레이

2.1 기존 연구

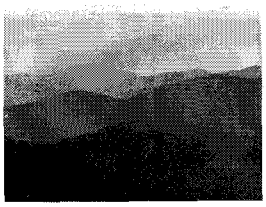
전방투사 환경에서 맨 손 인터랙션을 지원한 대표적 연구로 언급되는 것은 Bell Lab에서 수행된 Segen과 Kumar의 연구이다[2]. 이 연구에서는 생성되는 그림자와 손의 위치 정보를 이용하여 손 모양을 인식하였는데, 그림자를 잘 탐지하기 위해 조명을 설치했고 사용자 인터랙션을 빛의 투사 영역(frustum) 외부로 국한하는 등의 제약을 두었다. 한편, Kale도 최근 이와 유사하게 그림자 영역을 먼저 찾은 후 epipolar 정보를 사용해 손의 영역을 검출하는 방법을 제시하였는데[1], 이 경우도 그림자가 카메라에 잘 포착되야 하므로 사용자의 손이 스크린을 직접 터치할 수 없고 항상 스크린으로부터 일정 거리 이상을 유지한 채 인터랙션을 해야 하며, 투사되는 콘텐츠의 밝기가 전반적으로 어두울 때는 잘 인식되지 않는다. 이 연구는 단색 바탕화면에 세 개의 컬러버튼을 두고 이를 선택하는 간단한 푸쉬버튼 응용을 제시하였다.

이와 같이, 기존 연구들은 조명조건이나 인터랙션의 제약이 있고, 색상이나 밝기가 동적으로 변화하는 실질적인 응용 사례가 아니라, 정적 화면 또는 매우 단순하고 커다란 버튼 선택 응용에만 적용되었다.

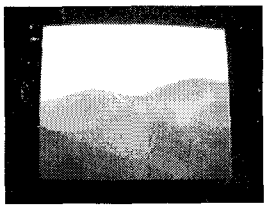
2.2 전방투사형 디스플레이를 위한 맨 손 인터랙션 시스템 설계

앞 절에서 밝힌 바와 같이 기존의 전방투사형 디스플레이들이 여러 가지 제약 하에 매우 단순한 응용에서만 맨 손 인터랙션을 허용하고 있는데, 본 논문에서는 조명이나 투사 환경에 무관하면서 특수 장치를 배제하고 컴퓨터 비전만으로 사용자와 콘텐츠 간의 자연스러운 인터랙션을 지원하고자 하였다.

그림1에서 전방투사형 인터랙티브 디스플레이 시스템을 통해 투사되는 원본 영상(a)과 카메라에 포착 영상(b)을 비교하면, 원본 영상에 대한 카메라 영상 내 좌표는 원본에서의 좌표와 달라짐을 알 수 있다. 따라서, 카메라 영상의 각 부분이 원본 영상의 어디에 해당하는지 알아내려면 왜곡된 영상으로부터 원본의 대응 좌표를 구해야 한다. 또한, (a)와 (b) 사이에 칼라(색상이나 밝기)의 변화도 큰 것을 알 수 있는데, 이는 프로젝터와 디스플레이가 설치된 주변 환경의 밝기나 프로젝터 밝기, 스크린의 휘도, 카메라의 감도 등 다양한 요소에 의해 스크린의 상과 카메라 포착 영상이 영향을 받기 때문이다. 또한, 맨 손을 이용한 인터랙션 시에 사람의 손은 프로젝터와 스크린 사이의 절두체(frustum)에 놓이게 되는데, 이 때 사람의 손은 그림 1(c)에서와 같이 포착된 카메라 영상에서 본래의 피부색을 잃게 됨을 알 수 있다.



(a) 원본 영상



(b) 카메라 포착 영상

(c) 인터랙션의 카메라 포착

그림 1. 원본 영상 vs 카메라 포착 영상

따라서, 매 프레임마다 원본 영상에 대해 예측되는 카메라 포착 영상을 구할 수 있다면 그 영상과 실제 카메라 영상 간의 차이를 구해 사람의 개입 영역을 찾을 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 실시간에 카메라 포착 영상에 대한 기하 보정과 왜곡된 칼라의 포착 결과 추정을 통해 손 영역을 검출하게 된다.

3. 자동 칼라 추정에 의한 맨 손 영역 검출 알고리즘

카메라 포착 영상의 왜곡에도 불구하고 원본 영역을 제대로 찾아낼 수 있다면, 원래 영상에 포함되지 않았던 부분(사람 손)도 손쉽게 알 수 있다. 이를 위해서는, 카메라 포착 영상으로부터 원래 영상의 좌표 및 칼라를 예측하거나 결과 영상의 왜곡과 무관하게 손을 검출해낼 수 있는 방법을 찾아야 한다. 본 논문에서는 기하 보정 및 칼라 추정 방법을 이용해 이를 해결하였으며, 자세한 방법을 아래에 기술한다.

3.1 기하 보정

카메라 입력 영상과 원본과의 비교를 위해서는 먼저 카메라 프레임 내에 포착된 스크린 상을 원본 좌표와 동일하게 변환시켜야 한다. 원본 영상이 투사된 후 카메라에 포착되는 과정에서 발생한 기하학적 왜곡은 방사형의 왜곡과 평면 사영 변환을 포함하므로, 아래 서술된 보정 과정을 통해 원본 영상과 동일한 좌표로 변환한다.

3.1.1 방사 왜곡 보정

방사 왜곡(Radial Distortion)은 카메라 렌즈의 특성으로 인해 카메라 포착 영상이 왜곡되는 현상이다. 본 논문의 보정 방법은 하나의 카메라로 획득한 단일 영상에서 왜곡된 직선들에 사용자가 직접 마우스로 점을 찍어주면 이들을 직선으로 근사화하는 계수를 찾는 것이다[3]. 이는 사용자의 마우스 입력을 받아야 하는 불편함이 있지만, 별도의 캘리브레이션용 패턴 등이 필요하지 않다는 점에서 유용한 방법이다. 방사왜곡 보정 방정식은 아래와 같다.

$$x_u = x_d + x_d\sum_{l=1}^{\infty}\kappa_l R_d^l \ , \ y_u = y_d + y_d\sum_{l=1}^{\infty}\kappa_l R_d^l$$

x_u, y_u는 왜곡이 보정되었을 때의 이미지 좌표, x_d, y_d는 왜곡된 이미지 좌표, R_d는 $x_d^2 + y_d^2$, 그리고 l는 직선의 인덱스, k_l는 방사 왜곡 계수(radial distortion coefficient)들을 나타낸다. k_l은 사용자가 지정한 점들로부터 얻어지는 선형 방정식의 묶음을 풀어서 찾아낼 수 있으며, 본 논문에서는 오차와 효율을 고려하여 방사 왜곡 계수를 2개까지 구하여 사용했다.

3.1.2 평면 사영 변환

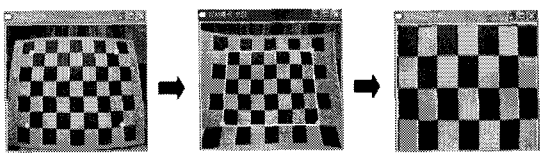
스크린에 투사되어 카메라에 포착된 영상은 방사 왜곡이 보정된 뒤에 평면 사영 변환에 의해 원본 이미지 좌표로 매핑될 수 있다. x, y는 원본의 좌표이고, x', y'가 카메라 프레임 내의 대응 좌표일 때, 이들 간의 변환 관계는 최소 4개의 코너에 해당하는 대응쌍 좌표를 이용하여 아래 식의 3×3 호모그래피(homography) 행렬 h를 구함으로써 얻어질 수 있다[4].

$$\begin{pmatrix} x \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = h \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

그림 2는 기하 보정의 단계별 실험 결과이다. 왜곡된 카메라 포착 영상에 대해 (a)와 같이 사용자가 모서리 점 4개를 지정하면, 곡선으로 휘어있는 선들을 (b)와 같이 직선화하는 방사 왜곡 보정 계수를 구한다. (c)는 보정된 영역이 원본 영상의 모서리 및 경계선들과 일치하도록 다시 평면 사영 변환한 결과이다. 구해진 방사 왜곡 보정 계수 및 호모그래피 행렬은 이후의 프레임들에 적용되어 실시간에 연속적으로 기하 보정을 수행하게 된다.

3.2 칼라 추정

컴퓨터 비전 분야에서는 주어진 영상이 카메라에 포착되었을 때 카메라 입력 값인 장면 휘도 및 카메라 반응 값인 명도에 의한 칼라 변형 관계로서의 카



(a) 카메라 입력 (b) 방사 왜곡 보정 (c) 평면 사영 변환

그림 2. 기하 보정 단계별 결과

메라 반응 함수를 다루어왔다[5-7]. 그러나, 본 논문에서는 카메라 프레임이 포착하는 대상도 원본 영상이 아니라 '스크린 투영' 단계 후의 결과물이므로 카메라 반응 함수에 의한 왜곡에 앞서서 전방 투사 및 주변 조명 등 투사 환경의 영향이 포함된, 카메라 반응 이전 단계의 왜곡도 함께 고려해야 한다.

이와 유사한 문제로는 타일드 디스플레이 유형의 대형 인터페이스 연구에서 프로젝터 간의 밝기 차이 보정 문제가 있는데, Majumder는 다수의 프로젝터 간에 균일한 색 보정 결과를 얻기 위하여 채널별 프로젝터별 밝기 오차 맵(Luminance Attenuation Map)을 활용한 알고리즘을 제안하였다[8]. 전방투사 환경에서의 칼라 왜곡 문제에 대해서는 Jaynes[9]가 R, G, B 채널마다 원본 및 카메라 영상 간에 4개씩의 대응 샘플 쌍을 주고 비선형적 관계식을 얻는 방법을 제시했는데, 투사되는 영상 외의 조명이 없어야 하며 칼라 채널 간 독립성을 가정하였고, 원본과 결과 영상 간 대응 함수를 S자형 감마곡선으로 가정하고 문제를 풀었다. 비슷한 시기에 Hilario[11]는 S자형 감마곡선 대신 LUT(LookUp-Table)를 이용한 방법을 발표하였는데, 암막 등을 이용하여 외부 빛을 차단한 것과 칼라 채널 간 독립성을 가정한 것은 Jaynes와 동일하다.

이와 같이, 대개의 연구들이 칼라 채널당 독립성에 대한 가정과 함께 실험조건을 주변 조명이 극히 적은 암실로 제한하였었는데, 전방투사 인터랙티브 디스플레이에서 주변 조명에 대한 제약 조건을 배제할 경우 이러한 채널 독립성의 가정은 성립하기 어렵다. 또한, 몇 쌍의 특정 픽셀만을 이용하여 칼라 변환의 비선형적 관계식을 도출하는 것은 오차가 크다. 이는 주변 조명 조건이 다를 경우 - 콘텐츠를 투사하는 빛만 있는 암실에서 실험할 경우와 사방이 비교적 밝은 곳에서 하는 경우 등 - 하나의 비선형적 다차원 방정식으로 모델링 될 수 없는 복잡한 변화들을 포함하기 때문이다.

즉, 칼라의 왜곡이 외부 조명 및 스크린 재질에 따른 반사, 프로젝터 및 카메라 특성에 따른 왜곡, RGB 채널의 반응 값에 대한 상호간섭 등의 복합적 영향들로 인해 발생하므로, 이러한 다양한 변화 요인에 대한 각각의 독립적 함수들을 구하는 것은 암실과 같은 특수한 실험환경이 아닌 곳에서의 복합적이고 불규칙한 변화에 적용하기에 부적합하다.

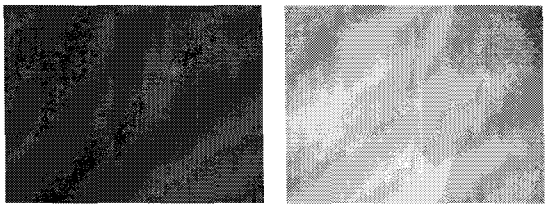
따라서, 본 논문에서 제안하는 방법은 실험환경에 따라 부정확하며 유동적인 함수를 구하는 대신, 이러한 복합적인 요인들을 반영하기 위해 초기 캘리브레이션 단계에서 원본 영상과 카메라 입력 영상 간의 대응관계를 구하여 칼라 변환 룩업테이블을 구축하고, 실시간 처리 단계에서 이를 활용하는 방법을 택하였다. 특히, 채널별 간섭현상 및 프레임 내 밝기 오차를 고려하고 피부 개입 영역의 밝기 차이에 대한 임계값 모델링을 도입함으로써 손 검출 성능을 높였다.

3.2.1 채널별 간섭현상과 프레임 내부의 밝기 오차 모델링

칼라 변환 대응관계를 측정하여 칼라 보정에 활용하도록 제안한 선행 연구[10]와 Hilario의 논문[11]은 각 r, g, b 채널이 서로 독립적이라는 가정 하에 각 채널별로 256단계의 색을 투사하여 각각의 칼라 반응 값으로 룩업 테이블을 만든다. 그러나, 실제로는 프로젝터와 카메라의 주파수 대역별 반응 값에 따라 서로 다른 채널의 상호간섭이 일어나게 되므로 무시할 수 없는 오차가 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 각 채널별이 아니라, 각 칼라 채널의 조합으로 구성되는 주요 색상에 대해 스크린의 각 영역별 칼라 반응 값을 모델링함으로써 채널 간 간섭을 반영하였다.

또한, 원본이미지가 스크린에 투사될 때는 프로젝터 램프의 중앙에서 밖으로 갈수록 빛의 세기가 약화되는 현상이 있다. 더불어, 카메라의 시점과 스크린의 재질에 따른 반사특성 및 외부조명의 위치, 프로젝터와 스크린의 위치에 따른 하이라이트의 정도 등으로 인해, 그림 3에서 예시한 바와 같이 카메라 입력 프레임 내부에서의 위치에 따라 동일색상에 대해 상호 밝기 차이를 초래한다. 이를 보정하기 위해 선행 논문[10]에서는 캘리브레이션 과정에서 백색영상을 투사하여 밝기값 오프셋 정보를 이용하였고 Hilario [11]는 흑색을 기준으로 오프셋을 사용했으나, 채널별 상호 간섭에 의해 색상별로 각각 다른 밝기 오차가 발생되므로 이들과 같이 하나의 밝기 오차 맵을 모든 색상에 대해 일괄적으로 적용하는 것은 적합지 않다.

따라서, 본 논문에서는 주요 색상에 따라 프레임 내 위치(영역)에 따른 칼라 반응 값을 저장함으로써 프레임 내부의 밝기 오차를 반영하는 ACD_L UT



(a) 칼라값 #320064 의 밝기 오차 패턴 (b) 칼라값 #FF6400의 밝기 오차 패턴

그림 3. 밝기 오차 패턴이 서로 다른 주요 색상의 카메라 입력 영상

(Area & Color & intra-frame Difference Look- Up Table)를 제안한다. 조명 조건에 따라서도 칼라 반응값의 차이가 형성되지만, 응용 프로그램의 진행 도중에 주변 조명이 급격히 변화되는 경우만 아니라면, 캘리브레이션시의 룩업테이블이 이미 조명의 영향을 포함한 칼라 패턴을 반영하고 있으므로 특정 조명 환경에 대한 가정이나 제약이 필요치 않다.

이와 같이 룩업테이블이 구축되면, 실시간에는 원본 영상의 투사 색상과 가장 유사한 8개의 주요 색상들에 대해 영역과 칼라 정보를 기준으로 ACD_LUT를 검색함으로써 대응되는 카메라 반응 값을 구한 후, 이들을 r, g, b 채널에 대해 삼각 선형보간(tri-linear interpolation)함으로써 카메라 프레임에서의 색상을 추정할 수 있다.

3.2.2 밝기 차 임계치 모델링에 의한 손 영역 검출

앞 절에서 서술된 방법에 의해 원본 영상에 대응되는 카메라 영상의 칼라 값들이 추정되면, 실제 포착된 영상에서 그 기대값과 차이가 나는 부분을 추출했을 때 이를 사람이 개입된 영역으로 생각할 수 있다. 그러나, 투사된 영상과의 차이를 이용하여 손을 검출하는 선행 연구에서 고려되지 못한 또 하나의 문제점은, 사람의 피부가 스크린 재질에 비해 난반사가 심하며 빛을 많이 흡수하기 때문에 투사되는 원본 색상에 따라 카메라 프레임에 포착되는 피부색의 변화 정도도 달라진다는 것이다.

즉, 각 주요색상인 r g, b 조합의 밝기 단계를 변화시키면서 사람의 손 위에 투사하여 피부 영역에 빛이 중첩된 것과 원본 밝기 값의 차이를 기록하면 그 차이가 원본 색상의 밝기에 따라 달라짐을 알 수 있다. 즉, 원본 색상이 어두울 경우는 손 위에 투사될 때 그 차이가 크지 않으며, 원본 색상이 밝을 경우는 확연하게 어두워져서 밝기 차이의 증가가 관찰된다.

따라서, 본 논문에서는 투사되는 색상과 그에 따른 중첩으로 인해 왜곡된 피부색 간의 밝기 차이 관계를 모델링하여 색상 밝기별로 적응적 임계치를 두는 방법을 택하였다. 즉, 손의 영역은 원본 이미지에 대한 칼라 보정 프레임과 기하 보정된 카메라 입력 프레임 간의 차영상으로 검출될 수 있으나 차이를 판정하기 위한 임계치가 필요한데, 투사되는 원본 색상, 특히 밝기 값에 따라 이와 같이 피부 중첩 칼라와의 차이 유발 정도가 다르기 때문에 차이 여부를 판정하는 임계치를 하나의 고정된 값으로 최적화할 수 없다는 것이다.

그러므로, 캘리브레이션 단계에서 3.2.1절의 룩업테이블(ACD_LUT) 구축이 끝난 후 밝기 값만을 가지는 그레이 계열의 색상을 손 위에 투사함으로써 원본 추정 값과의 차이를 기록하여 차이가 가장 적을 때의 값을 적응적 임계치로 한다.

이러한 적응적 임계치 모델링은, 어두운 이미지가 투사될 경우 차이 판정 임계값을 낮추고 밝은 이미지가 투사될 경우 임계값을 높여서 손 검출을 용이하게 할 뿐 아니라 사용자의 피부색에 따른 차이도 내포하게 되므로, 실시간으로 투사되는 영상에 대해 강건한 인식률을 보이게 한다.

3.3 손 끝 검출 및 추적

앞 절에서 모델링된 적응적 밝기 차이 임계값을 활용하여 손과 같이 사람이 개입된 영역을 검출하여 이진화된 실루엣 영상을 얻는다. 그러나, 특정 어플리케이션과의 상호 작용은 대개 손 끝으로 가리키거나 건드리는(click) 동작으로 일어나므로 손 끝의 위치 정보를 알아낼 필요가 있다.

이를 위해 본 논문에서는, 우선, 손의 윤곽선에 대해 곡률을 계산하여 가장 굴곡이 급격한 부분을 손 끝으로 간주하는 방법을 사용하였으나, 이는 칼라 보정 결과에서의 오차에 민감하게 영향을 받는 경향이 있다. 따라서, 실루엣 영상의 픽셀 수를 X축 방향의 누적 히스토그램으로 분석하여 먼저 몸통부분을 찾아내고 왼손과 오른손 방향을 인식 한 후, 손의 끝 부분을 찾는 방식을 추가 정보로 활용함으로써 손 끝 검출 부분을 보완하였다. 또한, 손 끝의 위치를 추적하는 과정에서 칼라 보정의 오차로 인하여 해당 프레임에 대한 손 끝의 위치 획득이 실패하거나 추

적 범위를 벗어날 경우 이동 벡터(Shift Vector)를 이용하여 손 끝 위치 이동을 예측함으로써 추적 오류를 줄였다.

4. 구현 및 실험 결과

본 연구에서 제시한 전방 투사 인터랙티브 디스플레이의 실험을 위해 강의실용 일반 스크린과 DLP 프로젝터를 이용하였다. 프로젝터의 종류와 성질은 칼라 모델링에 영향을 끼치는데 특히 DLP 프로젝터는 무지개 효과라 불리우는 깜박임 현상으로 인해 시간축에 따라 프로젝터의 빛의 세기가 달라지게 된다. 이러한 영향을 최소화하기 위하여 가능한 한 카메라를 프로젝터 근처에 배치하지 않도록 한다. 또한, CCD센서가 부착된 디지털 칼라 카메라는 영상의 선명도를 높이기 위하여 노출 조정, 화이트밸런스, 밝기 조정 등의 내부적인 자동보정기능이 포함되어 있는데, 이는 색상에 대한 왜곡을 또 한 번 발생시키게 되므로, 실험 시 카메라의 모든 오토기능을 수동으로 전환하여야 한다.

구현된 시스템은 캘리브레이션 단계와 실시간 인터랙션 단계로 나뉜다. 캘리브레이션 단계에서는 카메라 입력 영상에 대한 기하보정, 투사하는 원본 칼라로부터 카메라 포착 칼라를 추정하기 위한 룩업테이블 구축 및 손 영상의 검출을 위한 밝기 차이값의 임계치 모델링이 수행된다.

ACD_LUT의 구축을 위해서는 각 채널당 색상 강도(intensity) 간격을 32씩 두되 총 8개씩의 채널별 칼라들에 대한 조합을 주요 색상으로 정하였다. 즉, 8x8x8=512개의 조합 색상들에 대해 카메라 반응 값을 각각 픽셀별로 저장하였다. 채널 간섭 모델링의 효과를 채널 독립적 룩업테이블을 사용한 기존 방법과 비교한 결과, 그림 4의 예와 같이 주요 색상들에서 밝기 오차가 확연히 개선되었음을 알 수 있다.

또한, 프레임 내부의 밝기를 동일하게 모델링한 Hilario[11]의 방법과 색상별로 밝기 오차 맵을 따로 둔 본 논문의 방법에 의한 결과를 비교하기 위해, 프레임 전체에 단일색(0,0,255)을 투사하고(a), 이에 대한 각 방법의 칼라추정 결과(b)와, 카메라 입력 영상-칼라 추정 영상 간의 오차영상(c)를 구한 결과를 그림 5에 보였다. 칼라 추정은 원본 색상이 왜곡을 거쳐 카메라에 어떤 칼라로 포착되는지를 추정하는 것이

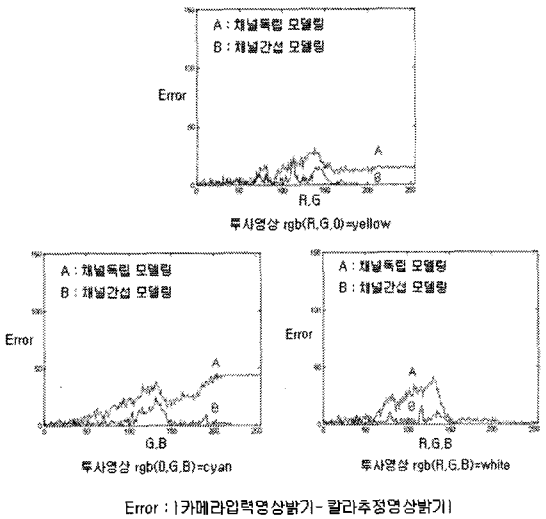
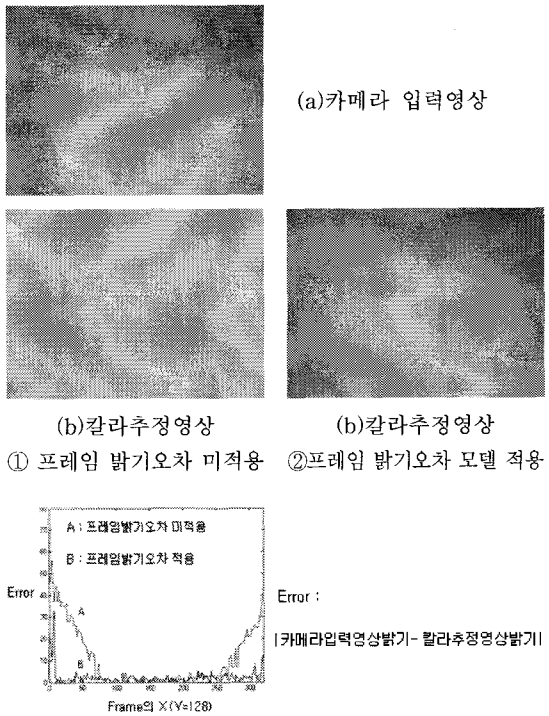


그림 4. 채널독립 vs 간섭 모델링에 의한 밝기 오차 비교

므로, 카메라 입력 영상과 오차가 적을수록 좋으며, 프레임 밝기 오차를 적용한 경우 칼라 추정의 오차가 매우 적어짐을 알 수 있다.



(c) 프레임 내 밝기 오차의 적용 vs 미적용시 칼라 추정 오차 비교

그림 5. 프레임 밝기 오차 모델링에 의한 칼라 추정의 정확도

한편, 맨 손 영역 판정을 위한 밝기 차이값의 임계치 모델링을 위해서는 그레이 영상을 256 단계로 손 위에 투사하여 원본 밝기에 따른 적응적 임계치를 구하였다. 성능을 비교하기 위해 고정적인 임계치에 대해서도 낮은 임계치, 높은 임계치로 나누어 실험하였는데, 낮은 고정적 임계치를 사용할 경우 손 전체가 검출되기 쉬우나 노이즈에 민감하게 되며, 높은 고정 임계치의 경우는 노이즈가 없어지지만 밝은 색 투사시 밝기 차이가 낮아 손 검출이 힘들다. 다양한 배경 환경을 대상으로 손 검출률(검출 성공 프레임 수 / 전체 프레임수)을 비교한 결과, 약 10%~15%의 검출 성능 향상이 관찰되었다.

이상과 같은 칼라 추정 및 임계치 캘리브레이션 결과는 카메라와 프로젝터의 위치 및 조명 등 투사 환경이 중간에 바뀌지 않는 한 거의 비슷하게 유지되므로 새로운 응용 프로그램 수행 시에도 투사 환경이 동일하다면 캘리브레이션을 재차 할 필요 없다.

실시간에는 투사되는 매 프레임의 영상에 대해 룩업테이블을 이용하여 이와 같이 원본 대응 카메라 포착 칼라를 추정하고, 추정된 칼라와 실제 카메라 입력을 비교하여 임계치 이상의 차이가 나는 부분을 손 영역으로 검출한 후 손 끝을 찾아 응용 프로그램에서 이를 해석하며, 그에 따라 다음에 디스플레이할 영상이 결정되고, 이것이 계속 반복된다. 이 방법은 화면의 메뉴를 선택하여 동적인 배경 장면을 변화시키는 응용 시스템에 적용되었으며 4 fps 정도의 처리 능력을 보였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 손을 이용하여 투사 영상과의 자연스러운 상호작용을 허용하는 인터랙티브 디스플레이 구현을 위해, 일반적으로 많이 사용되는 정면 투사형의 카메라-프로젝터 시스템에서 손의 영역을 검출하고 추적하는 방법을 제안하였다. 기존의 비전 기반 정면 투사 디스플레이의 인터랙션 연구들은 고정 배경 또는 단일 색상을 배경으로 두거나 암막 조명 등의 제약을 두었기 때문에 비교가 불가하며, 본 연구의 결과는 전방 투사된 빛이 손에 중첩되는 환경에서 조명 조건에 무관한 동적 배경의 응용 시스템에 최초로 적용 가능한 손 검출 방법을 제시한 것이다. 본 논문에서 제안한 자동 칼라 추정 및 적응적 임계치에 의한 손 영역 검출 방식을 구현한 결과 동적 배경화면이나 다양한 조명상태에서 비교적 안정적인 맨 손 검출 결과를 얻을 수 있었다.

향후에는 보다 정확한 손끝 추적 알고리즘을 개발하고 및 실시간 처리 속도를 좀 더 개선하기 위한 연구를 수행할 것이다.

참 고 문 헌

[1] A. Kale, K. Kwan and C. Jaynes, "Epipolar Constrained User Pushbutton Selection in Projected Interfaces," *Proceedings of the 1st IEEE workshop on RTV for HCI*, 2004. (Later also published in 'Real-Time Vision for Human-Computer Interaction,' Springer-Verlag, pp. 201-214, 2005.)

[2] J Segen and S Kumar. "Shadow gestures: 3D hand pose estimation using a single camera," *Proc. CVPR*, pp. 479-485, 1999.

[3] S. B. Kang, "Semiautomatic Methods for Recovering Radial Distortion Parameters from A Single Image," *Cambridge Research Laboratory, Technical Report CRL 97/3*, 1997.

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

[5] M. Grossberg and S. Nayar, "What is the Space of Camera Response Functions?," *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition,* Vol.II, pp. 602-609, 2003.

[6] K. Shafique and M. Shah, "Estimation of the Radiometric Response Functions of a Color Camera from Differently Illuminated Images," *IEEE ICIP,* pp. 2339-2342, 2004.

[7] S. Lin and L. Zhang, "Determining the Radiometric Response Function from a Single Grayscale Image," *IEEE CVPR,* pp. 66-73, 2005.

[8] A. Majumder and R. Stevens, "Color Nonuniformity in Projection-Based Displays: Analysis and Solutions," *IEEE Transactions*

on Visualization and Computer Graphics, Vol. 10, No.2, pp. 177-188, 2003.

[9] C. Jaynes, S. Webb and R. M. Steele, "Camera-Based Detection and Removal of Shadows from Interactive Multiprojector Displays," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,* Vol.10, No.3, pp. 290-301, 2004.

[10] 고은영, 남양희, "정면 투영 환경에서의 자동 칼라 보정에 의한 손 영역 추적 알고리즘," *한국정보과학회 한국컴퓨터종합학술대회 논문집(B),* pp. 766-768, 2005년 7월.

[11] M. N. Hilario and J. R. Cooperstock, "Occlusion Detection for Front-Projected Interactive Displays," *International Conference on Pervasive Computing,* 2004.

남 양 희

1989년 이화여자대학교 전자계산학과 (이학사)
1991년 KAIST 전산학과 (공학석사)
1997년 KAIST 전산학과 (공학박사)
1998년~1999년 스위스 로잔공대 박사후연구원
1999년~2000년 일본 ATR연구소 초청연구원
2000년~2002년 세종대학교 컴퓨터공학과 전임강사
2002년~2006년 이화여자대학교 디지털미디어학부 조교수
2006년~현재 이화여자대학교 디지털미디어학부 부교수
관심분야 : 가상/증강현실, 영상처리, 모션인식, HCI

오 수 진

1997년 숭실대학교 컴퓨터학부 (이학사)
2007년 이화여자대학교 대학원 디지털미디어학부 (석사)
현재 이화여자대학교 대학원 I&VR 연구실 연구원
관심분야 : 가상/증강현실, 영상처리, HCI