

## 그림자 제거를 위한 색상 공간의 비교

이광국<sup>†</sup>, Muhammad Uzair<sup>\*\*</sup>, 윤자영<sup>\*\*\*</sup>, 김재준<sup>\*\*\*\*</sup>, 김희울<sup>\*\*\*\*\*</sup>

### 요 약

이동 객체의 검출은 다양한 영상 감시 응용에 필수적인 중요한 기술이다. 그런데 이동 객체 검출 결과로 얻어진 전경 영상에는 그림자에 의한 색상 변화가 전경 영역으로써 함께 검출되는 경우가 쉽게 발생하며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 이동 객체 검출은 흔히 그림자 제거와 함께 수행된다. 대부분의 그림자 제거 방법은 조명 변화 발생 시 색상의 조도 성분만 변화하며 색도 성분은 유지된다는 가정에 기반하여 색도 성분을 분리하여 표현하는 다양한 색상 공간을 통해 그림자 제거를 수행한다. 본 논문에서는 색도 성분을 분리하는 색상 공간 가운데 그림자 제거에 가장 적합한 색상 공간을 선택하고자 다양한 색상 공간 (YCbCr, HSI, 정규화된 rgb, Yxy, Lab, c1c2c3)을 비교하였다. 과거 그림자 제거에 있어서 다양한 색상 공간의 성능을 비교한 몇몇 연구가 있었으나, 기존 연구들은 각 논문에서 제안한 특정 그림자 제거 방법에 다양한 색상 공간을 적용하거나 임의의 임계값을 이용하여 각 색상 공간의 성능을 비교하였기 때문에, 각 색상 공간에서 조명 변화 발생에 따른 색상 왜곡을 정확히 측정하기 어려운 문제가 있었다. 본 논문에서는 이러한 기존 연구의 문제점을 피하고 각 색상 공간을 정확하게 비교하기 위하여 1) 서로 다른 조명 조건에 노출된 동일한 색상을 갖는 면의 경계에서 색도 성분의 기울기 값을 측정함으로써 조명 변화 발생 시 색도 성분의 변화 정도를 비교하였으며, 2) RoC 곡선을 통하여 임계치 설정의 문제를 피하면서 배경 제거 정확도를 비교하였다. 실험을 통하여 YCbCr 색상 공간과 정규화된 rgb 색상 공간이 비교 대상으로 선택된 여러 색상 공간 가운데 가장 좋은 성능을 보이는 것을 확인하였다.

## Comparisons of Color Spaces for Shadow Elimination

Gwang-Gook Lee<sup>†</sup>, Muhammad Uzair<sup>\*\*</sup>, Ja-Young Yoon<sup>\*\*\*</sup>,  
Jae-Jun Kim<sup>\*\*\*\*</sup>, Whoi-Yul Kim<sup>\*\*\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Moving object segmentation is an essential technique for various video surveillance applications. The result of moving object segmentation often contains shadow regions caused by the color difference of shadow pixels. Hence, moving object segmentation is usually followed by a shadow elimination process to remove the false detection results. The common assumption adopted in previous works is that, under the illumination variation, the value of chromaticity components are preserved while the value of intensity component is changed. Hence, color transforms which separates luminance component and chromaticity component are usually utilized to remove shadow pixels. In this paper, various color spaces (YCbCr, HSI, normalized rgb, Yxy, Lab, c1c2c3) are examined to find the most appropriate color space for shadow elimination. So far, there have been some research efforts to compare the influence of various color spaces for shadow elimination. However, previous efforts are somewhat insufficient to compare the color distortions under illumination change in diverse color spaces, since they used a specific shadow elimination scheme or different thresholds for different color spaces. In this paper, to relieve the limitations of previous works, (1) the amount of gradients in shadow boundaries drawn to uniform colored regions are examined only for chromaticity components to compare the color distortion under illumination change and (2) the accuracy of background subtraction are analyzed via RoC curves to compare different color spaces without the problem of threshold level selection. Through experiments on real video sequences, YCbCr and normalized rgb color spaces showed good results for shadow elimination among various color spaces used for the experiments.

**Key words:** Background subtraction(배경 제거), shadow elimination(그림자 제거), color space(색상 공간), photometric invariance(색도 불변)

※ 교신저자(Corresponding Author): 이광국, 주소: 서울시 성동구 행당동(133-791), 전화: 02)2220-0561, FAX: 02)2292-6316, E-mail: gglee@vision.hanyang.ac.kr  
접수일: 2008년 2월 14일, 완료일: 2008년 4월 4일  
<sup>†</sup> 준회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정  
<sup>\*\*</sup> 준회원, 한양대학교 전자컴퓨터 통신공학과석사과정 (E-mail: muhammad@vision.hanyang.ac.kr)  
<sup>\*\*\*</sup> 준회원, 한양대학교 건축환경공학과 석·박사통합과정

(E-mail: nyx80@hanyang.ac.kr)  
<sup>\*\*\*\*</sup> 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수 (E-mail: jjkim@hanyang.ac.kr)  
<sup>\*\*\*\*\*</sup> 종신회원, 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 정교수 (E-mail: wykim@hanyang.ac.kr)  
※ 본 연구는 2007년도 한국건설교통기술평가원 연구비 지원에 의해 수행되었음. 과제번호: 06건설핵심D06

## 1. 서 론

영상에서 움직이는 객체를 검출하는 이동 객체 검출은 다양한 영상 감시 시스템에 널리 이용되는 중요한 기술이다. 이러한 응용의 예로는 객체 추적[1], 교통량 감시[2] 그리고 행동 분석[3] 등이 있다. 이동 객체를 검출하는 방법에는 참조 영상(reference image)과 입력 영상의 차이를 비교하는 방법 또는 인접 영상간의 차이를 이용하는 방법이 흔히 이용된다 [4,5]. 그러나 이러한 이동 객체 검출의 결과에는 흔히 이동 객체와 함께 그림자가 잘못 검출되는 경우가 발생하며, 이는 객체 추적 또는 인식과 같은 고차원 영상 처리에 부정확한 결과를 초래한다. 때문에 많은 경우에 이동 객체 검출은 그림자 제거와 함께 수행되고 있다.

지금까지 그림자 제거를 위한 다양한 방법이 제안된 바 있으며, 이러한 다양한 노력 가운데 많은 연구는 광도 불변성(photometric invariance)의 가정에 기반하고 있다. 즉, 이러한 그림자 제거 방법들은 조명 변화에 의한 색상의 변화는 조도 성분(luminance)의 변화만을 수반하며 색도 성분(chromaticity)은 변하지 않고 유지된다는 가정을 이용하여 그림자 화소를 검출하여 제거한다. Baisheng과 Yunqi는 그림자 제거를 위하여 HSV 색상 정보를 이용하여 배경 제거 결과에서 그림자를 제거하는 방법을 제안하였다 [6]. 이 방법에서는 밝기 성분(Value)의 변화에 의해 우선 그림자의 후보 화소를 검출한 후 배경 모델과의 비교하여 색조(Hue) 값의 차이가 임계치보다 작고, 채도(Saturation)가 더 낮아진 화소를 그림자로 검출하였다. Kumar등은 Queue를 이용한 빠른 배경 모델링 방법을 제안하였는데 [7], 이 방법에서는 YCbCr 색상 공간의 Cb와 Cr 성분을 이용하여 전경 영역 가운데 색도 성분의 변화가 적은 화소를 그림자 화소로 분류하였다. KaewTraKulPong 등은 별도의 색상 변환을 통하지 않고 RGB 색상 공간에서 그림자를 제거하는 방법을 제안하였는데 [8], 그들의 방법에서는 배경 모델과 입력 영상의 색상차를 밝기 왜곡과 색상 왜곡으로 나누어 색상 왜곡이 적으면서 어두운 밝기 왜곡이 발생한 화소를 그림자로 분류하였다. 이 방법은 별도의 색상변환 없이 RGB 색상 모델을 이용하는 하였지만, 조명 변화에 의한 색상의 변화가 RGB 공간에서 입력 화소와 원점을 잇는 색도선

(chromaticity line)상에서 발생한다고 가정한 점에서 실제로는 정규화된 rgb 색상 공간에서 그림자를 제거하는 것과 동일한 의미를 갖는다.

이와 같이 색상 변환을 이용해 그림자를 제거하는 여러 방법들이 제안된 바 있으며, 여기에서는 앞에 소개된 것 과 같이 HSV, YCbCr, RGB 색상 공간과 같은 다양한 색상 공간들이 이용되었다. 그런데, 조도 성분과 색도 성분을 분리하여 표현하는 색상 공간의 종류는 매우 다양하며, 때문에 이러한 다양한 색상 공간들의 그림자의 검출 및 제거에 미치는 성능을 비교한 몇몇 연구가 기존에 발표된 바 있다. Kumar 등은 교통 감시 시스템을 위한 배경 제거 및 그림자 제거를 위하여 RGB, HSV, YCbCr, XYZ, normalized rgb와 같은 5 개의 색상 공간을 비교하였다 [9]. Kumar의 연구에서는 RGB 색상 공간에서 배경 제거를 수행한 후 그 결과에 각 색상 공간을 이용하여 그림자 제거하는 방법을 적용하였다. 그러나 이 방법에서는 그림자 제거를 위해 각 색상 공간마다 서로 다른 판단 기준을 이용하였으며, 논문에서는 그 가운데 RGB 색상 공간에 적용된 판단 기준만을 소개하였다. Kumar의 방법에서는 이렇게 색상 공간 마다 각기 다른 판단 기준을 통하여 그림자를 제거하였으므로 색상 공간 사이에 정확한 비교가 어려우며 또한 모든 색상 공간에 대한 판단 기준을 명확히 밝히지 않았으므로 연구 결과의 재확인이 어려운 문제가 있다. Tsai 는 항공 촬영 영상에서 그림자 제거를 위해 다양한 색상 공간을 비교하였으며, 이 연구에서는 HSI, HSV, HCV, YIQ, YCbCr 색상 공간이 제안된 항공 영상의 그림자 제거 방법에 적용되어 성능 비교가 이루어졌다 [10]. 이 방법에서는 색도 성분과 조도 성분의 비율에 의해 얻어진 비율 영상(ratio image)를 자동 임계치 결정에 의해 이진화하고, 그 결과에 형태 보존 그림자 마스크(shape-preseved shadow mask)와 모폴로지 연산을 적용해 그림자 제거 결과 영상을 얻었다. Tsai의 연구에서 이용된 그림자 제거 방법은 이진화 및 모폴로지 연산 등 다양한 과정을 포함하고 있기 때문에 각 색상 공간에서 색도 성분의 유지 정도에 대한 비교는 이루어질 수 없었다. 또한 이 연구에 이용된 색상 공간 가운데 HSI, HSV, HCV 색상 공간과 YIQ, YCbCr 색상 공간은 서로 그 특성이 매우 유사한 색상 공간이기 때문에 다양한 색상 공간을 충분히 비교하기에는 부족한 점이 있었다.

Shan등은 그림자 제거에 가장 적합한 색상 공간을 선택하기 위하여 RGB, HSV, YCbCr, XYZ, Lab, c1c2c3, l1l2l3, 정규화된 rgb 색상공간의 7개의 색상 공간을 비교하였다 [11]. Shan등의 연구에서는 그림자를 가시적 그림자(visible shadow)와 비가시적 그림자(invisible shadow)로 나누어 모델링하였으며, 가시적 그림자의 경우와 비가시적 그림자의 경우에 대하여 각각 다양한 색상 공간을 적용한 결과 가시적 그림자에 대해서는 HSV, c1c2c3, 정규화된 rgb, 비가시적 그림자에 대해서는 YCbCr, Lab 색상 공간이 그림자 제거에 좋은 성능을 보인다고 보고한 바 있다. 그러나 실제적인 응용에 있어서는 동일한 장소에서도 주변 조명 변화 또는 시간의 변화에 따라 가시적 그림자와 비가시적 그림자가 변경되어 나타날 수 있기 때문에 이러한 가시적/비가시적 그림자의 구분은 적합하지 않은 경우가 있다. 또한 Shan 등의 연구에서는 그림자 제거를 위하여 배경 모델에서 각 화소의 기울기(gradient)값과 입력 영상 내 각 화소의 기울기 값의 차이를 임계치와 비교하였으나, 구체적인 임계치 설정 방법 방법이나 모든 색상 공간에 동일한 임계치를 이용하였는지에 대한 언급은 나타나 있지 않았다. 이렇듯 그림자 제거에 다양한 색상공간을 적용하여 그 차이를 비교한 기존의 연구들은 모두 다양한 색상 공간을 자신들의 그림자 제거 방법에 적용하여 그림자 제거의 성능을 비교하였기 때문에 (1) 그림자 제거의 정확도가 아닌 조도 변화 발생 시 색도 성분의 변화와 같은 색상 공간 자체에 대한 비교는 어려우며 또한 (2) 그림자 제거의 정확도 비교 시 서로 다른 색상 공간의 비교 방법이나 적정 임계값 설정 등의 문제로 정확한 비교가 이루어지기 어려운 문제가 있다.

본 논문에서는 효과적인 그림자 제거를 위하여 다양한 색상 공간(YCbCr, HSI, 정규화된 rgb, Yxy, Lab, c1c2c3)을 비교·분석하였다. 본 논문에서는 앞에 언급된 기존 연구들의 한계점을 해결하기 위하여 다음과 같은 두 가지 실험을 이용하였다. 우선 첫 번째 실험에서는 각각의 색상 공간에서 조명 변화 발생에 따른 색도 성분의 변화 정도를 비교하였다. 이를 위하여 조도 변화만이 발생한 영상에서 기울기 값의 크기를 비교하였으며, 이 때 서로 다른 범위의 기울기 값을 갖는 색상 공간 사이의 올바른 비교를 위하여 그림자 영역과 비그림자 영역의 기울기 값의 비율

을 이용하였다. 두 번째로는 각각의 색상 공간에서 그림자 제거를 수행하여 그 성능을 비교하였으며, 이때 색상 공간의 영향만을 비교하기 위하여 배경 제거 이외의 후처리 등의 과정 등을 배제하였고, 특정 임계치에서의 정확도에 의한 비교가 아니라 RoC 곡선을 통하여 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려한 색상 공간을 소개하며, 3장에서는 색상 공간의 비교를 위한 실험 방법을 소개한다. 4장에서는 실험 결과를 보이며, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 색상 공간

이 장에서는 본 논문에서 고려된 다양한 색상 공간에 대한 소개를 한다. 본 논문에서는 조도 성분과 색도 성분을 분리하여 표현하는 색상 공간 가운데 YCbCr, HSI, 정규화된 rgb, Yxy, Lab 그리고 c1c2c3 색상 공간을 비교하였으며, 각각의 색상 공간의 특징 및 변환 방법은 다음에 나타난 것과 같다.

### 2.1 YCbCr 색상 공간

YCbCr 색상 공간은 JPEG, MPEG 그리고 H.263 과 같이 다양한 영상 및 비디오 압축 표준에서 사용되고 있다. YCbCr 색상 공간은 색상의 조도 정보와 색상 정보를 Y 성분과 Cb, Cr 성분에 의해서 분리하여 표현한다. RGB 색상 공간에서 YCbCr 공간으로의 색상 변환은 다음의 수식 (1) - (3)에 의해서 얻을 수 있다.

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

$$Cb = -0.1687R - 0.3313G + 0.5B + 128 \quad (2)$$

$$Cr = 0.5R - 0.4187G - 0.0813B + 128 \quad (3)$$

### 2.2 HSI 색상 공간

HSI 색상 공간은 영상의 색상을 색조(Hue), 채도(Saturation), 그리고 밝기(Intensity) 성분으로 정의한다. HSI 색상 공간에서는 색조 성분과 채도 성분이 함께 색도(chromaticity) 변화를 기술하게 된다. HSI 색상 공간의 색상 정의는 인간이 색상을 인지하는 방법과 일치하기 때문에 많은 영상처리 응용에서 폭넓게 이용되어 왔다. RGB 색상 공간에서 HSI 색상 공

간으로의 변환은 다음의 수식에 의해서 이루어진다.

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{where, } \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{0.5[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{[(R-G)^2 + (R-B)^2]^{1/2}}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (5)$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (6)$$

### 2.3 정규화된 rgb 색상 공간

정규화된 rgb 색상 공간은  $R, G, B$  각 색상 성분을  $R, G, B$  값의 합으로 나누어 색상의 밝기 값으로 정규화하여 표현한다. 정규화된 rgb 색상 성분은 밝기 값에 의해 정규화되기 때문에 조명 변화에 불변인 것으로 알려져 있으며, 그 계산의 용이성으로 인해 폭넓게 사용되고 있다. RGB 색상 공간에서 정규화된 rgb 색상 공간으로의 변환은 다음의 수식 (7) - (9)와 같이 이루어진다.

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad (7)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \quad (8)$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \quad (9)$$

### 2.4 CIE Yxy 색상 공간

국제 조명 위원회(International Commission on Illumination, CIE)에서는 1931년에 CIE 1931 XYZ 색상 공간을 정의한 바 있다. 인간 시각은 세 가지 다른 길이의 파장에 반응하는 수용체(receptor)의 응답의 중첩에 의하여 이루어지고 있으며, CIE XYZ (또는 XYZ) 색상 공간은 이러한 인간 시각의 삼중 자극(tristimulus) 본따서 만들어졌다. CIE Yxy (또는 Yxy) 색상 공간은 CIE XYZ 색상 공간에서 유도되는 색도 불변의 색상 공간으로서, XYZ 색상 공간을 조도 성분과 색도 성분으로 분리함으로써 얻어진다. XYZ 색상 공간에서 Yxy 색상 공간으로의 변환은 다음의 수식 (10)-(12)에 의하여 이루어지며, 여기에서  $Y$ 는 조도 성분을  $x$ 와  $y$ 는 색도

성분을 나타낸다.

$$Y = Y \quad (10)$$

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (11)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (12)$$

$$\text{where, } \begin{cases} X = 0.4124R + 0.3576G + 0.1805B \\ Y = 0.2126R + 0.7151G + 0.0721G \\ Z = 0.0193R + 0.1192G + 0.9505B \end{cases}$$

### 2.5 CIE Lab 색상 공간

CIE Lab 색상 공간(또는 Lab)은 CIE XYZ 색상 공간에 기반하여 정의되는 색상 공간으로써  $L$  성분 에 의해서 조도를 표현하고  $a$ 와  $b$  성분 에 의해서 색도 변화를 표현한다. Lab 색상 공간에서 얻어지는 색상의 변화는 XYZ 색상 공간과는 다르게 인지적으로 선형적인 특징이 있다. Lab 색상 공간은 다음의 수식과 같이 CIE XYZ 색상 공간의 좌표에 비선형 변환을 적용함으로써 얻어진다. 수식의  $X, Y, Z$  값은 수식 (10) - (12)에 의해 얻어지는 XYZ 색상 공간 내의 값이며,  $X_w, Y_w, Z_w$ 는 CIE 색도 도표(chromaticity diagram)에서 정의되는 참조 백색(reference white)의 값이다.

$$L^* = 116h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) - 16 \quad (13)$$

$$a^* = 500 \left[ h\left(\frac{X}{X_w}\right) - h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) \right] \quad (14)$$

$$b^* = 200 \left[ h\left(\frac{Y}{Y_w}\right) - h\left(\frac{Z}{Z_w}\right) \right] \quad (15)$$

$$\text{where } h(q) = \begin{cases} \sqrt[3]{q} & \text{if } q > 0.008856 \\ 7.87q + 16/116 & \text{if } q \leq 0.008856 \end{cases}$$

### 2.6 c1c2c3 색상 공간

Geyer 등은 [12]에서 객체 인식을 위해 색상 불변의 특성을 가진 c1c2c3 색상 공간을 제안하였다. c1c2c3 색상 공간은 그림자에 대해서 색상 불변의 특성을 갖는 것으로 알려져 있으며, RGB 색상 공간에서 c1c2c3 색상 공간으로의 변환은 다음의 수식 (16)-(18)과 같이 계산된다.

$$c1 = \arctan\left(\frac{R}{\max(G, B)}\right) \quad (16)$$

$$\alpha_2 = \arctan\left(\frac{G}{\max(R, B)}\right) \quad (17)$$

$$\alpha_3 = \arctan\left(\frac{B}{\max(R, G)}\right) \quad (18)$$

### 3. 색상 공간의 비교 방법

다양한 색상 변환을 그림자 제거에 적용하여 그 성능을 비교함으로써 그림자 제거에 가장 적합한 색상 공간을 선택하기 위한 여러 기존 연구가 있어왔다 [9-11]. 그러나 기존의 연구에서는 각 연구에서 제안한 그림자 제거 방법에 다양한 색상 모델을 적용하여 그림자 제거의 정확도로서 서로 다른 색상 공간을 비교하였다. 이러한 기존 연구에 이용된 그림자 제거 방법은 색상 정보 이외에 경계 정보를 이용한 모폴로지 연산을 포함하기도 하며, 또 색상 공간마다 다른 임계치를 필요로 하기도 하였다. 때문에 기존 연구 결과를 통해서도 각 색상 공간에서 조도 변화가 발생한 색상에 대해 색도 성분이 얼마나 유지되는지를 비교하거나, 색상 공간의 차이를 정확히 비교하기는 어려운 문제가 있었다.

본 논문에서는 다양한 색상 공간 가운데 그림자 제거에 가장 적합한 색상 공간을 선택하기 위하여 다음과 같은 두 가지 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험에서는 영상의 그림자 경계 부분에서 기울기를 측정함으로써 조명 변화 발생 시 각 색상 공간에서 색도 성분이 얼마나 유지되는가를 관찰하였으며, 두 번째 실험에서는 각 색상 공간에서 전경 제거를 수행하고, 그 정확도를 비교함으로써 서로 다른 색상 공간을 비교하였다. 본 절에서는 각각의 실험 방법에 대한 자세한 내용을 소개한다.

#### 3.1 그림자 경계에서의 기울기 측정

어떤 색상 공간의 부공간(subspace)이 광도 불변성(photometric invariance)을 만족한다면, 조명의 변화로 인한 색상의 변화가 해당 부공간에 아무런 변화를 가져오지 않는다. 기존의 다양한 그림자 제거 방법은 이러한 광도 불변성에 기반하여 조도 성분과 색도 성분을 분리하여 표현하는 색상 공간에서 그림자 제거를 수행하고 있다. 본 논문에서는 그림자나 조명의 변화로 인한 색상 변화 발생 시 각 색상 공간

에 색도 성분의 보존성을 비교하기 위하여 그림자 경계 부분에서의 색도 성분의 기울기(gradient) 값을 비교하였다. 즉, 조명 변화 발생에 대해서 색도 성분의 값이 변하지 않는다면, 균일한 질감의 평면에 드리워진 그림자의 경계 내에서는 색도 성분의 차이가 없을 것이므로 작은 크기의 기울기 값이 관찰되어야 한다.

본 논문에서는 색상 공간의 비교를 위하여 그림자의 경계 영역과 비그림자의 경계 영역에서의 기울기 값의 비율을 이용하였으며, 이 기울기 값의 비율  $R_{\nabla}$ 는 다음의 수식 (19)과 같이 정의된다. 수식 (19)에서  $NS$  (Non-shadow)는 그림자가 아닌 부분의 경계로 이루어진 화소들의 집합이며,  $SH$  (Shadow)는 그림자 부분의 경계로 이루어진 화소들의 집합이다. 또한 수식에서  $\nabla x$ 는 화소  $x$ 의 기울기(gradient) 값을 나타낸다. 각 색상 공간에서 기울기 값은 Sobel 연산자를 이용하여 계산하였다. 하지만, HSI 색상 공간의 H 성분은 여타 색상 공간과는 다르게 원형으로 정의되므로, H 성분에 대해서는 [13]에서 이용된 원형 기울기(circular gradient)가 이용되었다.

$$R_{\nabla} = \frac{\frac{1}{|NS|} \sum_{x \in NS} \nabla x}{\frac{1}{|SH|} \sum_{y \in SH} \nabla y} \quad (19)$$

수식 (19)에 나타난 그림자 경계 영역( $SH$ )와 비그림자 경계 영역( $NS$ )은 그림 1에 나타난 것과 같은 두 장의 마스크 영상을 이용하여 정의되었다. 그림 1의 (a)는 원영상의 예이며, (b)는 그림자 경계 영역의 마스크 영상, (c)는 비그림자 경계 영역의 마스크 영상이다. 그림 1의 (b)의 그림자 경계 영역의 마스크 영상은 동일한 바닥면 위에서 정지된 객체에 의한 그림자의 경계 영역으로 설정되었다. 그림 (c)에 나타난 비그림자 경계의 마스크 영상은 원 영상에 대하여 RGB 공간에서 경계 연산자를 적용하고, 결과 경계 영상을 확장 시킨 후, 그림자 경계에 해당하는 경계 화소를 제거함으로써 얻어졌다. 실험 영상에서는 카메라의 이동이나 그림자의 방향 변화가 일어나지 않았으므로, 그림 1의 마스크는 실험에 사용된 전체 영상에 동일하게 적용되었다.

이와 같이 그림자 경계 영역의 기울기 값뿐 아니라 그림자가 아닌 경계 영역의 기울기 값을 함께 이용하여 그 비율을 평가 척도로 사용한 이유는 다음과

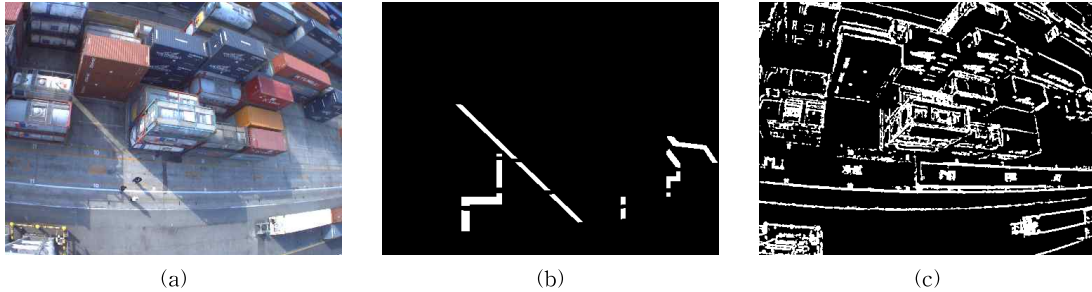


그림 1. 기울기 값 비교를 위한 마스크의 예: (a) 원영상, (b) 그림자 경계 마스크, (c) 비그림자 경계 마스크

같다. 첫째로 각 색상 공간마다 기울기 값의 분포와 범위가 다를 수 있으므로, 다른 색상 공간 사이에서 기울기 값의 크기를 직접적으로 비교할 수는 없다. 영상 전체에서 얻어진 비그림자 경계에서의 기울기 값을 그림자 경계에서만 얻어진 기울기 값으로 나누는 것은 기울기 값의 크기를 정규화 하는 의미를 가지며 이를 통해 서로 다른 범위의 기울기 값을 갖는 색상 공간 사이의 비교가 가능하다. 두 번째 이유는 그림자 경계에서의 작은 기울기 값을 갖는 색상 공간이 배경 제거에 항상 유리한 것은 아니기 때문이다. 조명 변화 발생에 대해서도 색도 성분을 일정하게 유지할 수 있는 색상 공간은 서로 다른 RGB 화소 값을 동일한 색도 값으로 쉽게 변환시킬 가능성이 크며, 이는 반대로 서로 다른 색상이 동일한 색도를 갖는 것으로 잘못 판단될 가능성 또한 커진다는 것을 의미한다. 예를 들면, RGB 색상 공간의 모든 색상을 동일한 상수 값으로 변경하는 색상 부공간이 있다고 할 때, 이러한 색상 부공간에서 그림자 영역의 기울기 값은 0이 될 것이지만 그것이 해당 색상 부공간이 그림자 제거에 적합함을 의미하는 것은 아니다. 따라서 이러한 색상 부공간에서는 객체에 해당하는 부분이 배경으로 잘못 판단될 가능성 또한 커지게 된다. 이러한 이유로 그림자 영역의 경계 부분에서는 작은 기울기 값을 보이면서 서로 다른 색상 간의 경계 부분에서는 큰 기울기 값을 갖는 색상 공간이 배경 제거에 더욱 유리한 색상 공간이 된다. 이는 판단 문제(classification problem)에서 널리 이용되는 LDA(Linear Discriminant Analysis)에서 서로 다른 클래스 간의 분산을 최대화 하면서 동일 클래스 내에서는 분산을 최소화 하는 변환이 판단 문제 해결을 위한 최적 변환이라는 가정과 동일한 의미를 갖는다. 따라서, 기울기 값의 비율인  $R_V$ 가 큰 값을 가질수록 조명

변화에 더 강인하게 배경제거를 수행할 수 있는 색상 공간이 된다.

### 3.2 전경 제거의 정확도 측정

두 번째 실험으로는 각 색상 공간에서 전경 제거를 수행하여 그 결과로 얻어진 전경 영상의 정확도를 통해 각 색상 공간을 비교하였다. 이를 위해 우선 전경이 제거된 영상을 이용하여 배경 모델을 생성하였으며, 배경 모델은 단일 Gaussian 분포를 통하여 모델링 되었다. 즉, 화소  $i$ 에서의 배경 모델  $m_i$ 는 해당 위치에서 색상의 평균  $\mu_i$ 와 공분산행렬  $\Sigma_i$ 에 의하여 정의되며, 그 확률 밀도 함수는 수식 (20)과 같이 나타난다. 여기에서 화소의 입력값  $\mathbf{x}$ 와 평균  $\mu_i$ 는 색도 성분의 2차원 벡터이며, 공분산행렬  $\Sigma_i$ 는  $2 \times 2$  크기의 행렬이 된다. 즉, YCbCr 색상 공간에서는 Cb와 Cr 성분의 2차원 벡터가 되며, HSI 색상 공간에서는 S와 I의 2차원 벡터가 된다. 배경 모델의 평균 및 공분산 행렬은 실험에 사용한 테스트 영상 전체에 대해서 전경 영역을 제거한 영상을 이용하여 미리 계산된 값이 이용되었다.

$$g(\mathbf{x}; \mu_i, \Sigma_i) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mu_i)' \Sigma_i^{-1} (\mathbf{x} - \mu_i)\right] \quad (20)$$

배경 모델의 생성을 위한 기존의 연구에는 새로운 입력 영상을 이용하여 배경 모델을 동적으로 갱신하는 방법이나[2], 다중 Gaussian 분포를 이용하여 복잡한 배경에도 대응 가능한 모델을 생성하는 방법[4] 등 다양한 방법들이 있었다. 그러나 본 논문에서 사용된 배경 모델은 그 목적이 색상 공간의 그림자 제거 성능을 비교하기 위한 것이므로 수작업에 의하여 전경이 제거된 실험 데이터 셋을 이용하여 얻어진 고정 매개변수만을 이용하였으며, 또한 실험 영상에

서 배경의 변화는 단지 조명에 의한 변화만을 포함하고 있으므로 단일 Gaussian 분포를 배경 모델로서 이용하였다.

배경 제거는 수식 (21)에 의해 나타난 것과 같이 각 화소 위치에서 색상 값을 배경 모델의 평균값과 비교하여 색상 차이가 임계치보다 큰 화소들을 전경으로, 작은 화소들을 배경으로 분리하였다. 수식 (21)에서  $FG(i)$ 는 영상의  $i$ 번째 화소 위치에서 배경 제거 결과를 나타낸다. 색상 간의 거리 측정을 위해서는 잘 알려진 Mahalanobis 거리를 이용하였다.

$$FG(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } dist(\mu_i, x) \geq Th \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

where  $dist(\mu_i, x) = [(\mu_i - x)^T \Sigma^{-1} (\mu_i - x)]^{1/2}$

어떤 색상 공간에서 광도 불변성이 만족된다면 별도의 그림자 제거 과정이 수행되지 않더라도 색도 성분만을 이용하여 배경 제거를 수행함으로써 그림자가 포함되지 않은 전경 영역을 검출할 수 있을 것이다. 따라서, 본 논문에서는 각 색상 공간의 색도 성분에 대해서 수식 (21)에 나타난 방법에 의해 배경 제거를 수행하였으며, 배경 제거 성능의 비교를 위해서는 배경 제거를 위한 임계값의 변화에 따른 검출율과 정확도의 변화를 표시하는 RoC 곡선을 이용하였

다. 본 연구에서는 특정한 그림자 제거 방법을 이용하지 않고 색도 성분만을 이용하여 배경 제거를 수행하였고 또한 같이 임계값의 변화에 따른 성능 변화를 RoC 곡선을 통해 비교함으로써 기존의 연구에서 발생했던 색상 공간에 따른 배경 제거 방법의 선택 또는 적정 임계값 설정의 문제없이 서로 다른 색상 공간의 영향을 비교할 수 있었다.

#### 4. 실험 결과

이 장에서는 III장에서 소개된 실험 방법에 의해 각 색상 공간을 비교한 결과를 보인다. 실험을 위하여 그림 2에 나타난 것과 같이 각각 실내에서 촬영된 영상과 실외에서 촬영된 비디오 영상이 이용되었다. 그림 2의 (a), (b), (c)는 실외 영상의 예이며, (d), (e), (f)는 실내 영상의 예이다. 실외 영상에서는 구름에 의한 태양의 가려짐 발생으로 인해 외부 조명 변화가 발생하였다. 비교적 짧은 시간 동안에 조명의 변화가 발생하였으므로 정지된 객체에 의해 발생한 그림자의 위치는 변하지 않은 채 그림자 강도 변화만 발생하였다. 실내 영상에서는 외부 조명 변화에 의한 색상 변화는 없었으며, 이동 객체로 인한 그림자와 벽에 발생한 그늘짐(shading)이 가장 주요한 색상 변화

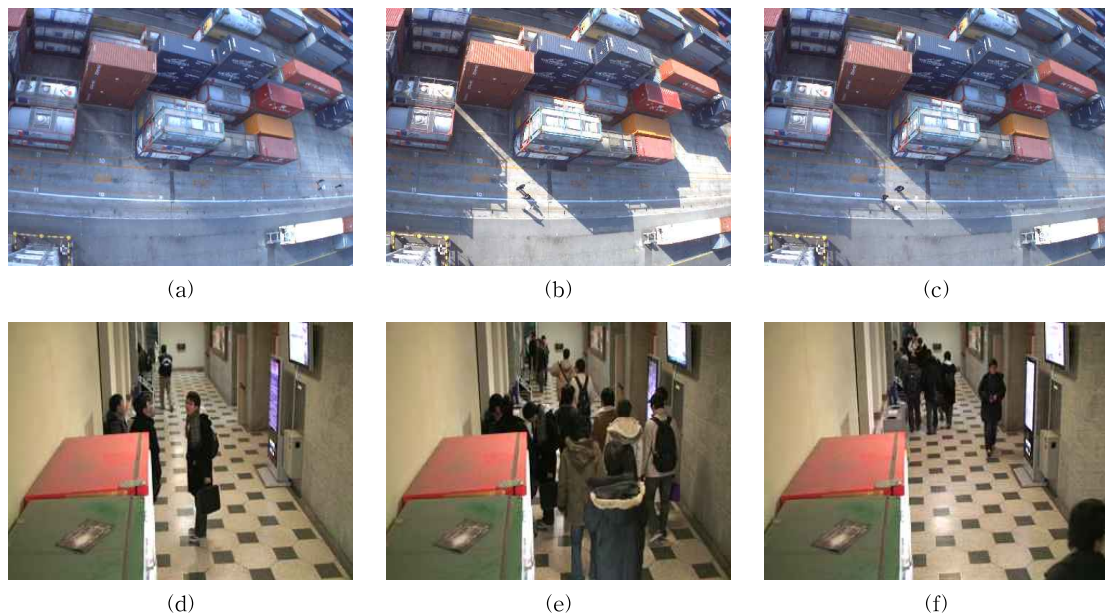


그림 2. 실험 영상의 예: (a), (b), (c) - 실외 영상의 예 (외부 조명 변화에 따른 그림자의 변화만을 포함), (d), (e), (f) - 실내 영상의 예 (외부 조명의 영향 없이 객체에 의한 그림자 변화만이 발생)



요인이었다. 실외 영상은 고정된 위치의 그림자에 대해서 다양한 조명 환경에서의 밝기 변화를 보여주므로 그림자 경계의 기울기 값의 비교를 위하여 이용되었으며, 실내 영상은 외부 조명 변화 영향 없이 이동 객체의 영향에 의한 영상 변화만 발생하였으므로 배경 제거의 정확도 측정에 이용되었다.

실내 영상은 Sony HDR-SR7 캠코더를 이용하여 촬영되었으며, 실외영상은 AXIS사의 223M 네트워크 카메라를 이용하여 촬영되었다. 영상 획득 시 기타 요인에 의한 색상 변화를 가능한 억제하기 위해 두 영상 모두 카메라의 화이트 밸런스 자동 조절 기능을 사용하지 않은 채 영상이 촬영되었다. 실내 영상은 실내 영상은 3,500 프레임 구간에 대하여 25 프레임 간격으로 총 140장의 영상을 이용하였으며, 실외 영상은 1,000 프레임 구간에 대하여 10 프레임 간격으로 총 100장의 영상을 실험에 이용하였다.

4.1 그림자 경계의 기울기 값 측정 결과

표 1과 그림 3은 실험에 이용된 총 100장의 영상에 대하여 그림자 경계 영역과 비그림자 경계 영역에서의 기울기 값의 비율  $R_V$ 의 평균을 측정한 결과이다. 각 색상공간에 대하여 색도 성분 채널별로  $R_V$  값이 측정되었으며, 채널별  $R_V$  값의 합계도 함께 표시되었다. 결과는  $R_V$  값의 크기 순서대로 정렬되어 나타나 있으며, 표 1에서 괄호안의 숫자는  $R_V$  값의 크기

표 1. 각 색상 공간에 대한 그림자 경계 영역과 비그림자 경계 영역에서의 기울기 비율 측정 결과

색상공간	색도 성분	채널별 평균 $R_V$	채널별 $R_V$ 의 합계
정규화된 rgb	$r$	219.13 (0.50)	439.92 (1.00)
	$g$	220.79 (0.50)	
YCbCr	$Cb$	173.31 (0.39)	405.05 (0.92)
	$Cr$	231.75 (0.53)	
Lab	$a$	213.66 (0.49)	371.36 (0.84)
	$b$	157.70 (0.36)	
c1c2c3	$c2$	167.44 (0.38)	363.27 (0.83)
	$c3$	195.53 (0.44)	
Yxy	$x$	196.86 (0.45)	343.21 (0.78)
	$y$	146.35 (0.33)	
HSI	$H$	135.33 (0.31)	298.49 (0.68)
	$S$	163.15 (0.37)	

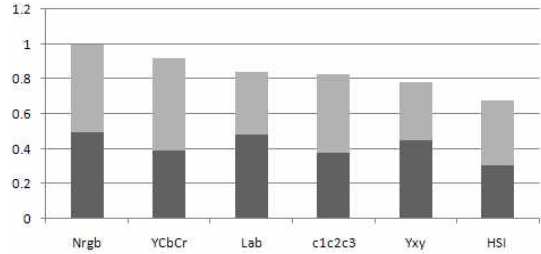


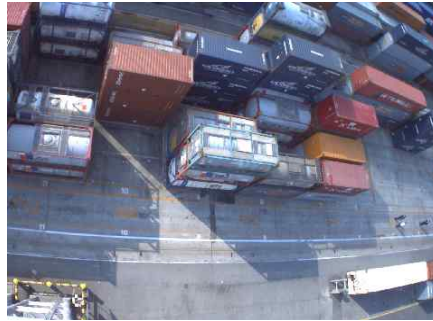
그림 3. 각 색상 공간에 대한 그림자 경계 영역과 비그림자 경계 영역에서의 기울기 비율 측정 결과

가 최대인 정규화된 rgb 색상 공간의  $R_V$  값에 대한 각 색상 공간의  $R_V$  값의 비율을 의미한다. 정규화된 rgb 색상 공간과 c1c2c3 색상 공간은 세 가지 색상 성분이 모두 색도 성분을 나타내므로 그 가운데 두 가지 색상 성분만 이용되었다. 정규화된 rgb 색상 공간에서는 대기중의 Rayleigh 산란이 그림자 영역에서 R, G, B 성분 가운데 B 성분에 가장 많은 변화를 가져온다는 기존 연구에 따라서 r, g 성분만을 이용하였으며, c1c2c3 색상공간에서는 [11]에서 이용된 것과 같이 c2, c3 성분만이 이용되었다.

$R_V$  값은 영상 내에서 동일한 색상을 갖지만 서로 다른 조명 조건에 노출된 영역의 경계에서의 색도 성분의 기울기에 의해 측정되기 때문에, 조명 변화 발생 시 동일 색상의 색도 성분의 변화 정도를 나타낸다. 수식 (19)에 동일 색상 영역 내에서의 기울기 값이 분모에 위치해 있으므로,  $R_V$  값이 큰 색상 공간은 서로 다른 조명 조건을 갖는 동일 색상 간의 색도 성분의 차이가 더 적다는 것을 의미한다. 실험 결과 표 1에 나타난 것과 같이 정규화된 rgb 색상 공간에서 가장 큰  $R_V$  값을 보였으며, YCbCr 색상 공간이 그 다음으로 큰  $R_V$  값을 나타내었다. 즉, 정규화된 rgb 색상 공간에서는 조명 변화 발생 시에 색도 성분의 차이가 가장 적게 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, HSI 색상 공간에서는 반대로 색도 성분에 가장 큰 변화가 발생하는 것을 알 수 있었다.

그림 4는 각 색상 공간에서 경계 영상의 예를 보여 준다. 그림 4의 (a)는 원영상의 예이며, (b)-(m)은 각 채널별 기울기 영상의 예이다. 기울기 영상은 밝기 값을 0에서 255로 정규화 하여 표현되었다. 그림 4에 나타난 것과 같이 정규화된 rgb 색상 공간의 결과인 그림 (b)와 (c), YCbCr 색상 공간에 대한 결과인 그림 (d)와 (e)에서는 영상 내의 다른 경계와 비교하여 볼 때 바닥면에 나타난 컨테이너의 그림자 경계 부분





(a) 원영상



(b) r 채널



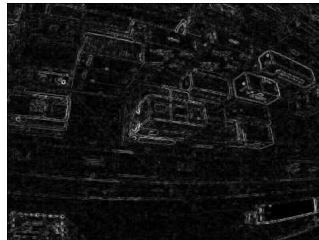
(c) g 채널



(d) Cb 채널



(e) Cr 채널



(f) a 채널



(g) b 채널



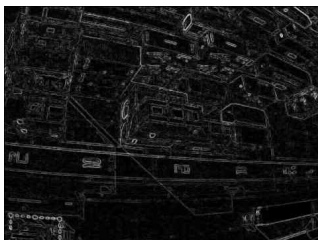
(h) c2 채널



(i) c3 채널



(j) x 채널



(k) y 채널



(l) H 채널



(m) S 채널

그림 4. 각 색상 공간의 기울기 영상의 예

이 비교적 낮은 밝기 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 즉, 이는 해당 색상 공간에서 조명의 변화가 발생하여도 색도 성분에는 적은 변화가 발생하는 것을 의미한다. 반면에 HSI 색상 공간의 결과인 그림 (l)과 (m)에서는 바닥면에 나타난 컨테이너의 그림자 부분의 경계가 영상의 다른 경계와 비교하여 크게 차이가 나지 않는 밝기 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 특히 H 성분의 결과를 나타내는 그림 (l)에서는 동일한 그림자의 경계에 대해서도 다른 크기의 기울기 값을 갖는 경우가 관찰되어 색상(Hue) 성분만을 따로 분리한 경우 채도(Saturation)가 낮은 영역에서는 색상(Hue) 성분의 변화가 불안정하게 발생하는 것으로 해석된다. 특히 그림자 영역은 그 특성상 낮은 채도 값을 갖게 되므로 그림자 제거에 H 성분의 변화를 독립적으로 이용할 경우 이러한 문제를 피하기 어려울 것으로 생각된다.

4.2 전경 제거 정확도 측정 결과

그림 5는 각 색상 공간에 대하여 배경 제거를 수행한 정확도 측정 결과를 나타낸다. 그림 5의 (a)는 임계값 변화에 따른 검출율(recall)과 정확도(precision)의 변화를 표시한 RoC 곡선이며, (b)는 F 값의 측정 결과이다. 검출율, 정확도, F 값은 각각 다음의 수식 (22)-(24)와 같이 정의된다. 수식에서 correct는 제대로 검출된 전경 화소의 수, false negative는 검출되지 못한 전경 화소의 수, false positive는 전경으로 잘못 검출된 배경 화소의 수를 각각 나타낸다. F 값은 정확도와 검출율의 조화평균으로 표현되며, 정확도와 검출율을 하나의 평가 척도에 함께 반영하여 성능을 평가할 수 있는 장점이 있다.

$$recall = \frac{correct}{correct + false\ negative} \quad (22)$$

$$precision = \frac{recall}{recall + false\ positive} \quad (23)$$

$$F = \frac{2 \cdot precision \cdot recall}{precision + recall} \quad (24)$$

그림 5에 나타난 것과 같이 실험 결과 YCbCr 색상 공간에서 가장 좋은 배경 제거 결과를 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 정규화된 rgb 색상 공간과 c1c2c3 색상 공간에서 그 다음으로 좋은 성능을 보이

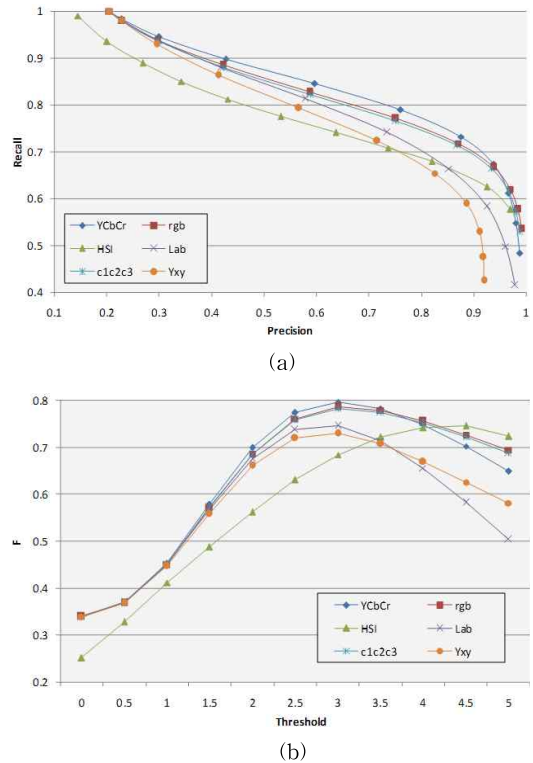
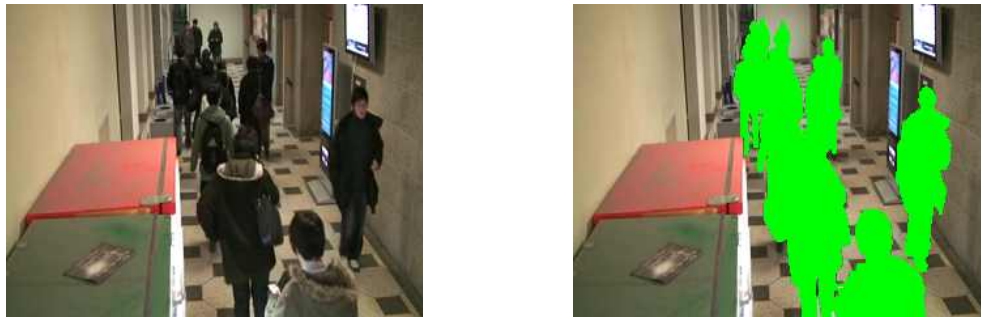


그림 5. 배경 제거 정확도 측정 결과: (a) RoC 곡선, (b) F-measure

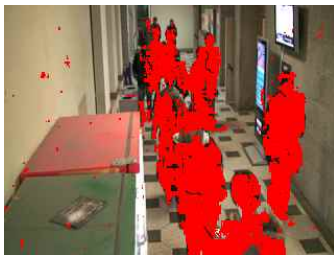
는 것을 알 수 있었다. 반면 인간 시각에 기반하여 개발된 Lab, HSI, Yxy 색상 공간은 상대적으로 낮은 성능을 보임을 확인하였다.

그림 6은 배경 제거 결과의 예를 나타낸다. 각각의 색상 공간에 대하여 가장 좋은 F 값을 가질 때의 영상을 표시하였다. 그림 5의 (a)와 (b)는 원영상과 수작업으로 얻어진 지상 검증 (ground truth) 영상을 나타내며, (c) - (h)는 각각의 색상 공간에 대한 배경 제거 결과의 예를 나타낸다. 괄호안의 숫자 값은 각각 해당 영상의 F 값을 나타내며, 그림은 F값이 큰 순서대로 나열되었다. 그림 6에 나타난 것과 같이 YCbCr 색상 공간의 결과값인 그림 (c)에서는 가장 적은 false positive와 false negative가 발생한 것을 확인할 수 있으며, F값이 작은 그림 (h)에 갈수록 전경 내의 홀(hole)이 증가하거나, 전경으로 잘못 검출된 배경 화소의 양이 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 이용된 배경 제거 방법은 어떠한 후처리 과정도 포함하고 있지 않으므로, 실제 응용에 있어서는 모폴로지 연산과 같은 후처리 과정을 통해 배경

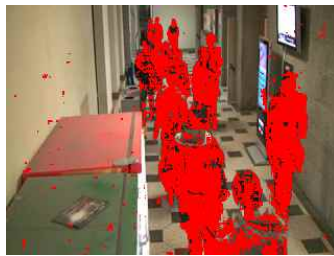


(a)

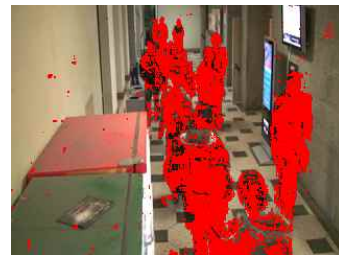
(b)



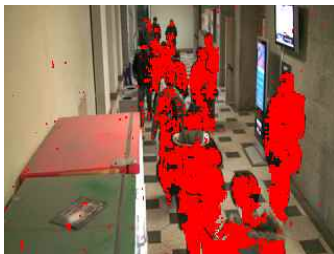
(c) YCbCr (0.80)



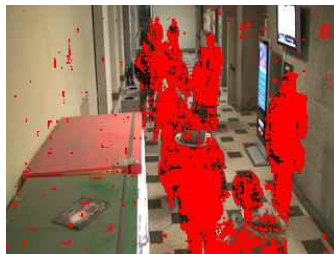
(d) 정규화된 rgb (0.79)



(e) c1c2c3 (0.78)



(f) Lab (0.75)



(g) HSI (0.75)



(h) Yxy (0.73)

그림 6. 배경 제거 결과의 예: (a) 원영상, (b) 지상 검증(ground truth)영상, (c)-(h) 각 색상 공간의 배경 제거 결과

제거의 정확도를 더욱 향상 시키는 것이 가능하다.

## 5. 결 론

기존의 많은 그림자 제거 방법들은 그림자 내에서 색도가 유지된다는 가정에 기반하고 있으며, 이를 위해 조도 성분과 색도 성분을 분리하여 표현하는 다양한 색상 공간을 이용하여 그림자를 제거하고 있다. 본 논문에서는 효과적인 그림자 제거를 위하여 다양한 색상 공간을 비교하였다. 특정한 배경 제거 방법을 이용하거나 색상 공간마다 다른 임계치를 적용하여 서로 다른 색상 공간을 효과적으로 비교할 수 없었던 기존의 연구와 달리 본 논문에서는 그림자 경계 영역에서의 기울기 값의 크기와 배경 제거 결과의

RoC 곡선을 통하여 다양한 색상 공간을 정확히 비교하였다.

비교 대상 색상 공간으로는 YCbCr, 정규화된 rgb, Lab, Yxy, HSI, c1c2c3 색상 공간이 선택되었으며, 이 가운데 YCbCr 색상 공간과 정규화된 rgb 색상 공간이 가장 좋은 성능을 보여주었다. 반면에 인간 시각에 기반한 색상 공간인 Lab, Yxy, HSI 색상 공간은 모두 상대적으로 낮은 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실험을 통하여 좋은 성능을 보인 YCbCr 색상 공간과 정규화된 rgb 색상 공간은 인간 시각에 기반한 Lab, Yxy, HSI 색상 공간과 비교하여 상대적으로 적은 계산량을 갖는 장점이 있으므로 실제 응용에 활용되기 더욱 유리한 측면이 있다.

본 논문에서는 다양한 색상 공간을 배경 제거에

적용하여 그 정확도를 측정하였으나, 본 논문에서 사용된 배경 제거 방법은 색상 공간의 성능 비교를 위한 것이므로 간단한 배경 모델과 단순 색상 차이만을 이용하였다. 따라서, 본 논문에서 좋은 성능을 보인 YCbCr 색상 공간 또는 정규화된 rgb 색상 공간을 적용하여 다양한 상황에 강인하게 대응할 수 있는 효과적인 배경 제거 방법에 대한 연구가 추후 연구로서 요구된다.

### 참 고 문 헌

- [1] S. J. McKenna, S. Jabri, Z. Duric, A. Rosenfeld, and h. Wechsler, "Tracking Groups of People," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.80, pp. 42-56, 2000.
- [2] D. Koller, J. Weber, T. Huang, J. Malik, G. Ogasawara, B. Rao, and S. Russel, "Towards Robust Automatic Traffic Scene Analysis in Real-time," Proc. International Conference on Pattern Recognition, Nov. 1994.
- [3] C. R. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrell, and A. Pentland, "Pfunder: Real-time Tracking of the Human Body," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.19, No.7, pp.780-785, 1997.
- [4] C. Stauffer and W.E.L. Grimson, "Adaptive Background Mixture Models for Real-Time Tracking," Proc. Computer Vision and Pattern Recognitions, Vol.2, pp. 246-252, June 1999.
- [5] Y. Ishii, H. Hongo, K. Yamamoto, and Y. Niwa, "Real-time Face and Head Detection using Four Directional Features," Proc. Automatic Face and Gesture Recognition, 2004.
- [6] C. Baisheng and L. Yunqi, "Indoor and Outdoor People Detection and Shadow Suppression by Exploiting HSV Color Information," International Conference on Computer and Information Technology, pp. 137-142, Sep. 2004.
- [7] P. Kumar, S. Ranganath, and W. Huang, "Queue based Fast Background Modelling and Fast Hysteresis Thresholding for Better Foreground Segmentation," International Conference on Information, Communications and Signal Processing, Vol.2, pp. 743-747, Dec. 2003.
- [8] P. KaewTraKulPong and R. Bowden, "An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-time Tracking with Shadow Detection," 2nd European Workshop on Advanced Video Based Surveillance Systems, 2001.
- [9] P. Kumar, K. Sengupta, and Adrian Lee, "A Comparative Study of Different Color Spaces for Foreground and Shadow Detection for Traffic Monitoring System," Proc. Intelligent Transportation Systems, Sept. 2007.
- [10] V. J. D. Tsai, "A Comparative Study on Shadow Compensation of Color Aerial Images in Invariant Color Models," *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.44, pp. 1661-1671, Jun. 2006.
- [11] Y. Shan, F. Yang, and R. Wang, "Color Space Selection for Moving Shadow Elimination," International Conference on Image and Graphics, pp. 496-501, Aug. 2007.
- [12] T. Gevers and W. M. Smeulders, "Color Based Object Recognition," *Pattern Recognition*, Vol. 23, pp. 453-464, 1999.
- [13] A. Hanbury and J. Serra, "Morphological operators on the unit circle," *IEEE Trans. on Image Processing*, 10(12): pp. 1842-1850, 2001.



### 이 광 국

2002년 한양대학교 전자전기공학부 학사  
 2004년 한양대학교 전자통신공학학과 석사  
 2004년~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정

관심분야 : 영상 감시, 패턴 인식, 내용기반 멀티미디어 분석



Muhammad Uzair

2006년 B.Sc Computer Systems Engineering, NWFP University of Engineering and Technology Peshawar, Pakistan

2007년~현재 한양대학교 전자컴퓨터 통신공학과석사과정

관심분야 : 영상 처리, 신호 처리, 컴퓨터 비전, 영상 감시



김 재 준

1983년 한양대학교 건축공학과 학사

1985년 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 건설관리 석사

1992년 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 건설경영/관리 박사

1993년~현재 한양대학교 건축공학부 교수

관심분야 : Building Information Modeling(BIM), 시스템경영, 건설자동화



윤 자 영

2004년 한양대학교 건축공학부 학사

2005년~현재 한양대학교 건축환경공학과 석·박사통합과정

관심분야 : Building Information Modeling(BIM), 공간정보관리, 경영시스템



김 회 울

1980년 한양대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1983년 Pennsylvania State University 전기공학과 졸업 (공학석사)

1989년 Purdue University 전기공학과 졸업 (공학박사)

1989년 9월~1994년 2월: University of Texas 조교수

1994년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 정교수  
관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 머신비전, MPEG-7등