

논문 2008-45SP-3-2

적응적 매개변수 갱신을 통한 효과적인 그림자 제거 기법

(An Effective Shadow Elimination Method Using Adaptive Parameters Update)

김 병 수*, 이 광 국*, 윤 자 영**, 김 재 준**, 김 회 율*

(Byeoung-su Kim, Gwang-Gook Lee, Ja-Young Yoon, Jae-Jun Kim, and Whoi-Yul Kim)

요 약

영상 내에서 이동하는 객체를 추출하는 전경 분리 방법은 객체의 위치 추적 및 인식에 있어서 필수적인 기술이다. 하지만 이동하는 객체 주변에 그림자가 발생하는 경우 이러한 전경 분리 방법에서는 그림자도 전경 영역으로 잘못 판단하여 분리하게 되어 이동 객체의 정확한 형태를 파악하거나 위치를 추정하기 어려운 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 색상 정보를 이용하여 그림자를 모델링하고 이를 통해 전경 영역 내의 그림자 화소를 Bayesian 분류법에 따라 제거하는 방법을 제안하였다. 특히 제안하는 방법은 매개변수 갱신 과정을 통해 그림자의 특성이 동적으로 모델링되기 때문에 주변 조명의 지속적인 변화에 적응적으로 대응할 수 있다. 실험 결과 제안하는 방법은 다양한 환경에서 그림자를 효과적으로 제거하는 것을 확인하였다.

Abstract

Background subtraction, which separates moving objects in video sequences, is an essential technology for object recognition and tracking. However, background subtraction methods are often confused by shadow regions and this misclassification of shadow regions disturbs further processes to perceive the shapes or exact positions of moving objects. This paper proposes a method for shadow elimination which is based on shadow modeling by color information and Bayesian classification framework. Also, because of dynamic update of modeling parameters, the proposed method is able to correspond adaptively to illumination changes. Experimental results proved that the proposed method can eliminate shadow regions effectively even for circumstances with varying lighting condition.

Keywords : shadow elimination, moving object segmentation, background subtraction

I. 서 론

멀티플렉스 극장, 백화점, 지하상가 등과 같은 다중 이용 시설물의 대형화, 복잡화와 함께 공공 장소내의 보안에 대한 관심의 향상으로 인해 최근 대부분의 대형

건물 및 공공장소에는 영상 감시 시스템이 필수적으로 사용되고 있다. 현재 운용되고 있는 대다수의 영상 감시 시스템은 감시 카메라의 영상을 관리자가 직접 관찰하여 위험 상황을 인지하는 방식에 의존하고 있다. 하지만, 감시 공간 내에 설치되어 있는 수많은 카메라 영상 전체를 제한된 인원으로 계속적으로 감시하는 것은 불가능하기 때문에 현재 대부분의 시스템에서 감시 카메라의 영상은 많은 상황에서 사고 예방보다는 사고 발생 후의 대응 단계에 활용되고 있는 실정이다. 이러한 기존 영상 감시 시스템의 한계를 극복하기 위하여 자동적으로 영상을 분석하고 위험 상황을 인지하여 대응하거나 감시 인력의 실수를 보완할 수 있는 지능화된 영상 감시에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 이

* 정회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
(Dept. of Electronics Computer Engineering,
Hanyang University)

** 정회원, 한양대학교 건축환경공학과
(Dept. of Sustainable Architectural Engineering,
Hanyang University)

※ 이 연구는 2007년도 한국건설교통기술평가원 연구비 지원에 의한 연구의 일부임.(과제번호 : 06건설핵심D06)

접수일자: 2008년1월10일, 수정완료일: 2008년4월10일

러한 지능화된 영상감시의 예로는 도난 감지 시스템, 지능형 DVR 시스템 등이 있다.

지능화된 영상 감시를 위한 다양한 연구 가운데 영상 내에서 이동하는 객체를 추출하는 전경 분리 방법은 지능형 영상 감시의 여러 응용에 전처리로서 필수적으로 이용되기 때문에 이에 대한 많은 연구가 있어왔다. 이러한 전경 분리 방법의 예로는 Gaussian 혼합 모델 (Gaussian Mixture Model)을 이용하는 방법^[1], Haritaoglu 등에 의해 제안된 W4 방법^[2] 등이 있다. 이 방법들은 연속된 영상을 이용하여 각 화소에서 배경 모델을 생성하고, 이렇게 생성된 배경 모델과 입력 영상과의 색상 및 명도값 차이를 이용하여 움직이는 객체를 분리해 낸다.

하지만 이동하는 객체 주변에 그림자가 존재하는 경우 이러한 전경 분리 방법에서는 그림자도 전경 영역으로 판단되어 분리되게 되는데, 이와 같이 분리된 전경 영역에 그림자가 잘못 포함된 경우 객체의 정확한 위치 추적이나 형태 인식이 어렵게 된다. 따라서 이를 해결하기 위해 분리된 전경 영역에서 그림자를 효과적으로 제거할 수 있는 방법이 요구된다.

지금까지 전경 영역에서 그림자를 제거하기 위한 다양한 연구가 있어 왔으며, 이 가운데 영상의 공간 정보를 이용하여 그림자를 제거하는 방법^[3~4]은 그림자가 움직이는 객체에 비해 평탄한 경계를 가지는 특성을 이용하여 그림자 영역을 판단하고 제거한다. 이 방법은 비교적 정확한 그림자 제거가 가능하지만 많은 계산을 필요로 하기 때문에 실시간 영상 감시 시스템에 적용하기 어려운 문제가 있다. 특히 이동 객체 분리는 객체 인식 또는 추적과 같은 고차원적 영상 처리를 위한 전처리로서 사용되기 때문에 낮은 계산량을 갖는 것은 매우 중요하다.

이와는 달리 색상 정보를 이용하여 그림자를 제거하는 방법^[5~7]은 배경 모델과 색상은 동일하지만 명도가 일정 밝기 차이만큼 어두워지는 영역을 그림자 영역으로 판단하여 제거한다. 이 방법은 비교적 간단한 연산만을 통해 그림자를 제거하는 것이 가능하기 때문에 실시간 영상 감시 시스템에 적용이 용이한 장점을 가지고 있다.

하지만 지금까지 제안된 색상을 이용한 그림자 제거 방법은 그림자를 제거하는 과정에 있어서 고정된 매개변수 또는 임계값을 사용하기 때문에 주변 조명이 변하는 환경에서 효과적으로 그림자를 제거하는 것이 어려운 단점이 있다. 특히 영상 감시 시스템은 그 목적의 특

수성 때문에 오랜 시간동안 계속적으로 사용되는 특성이 있으며, 이에 따라 시간의 변화 또는 날씨의 변화 등에 의한 주변 조명 환경의 변화가 필연적으로 발생하게 된다. 따라서 그림자 제거 과정에 있어서 주변 조명 변화에 대응하여 매개변수 및 임계값을 적응적으로 갱신해야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 색상 정보를 이용하여 그림자를 모델링하고 이를 통해 전경 영역 내의 그림자 영역을 제거하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 그림자 영역이 배경과 비교하여 색상 변화는 발생하지 않고 명도 차이만 발생한다는 특성에 의하여 그림자의 색상 모델을 설정하여 Bayesian 분류법에 따라 그림자를 전경 영역으로부터 분리해낸다. 또한 이전 프레임에서 제거된 그림자 영역의 정보를 이용하여 그림자 영역을 모델링하는 매개변수 갱신함으로써 주변 조명 환경의 변화에 적응적으로 대응하는 것이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서 적응적 그림자 제거의 필요성에 대하여 설명하고, III장에서 제안하는 그림자 제거 알고리즘의 처리과정을 설명한다. IV장에서는 실험결과를 보이고, 마지막으로 V장에서는 결론을 제시하고 맺는다.

II. 적응적 그림자 제거의 필요성

일반적으로 색상을 이용한 그림자 제거 방법에서는 그림자 영역은 배경과 비교할 때 색상은 동일하지만 명도는 어둡다는 특성을 갖는다고 가정에 기반하여 그림자를 제거하게 된다. 이러한 그림자 제거의 방법으로는 Kumar 등에 의해 제안된 큐 (Queue)에 기반한 방법^[6], Blauensteiner 등에 의해 제안된 IHLS (Improved Hue, Luminance and Saturation) 색상 정보를 이용한 방법^[7] 등이 있다.

Kumar 등에 의해 제안된 큐를 이용한 방법은 각 화소 위치에서 지난 N 프레임 동안의 히스토그램을 생성하고 이를 통해 가장 빈도가 높은 색상을 이용해 배경 모델을 생성하고 이를 통해 전경 영역을 분리한다. 이때, 배경 모델과 색상이 유사하며 명도가 낮은 부분은 그림자 영역으로 제거되게 된다. 이 방법은 큐를 이용하여 히스토그램을 생성하기 때문에 배경 모델의 생성이 적은 연산만으로 가능하여 빠른 수행 시간을 갖는 장점이 있다.

Blauensteiner 등에 의해 제안된 방법은 IHLS 색상

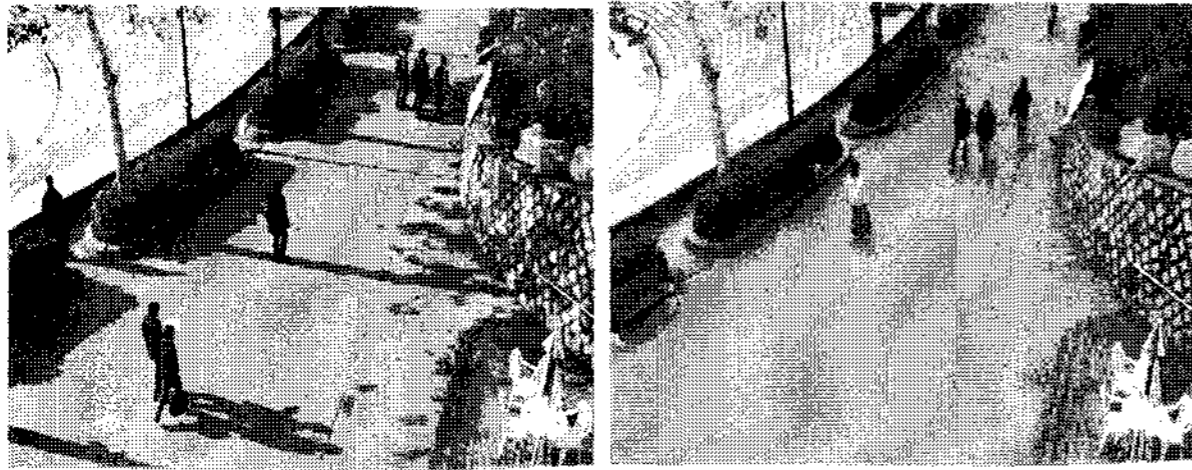


그림 1. 주변 조명 변화에 의한 그림자의 특성변화를 측정하기 위한 영상의 예
 Fig. 1. An example of estimating shadow properties with illumination changes.

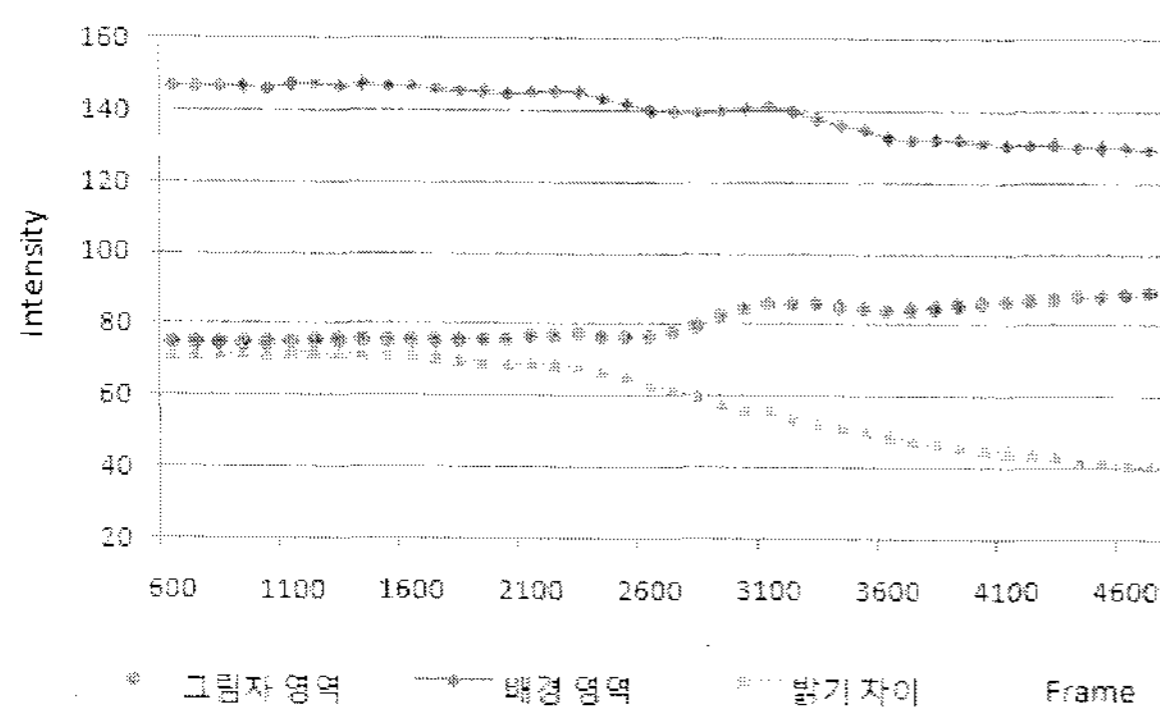


그림 2. 실험 영상에서 시간에 따른 명도값 비교의 예
 Fig. 2. Intensity comparison within a set of frames.

정보를 이용하여 배경 모델을 생성하며, Hue 값의 중요도는 Saturation 값에 의존적이라는 가정에 의해 배경 모델을 생성할 때 Saturation 값을 가중치로 사용한다. 이 방법은 IHLS 색상 정보를 이용하여 정확한 색상 비교가 가능하며, 단순한 연산을 사용하여 효과적으로 그림자를 제거하는 장점이 있다.

그림 1은 주변 환경이 변하는 영상의 예로써, 이 영상에서는 구름에 의한 영향으로 인해 영상 내 전체적인 조명 변화가 발생한다. 그림 1(a)는 구름이 없는 상황에서의 영상이며 그림 1(b)는 잠시 후 구름이 낀 상황에서의 영상이다. 두 영상간의 시간 차이는 약 2분으로 실외 환경에서는 비교적 짧은 시간에도 영상의 특성이 쉽게 변하는 것을 확인할 수 있다.

그림 2는 그림 1의 영상에 대하여 그림자 영역과 배경 영역의 명도 차이를 시간의 변화에 따라 측정한 결과이다. 시간 변화에 따른 명도값의 변화를 측정을 위하여 영상 내에서 동일한 특성을 갖는 바닥면 가운데 항상 그림자가 존재하는 영역과 그림자가 발생하지 않는 영역을 지정하여 지정된 위치에서 시간에 따라 명도값의 변화를 기록하였다.

그림 2에서 마름모로 표시된 선은 배경 영역에서의 시간에 따른 명도 변화를 나타내며 원으로 표시된 선은

그림자 영역의 명도 변화를 나타낸다. 또 삼각형으로 표시된 선은 이 두 명도값 사이의 차이를 나타낸다. 이를 통해 시간이 변하면서 발생한 구름에 의해 배경 영역의 명도값은 감소하였으나 그림자 영역은 상대적으로 밝아졌으며, 따라서 두 영역 간의 명도값 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

이러한 결과를 통해 시간에 따라 그림자 영역과 배경 영상의 명도차가 환경의 변화에 따라 쉽게 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 그림자 제거 과정에서 배경 영역과 그림자의 색상 차이를 고정된 매개변수에 의해 정의하는 기존의 그림자 제거 기법^[5-7]은 그림 1에 나타난 것과 같이 주변 조명이 변하는 영상에서 효과적으로 그림자를 제거할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 주변 조명 변화에 대응하여 그림자 제거에 이용되는 매개변수 및 임계값을 지속적으로 갱신해야 할 필요성이 있다.

III. 제안하는 알고리즘

II장에서 설명된 바와 같이 실외환경에서는 조명의 변화가 쉽게 발생하며, 고정된 임계값 및 매개변수를 갖는 기존의 그림자 제거 방법으로는 이러한 환경 변화에 대응하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 이에 본 논문에서는 주변 조명 변화에 적응적으로 대응하는 그림자 제거 방법을 제안한다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 그림자 제거 방법의 흐름도이다.

제안하는 알고리즘은 전경 분리 과정, 그림자 제거 과정, 그리고 매개변수 갱신 과정으로 나눌 수 있다. 전경 분리 과정에서는 배경 모델을 이용하여 입력 영상으로부터 전경 영역을 분리한다. 이때 분리된 전경 영역

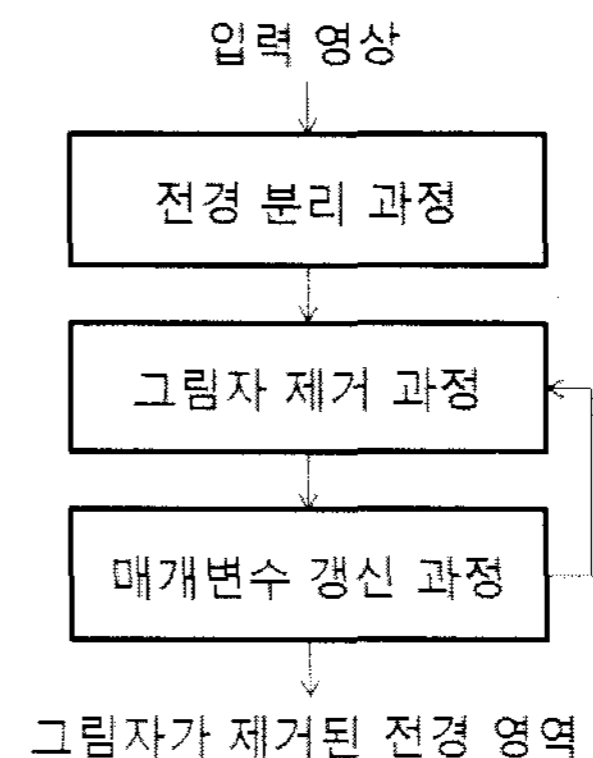


그림 3. 제안하는 방법의 흐름도
 Fig. 3. Diagram of the proposed method.

에는 이동 객체와 그림자가 함께 포함되어 나타나게 된다. 이후 그림자 제거 과정에서는 입력 영상과 배경 모델의 색상 및 밝기 정보를 비교하여 분리된 전경 영역으로부터 그림자 영역을 제거한다. 마지막으로 매개변수 갱신 과정에서는 분리된 전경 영역과 검출된 그림자 영역을 이용하여 다음의 그림자 제거 과정에서 사용될 매개변수를 갱신하여 주변 환경 변화에 적응적으로 대응하게 된다.

1. 전경 분리 과정

본 논문에서는 전경 분리를 위한 배경 모델 생성을 위해 Gaussian 혼합 모델^[1]을 이용하였다. 이 방법은 나뭇가지의 흔들림과 같이 계속적으로 발생하는 배경의 변화에 대응하기 위하여 배경 모델을 여러 개의 Gaussian 분포의 혼합 형태로서 표현한다. 또한 시간에 따른 배경의 변화에 대응하기 위하여 Gaussian 분포의 매개변수를 On-line EM 알고리즘에 의하여 갱신한다. 따라서, 이 방법은 주변 조명 변화나 일정 물체가 반복적으로 움직이는 환경에서도 비교적 정확하게 배경 모델을 생성할 수 있으며, 이를 통해 안정적으로 전경 영역을 분리하는 것이 가능하다. 그림 4는 Gaussian 혼합 모델을 사용하여 입력된 영상에서 전경 영역을 분리한 예이다.

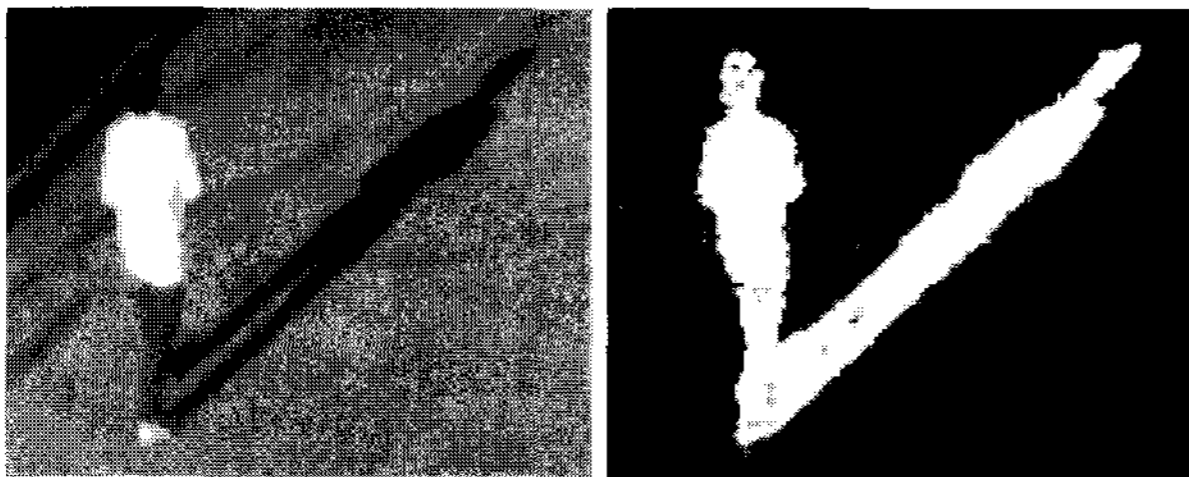


그림 4. 전경 영역 검출 결과 영상의 예
Fig. 4. An example of foreground detection.

2. 그림자 제거 과정

앞에서 설명한 바와 같이 Gaussian 혼합 모델에 의해 움직이는 객체를 분리하는 것이 가능하지만, 그림 4의 결과 영상에 나타난 것과 같이 그림자 영역이 전경 영역에 포함되어 함께 검출되는 문제가 발생하게 된다.

검출된 전경 영역 가운데 그림자 영역을 제거하는 과정은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 수식 (1)에서 $P_i(\text{shadow}|\text{foreground})$ 는 임의의 화소 i 가 전경 영역으로 분리 되었을 때, 이 화소가 실제로는 그림자 영역에 포함되어 있을 확률을 나타낸다. 이 확률이 임계값 이

상이면 해당 화소를 그림자 영역으로 판단하여 제거하게 된다.

$$P_i(\text{shadow}|\text{foreground}) \geq Th \quad (1)$$

이때 수식 (1)은 Bayesian 분류법^[8]을 사용하여 다음의 수식 (2)과 같이 표현될 수 있다.

$$P_i(\text{shadow}|\text{foreground}) = \frac{P(\text{foreground}|\text{shadow})P_i(\text{shadow})}{P(\text{foreground})} \quad (2)$$

수식 (2)에서 우도(likelihood)인 $P(\text{foreground}|\text{shadow})$ 는 그림자인 화소가 전경 영역에 속할 확률을 나타낸다. 제안한 방법에서는 분리된 전경 영역 내에서 그림자 영역을 제거하며, 따라서 그림자 영역이 전경 영역에 내에 포함되어 있을 확률은 1로 표현할 수 있다. 수식 (2)의 증거(evidence)인 $P(\text{foreground})$ 는 현재 화소가 전경 영역일 확률을 의미한다. 수식 (2)는 분리된 전경 영역에 대하여 계산이 되므로 이때의 증거는 사용된 전경 분리 방법의 정확도로서 나타난다. 따라서, 수식 (2)는 수식 (3)과 같은 표현이 가능하다. 즉, 전경 영역에 속한 화소가 그림자일 확률은 그림자의 사전 확률(prior)과 비례하며 이를 통해 그림자 영역을 제거하는 것이 가능하다.

$$P_i(\text{shadow}|\text{foreground}) \propto P_i(\text{shadow}) \quad (3)$$

제안한 방법에서는 전경 영역의 각 화소에서 사전 확률을 계산하기 위한 그림자 영역은 배경 영역과 (1) 유사한 색상을 가지지만 (2) 명도값은 일정 밝기만큼 어두워진다는 두 가지 가정을 이용하였다. 본 논문에서는 이러한 가정에 의하여 사전확률을 다음의 수식 (4)와 같이 표현하였다.

$$P_i(\text{shadow}) = P_{\text{color}}(i) \cdot P_{\text{brightness}}(i) \quad (4)$$

수식 (4)의 $P_{\text{color}}(i)$ 와 $P_{\text{brightness}}(i)$ 는 각각 그림자 영역의 색상은 배경과 유사하다는 첫 번째 가정과 그림자 영역의 화소는 배경 영역보다 일정 밝기만큼 어두워진다는 두 번째 가정에 의해 다음과 같이 정의된다.

본 논문에서는 색상간의 유사도를 계산하기 위하여 정규화된 RGB 컬러 모델을 사용하였다. 정규된 컬러 모델은 다음의 수식 (5)과 같이 표현할 수 있다. 정규화된 RGB 컬러모델에서는 화소 값을 밝기에 의해 정규화

함으로서 간단한 연산에 의해 밝기 성분의 영향을 배제하고 색상만을 비교할 수 있다는 장점이 있다.

$$r = \frac{R}{T}, \quad g = \frac{G}{T}, \quad b = \frac{B}{T}, \quad T = R + G + B \quad (5)$$

수식 (5)의 정규화된 RGB 컬러 모델을 이용하여 각 화소에서 배경 모델과의 색상 유사도 $P_{color}(i)$ 를 계산할 수 있으며 수식 (6)와 같이 표현할 수 있다.

$$P_{color}(i) = \exp\left(-\left(\frac{(i_r - m_r)^2}{2s_r^2} + \frac{(i_g - m_g)^2}{2s_g^2}\right)\right) \quad (6)$$

수식 (6)에서 i_k 는 입력 영상에서 k 채널의 정규화된 RGB 값이며 m_k, s_k 는 각각 배경 모델에서 k 채널의 정규화된 RGB 값의 평균과 표준편차이다. 따라서, $P_{color}(i)$ 는 화소 i 의 색상이 배경 모델과 색상이 유사할수록 1에 가까운 값을 갖고, 반대의 경우 0에 가까운 값을 갖게 된다.

$P_{brightness}(i)$ 는 그림자는 배경 모델보다 일정한 명도값만큼 어두워진다는 두 번째 가정에 기반해 정의되며 이는 다음의 수식 (7)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{brightness}(i) = \exp\left(-\frac{(i_d - s_m)^2}{2s_s^2}\right) \quad (7)$$

수식 (7)에서 i_d 는 입력 영상과 배경 모델의 명도값의 차이를 나타내며, s_m, s_s 는 그림자 영상과 배경 모델의 명도값 차이의 평균과 표준편차이다. 따라서, 화소 i 와 배경 모델의 명도값 차이가 배경과 그림자 영역의 명도값 차이와 유사할수록 1에 가까운 값을 갖게 되며, 반대로 그 차이가 커질수록 0에 가까운 값을 갖게 된다.

그림 5는 수식 (4)에 의해 표현된 그림자의 사전 확률

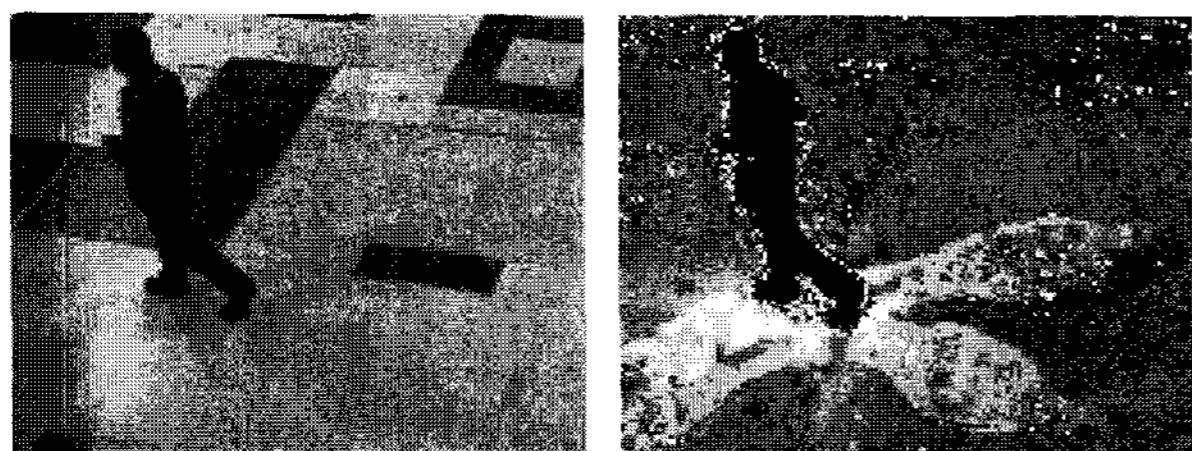


그림 5. 입력 영상과 각 화소의 그림자 확률 계산 결과
Fig. 5. An example of input frame and its estimated prior probability.

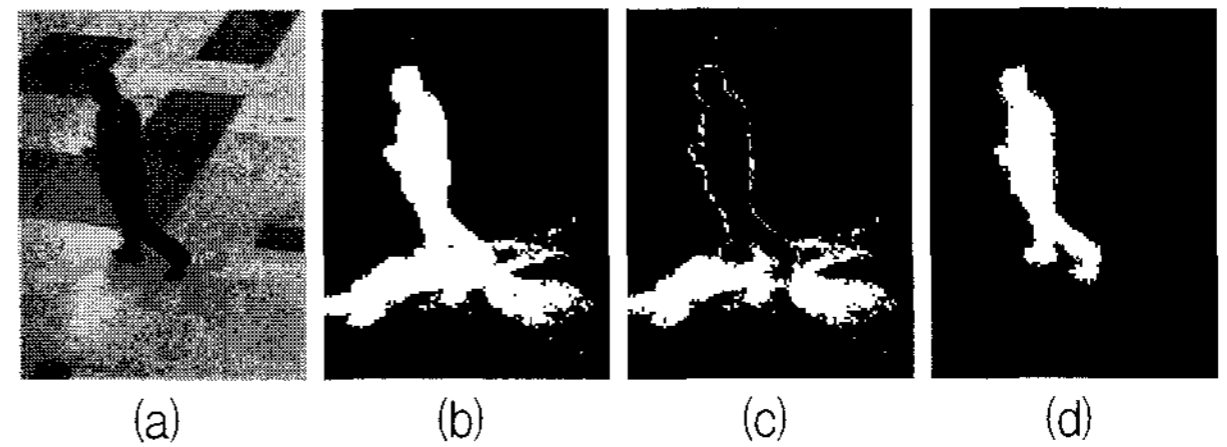


그림 6. 그림자 제거 결과 영상 : (a) 입력 영상 (b) 전경 영상 (c) 그림자 영역 (d) 그림자가 제거된 결과 영상

Fig. 6. Shadow removed image : (a) input (b) foreground (c) shadow (d) result image.

률을 계산한 예이다. 그림에서 $P_i(shadow)$ 의 값이 1에 가까운 화소들은 밝은 색으로 나타나 있다. 그림에 나타난 것과 같이 그림자 부분에서 $P_i(shadow)$ 의 값이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 실험 영상에서 전경 영역이 그림자일 확률을 계산하고, Bayesian 분류법을 이용하여 전경 영역에서 그림자를 제거한 결과이다. 그림 6(a)는 입력 영상, 그림 6(b)는 그림자 영역이 포함된 전경 영상, 그림 6(c)는 제안한 방법에 의해서 선택된 전경 영역 내의 그림자 화소를 나타내며 그림 6(d)는 전경 영역으로부터 그림자가 제거된 결과를 나타낸다.

3. 매개변수 갱신 과정

앞 절에서 설명된 그림자 제거 과정에서는 그림자의 특성을 모델링하기 위한 매개변수로 배경 모델의 색상 평균(m_r, m_g) 및 표준편차 (s_r, s_g), 배경 영역과 그림자 영역의 평균 명도차(s_m)와 표준편차(s_s)가 이용된다. 그런데 이러한 매개변수를 고정된 값으로 설정하여 줄 경우에는 시간이나 환경의 변화에 따른 영상의 특성 변화에 제대로 대응하지 못해 그림자를 잘 제거하지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

제안한 방법에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 이전 프레임에서의 그림자 제거 과정을 통해 얻어진 결과를 이용하여 다음 프레임의 그림자 제거 과정에 사용될 매개변수를 갱신하는 매개변수 갱신 과정을 제안하였다. 제안한 매개변수 갱신 과정을 통해 주변 조명이 지속적으로 변하는 환경에서도 효과적으로 그림자를 검출하는 것이 가능하게 된다.

제안한 그림자 제거방법에서는 수식 (4)의 사전 확률 계산을 위하여 $P_{color}(i)$ 와 $P_{brightness}(i)$ 를 사용하며, 이때 사용되는 매개변수 가운데 배경 모델의 색상 평균(m_r, m_g) 및 표준편차(s_r, s_g)는 매 프레임 갱신되는 배경 모

텔로부터 얻어지는 값이기 때문에 갱신이 불필요하다. 반면 $P_{brightness}(i)$ 의 계산에 사용되는 배경 영역과 그림자 영역의 평균 명도차(s_m) 및 표준편차(s_s)는 2장에서 설명된 바와 같이 주변 조명 변화에 대응하기 위하여 지속적으로 갱신되어야 한다. 제안한 방법의 매개변수 갱신과정에서는 현재 그림자 제거 과정을 통해 얻어진 결과를 이용하여 다음 프레임의 그림자 제거 과정에서 사용될 매개변수 값을 갱신한다.

본 논문에서는 수식 (8)을 이용하여 $P_{brightness}(i)$ 의 계산에 사용되는 매개변수를 반복적으로 갱신하였다^[9]. 수식 (8)에서 i_m 과 i_s 는 t 시간에서 제거된 그림자 영역이 배경 모델에 비해 어두워지는 명도값의 평균과 표준편차이며, α_t 는 t 시간에서 매개변수의 갱신 비율이다.

$$\begin{aligned} s_{m_{t+1}} &= (1 - \alpha_t) s_m + \alpha_t i_m \\ s_{s_{t+1}}^2 &= (1 - \alpha_t) \{ s_s^2 + (s_{m_{t-1}} - s_m)^2 \} + \alpha_t i_s^2 \end{aligned} \quad (8)$$

현재 프레임에서 검출된 그림자 영역의 정보(i_m, i_s)를 이용하여 수식 (8)과 같이 $t+1$ 시간의 그림자 제거 과정에서 사용될 매개변수(s_m, s_s)를 갱신할 수 있다. 하지만 프레임마다 검출되는 그림자 영역의 크기가 다르기 때문에 동일한 가중치를 사용할 경우 효과적으로 매개변수를 갱신할 수 없다. 때문에 제안하는 방법에서는 효과적인 그림자 제거를 위하여 수식 (9)과 같이 매개변수 갱신 비율 α_t 를 시간 t 에서 검출된 그림자 영역의 비율을 이용하여 계산한다. 수식 (9)에서 R_{total} 은 전체 영상의 크기이며 $R_{shadow}(t)$ 는 시간 t 에서 검출된 그림자 영역의 크기를 의미한다. β 는 학습 비율을 조절하기 위해 경험적으로 주어진다($0 < \beta < 1$).

$$\alpha_t = \beta \cdot \frac{R_{shadow}(t)}{R_{total}} \quad (9)$$

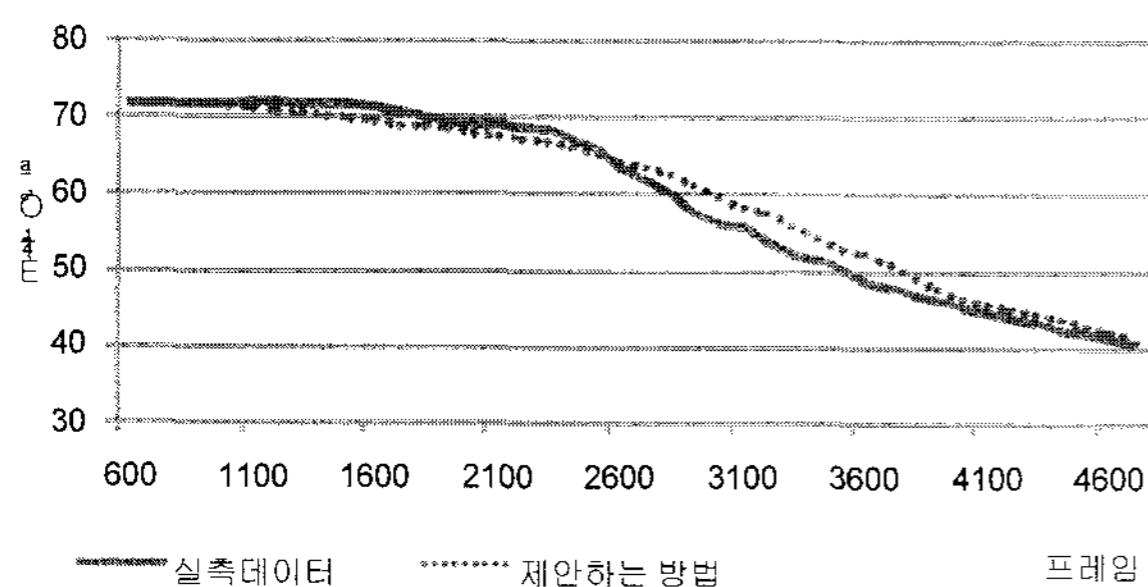


그림 7. 실험 영상에서 시간에 따른 명도값 비교의 예
Fig. 7. Result on intensity comparison within a set of frames.

그림 7은 그림 1에서 실제 측정된 배경과 그림자의 명도값 차이와 제안하는 방법을 통해 갱신된 명도값 차이를 비교한 결과이다. 그림에서 실선은 실제 측정된 명도값 차이이며 점선은 제안하는 방법으로 갱신된 명도값 차이이다. 그림에서 알 수 있듯이 제안하는 방법은 명도값 차이가 변하여도 효과적으로 대응하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 실험

제안한 그림자 제거 방법의 정확도 측정을 위하여 본 논문에서는 PETS 2006 실험 영상^[10], ATON 실험 영상^[11], 그리고 직접 촬영한 비디오 영상을 이용하였다. PETS 2006 과 ATON 실험 영상의 경우에는 조명의 변화가 비교적 적게 발생하는 영상이며, 직접 촬영된 영상의 경우에는 야외에서 촬영된 영상으로 날씨 변화로 인한 조명 변화가 포함되어 있다. 그림 8은 실험에 사용된 영상의 예를 나타낸다.

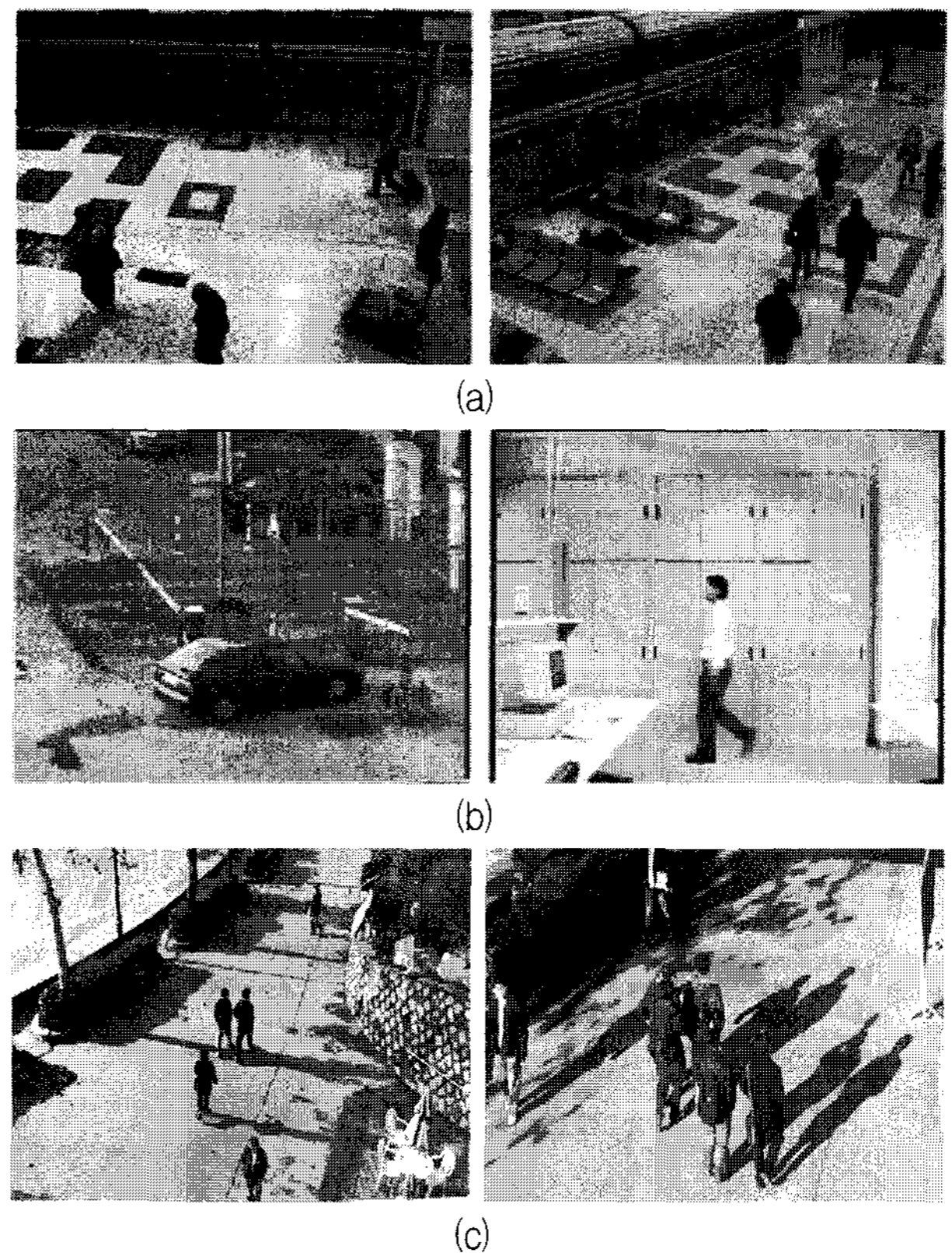


그림 8. 실험 영상의 예
(a) PETS 2006 실험 영상 (b) ATON 실험 영상
(c) 주변 조명 변화가 있는 영상

Fig. 8. Test sequences. (a) PETS 2006 benchmark data (b) ATON benchmark data (c) The illumination changing scene.

그림자 제거 방법의 정확도 측정을 위한 측정 방법으로는 수식 (10)에 의해 나타난 것과 같은 정확도를 이용하였다. 수식 (10)의 S_{total} 은 분리된 전경 영역의 화소 개수이며 $S_{correct}$ 는 그림자와 전경 영역을 정확하게 판단한 제거한 화소 개수이다. 이는 분리된 전경 영역에서 정확하게 그림자 영역을 판단하여 제거한 비율을 의미한다.

$$Accuracy[\%] = \frac{S_{correct}}{S_{total}} \times 100 \quad (10)$$

또 제안하는 방법의 정확도 비교를 위하여 기존의 방법 가운데 Kumar 등에 의해 제안된 큐에 기반한 방법^[6], Blauensteiner 등에 의해 제안된 IHLS 색상 정보를 이용한 방법^[7]이 이용되었다. 그림 9는 실험 영상에서 제안하는 방법과 기존의 방법을 통해 그림자가 제거된 전경 영역을 비교한 영상이다.

실험 영상을 이용하여 정확도를 측정한 결과는 표 1에 나타난 것과 같다. 표 1에 나타난 바와 같이 제안한 방법은 대부분의 실험에서 기존 방법과 유사하거나 더 높은 정확도를 보임을 확인할 수 있었다. PETS 2006이나 ATON 실험 영상 같이 조명변화가 적은 영상에 대해서는 80~85%의 기존 방법과 유사하거나 조금 높은 정확도를 보였으며, 특히 주변 조명 환경의 변화가 많이 발생하는 실외 환경에서는 기존의 방법보다 10% 가량 높은 정확도를 보임으로서 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 환경 변화에 잘 적응할 수 있음을 확인할 수 있었다. 기존 방법의 경우 매개변수 설정은 각각의 실험 영상에 대하여 가장 좋은 성능을 보이는 매개변수를 이용하였다.

큐에 기반한 방법의 경우 전경 영역 중에서 단순히

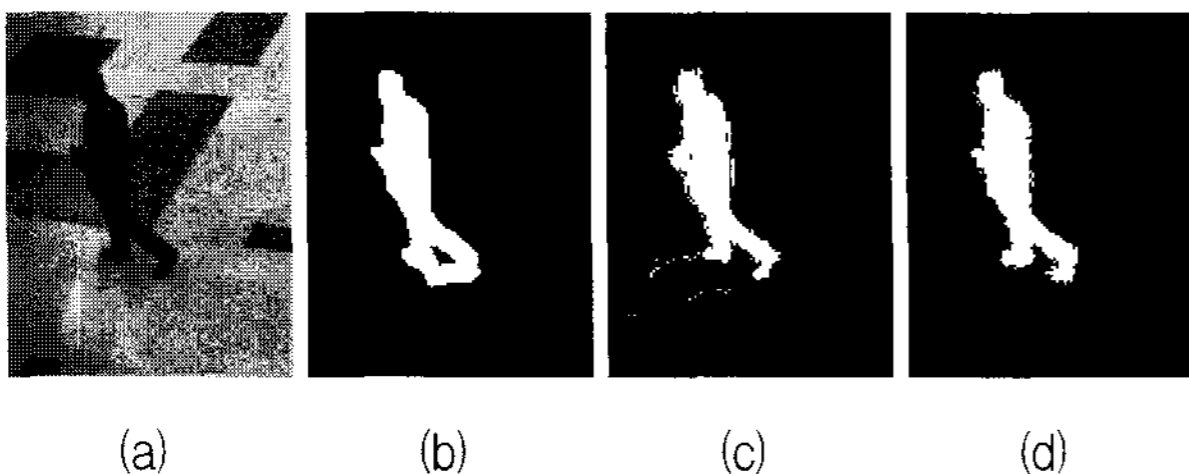


그림 9. 그림자가 제거된 전경 영역을 비교한 영상의 예 (a) 입력 영상 (b) Queue based Method (c) IHLS based Method (d) 제안하는 방법

Fig. 9. An examples for shadow removal comparison. (a) Input (b) Result of queue based method (c) Result of IHLS based method (d) Result of Proposed method.

표 1. 그림자 제거 방법의 정확도 측정 결과

Table 1. Results on the performance of shadow removal.

실험 영상	Queue based Method	IHLS Based Method	제안하는 방법
PETS A	81.56%	86.20%	87.89%
PETS B	78.31%	83.93%	85.13%
ATON A	76.73%	77.57%	80.50%
ATON B	83.36%	85.45%	84.43%
Outdoor A	66.67%	69.52%	78.40%
Outdoor B	64.91%	70.09%	80.39%

색상 변화가 없고 배경 모델보다 어두운 영역 전체를 그림자 영역으로 판단하여 제거하였다. 이때 주변 화소들의 정보를 이용하여 그림자 영역을 판단하기 때문에 그림 9(b)에서 객체의 발 부분에 나타난 그림자 영역과 같이 객체 주변에 발생하는 그림자 영역도 주변 전경 영역의 영향으로 전경 영역으로 잘못 판단되어 제거되지 않고 남아있는 문제가 있다.

IHLS 색상 정보를 이용한 방법은 PETS 실험 영상과 같이 조명 변화가 없는 실내 환경에서 촬영된 영상에서는 효과적인 그림자 제거가 가능하였다. 하지만 영상에 따라 사용되는 최적의 매개변수가 다르기 때문에 효과적인 그림자 제거를 위해서는 모든 영상마다 다른 매개변수를 설정해줘야 하는 문제점이 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 영상의 색상 정보에 기반한 그림자 제거 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 그림자의 특성을 그림자 영역은 배경 영역과 유사한 색상을 가지지만 명도값은 일정 밝기만큼 어두워진다는 가정에 따라 그림자의 특성을 모델링하고 전경 영역 내의 그림자 화소를 Bayesian 분류법에 따라 제거하였다. 또한 이전 프레임에서의 그림자 제거 과정을 통해 얻어진 결과를 이용하여 다음 프레임의 그림자 제거 과정에 사용될 매개변수를 갱신하기 때문에 주변 조명이 지속적으로 변하는 환경에서도 그림자를 효과적으로 제거할 수 있다.

실험 결과 제안하는 방법은 다양한 실험 영상에서 평균 82.79%의 정확도를 나타내었으며, 이러한 결과를 통해 주변 조명이 지속적으로 변하는 환경에서는 다른 방법들보다 효과적으로 그림자를 제거하는 것을 확인하였다. 또한 제안하는 방법은 간단한 연산만을 사용하여 실시간 시스템에 적합한 장점을 가지며, 펜티엄 4 3.0Ghz,

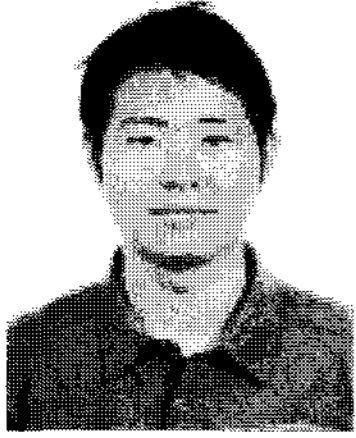
2G RAM의 컴퓨터에서 320x240 크기의 영상을 초당 30장 처리하는 것이 가능하였다.

제안한 그림자 제거 방법은 색상 정보만을 이용하기 때문에 그림자 영역과 유사한 색상의 이동 객체의 경우에는 그림자로 잘못 판단되는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 향후 경계선과 같은 영역 정보를 함께 이용하여 정확도를 향상시키는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

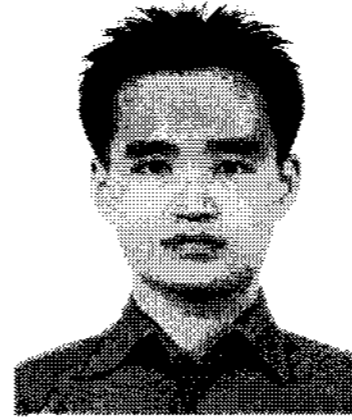
참 고 문 헌

- [1] I. Haritaoglu, D. Harwood, L. S. Davis, "W4:Real-Time Surveillance of People and Their Activities," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.8, pp. 809-830, 2000.
- [2] D. -S. Lee, "Effective Gaussian Mixture Learning for Video Background Subtraction," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.27, No.5, pp. 827-832, 2005.
- [3] P. L. Rosin, T. Ellis, "Image Difference threshold strategies and shadow detection," 6th British Machine Vision Conference, 1996.
- [4] M. Heikkila, M. Pietikainen, "A Texture-Based Method for Modeling the Background and Detecting Moving Objects," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.28, No.4, pp. 657-662, 2006.
- [5] T. Horprasert, D. Harwood, L. S. Davis, "A Statistical Approach for Real-Time Robust Background Subtraction and Shadow Detection," *ICCV'99 Frame-Rate Workshop*, 1999.
- [6] P. Kumar. S. Ranganath, W. Huang, "Queue based fast background modelling and fast hysteresis thresholding for better foreground segmentation," the 2003 Joint Conference of the Fourth and Fourth Pacific-Rim Conference on Multimedia, Vol.2, pp. 743-747, 2003.
- [7] P. Blauensteiner, H. Wildenauer, A. Hanbury, M. Kampel, "On Colour spaces for Change Detection and Shadow Suppression," *Computer Vision Winter Workshop*, 2006.
- [8] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork, *Pattern Classification*. Wiley-Interscience, second edition, 2001.
- [9] S. J. McKenna, S. Jabri, Z. Duric, A. Rosenfeld, "Tracking Groups of People," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.80, pp. 42-56, 2000.
- [10] "PETS 2006 Benchmark Data," Ninth IEEE International Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance, <http://www.cvg.rdg.ac.uk/PETS2006/data.html>.
- [11] "ATON(Autonomous Agents for On-Scene Networked Incident Management) Benchmark Data," <http://cvrr.ucsd.edu/aton/shadow>.

저 자 소 개



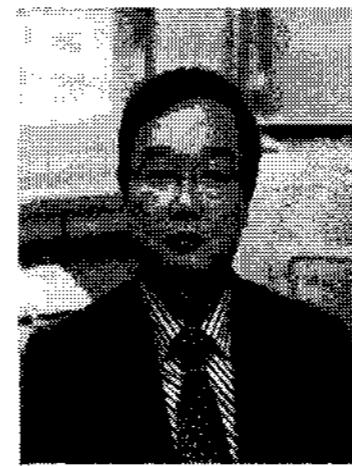
김 병 수(정회원)
 2006년 한양대학교 전자전기
 컴퓨터공학부 학사 졸업.
 2006년~현재 한양대학교 전자
 컴퓨터통신공학과 석박사
 통합 과정.
 <주관심분야 : 영상처리, 영상
 인식>



이 광 국(정회원)
 2002년 한양대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2004년 한양대학교 전자통신전파
 공학과 석사 졸업.
 2004년~현재 한양대학교 전자
 컴퓨터통신공학과 박사
 과정.
 <주관심분야 : 영상 감시, 패턴 인식, 내용기반
 멀티미디어 분석>



윤 자 영(정회원)
 2004년 한양대학교 건축공학부
 학사 졸업.
 2005년~현재 한양대학교 건축
 환경공학과 석박사통합
 과정.
 <주관심분야 : 공간정보관리, 경
 영시스템>



김 재 준(정회원)
 1983년 한양대학교 건축공학과
 학사 졸업.
 1985년 University of Illinois at
 Urbana-Champaign
 건설관리 석사 졸업.
 1992년 University of Illinois at
 Urbana-Champaign 건설
 경영/관리 박사 졸업.
 1993년~현재 한양대학교 건축공학부 교수
 <주관심분야 : 시스템경영, 건설자동화, Building
 Information Modeling(BIM)>



김 회 울(정회원)
 1980년 한양대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1983년 Pennsylvania State
 University 전기공학과
 석사 졸업.
 1989년 Purdue University
 전기공학과 박사 졸업.
 1989년~1994년 University of Texas 조교수.
 1994년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부
 정교수.
 <주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식,
 머신비전, MPEG-7>