

단일 자연영상에서 그림자 밝기의 선형성을 이용한 그림자 검출

황 동 국[†] · 박 종 천[†] · 전 병 민^{**}

요 약

본 논문은 그림자의 기하학 정보와 광원의 종류 및 방위에 관계없이 그림자 밝기가 점진적으로 변하거나 변화가 없다는 가정과 그림자는 어둡다는 공리를 기반으로 임의의 복잡한 자연 영상에서 그림자를 검출하는 기법을 제안한다. 먼저, 전처리를 통하여 그림자 후보영상을 검출한다. 다음으로, 인접화소들 사이의 선형독립성을 낮추기 위하여 유사 밝기를 대표 밝기로 표현하는 균일 양자화를 수행한다. 마지막으로, 그림자 밝기의 선형적 변화 특성을 이용하여 선형독립성이 낮은 그림자를 검출한다. 임의의 단일 자연영상의 실험에서, 제안한 알고리즘은 본영과 단색 배경을 갖는 반영 및 셸프그림자의 검출에 강건함을 보였다.

키워드 : 그림자검출, 선형성, 양자화, 랭크

Shadow Detection Using Linearity of Shadow Brightness from a Single Natural Image

Dong-Guk Hwang[†] · Jong-Cheon Park[†] · Byoung-Min Jun^{**}

ABSTRACT

This paper proposes a novel approach to shadow detection from a single natural image regardless of orientation and type of light sources. This approach is based on the assumption that shadow brightness changes linearly, and the axiom that a region cast shadow on is darker than that not having shadow under the same environment. Firstly, candidates for shadow are extracted by preprocessing. Then, they are quantized to replace the similar values with a representative value because of the more quantization steps of a pixel brightness, the higher linear independency among the neighboring pixels. Finally, shadows are detected according to linear independency of shadow brightness based on the assumption. The experimental results showed the proposed approach can robustly detect umbra as well as self-shadow and penumbra cast on a single-colored background.

Keywords : Shadow Detection, Linearity, Quantization, Rank

1. 서 론

그림자는 빛과 물체의 관계에 의해 발생하는 현상으로 물체 내부에 드리워진 셸프그림자(self-shadow)와 배경에 드리워지는 캐스트그림자(cast-shadow)로 분류되며 또한 후자는 본영(umbra)과 반영(penumbra)으로 분류된다[1,2]. 본영은 빛이 전체적으로 차단되어 밝기가 어둡게 나타나며 반영은 부분적으로 차단되어 밝기가 흐리게 나타난다. 이러한 그림자를 포함하는 영상에서 객체를 분할하거나 추출하고자 할 경우, 그림자가 객체로 또는 객체와 함께 추출되어 객체 정보를 왜곡시킨다. 그러나 그림자는 배경의 색상과 무늬, 그리고 광원의 종류 및 방위 등에 따라 다르게 나타나므로

이를 검출하는 것은 쉽지 않다.

그림자 검출과 제거에 관한 많은 연구가 선행되어왔다. 영상열(image sequence)을 이용한 그림자 검출 기법[3-7]은 프레임간 정보 또는 프레임 내의 정보를 활용하여 그림자를 검출했다. 그러나 영상열에서 이용한 기법을 단일 영상의 그림자 검출 기법에 적용하기는 적합하지 않다. 본 연구와 같은 단일 영상에서 그림자 검출 기법은 물체 또는 광원에 대한 3 차원 공간 정보, 물체의 표면 정보, 광원의 스펙트럼 분포 등과 같은 다양한 정보의 부재로 단지 RGB 색정보만을 이용하기 때문이다.

최근에 단일영상에서 색불변성(color constancy)를 이용한 그림자 제거 알고리즘이 활발히 연구되고 있다. Finlayson과 동료들은 본질영상을 이용하여 이를 달성했다[8,9]. 그들은 영상에 존재하는 그림자 또는 하이라이트 등을 조명 효과로 발생하는 현상으로 간주하고 이 조명들을 하나의 특정 조명으로 대체하는 본질영상을 연구했다. 먼저, 불변방향(invariant direction)을 이용하여 그림자 또는 하이라이트와 같은

* 이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

† 정 회 원 : 충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

** 정 회 원 : 충북대학교 컴퓨터공학과 교수(교신저자)

논문접수: 2008년 5월 6일

수정일: 1차 2008년 8월 26일, 2차 2008년 10월 15일

심사완료: 2008년 10월 27일

다양한 조명 효과가 제거된 “계조영상(gray-scale image)”을 계산한다. 다음으로, 색을 갖는 영상을 생성하기 위해 계조영상을 복원[8-11]함으로써 색영상에서 그림자를 제거했다. 이러한 기법들은 색불변성 알고리즘 자체가 그림자를 제거하는 효과를 갖는다.

또 다른 연구로서, 계조영상을 이용한 그림자 제거 연구 [12,13]를 수행했다. 그림자가 제거된 본질영상을 얻기 위해, 계조영상에는 그림자 정보가 없지만 RGB 영상에는 그림자 정보가 존재한다는 것에 주목했고, 계조영상의 미분계수와 RGB 영상의 채널들에 미분계수를 적용하여 그림자를 제거했다. 이와 같은 알고리즘들의 취약점은 계조영상 생성에 주요 역할을 하는 불변방향이 다방향으로 나타날 수 있기 때문에 검출이 용이하지 않다는 것이다. 또한 조명체가 플랭클린 조명체(Plankian light)라는 것도 이 알고리즘의 제약이다.

Xu와 동료들은 그림자를 짙은 그림자(hard shadow)와 옅은 그림자(vague shadow)로 구분하고 Horn 기법[14]의 변형 알고리즘을 이용하여 단일 영상에서 그림자를 제거했다[15]. 이 연구는 그래디언트 도메인(gradient domain)에서 미분계수를 적용하여 옅은 그림자를 검출했고, 짙은 그림자는 [13]을 기반으로 검출했으며, 복원(recovery)은 포아송 방정식을 이용하였다[14]. 그러나 옅은 그림자에 미분연산자를 적용하는 것은 검출 신뢰성을 보장할 수 없고 짙은 그림자의 검출을 위해 사용된 기법은 이전 단락에서 언급된 것과 같은 한계를 갖는다.

Wu와 Tang은 베이즈 최적화 기법을 적용했다[16]. 이 연구는 입력영상을 그림자 영상과 비그림자 영상의 곱으로 모델링하고 사용자가 제공한 정보만으로 비그림자 영상을 추정했다. 초기 추정된 비그림자 영상과 반영 정보에 기반한 그림자 최적화 과정을 수행하여 그림자를 제거했다. 그러나 이 알고리즘은 태양의 직사광하에서 드리워진 본영에는 좋은 성능을 보이나, 셀프그림자 또는 반영을 많이 포함하는 영상에서는 그렇지 못하다. 또한 사용자가 그림자가 드리워진 영역과 그렇지 않은 영역에 대한 정보를 직접 제공해야 한다는 것이 자동화된 그림자 제거에 걸림돌로 작용하고 있다.

위와 같은 기존 연구들은 광원에 대한 제약조건을 갖거나 사용자가 그림자의 단서(cue)를 직접 제공해야 하는 문제를 내포하고 있다. 이러한 제약사항과 광원 및 객체의 기하학적 고려사항을 회피하기 위해, 본 논문은 가정과 공리를 기반으로 그림자를 검출하는 새로운 기법을 제안한다. 가정은 그림자의 밝기 변화는 선형적이라는 것이고, 공리는 동일 환경에서 그림자가 드리워진 부분은 밝기가 낮다는 것이다. 제안한 기법은 색불변모델(invariant color model)을 이용하여 RGB 영상에서 밝기영상을 추출하고, 잡음이나 얼룩점 같은 극단값의 영향을 줄이고 밝기의 선형적 성질을 높이기 위해 매디언 필터를 적용하는 단계를 수행한다. 다음으로, 공리를 이용하여 그림자 후보 영역을 추출한다. 추출된 후보 영역의 양자화 단계는 여전히 256이기 때문에 양자화 단계를 줄이기 위해 변이계수(coefficient of variation)를 이용한 균일 양자화를 수행한다. 마지막으로, 가정에 따라 선형독립성(linear independency)을 나타내는 랭크(rank)를 구함

으로써 그림자를 검출한다.

2. 그림자 밝기의 선형성

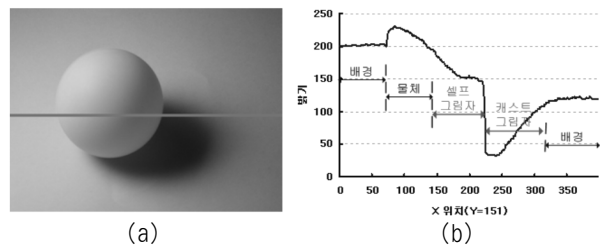
단색 배경이며 단일 물체에 대한 그림자의 밝기 변화에 대한 예가 (그림 1)이다. (그림 1 (a))에서 셀프그림자와 캐스트 그림자의 식별은 어렵지 않으나 본영과 반영의 구분은 쉽지 않다. (b)는 (a)에서 표시된 수평 줄의 밝기를 위치에 따라 나타낸 것으로 미세 밝기 변화를 제외하면 셀프그림자의 밝기 변화가 부분 선형적(piece-wise linear)이고, 본영은 밝기가 낮으며 변화가 없고, 반영은 밝기 변화가 대략 선형적으로 증가하는 것을 보인다. 이러한 그림자의 수치적 밝기 변화 패턴이 (그림 2)에 보인다. (a)는 좌에서 우로, (b)는 위에서 아래로, (c)는 대각선 방향으로 밝아지는 반영 또는 셀프그림자의 패턴이고, (d)는 변화가 없는 본영의 패턴이며, (e)는 밝기 변화가 특정 방향을 갖지 않는 비그림자 패턴이다.

(그림 2)의 각 밝기변화 패턴을 행렬로 간주하면 (a)-(d)와 (e)를 구분할 수 있다. 예를 들어, (a)를 3 x 3 행렬을 열벡터(column vector) $a_1 = [111]^T$, $a_2 = [222]^T$, 그리고 $a_3 = [333]^T$ 로 표현할 수 있다. 이 때 열벡터간의 상호 관계는 $a_2 = 2a_1$, $a_3 = 3a_1$, $a_3 = (2/3)a_2$, 그리고 $a_3 = a_1 + a_2$ 이다. 이는 하나의 열벡터가 다른 열벡터들의 선형 조합(linear combination)으로 표현되거나 상수 곱으로 표현될 수 있다는 것이다. 즉, 열벡터들의 상호관계는 선형독립성으로 표현된다.

어떤 행렬에서 행렬을 구성하는 벡터들의 상호관계를 구하기 위해 행렬의 선형독립성을 계산한다. 행렬 A를 $n \times n$ 정방행렬이라 할 때 n개의 성분으로 구성된 열벡터 a_k 는 A의 k번째 열벡터라하면 A는 식 (1)로 표현된다.

$$A = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_n] \tag{1}$$

행렬 A를 상수 c_1, \dots, c_n 를 갖는 선형조합으로 표현하면 식 (2)와 같다. 이 방정식을 만족하는 해(solution)가 모든 상수가 0인 경우를 제외하고 존재하지 않는다면 이 행렬을 구성하는 모든 벡터들은 상호 선형독립이라하고 이 때 행렬



(그림 1) 영상의 밝기와 선형성

1 2 3	1 1 1	1 2 3	1 1 1	10 50 25
1 2 3	2 2 2	2 3 4	1 1 1	30 41 33
1 2 3	3 3 3	3 4 5	1 1 1	21 37 70

(a) (b) (c) (d) (e)

(그림 2) 2차원 공간에서 밝기 변화 패턴

의 선형독립성은 n 이다. 그러나 n 개의 벡터들이 선형독립이 아닐 경우 부행렬의 선형독립성을 계산해야 한다.

$$c_1a_1 + c_2a_2 + c_3a_3 + \dots + c_na_n = 0 \quad (2)$$

열벡터들의 선형독립성은 랭크 계산을 통해 얻어지며 랭크는 식(3)의 행렬식 D 에 의해 계산된다. 예를 들어, 어떤 5×5 행렬에 대해 행렬식이 0이 아니라면 랭크가 5가 되며 선형독립성도 5이다. 그러나 반대의 경우라면 5개의 4×4 부행렬의 행렬식을 차례로 계산해야 한다. 만약 이 부행렬들의 행렬식이 하나도 0이 아니면 랭크는 4이고 선형독립성도 4이다. 그러나 5개의 4×4 부행렬 모두 행렬식이 0이라면 첫번째 4×4 부행렬부터 마지막 부행렬까지 위와 같은 방법으로 3×3 부행렬에 대해 다시 행렬식을 계산해야 한다. 이러한 과정을 반복 적용하여 최종 랭크를 계산한다. 가장 낮은 랭크는 1이고 가장 높은 랭크는 행렬의 차수이다. (그림 2 (a))는 랭크가 1이고 (e)는 랭크가 3인 행렬을 의미하며 식(3)는 일반화된 행렬식이다.

$$D = |A| = \sum_{k=1}^n (-1)^{j+k} a_{jk} |A_{jk}| \quad (3)$$

여기서 A_{jk} 은 A 에서 j 번째 행과 k 번째 열을 제거한 부행렬이고 n 은 행렬의 차수이다. 만약 정수 j 가 $1 \leq j \leq n$ 에서 결정되면 j 는 상수로 간주된다.

3. 그림자 검출

그림자를 검출하기 위해 제안한 알고리즘은 전처리, 균일 양자화, 그리고 선형독립성 검출 단계를 갖는다. 이는 그림자가 드리워진 영역의 화소값은 그렇지 않은 영역에 비해 작은 RGB 값을 갖는다는 공리와 그림자의 밝기 변화가 선형적이라는 가정에 기반한다.

3.1 전처리

전처리 단계는 공리에 기반하여 RGB영상에서 그림자 후보영상을 추출하는 단계이다. 먼저, RGB 입력영상 $I_{RGB}(x,y)$ 을 HSB 영상 $I_{HSB}(x,y)$ 으로 변환하고 B채널 영상 $I_B(x,y)$ 을 밝기 영상으로 사용한다. 다음, 이 영상에 식 (4)와 같이 2차원 영역에 대해 메디언 필터를 적용하여 잡음을 억제한다. 메디언 필터가 적용된 영상 $m(x,y)$ 은

$$m(x,y) = \text{median}(I_B(x,y), \text{size}) \quad (4)$$

이다. 여기서 size 는 메디언 필터의 크기이다. 마지막으로, 주위 영역보다 밝은 영역은 그림자일 가능성이 낮기 때문에 이를 제거함으로써 그림자 후보영역을 추출한다. 이 후보영역들로만 구성된 후보영상 $c(x,y)$ 는

$$c(x,y) = \begin{cases} m(x,y) & \text{if } m(x,y) \geq \mu \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

이다. 여기서 μ 는 $m(x,y)$ 의 평균이며 $c(x,y)$ 가 0이면 이후 처리되는 모든 연산에서 제외된다.

3.2 균일 양자화

인간 시각이 동일 밝기로 인지하는 하나의 영역일지라도 미세한 밝기 변화가 존재할 가능성이 있다. 이러한 경우, 많은 양자화 단계 수로 인하여 선형독립성이 높을 가능성이 있기 때문에 양자화 단계를 낮출 필요성이 있다. 그렇다면 임의의 영상에서 어떤 인자를 기준으로 양자화해야 하며, 양자화 단계 수를 몇 단계로 해야 하는가라는 문제를 갖는다.

먼저, 양자화를 위해 어떤 인자를 사용할 것인가하는 문제이다. 영상의 밝기가 높으면 강한 조도를 갖는 광원이 존재하는 것으로 간주할 수 있다. 이 때 물체가 다양한 색을 갖는다면 다양한 반사계수가 영상에 입사될 것이다. 이는 영상에서 색 밝기분포에 대한 편차가 크다는 것을 의미한다. 그러나 어두운 영상에서는 이와 반대의 현상이 나타날 것이다. 이러한 이유로 양자화 단계를 결정하기 위해 영상 밝기에 대한 평균과 표준편차를 인자로 사용한다.

다음으로, 양자화 단계를 얼마로 할 것인가하는 문제이다. 밝은 영상에서는 짙은 그림자가 객체나 배경에 드리워지므로 그림자의 밝기는 낮을 것이다. 그림자의 영역을 동일 양자화 단계에 포함시키기 위해 양자화 간격을 넓게한다. 그러나 어두운 영상에서 양자화 간격을 넓게 하면 그림자 영역과 다른 배경영역이 같은 양자화 단계에 모두 포함되므로 양자화 간격을 좁게해야 한다. 이를 위해 변이계수를 이용하여 양자화 단계수를 결정한다. 양자화 단계 수 q_n 은

$$q_n = \alpha(\sigma/\mu) \quad (6)$$

이다. 여기서 σ 는 후보영상 $c(x,y)$ 의 표준편차, μ 는 평균, σ/μ 는 변이계수, α 는 상수이다. 양자화 단계가 결정되었으면 양자화 간격을 결정할 필요가 있다. 양자화 간격은 균일하며 후보영상의 범위를 활용한다. 균일 양자화 간격 u_s 은

$$u_s = (c_{\max} - c_{\min})/q_n \quad (7)$$

이다. 위 식에서 c_{\max} 와 c_{\min} 는 후보영상 $c(x,y)$ 의 최대값과 최소값이다. 양자화 단계와 간격이 결정되었으므로 각각의 양자화 단계가 갖는 값을 결정해야 한다. 양자화 단계별 값은 양자화 간격의 배수로 표현될 수 있다. 양자화 단계가 k 일 때 그 값 q_k 은

$$q_k = k \times u_s + c_{\min}, 1 \leq k \leq q_n \quad (8)$$

이다. 이 때 c_{\min} 이 더해지는 이유는 후보영상에서 작은 값을 갖는 화소값들이 그림자일 가능성이 높기 때문에 이 화소들이 동일한 양자화 단계를 갖게하기 위함이다. 따라서 첫 번째 양자화 단계의 간격은 다른 양자화 단계의 간격에 비해 c_{\min} 만큼 크다. 최종적으로 식(9)를 통하여 후보영상을 양자화된다. 화소별 양자화 데이터 $q(x,y)$ 는

$$q(x,y) = k, \text{ if } q_{k-1} < c(x,y) \leq q_k \quad (9)$$

이다. 여기서 q_k 는 k 번째 양자화 단계의 값이고 $c(x,y)$ 는 후보영상이다.

3.3 선형독립성 검출

후보영상을 양자화한 후 중심화소와 인접화소들을 고려하여 선형독립성을 계산한다. 이는 식(10)과 같이 양자화된 데이터 $q(x,y)$ 와 $dist$ 를 인자로 하는 함수 $rank(\cdot)$ 을 이용하여 얻어진다. 이 때, $dist$ 는 고려해야 할 인접화소들에 대한 폭과 높이이다. 즉, 중심이 (x,y) 이고 $dist \times dist$ 영역내 인접화소들의 선형독립성을 구하기 위함이다. 선형독립성 데이터 $linear(x,y)$ 은

$$linear(x,y) = rank(q(x,y), dist) \quad (10)$$

이다. 마지막으로, 이 데이터를 임계화 상수 T 로 임계화함으로써 그림자 위치를 검출한다. 이는 식(11)에 표현되어 있으며 선형독립성 데이터의 최소값은 1이고 최대값은 $dist$ 이기 때문에 T 는 $1 \leq T \leq dist$ 의 범위를 갖는다.

$$shadow(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } linear(x,y) \leq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

4. 실험 결과 및 고찰

실험영상은 다양한 자연 영상을 대상으로 하였고 밝기 영상은 HSB공간에서 B 성분만을 사용하였다. 밝기 영상에서 그림자 후보영역이 포함된 후보영상을 추출하기 위해 후보영역들의 평균밝기를 사용하였다. 기타 실험에 사용된 인자는 <표 1>과 같다.

알고리즘의 성능 P 는 식 (12)에 의해 평가되었고, 수작업에 의해 생성된 기준영상과 제한한 알고리즘에 의해 생성된 결과영상의 화소 위치 비교를 통하여 얻었다. 이 식에서 TP(True Positives)는 기준영상의 그림자가 결과영상의 그림자로 검출된 화소수, TN(True Negatives)는 기준영상의 그림자가 결과영상의 비그림자로 검출된 화소수, FP(False Positives)는 기준영상의 비그림자가 결과영상의 그림자로 검출된 화소수, 그리고 FN(False Negatives)는 기준영상의 비그림자가 결과영상의 비그림자로 검출된 화소수이다.

정확한 검출은 그림자를 그림자로 찾은 TP와 비그림자를 비그림자로 찾은 FN의 합이고, 오류 검출은 그림자를 찾지 못한 TN과 비그림자를 그림자로 검출한 FP의 합이다. 식 (12)와 같은 성능 평가방법은 여러 동일 성능을 나타낼 때 어떤 인자에 의해 성능이 결정되었는지 분석하기 어

<표 1> 실험 인자

인자	값
색불변 모델	HSB
size	5
α	10
dist	5
T	2

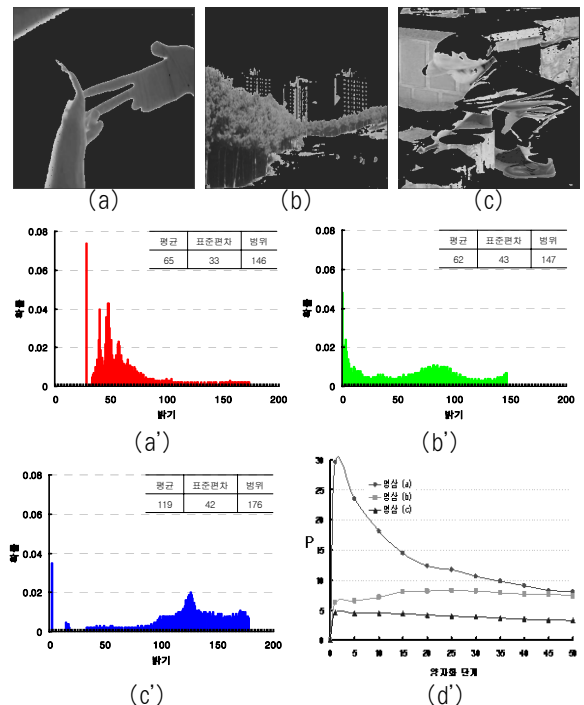
렵지만, 최대 성능 구간 판별이 용이하다는 장점이 있다.

$$P = (TP+FN)/(TN+FP) \quad (12)$$

4.1 변이계수 및 성능

양자화 단계와 선형독립 관계를 알아보기 위해 밝기에 대한 평균과 표준편차가 양자화 단계에 미치는 영향을 분석하고 성능을 관찰했다. 분석영상은 셀프그림자를 포함한 본영과 반영에 대한 영상들로 그 후보영상들의 확률분포함수(Probability Distribution Function, PDF)가 상호 대조적으로 분석에 용이한 (그림 5 (a)-(c)) 영상이고 그 후보영상이 (그림 3 (a)-(c))이다. (그림 3 (d'))는 식 (4)을 사용하지 않고 양자화 단계 수를 임의적으로 설정하여 얻은 성능이다.

(그림 3 (a))는 본영의 정밀한 추출로 인하여 (a')에서 평균 밝기가 낮고 표준편차가 작게 나타났다. 이런 경우, 양자화 단계 수를 높이면 하나의 그림자 영역이 서로 다른 영역으로 분리되어 선형의존성이 낮아짐을 (d')를 통하여 알 수 있었다. (b)는 본영과 비그림자가 함께 있는 후보영상으로 PDF를 보면, 평균밝기는 (a')와 유사하나 표준편차가 크다. 이는 나뭇잎에 기인한 것으로 표준편차가 커지면 일정수준까지 양자화 단계를 늘려야 성능이 높아졌다. 따라서 표준편차는 본영과 비그림자를 구분하기 위한 중요한 측도로 나타났다. (c)를 (a) 및 (b)와 비교하면 평균은 크고 표준편차는 (b)와 유사하지만 (a)보다는 크다. 이는 반영 또는 셀프그림자로 평균밝기는 본영과 반영을 구분하기 위한 측도로 사용될 수 있다는 것을 나타낸다. 그러나 평균과 표준편차가 반영 및 셀프그림자와 비그림자를 구분하기 위한 측도로는 의미를 갖지 못한다.

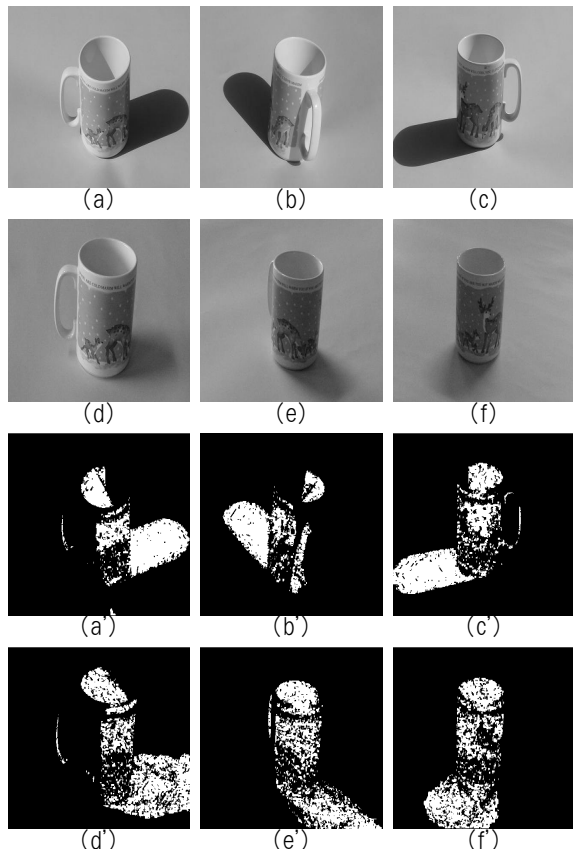


(그림 3) 확률분포함수와 알고리즘 성능: (a)-(c)는 후보 영상, (a')-(c')는 후보영상 (a)-(c)의 확률분포함수, (d')는 식 (4)를 사용하지 않은 임의적 양자화 단계에 따른 성능

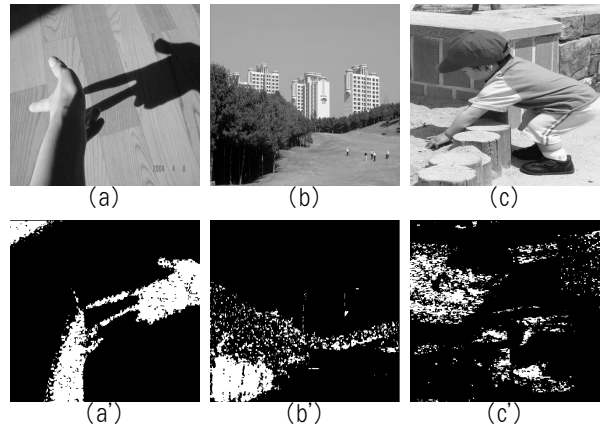
4.2 광원의 종류와 방위에 대한 강건성

광원의 종류에 대한 강건성 실험을 위해 태양광(sunlight)을 광원으로 하는 실내영상과 형광등(fluorescent light)을 광원으로 하는 실내영상을 사용했다. 그리고 기하학적 변화에 대한 그림자의 강건성을 실험하기 위해 실내·외 영상 모두에서 서로 다른 10개의 방위가 사용되었으나 (그림 4)에 이들 중 일부를 보이며 실험인자는 <표 1>과 같다. 그러나 이들 영상에서 사용자 조차도 반영과 셀프그림자의 영역을 각기 다르게 구별했기 때문에 알고리즘의 강건성에 대한 수치적 성능 데이터는 제공하지 않았다.

태양광하에서 얻은 (그림 4 (a)-(c))는 짙은 본영과 셀프그림자가 드리워진 영상으로 그 방위는 각기 다르다. 이 영상에서 그림자들은 밝기가 낮으며 편차 또한 낮으므로 동일양자화 단계를 갖는다. 따라서 인접화소들간의 패턴은 (그림 2 (d))와 같고 그 화소들의 선형독립성이 매우 낮게 나타났기 때문에 높은 성능을 보였다. 이와 같이 방위가 다름에도 불구하고 높은 성능을 보이는 것은 제안한 기법 자체가 특정 위치에서 중심화소와 인접화소들의 밝기 패턴만을 고려하기 때문이다. (그림 4 (d)-(f))는 형광등이 광원이고 임의로 선택된 서로 다른 방위를 갖는 영상으로 반영과 셀프그림자가 주로 존재한다. 이 영상에서 조도가 약하기 때문에 사용자가 반영과 비반영, 셀프그림자와 비셀프그림자를 명확하게



(그림 4) 광원의 종류 또는 방위가 다른 실험영상과 결과영상: (a)-(c)는 태양이 광원인 실외 영상, (d)-(f)는 형광등이 광원인 실내 영상, 그리고 (a')-(f')는 영상 (a)-(f)의 결과영상



(그림 5) 임의의 단일 자연영상들에 대한 실험: (a)는 태양의 측광이 광원인 실내영상, (b)는 태양광으로 실외영상, (c)는 태양이 광원이며 반영을 나타내는 실외영상, (a')-(c')는 (a)-(c)의 결과영상

구분할 수 없지만 캐스트 그림자에 본영이 있을 경우와 비교해 볼 때, 반영은 그 영역보다 넓게 검출되었다. 이는 조도가 약하면 그림자에 미치는 배경의 영향이 높아짐으로 그림자의 선형독립성 또한 높아지기 때문이다. 따라서 반영의 검출 성능은 어떤 배경에 드리워져 있는가에 의존적이다.

임의의 여러 단일 자연영상들에 대해 실험하였으나 그 중 그림자 검출에 대표성을 갖고 인자분석에 사용된 영상들을 (그림 5)에 보인다. (그림 4)와 같이, 이들 영상에서도 본영의 검출 성능은 우수했으나 반영과 셀프그림자는 배경의 영향으로 영상에 따라 다른 성능을 보였다. 만약, 셀프그림자와 반영에서 배경효과를 줄일 수 있거나 이러한 영역들이 단색 배경을 갖는다면 검출 성능은 높아질 것이다.

실험결과로 부터, 제안한 알고리즘은 단일 자연영상에서 밝기의 평균이 낮고 밝기의 표준편차가 작은 본영 검출, 단색 배경에 드리워진 반영 및 셀프그림자 검출에 우수함을 보였으며 본영 추출에 있어서 표준편차는 양자화 단계 수를 결정하기 위한 의미 있는 인자로 사용 가능함을 알 수 있었다. 또한 그림자 밝기의 선형적 변화만으로 그림자를 검출하기 때문에 광원의 종류나 방위에 관계없이 그림자를 검출할 수 있었다. 그러나 공간적 밝기 변화가 큰 배경에 드리워진 반영과 셀프그림자에서는 배경의 영향으로 인하여 낮은 선형독립성이 부분적이며 국지적으로 나타났다.

5. 결 론

광원의 방위, 종류, 강도에 따라 그림자의 방향, 형태, 밝기가 결정되나 임의의 단일 자연영상에서 광원의 정보를 찾는 것은 쉽지 않다. 이러한 광원정보를 사용하지 않고 그림자를 검출하기 위해, 본 논문에서는 그림자의 밝기가 점진적으로 변하거나 거의 변화가 없다는 가정과 그림자가 드리워진 영역은 어둡다는 공리를 기반으로 그림자 밝기의 선형성을 적용한 그림자 검출 알고리즘을 제안했다.

실험결과, 본영과 단색 배경에 드리워진 반영 및 셀프그림자에서 선형독립성이 낮게 나타났고 높은 성능을 보였다.

이는 우리의 가정을 만족하는 것으로, 광원의 정보와 그림자의 위치 및 방향 같은 기하학적 정보에 관계없이 그림자 밝기의 선형성만으로 그림자를 검출할 수 있음을 보인 것이다. 또한 제안한 알고리즘은 작은 물체들이 밀집되어 있는 영역에서도 효과적인 것으로 나타났다. 향후, 화소단위 연산으로 인해 생성되는 홀 또는 반점의 제거, 변화가 심한 무늬나 배경을 갖는 셀프그림자와 반영의 효율적 검출, 그리고 그림자 밝기와 유사한 비그림자 영역의 구분 등의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] A. Prati, I. Mikic', M. M. Trivedi and R. Cucchiara, "Detecting moving shadows: Algorithm and evaluation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.25, pp.918-923, 2003.

[2] S. Bi, D. Liang, X. Shen and Q. Wang, "Human Cast Shadow Elimination Method Based on Orientation Information Measures," *Proc. IEEE Int'l Conf. Automation and Logistics*, pp.1567-1571, Aug., 2007.

[3] S. Wang, B. Qin, Z. Fang and Z. Ma, "Fast Shadow Detection According to the Moving Region," *Proc. Sixth Int'l Conf. Maching Learning and Cybernetics*, Vol.3, pp.1590-1595, Aug., 2007.

[4] J. M. Wang, Y. C. Chung, C. L. Chang and S. W. Chen, "Shadow Detection and Removal for Traffic Images," *Proc. IEEE Int'l Conf. Networking, Sensing & Control*, Vol.1, pp.649-654, Mar., 2004.

[5] S.K. Wang, B. Qin, Z.H. Fang and Z.S. Ma, "Fast shadow detection according to the moving region," *Proc. of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Vol.3, pp.1590-1595, Aug., 2007.

[6] A. Leone, C. Distance and F. Buccolieri, "A texture-based approach for shadow detection," *Proc. IEEE Conf. Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp.371-376, Sept., 2005.

[7] Y.Weiss, "Deriving intrinsic images from iamge sequences," *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*, pp.II:68-75, July, 2001.

[8] G.D. Finlayson and S.D. Hordley, "Color constancy at a pixel," *Journal of the Optical Society of America A*, Vol.18, No.2, pp.253-264, 2001.

[9] G.D. Finlayson, M.S. Drew and C. Lu, "Intrinsic images by entroy minimization," *Proc. of the 18th European Conference on Computer Vision*, Part III, pp.582-595, May, 2004.

[10] M.S. Drew, G.D. Finlayson and S.D. Hordley, "Recovery of chromaticity image free from shows by illumination invariance," *ICCV'03 Workshop on Color and Photometirc Methods in Computer Vision*, pp.32-39, 2003.

[11] M. Tappen, W.T. Freeman and E.H. Adelson, "Recovering intrinsic images from a single image," *IEEE Trans, Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol.27, No.9, pp.1459-1472, 2005.

[12] G.D. Finlayson, S.D. Hordley and M.S. Drew, "Removing Shadows from Images," *Proc. of the European Color Imaging conference : Color Science, Systems, and Applications*, pp.6-11, Nov., 2002.

[13] G. D. Finlayson, S. D. Hordley, C. Lu and M. S. Drew, "On the Removal of Shadows from Images," *Proc. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.28, No.1, Jan., 2006.

[14] B.K.P. Horn, "Determining Lightness from an Image," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.3, pp.277-299, 1974.

[15] Li Xu, Feihu Qi and Renjie Jiang, "Shadow Removal from a Single Image," *Proc. Sixth Int'l Conf. Intelligent Systems Design and Applications*, Vol.2, pp.1049-1054, Oct., 2006.

[16] T.P. Wu and C.K. Tang, "A Bayesian approach for shadow extraction from a single image," *Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision*, Vol.1, pp.480-487, Oct., 2005.



황 동 국

e-mail : dgh@cbnu.ac.kr
 1998년 충북대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2000년 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
 2000년~현 재 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사과정)

관심분야 : 색불변성, 시각시스템, 객체인식 등



박 종 천

e-mail : simplepjc@hanmail.net
 1994년 한밭대학교 전자계산학과
 1998년 숭실대학교 대학원 전자계산학과(공학석사)
 2004년 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정 수료

2006년~현 재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 초빙교수

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 인공지능 등



전 병 민

e-mail : bmjun@cbnu.ac.kr
 1976년 한국항공대학교 전자공학과(공학사)
 1979년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1988년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1986년~현 재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 디지털 신호처리, 영상처리, 컴퓨터비전 등