

비균일 양자화와 그림자 밝기의 선형성을 이용한 그림자 검출

황동국*, 박종천*, 전병민*

*충북대학교 컴퓨터공학과

e-mail:dgh@chungbuk.ac.kr

Shadow Detection Using a Nonuniform Quantization and Linearity of Shadow Brightness

Dong-Guk Hwang*, Jong-Cheon Park*, Byoung-Min Jun*

*Dept of Computer Engineering, Chungbuk National University

요 약

본 논문은 그림자 밝기의 선형적 변화를 비균일하게 양자화하여 그림자를 검출하는 기법을 제안한다. 그림자의 밝기의 선형성 적용은 기하학 정보, 광원의 종류 및 방위에 독립적일 수 있다는 장점이 있다. 이 기법은 그림자 밝기가 점진적으로 변하거나 변화가 없다는 가정과 그림자는 어둡다는 공리를 기반으로 한다. 먼저, 진저리를 통하여 그림자 후보영상을 검출한다. 다음으로, 인접화소들 사이의 선형의존성을 낮추기 위하여 유사 밝기를 대표 밝기로 표현하기 위해 양자화 한다. 이때 선형성을 증가시키기 위해 등비수열을 이용하여 비균일 양자화한다. 마지막으로, 그림자 밝기의 선형적 변화 특성을 이용하여 선형의존성이 높은 그림자를 검출한다. 임의의 단일 자연영상의 실험에서, 제안한 알고리즘은 본영과 단색 배경을 갖는 반영 및 셀프그림자의 검출에 강건함을 보였다.

1. 서론

객체 추출과 인식과 같은 비전(vision) 분야에서 그림자는 객체의 정보를 왜곡시키거나 독립된 객체로 추출되어 오인식 될 수 있는 장애 요소 중 하나이다. 셀프그림자(self-shadow)와 캐스트그림자(cast-shadow)로 분류[1][2]되는 그림자 중 캐스트그림자는 객체와 인접하여 나타나므로 이러한 현상이 빈번히 발생한다. 그러나 배경의 색상과 무늬, 그리고 광원의 종류 및 방위 등에 따라 그림자가 다르게 나타나므로 이를 검출하는 것은 쉽지 않다.

그림자 검출과 제거에 관한 많은 연구가 선행되어 왔다. 이미지 시퀀스(image sequence)를 이용한 그림자 검출 기법[3-6]은 프레임간 정보 또는 프레임 내의 정보를 활용하여 그림자를 검출했다. 그러나 단일 자연영상에는 객체의 움직임 정보 및 프레임 시퀀스간의 정보가 없기 때문에 이러한 기법을 적용

하기 어렵다. 단일 영상에서 그림자에 관한 연구로 E. Salvador et al.[7]은 여러 색불변모델을 활용하여 비교적 단순한 환경에서 그림자를 식별했고, Xi et al.[8]와 Finlayson et al.[9]는 반사율(reflectance)을 이용해 그림자를 제거했으나 광원에 의존적이었다.

본 논문은 광원에 대한 사전 정보와 그림자의 기하학적 정보를 고려하지 않고 가정과 공리에 기반하여 그림자를 검출하는 기법을 제안한다. 가정은 그림자의 밝기 변화는 선형적이다라는 것이고, 공리는 동일 환경에서 그림자가 드리워진 부분은 밝기가 낮다는 것이다. 이때 그림자의 선형적 밝기 변화에 대한 성질을 향상시키기 위한 방안이 등비수열에 기반한 비균일 양자화이다. 먼저, 색불변모델(invariant color model)을 이용하여 RGB 영상에서 밝기영상을 추출하고, 잡음(noise)이나 얼룩점(spot) 같은 극단값(extreme value)의 영향을 줄이기 위해 메디언 필터(median filter)를 적용한다. 이후, 공리에 따라 그림

자 후보 영역을 추출한다. 하지만 추출된 후보 영역은 매우 많은 양자화 단계를 갖는다. 이는 높은 선형성을 기대하기 어렵다. 따라서 양자화 단계를 줄이기 위해 양자화 간격을 가변으로 하는 비균일 양자화를 수행한다. 이때 양자화 간격은 밝기가 작으면 넓게 반대의 경우는 좁게 한다. 마지막으로, 가정에 따라 선형의존성(linear dependency)를 나타내는 랭크(rank)를 구함으로써 그림자를 검출한다.

2. 등비수열 기반의 비균일 양자화

k 번째 양자화 간격을 a_k , 양자화 단계 수를 N , 인접한 양자화 단계의 간격 비 a_k/a_{k-1} 가 r , 양자화될 값의 범위가 $[0 \ v_{\max}]$ 라 하자. 이 때 양자화 간격은 식(1)과 같다.

$$a_1, a_2 = a_1 r^1, \dots, a_k = a_1 r^{k-1}, \quad 0 < r < 1 \quad (1)$$

$$q(k) = \sum_{i=1}^k a_i = \frac{a_1(1-r^k)}{1-r} \quad (2)$$

여기서 $q(k)$ 는 k 번째 양자화 값이다. 식(2)은 $k \rightarrow \infty$ 일 때, $q(k)$ 는 최대값 v_{\max} 로 수렴해야 한다. 수렴식은 식(3)이고 초항 a_1 는 식(4)로 표현될 수 있다.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} q(k) = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{a_1(1-r^k)}{1-r} = v_{\max} \quad (3)$$

$$a_1 = (1-r)v_{\max} \quad (4)$$

k 번째 양자화 값 $q(k)$ 를 얻기위해 식(4)에 식(2)를 대입하면 식(5)과 같다.

$$q(k) = (1-r^k)v_{\max} \quad (5)$$

식(3)에 따라 k 가 충분히 큰 값을 갖더라도 $q(N) \neq v_{\max}$ 이다. 따라서 오차 err 를 이용하여 식(6)-(8)과 같이 양자화 단계 수 N 을 구한다.

$$v_{\max} - q(N) = v_{\max} - (1-r^N)v_{\max} = err \quad (6)$$

$$r^N v_{\max} = err \quad (7)$$

$$N = \log^{err/v_{\max}} / \log^r \quad (8)$$

3. 그림자 검출

제안한 알고리즘은 크게 세부분으로 구성된다. 첫 번째로 전처리 단계에서는 그림자 후보영역을 찾는다. 이를 위해 밝기영상을 추출하고 메디언 필터를 적용한다. 그 후, 공리에 의거하여 임계값을 이용하여 밝은 영역을 제거한다.

$$b(x,y) = Icm[i(x,y)] \quad (10)$$

$$c(x,y) = Ts[Mf[b(x,y)]] \quad (11)$$

여기서 $i(x,y)$ 는 입력영상, $Icm[]$ 는 색불변컬러모델, $Mf[]$ 는 메디언필터, $Ts[]$ 는 임계치를 이용한 임계화, 그리고 $c(x,y)$ 는 후보영상이다.

다음으로 비균일 양자화한다. 캐스트그림자의 반영(penumbra)은 밝기가 점진적으로 어두워지거나 밝아지고 본영(umbra) 부분은 밝기 변화가 다른 부분과 비교하여 거의 없고 어둡기 때문에 유사밝기값들을 하나의 대표값으로 표현하기 위해 비균일 양자화를 수행한다. 양자화는 식(12)과 같다.

$$q(x,y) = k, \text{ when } q(k-1) < c(x,y) \leq q(k) \quad (12)$$

최종적으로 양자화된 영상 $q(x,y)$ 에서 선형의존(linear dependency) 정도를 구하기 위해 랭크(rank)를 계산한다. 이 과정은 중심화소를 기준으로 인접화소들을 고려한다. 그림자 영역은 선형의존성이 높기 때문에 랭크가 크기가 작게 나타난다. $q(x,y)$ 에 중심위치가 (x,y) 이고 크기가 $n \times n$ 이며 원소가 모두 1인 마스크를 위치에 따라 곱하여 얻은 행렬을 A 라 할 때 랭크는 식(13)과 그림 1을 이용하여 구한다.

$$|A| = \sum_{k=1}^n (-1)^{j+k} a_{jk} |A_{jk}|, \quad j=1, 2, 3, \dots, \text{ or } n \quad (13)$$

```

step 0: int GetRank(A:행렬, n:행렬차수)
step 1: begin
step 2:  D <- |A|, Rank <- 1
step 3:  if( D ≠ 0 ) Rank <- n
step 4:  else begin
step 5:    for( i <- 0; i < n; i++ )
step 6:      begin
step 7:        S <- Create a sub-matrix
step 8:        nTempRank <- GetRank(S, n-1)
step 9:        if ( nTempRank > Rank )
step 10:          Rank <- nTempRank
step 11:      end
step 12:  end
step 13:  return Rank
step 14: end
    
```

그림 1. 랭크 계산

4. 실험 결과 및 고찰

실험영상은 다양한 크기의 자연 영상을 대상으로 하였고 그림자 후보 영역 검출을 위한 임계값은 평균 밝기를 이용하였다. 색불변모델은 HSB, 메디언필터의 크기는 5x5, 랭크를 구하기 위한 행렬의 차수는 5이다.

4.1 광원의 종류와 방위에 대한 강건성

강건함 실험을 위해 두 개의 광원과 실내 또는 실외에서 방위가 다른 영상을 대상으로 실험했다. 그림 2의 (a)와(b)는 본영과 셀프그림자, (c)와 (d)는 반영과 셀프그림자가 드리워졌다. 이때 관찰자가 위치가 변경되어 그림자의 위치가 다르게 나타날지라도 결과영상을 통하여 제안한 알고리즘이 본영을 정확하게 검출함을 확인할 수 있다. 또한 광원의 종류가 다른 형광등에서도 반영의 위치를 찾을 수 있었다. 그러나 컵의 내부에 있는 셀프그림자는 검출 성능은 높았으나 컵의 외부에 있는 셀프그림자는 배경에 의존적으로 나타났다.

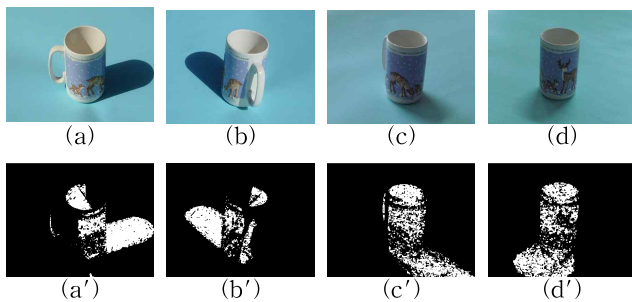


그림 2. 광원 및 관찰자 위치가 서로 다른 그림자의 검출: (a)와 (b)는 태양광, (c)와 (d)는 형광등 및 측광, (a')-(d')는 각각의 그림자 검출 영상.

4.2 알고리즘 성능

임의의 단일 자연영상들에 대한 실험이 그림 3이다. 실내·외 영상에서 본영의 검출 성능이 우수함은 결과영상을 통하여 확인할 수 있다. 그러나 그림 3의 (b)에서 반영과 셀프그림자는 낮은 검출 성능을 보였다. 이는 셀프그림자와 반영은 그림자의 농도가 낮기 때문에 상대적으로 배경 밝기를 많이 포함하기 때문에 낮은 선형의존성을 보였다. 만약 셀프그림자와 반영이 단색 배경을 갖는다면 검출 성능은 높아질 것이다.

실험결과로부터 그림자 밝기의 선형적 변화만으로 그림자를 검출하기 때문에 광원의 종류나 방위에 관계없이 그림자를 검출할 수 있었다. 그러나 공간적

밝기 변화가 심한 배경에 드리워진 반영과 셀프그림자에서는 배경의 영향으로 인하여 선형의존성이 부분적이며 국지적으로 높게 나타났다.

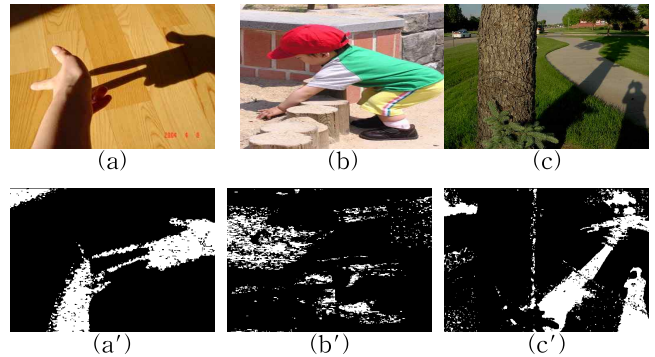


그림 3. 단일 자연영상에 대한 알고리즘의 성능: (a)는 실내영상, (b)와(c)는 실외영상, (a')-(c')는 (a)-(c)의 결과영상.

5. 결론

광원정보와 그림자의 기하학적 정보를 사용하지 않고 그림자를 검출하기 위해, 본 논문에서는 그림자의 밝기가 점진적으로 변하거나 거의 변화가 없다는 가정과 그림자의 선형성을 높이기 위한 비균일 양자화 기법에 기반하여 그림자 검출 알고리즘을 제안했다.

실험결과, 본영과 단색 배경에 드리워진 반영 및 셀프그림자에서 선형의존성이 높게 나타났고 제안한 알고리즘은 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. 향후, 화소단위 연산으로 인하여 생성되는 홀 또는 반점의 제거, 변화가 심한 무늬나 배경을 갖는 셀프그림자와 반영의 효율적 검출, 그리고 그림자 밝기와 유사한 비그림자 영역의 구분 등의 연구가 필요하다.

참고문헌

[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. Machine 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] 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.
- [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] E. Salvador, A. Cavallaro, and T. Ebrahimi, "Shadow Identification and Classification Using Invariant Color Models," *Proc. IEEE Int'l Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 3, pp. 1545-1548, 2001.
- [8] 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.
- [9] 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.