

단일 자연 영상에서 그림자 검출을 위한 그림자 특징 요소들의 정의와 분석

박기홍¹ · 이양선^{1*}

¹목원대학교 융합컴퓨터미디어학부

Definition and Analysis of Shadow Features for Shadow Detection in Single Natural Image

Ki Hong Park¹ · Yang Sun Lee^{1*}

¹Division of Convergence Computer & Media, Mokwon University, Daejeon 35349 Korea

[요 약]

그림자는 자연 영상에서 관찰되는 물리적인 현상으로 지능형 비디오 감시, 교통 감시 및 항공 영상 분석 등과 같은 다양한 영상 처리 시스템에 부정적인 영향을 미치는 요소이다. 따라서 그림자의 검출은 컴퓨터 비전의 전 분야에서 전처리 과정으로 고려되어야 한다. 본 논문에서는 참조 영상이 필요 없는 단일 자연 영상에서 그림자 검출을 위한 다양한 특징 요소들을 정의하고 분석하였다. 그림자 요소들은 영상의 밝기, 색도, 조도불변, 색상불변 및 정보의 불확실성을 의미하는 엔트로피 영상 등을 기술하였으며, 분석 결과 색도와 조도불변 영상이 그림자 검출 및 복원에 효과적임을 알 수 있었다. 향후 다양한 그림자 특징 요소들의 퓨전 맵을 정의하고, 다양한 조명 수준에 적응 가능한 그림자 검출 및 색도와 조도불변 영상을 이용한 그림자 제거 연구를 계속하고자 한다.

[Abstract]

Shadow is a physical phenomenon observed in natural scenes and has a negative effect on various image processing systems such as intelligent video surveillance, traffic surveillance and aerial imagery analysis. Therefore, shadow detection should be considered as a preprocessing process in all areas of computer vision. In this paper, we define and analyze various feature elements for shadow detection in a single natural image that does not require a reference image. The shadow elements describe the intensity, chromaticity, illuminant-invariant, color invariance, and entropy image, which indicate the uncertainty of the information. The results show that the chromaticity and illuminant-invariant images are effective for shadow detection. In the future, we will define a fusion map of various shadow feature elements, and continue to study shadow detection that can adapt to various lighting levels, and shadow removal using chromaticity and illuminance invariant images.

색인어 : 그림자 특징 요소, 그림자 검출, 색도 영상, 조도불변 영상, 색상불변 영상

Key word : Shadow feature, Shadow detection, Chromaticity image, Illuminant-invariant image, Color-invariant image

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.1.165>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 01 January 2018; Revised 23 January 2018

Accepted 29 January 2018

*Corresponding Author; Yang Sun Lee

Tel: +82-42-829-7638

E-mail: ysunlee48@gmail.com

1. 서론

디지털 영상에서 그림자는 자연 영상(natural scenes)에서 관찰되는 물리적인 현상으로 영상분석에 부정적인 영향을 미치는 요소이다. 영상에서 그림자를 검출하는 기술은 영상의 밝기(intensity)와 불변(invariant), 표면 강도(intensity surface) 및 텍스처(texture)를 이용한 그림자 검출 기술들이 다양하게 제안되었고 [1-3], 정확도 측면에서 기술의 발전이 가속화 되고 있지만 지능형 비디오 감시(intelligent video surveillance), 교통 감시(traffic surveillance) 및 항공 영상 분석(aerial imagery analysis) 등과 같은 컴퓨터 비전 분야에서의 활용은 조도변화와 같은 기상 조건에서 신뢰성이 매우 낮다.

본 논문에서는 단일 자연 영상에서 그림자 검출을 위한 특징 요소들로 영상의 밝기, 색도(chromaticity), 조도불변(illuminant invariant), 색상불변(color invariant)과 영상 정보의 불확실성을 나타내는 엔트로피(entropy) 영상을 정의하고 분석하였다. 본 논문의 구성은 2장에서 그림자 검출을 위한 특징 요소들을 정의하고, 3장에서 각 특징 요소들의 검출 결과와 성능 평가를 수행한다. 4장에서는 결론과 향후 연구를 기술한다.

II. 그림자 특징 요소들

2-1 영상의 밝기

다양한 컴퓨터비전 시스템에서 사용되는 영상들은 전반적으로 RGB 칼라 모델을 기반으로 하고 있으며, 입력받은 RGB 칼라 영상을 다양한 칼라 공간으로 변환한 후 후처리 과정을 수행한다. 본 논문에서는 그림자 검출을 위한 가장 기본이 되는 특징인 RGB 칼라 영상의 밝기 영상은 입력영상을 HSI 칼라 공간으로 변환한 후 I 채널을 밝기 영상으로 사용하였다. 밝기 영상은 식 1에 의해 구할 수 있으며 [4], 그림 1은 칼라 영상에 대한 밝기 영상을 보이고 있다.

$$Intensity = (R + G + B) / 3. \tag{1}$$

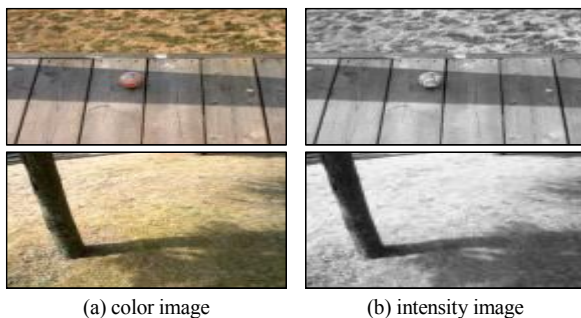


그림 1. RGB 칼라 영상과 밝기 영상
Fig. 1. RGB color image and intensity image

2-2 영상의 색도

색도는 색상(hue)과 채도(saturation)의 독립적인 변수로 구성되며, 밝기 정보가 없는 2차원 칼라 공간으로 정의될 수 있다 [5]. 즉 색도는 밝기 정보와 관계없이 색상과 채도에 의해 객관적으로 지정 가능하며, 식 2에 의해 구성된다.

$$\begin{aligned} v &= R + G + B, \\ r &= \frac{R}{v}, \quad g = \frac{G}{v}, \quad b = \frac{B}{v} = 1 - r - g, \\ r + g + b &= 1, \\ Chromaticity &= cat(3, r, g, b). \end{aligned} \tag{2}$$

식 2에서 r, g 및 b는 삼색 계수(trichromatic coefficient)를 의미하며, 색도 영상은 cat(concatenate) 연산을 통해 구성된다. 또한 국제조명위원회(CIE 1931)에 개발한 XYZ 칼라 공간에서는 식 3과 같이 RGB와 xyY(rgG) 색상 공간간의 직접적인 특징을 갖는다 [6].

$$R = \frac{rG}{g}, \quad G = G, \quad B = \frac{(1-r-g)G}{g}. \tag{3}$$

그림 2는 그림 1(a) 영상을 식 2에 의해 획득한 색도 영상과 각 성분 영상들을 보이고 있다. 채도는 색상과 혼합된 백색광의 양을 나타내므로 그림 2에서와 같이 채도가 유지되는 영역은 그림자와 비교되는 이점을 가진다. 또한 [7, 8]에서 색도는 RGB 칼라 영상의 각 성분 영상들에 대한 밴드 비(band-ratio)로 식 4와 같이 정의하였으며, 이는 조도불변 또는 고유영상을 획득하기 위한 전처리로 수행되기도 한다. 그림 3은 RGB 칼라 영상이 식 4에 의해 획득한 x_1, x_2 및 x_3 영상들이다.

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{\rho_k}{\rho}, \quad k \in \{R, G, B\}, \quad i = 1, 2, 3, \\ \rho &= \sqrt[3]{R + G + B}. \end{aligned} \tag{4}$$

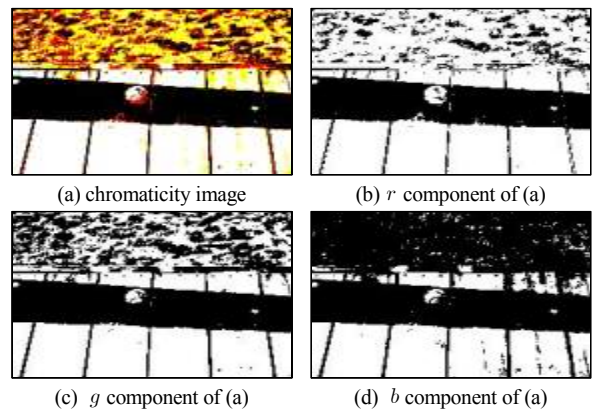


그림 2. 색도영상과 각 성분 영상들
Fig. 2. Chromaticity image and its component images

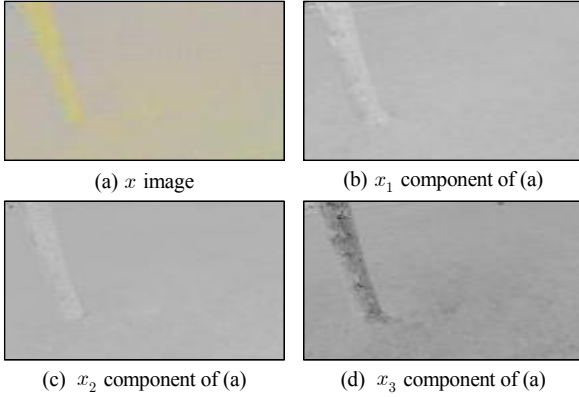


그림 3. 식 4에 의해 획득한 성분 영상들
Fig. 3. The component images obtained by (4)

2-3 영상의 조도불변

영상의 형성모델은 조명의 스펙트럼 파워 분포, 표면 반사율 및 이미징 센서의 스펙트럼 감도 사이의 상호 작용의 관점에서 정의된다 [8]. Finlayson는 그림 4와 같이 조명이 Planckian locus이고, 3개의 델타함수 센서에 의해 Lambertian surfaces에 이미지화 된 조도불변 영상 (I)을 생성할 수 있음을 증명하였다 [9]. 또한, [10]은 RGB 칼라 영상에서 조도불변 영상을 획득하기 위해 정렬된 빛 파장 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ 에서 피크 민감도(peak sensitivities)에 해당하는 3개의 센서 응답 r_1, r_2, r_3 로 구성된 1차원 칼라 공간 I를 식 5와 같이 정의하였다.

$$I = \log(r_2) - \alpha \log(r_1) - (1 - \alpha) \log(r_3). \quad (5)$$

식 5에서 매개변수 α 는 식 6의 제약조건을 만족하면 그림 3의 Planckian light와 상관되는 색 온도와 독립적인 1차원 색 공간을 보여주며 [8], 식 7과 같다. 그림 5는 그림 1(a)의 칼라 영상들을 $\alpha = 0.4441$ 과 식 7에 의해 획득한 조도불변 영상들이며, α 는 3-채널 카메라의 스펙트럼 응답으로 결정된다.

$$\frac{1}{\lambda_2} = \frac{\alpha}{\lambda_1} + \frac{(1 - \alpha)}{\lambda_3}. \quad (6)$$

$$Illuminant\ Invariant = 0.5 + \log(G) - \alpha \log(B) - (1 - \alpha) \log(R). \quad (7)$$

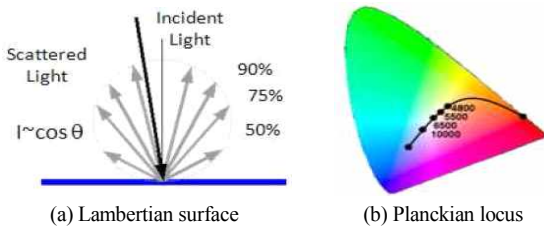


그림 4. Lambertian과 Planckian의 개념
Fig. 4. Concept of Lambertian and Planckian

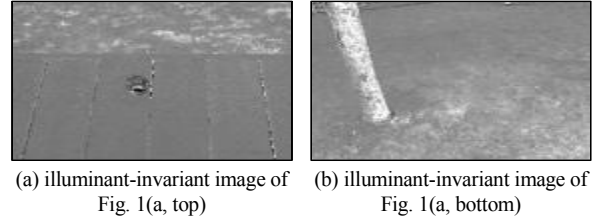


그림 5. 식 7에 의해 획득한 조도불변 영상들
Fig. 5. Illuminant-invariant images obtained by (7)

또한 식 3에서 적용한 XYZ 칼라 공간을 이용하여 조도불변 영상을 획득할 수 있으며, RGB 칼라 공간을 XYZ 칼라 공간으로의 변환은 식 8에 의해 수행된다 [11].

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, [M] = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

식 8에서 획득한 XYZ 칼라 공간은 식 9에 의해 조도불변 영상을 구할 수 있으며 [12], 그림 6은 RGB 칼라 영상과 XYZ 칼라 공간으로 변환된 영상과 최종 획득한 조도불변 영상들이다.

$$Illuminant\ Invariant = A \times \log(B \times XYZ),$$

$$A = \begin{bmatrix} 0.9465229 & 0.2946927 & -0.1313419 \\ -0.1179179 & 0.9929960 & 0.007371554 \\ 0.09230461 & -0.04645794 & 0.9946464 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$B = \begin{bmatrix} 27.07439 & -22.80783 & -1.806681 \\ -5.646736 & -7.722125 & 12.86503 \\ -4.163133 & -4.579428 & -4.576049 \end{bmatrix}.$$

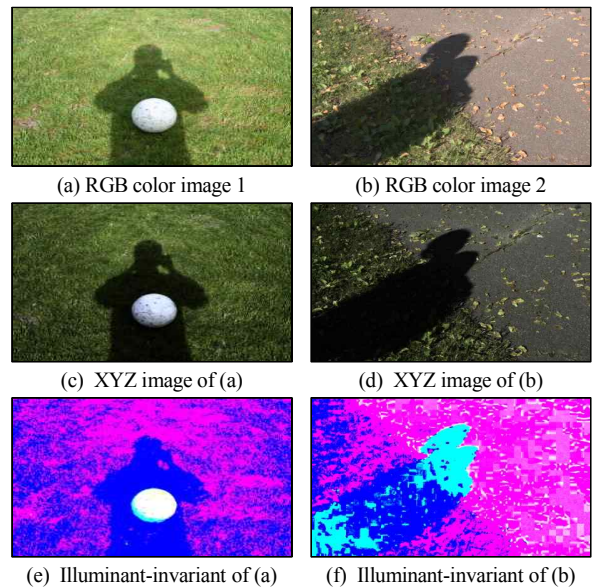


그림 6. RGB 칼라 영상과 식 9에 의해 획득한 조도불변 영상들
Fig. 6. RGB color image and illuminant-invariant images obtained by (9)

2-4 영상의 고유 영상

고유 영상은 RGB 칼라 영상을 셰이딩(shading)과 반사 성분(reflectance components)으로 분리하는 것을 의미하며 [13], 식 10에 의해 유도된다.

$$RGB_i = s_i \times R_i, \quad i \in \{R, G, B\}. \quad (10)$$

식 10에서 s_i 와 R_i 는 RGB 칼라 영상의 각 성분 영상들의 셰이딩과 반사 성분을 나타낸다. 식 11에서 반사 성분 R_i 는 YUV 칼라 공간의 휘도(brightness) 성분을 기반으로 추정하고 있으며, 최종 고유 영상을 획득하는 에너지 함수는 식 12와 같다.

$$R_i = \sum_{j \in N(i)} \omega_{ij} R_j, \quad \text{here, } \omega_{ij} = e^{-\frac{(Y_i - Y_j)^2}{2\sigma_i^2}}. \quad (11)$$

$$\arg(\min_{R, \tilde{s}} E(R, \tilde{s})). \quad (12)$$

식 11에서 w_{ij} 는 Y_i 와 Y_j 사이의 유사도, σ_i 는 i 픽셀 주위 화소들에서 밝기의 분산을 나타내며, 식 12에서 \tilde{s} 는 s^{-1} 의 값으로 밝기 영상을 의미한다.

2-5 영상의 색상불변

[14]에서 식생밀도(vegetation density)를 계산하기 위한 근적외선(NIR, near-infrared) 영상을 이용한 NDVI (normalized difference vegetation index)를 정의하였으며, 식 13과 같다. 또한 식 13을 RGB 칼라 모델 기반의 색상불변으로 변환하면 식 14와 같이 표현될 수 있다. 그림 7은 식 12와 식 14에 의해 계산된 RGB 칼라 영상의 고유 영상과 색상불변 영상들이다.

$$\theta = 4/\pi \times \arctan((\rho_{NIR} - \rho_{red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{red})). \quad (13)$$

$$\psi_r = 4/\pi \times \arctan((R - G) / (R + G)). \quad (14)$$

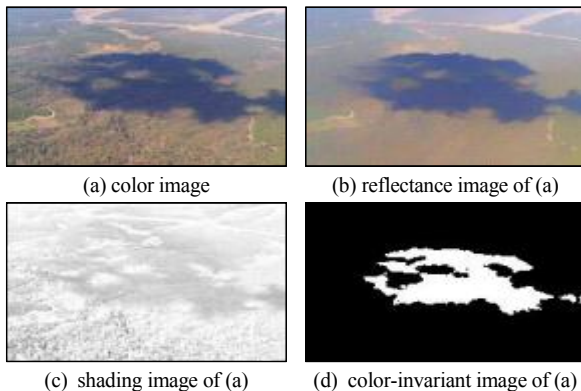


그림 7. 고유 영상과 색상불변 영상
Fig. 7. Intrinsic and color-invariant image

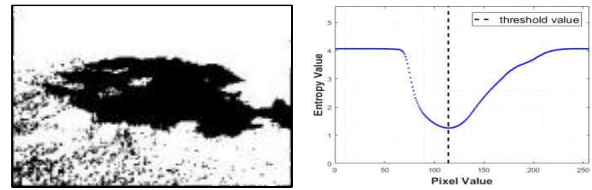


그림 8. 엔트로피 영상과 임계값 측정
Fig. 8. Entropy image and threshold measurement

2-6 영상의 엔트로피

영상의 에너지는 영상 분석을 위한 중요한 특징 요소로 확률 분포 $p = \{p_1, p_2, \dots, p_L\}$ 와 $q = \{q_1, q_2, \dots, q_L\}$ 사이의 거리정보 $D(p, q)$ 를 추정하는 것이 주요 골자이다 [15, 16]. 본 논문에서는 MCE (minimum cross entropy) 기반의 영상의 에너지 함수를 기술한다. 먼저 확률 분포 p 와 q 의 $D(p, q)$ 는 식 15와 같이 정의되며, MCE의 임계값 추정은 밝기 영상의 히스토그램 $h(k)$ 와 임계값 t 를 기반으로 식 16과 같이 구성된다.

$$D(p, q) = \sum_{i=1}^N p_i \log(p_i/q_i). \quad (15)$$

$$I_t(x, y) = \begin{cases} \mu(1, t), & I(x, y) < t \\ \mu(t, L+1), & I(x, y) \geq t \end{cases} \quad (16)$$

식 16에서 $\mu(a, b)$ 는 확률 분포 추정에 의해 식 17과 같으며, 최적의 임계값 t^* 는 식 18과 식 19에 의해 결정된다.

$$\mu(a, b) = \sum_{k=a}^{b-1} kh(k) / \sum_{k=a}^{b-1} h(k). \quad (17)$$

$$D(t) = \sum_{k=1}^{t-1} kh(k) \log(\frac{k}{\mu(1, t)}) + \sum_{k=t}^L kh(k) \log(\frac{k}{\mu(t, L+1)}). \quad (18)$$

$$t^* = \arg(\min_t \{D(t)\}). \quad (19)$$

그림 8은 식 15부터 식 19까지의 과정을 수행한 영상과 최적의 임계값 t^* 를 추정한 결과이다.

III. 그림자 특징 요소들의 검출 및 분석

본 논문에서는 단일 자연 영상에서 그림자 검출을 위한 그림자 특징 요소들을 기술하였으며, RGB 칼라 모델을 기반으로 하는 입력 영상에서 영상의 밝기, 색도, 조도불변, 고유성분, 색상불변 및 엔트로피 특징 요소들을 설명하였다. 그림 9는 본 논문에서 제시한 그림자 검출을 위한 특징 요소들의 검출 결과들을 보이고 있으며, 표 1은 선행 연구 [17, 18]에서 수행한 그림자 검출 알고리즘들의 성능을 비교한 것으로 색도, 조도 및 텍스처를 이용한 방법이 그림자 검출을 위해 효과적임을 보여주고 있다. 2.1절에서 제시한 영상의 밝기는 영상의 화소 비율 값에 대

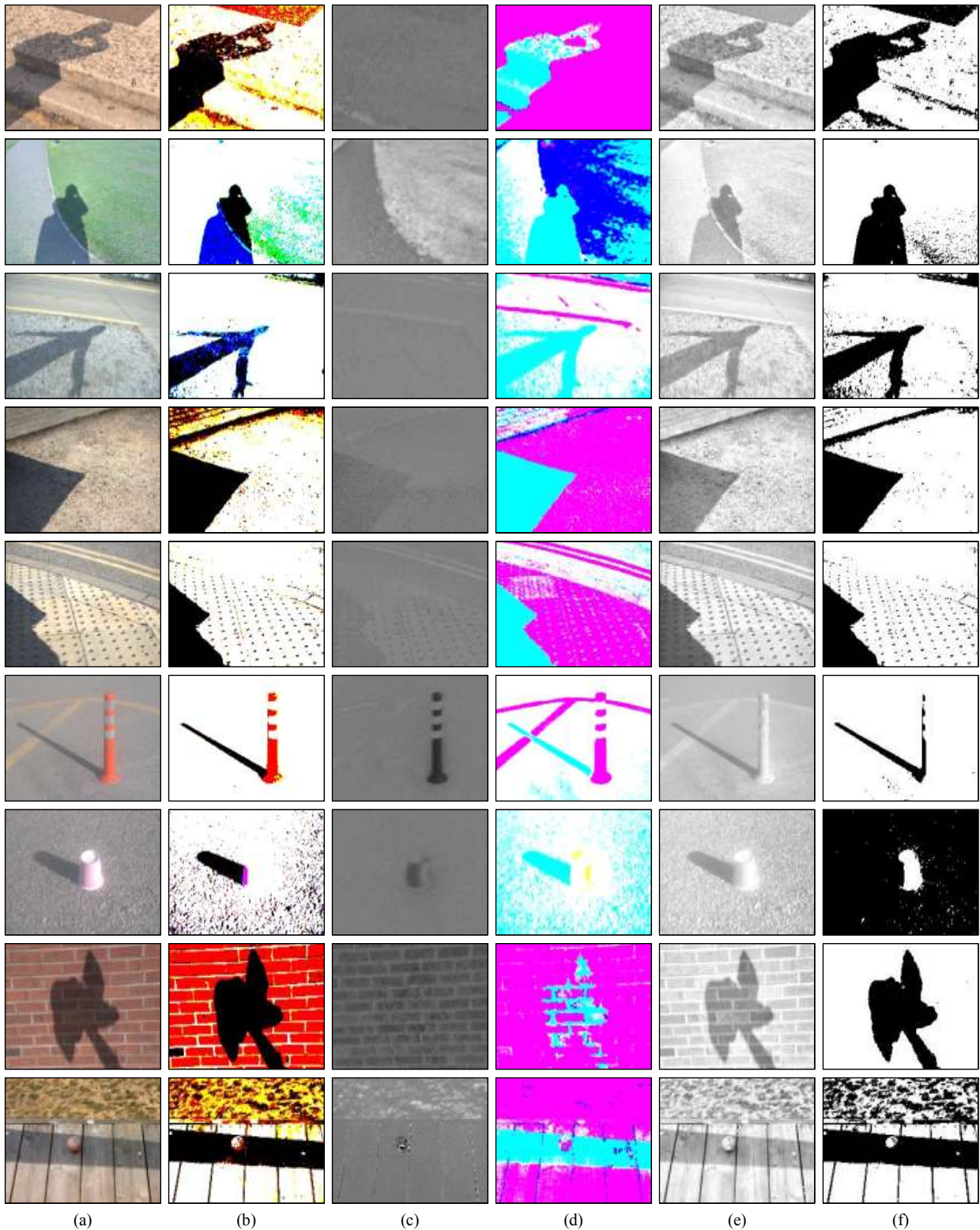


그림 9. 단일 자연 영상에서 그림자 검출을 위한 그림자 특징들의 결과 영상들

Fig. 9. Result images of shadow features images for shadow detection in single natural image; (a) RGB color image; (b) chromaticity image; (c) illuminant-invariant image obtained by (7); (d) illuminant-invariant image obtained by (9); (e) shading image; (f) entropy image (the optimal threshold values are 143, 134, 148, 111, 125, 132, 176, 88, and 129 from the first line.)

표 1. 그림자 특징들의 비교 평가

Table. 1. Comparative evaluation of shadow features

	Geometry	Chromaticity	Physical (illumination)	Textures
scene independence	medium	medium	medium	medium
object independence	low	high	high	high
shadow independence	low	high	high	high
Penumbra detection	medium	low	medium	high

한 표준 편차에 의해 계산되는데, 음영 처리된 화소에 대해 설정된다. 즉, 영상의 밝기는 또 다른 가정 없이 영상에서 직접 추정 가능성이 있지만, 조도 변경에 크게 영향을 받는다. 또한 밝기 영상에서 그림자 영역은 임계값을 기반으로 히스토그램을 이용하는 경우가 일반적이데, 그림 9(f)의 결과 영상들과 같이 밝기 영상과 임계값 기반으로 그림자 후보 영역이 검출 가능하지만 잡음 등이 발생하므로 후처리 절차가 필요하다. 그림 9(b)에서 보여주고 있는 색도 영상은 그림자에 적합한 기능을 선택할 수 있으며, 그림 9(c)의 조도불변 영상들은 자연 영상에서 조도 변화의 영향 없이 그림자 영역을 제거한 밝기 영상을 획득할 수 있다. 그림 9(d)의 결과 영상들은 RGB 칼라 공간을 XYZ 칼라 공간으로 변환한 후 획득한 조도불변 영상들로 후처리 과정을 통해 그림자 영역을 추정할 수 있으며, 그림 9(e)는 RGB 칼라 공간의 각 성분 영상들을 RGB 기하 평균(geometric mean)으로 정규화하여 형성된 영상으로 제어된 환경에서 그림자 영역 추정이 효과적이지만 기하학적 표현이 변경될 때 그림자 검출이 비효율적이다. 또한 2.4절의 고유 영상은 모든 화소들에 대한 주변 화소들의 가중치를 기반으로 계산되므로 계산 시간이 오래 걸리며, 2.5절의 색상불변은 결과에 일관성이 없어 비효율적이다.

IV. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 단일 자연 영상에서 그림자 검출을 위한 그림자 특징 요소들인 밝기, 색도, 조도불변 및 색상불변 영상들을 정의하고 분석하였다. 특히 색도 영상에서 중요한 요소는 밝기와 색도가 분리된 색 공간을 선택하는 것으로 영상에서 채도가 유지되는 영역은 그림자 영역과 비교될 수 있는 장점을 가지며, 조도불변 영상은 참조영상이 없는 단일 영상에서 그림자 검출을 위한 매우 중요한 요소이다. 따라서 그림자의 검출 및 복원을 위해 그림자에 적합한 기능을 선택할 수 있는 색도와 조도불변 영상을 기반으로 그림자 화소와 배경 화소의 밝기 차이에 따른 색도의 추정으로 그림자 영역을 효과적으로 복원 가능할 것으로 사료된다. 향후, 본 논문에서 기술한 다양한 그림자 특징 요소들의 퓨전 맵(fusion map)을 정의하고, 다양한 조명 수준에 적응 가능한 그림자 검출 및 복원 연구를 계속하고자 한다.

감사의 글

이 성과는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1C1B5018143).

참고문헌

- [1] G.D. Finlayson, S.D. Hordley, and M.S. Drew, "Removing Shadows from Images," *Proc. European Conf. Computer Vision*, vol. 4, pp.823-836, 2002.
- [2] A. Prati, I. Mikic, M. Trivedi, and R. Cucchiara, "Detecting Moving Shadows: Algorithms and Evaluation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 7, pp. 918-923, July 2003.
- [3] S. Mogare, "A Survey on Various Shadow Detection and Removal Methods/Algorithms," *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research*, Vol. 2, No. 3, pp. 262-266, 2016.
- [4] K. H. Park and B. C. Park, "Fire Extinguisher Maintenance System using Smart NFC Communication and Real-Time Pressure Measurement", *The Journal of Digital Contents Society*, Vol. 18, No. 2, pp. 403-410, April 2017.
- [5] Y. H. Kim, "Effective Shadow Removal Based on Fuzzy Inference for Moving Object Tracking", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 14, No. 9, pp. 45-51, September 2016.
- [6] Wikipedia. rg Chromaticity [internet]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Rg_chromaticity.
- [7] G. Finlayson, S. Hordley, and M. Drew, "Removing shadows from images using Retinex," in *Proceedings of Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications*, pp. 73-79, 2002.
- [8] J. M. Alvarez, A. Lopez, and R. Baldrich, "Illuminant-Invariant Model-Based Road Segmentation," in *Proceedings of IEEE Transactions on Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 1175-1180, June 2008.
- [9] G. Finlayson, S. Hordley, C. Lu, and M. Drew, "On the removal of shadows from images," in *Proceedings of IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, Vol. 28, No. 1, pp. 59-68, November 2006.
- [10] W. Maddern, A. Stewart, C. McManus, B. Uproft, W. Churchill, and P. Newman, "Illumination invariant imaging: Applications in robust vision-based localisation, mapping and classification for autonomous vehicles," in *Proceedings of the Visual Place Recognition in Changing Environments Workshop, IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, 2014.

- [11] Lindbloom. RGB/XYZ Matrices [Internet]. Available: http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_RGB_XYZ_Matrix.html.
- [12] H. Y. Chong, S. J. Gortler, and T. Zickler, "A perception-based Color Space for Illumination-invariant Image Processing," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 27, No. 3, pp. 1-7, Aug. 2008.
- [13] J. Shen, X. Yang, Y. Jia and X. Li "Intrinsic Images using Optimization," in *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.3481-3487, June 2011.
- [14] C. Unsalan and K. L. Boyer, "Linearized Vegetation Indices Based on a Formal Statistical Framework," *IEEE IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42, No. 7, pp.1575~1585, July, 2004.
- [15] P. Y. Yin, "Multi-level minimum cross entropy threshold selection based on particle swarm optimization", *Journal of Applied Mathematics and Computation*, Vol. 184, No. 2, pp. 503-513, Jan. 2007.
- [16] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, *Digital image processing using MATLAB*, 1st ed. New Jersey, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [17] A. Sanin, C. Sanderson, and B. C. Lovell, "Shadow detection: A survey and comparative evaluation of recent methods," *Journal of Pattern Recognition*, vol. 45, no. 4, pp. 1684 - 1695, April 2012.
- [18] N. Singh, and A. A. Maxton, "A Survey on Shadow Detection Methods", *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, Vol. 3, No. 4, pp. 1220-1224, April 2014.



박 기 홍(Ki-Hong Park)

2005년: 목원대학교 IT공학과 (공학석사)
 2010년: 목원대학교 IT공학과 (공학박사)

2008년~2009년: 방재정보통신지역혁신센터 연구원
 2010년~2012년: ㈜인코넥스 책임연구원
 2012년~현 재: 목원대학교 융합컴퓨터미디어학부 교수
 2014년~현 재: 안전문화운동추진 대전시연합회 생활안전 분과위원장
 2015년~현 재: 안전모니터봉사단 대전시연합회 부회장
 ※관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 영상코덱(H.26x), 항공응용기술, 방재응용기술 등



이 양 선(Yang Sun Lee)

2007년 : 목원대학교 대학원 IT공학과 (공학박사)
 2012년 : Graduated School of Engineering, Fukuoka Institute of Technology (공학박사)

2007년~2009년: ㈜휴메이트 기술연구소
 2009년~2011년: 조선대학교 2단계 BK21사업팀 연구교수
 2012년~현 재: 목원대학교 융합컴퓨터미디어학부 조교수
 ※관심분야 : 재난안전, IT융합, 차량-IT, IoT, UWB, 전파성능분석, 디지털 무선통신 등