

위성 영상의 효과적인 분석을 위한 밝기와 크로스 엔트로피 기반의 그림자 검출

Shadow Detection Based Intensity and Cross Entropy for Effective Analysis of Satellite Image

박기홍

목원대학교 융합컴퓨터미디어학부

Ki-hong Park

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

[요 약]

그림자는 자연 영상에서 관찰되는 물리적인 현상이지만 위성 영상 분석에 부정적인 영향을 미치는 요소로 컴퓨터 비전의 전처리 과정에서 그림자 검출 과정은 매우 중요하다. 본 논문에서는 싱글 영상 기반의 위성 영상에서 효과적인 영상 분석을 위해 그림자를 검출하는 방법으로 크로스 엔트로피와 밝기 영상을 이용해 그림자를 검출하는 방법을 제안하였다. 칼라 영상을 그레이 레벨 영상으로 변환한 후 크로스 엔트로피를 기반으로 최적의 임계값을 추정하여 첫 번째 그림자 후보 영역으로 판별하였고, 칼라 영상의 밝기 영상을 이용해 최종 그림자 영역을 검출하였다. 제안하는 방법의 타당성을 위해 위성 영상들을 대상으로 실험하였고, 실험 결과 제안하는 그림자를 검출 방법이 효과적으로 수행됨을 확인하였다.

[Abstract]

Shadows are common phenomena observed in natural scenes and often bring a major problem that is affected negatively in colour image analysis. It is important to detect the shadow areas and should be considered in the pre-processing of computer vision. In this paper, the method of shadow detection is proposed using cross entropy and intensity image, and is performed in single image based on the satellite images. After converting the color image to a gray level image, the shadow candidate region has been estimated the optimal threshold value by cross entropy, and then the final shadow region has been detected using intensity image. For the validity of the proposed method, the satellite images is used to experiment. Some experiments are conducted so as to verify the proposed method, and as a result, shadow detection is well performed.

Key word : Shadow detection, Shadow removal, Intensity image, Cross entropy, Entropy estimate.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.4.380>



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 3 August 2016; **Revised** 4 August 2016
Accepted (Publication) 9 August 2016 (30 August 2016)

***Corresponding Author; Ki-hong Park**

Tel: +82-42-829-7639

E-mail: kihong@mokwon.ac.kr

1. 서론

항공 영상에서의 그림자는 자연 영상 (natural scenes)에서 관찰되는 물리적인 현상이지만 항공 영상 분석에 부정적인 영향을 미치는 요소이다 [1],[2]. 지능형 비디오 감시 (IVS; intelligent video surveillance), 항공 영상에서의 객체 인식 및 추적과 같은 영상 처리에서 그림자를 감지하는 것은 매우 중요하며, 컴퓨터 비전의 전처리에서 고려되어야 한다. 최근 자연 영상에서의 그림자 검출 연구가 다양하게 진행되고 있다. Land [3]는 칼라 영상에서 Retinex 이론을 이용한 그림자 제거를 제안하였고, Finlayson [4]는 싱글 영상에서 그림자 후보군의 자유 경로 계산 (random path computation) 알고리즘을 이용해 그림자를 검출하였다. 또한 다양한 그림자 검출 기법으로 영상에서 조도 (intensity of illumination)를 이용한 방법 [5], 영상의 텍스처 (texture) 분석 기반의 방법 [6], HSV 영상의 색상 (hue) 채널을 이용한 그림자 검출 방법 [7], 및 색도 영상을 이용한 그림자 검출 방법 [8] 등이 제안되었다. 이와 같은 선행 연구들은 영상에서 그림자 검출의 특징 정보로 영상의 밝기 (intensity), 색도 (chromaticity), 기하학 (geometry) 및 시간적 특성 (temporal features)들을 채택하고 있다 [9]. 본 논문에서는 항공 영상에서 그림자 검출을 위해 영상의 엔트로피 (entropy) 기반으로 그림자 영역을 검출하고, 그림자 영역의 동적 대비 향상 (contrast enhancement)을 통해 그림자를 제거하는 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 2장에서 선행 연구를 설명하고, 3장에서 그림자 검출 및 제거하는 방법을 기술한다. 4장에서 제안한 알고리즘에 대한 성능평가를 하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 선행 연구의 성능 평가

그림 1은 선행 연구들에서 그림자 검출을 위한 특징들의 성능을 보여주고 있으며, 그림자 검출 및 식별 값의 평균을 나타낸다 [9].

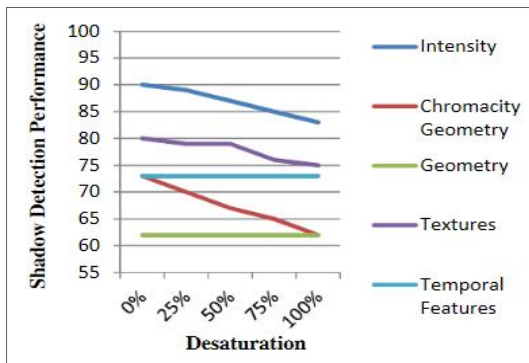


그림 1. 영상의 특징 기반의 그림자 검출 성능
 Fig. 1. Shadow detection performance based on the features of image.

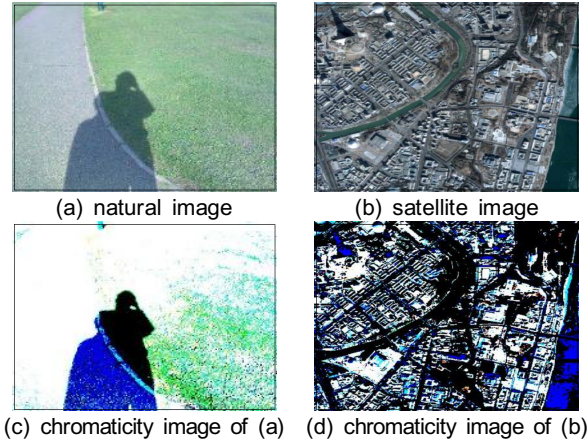


그림 2. 칼라 영상과 색도 영상
 Fig. 2. Color image and chromaticity image.

그림 1에서 밝기는 영상이 2차원 함수 $f(x, y)$ 로 표현될 때 좌표 (x, y) 에서의 f 의 진폭 (amplitude)을 그 점에서의 밝기라고 정의되며, 색도는 RGB (red, green, blue) 칼라 영상을 형성하는 콤포넨트 영상을 기반으로 식 1에 의해 칼라 영상의 색도 영상을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 RGB_{sum} &= Red_{ch} + Green_{ch} + Blue_{ch} \\
 r_{chrom} &= R_{ch} / RGB_{sum} \\
 g_{chrom} &= G_{ch} / RGB_{sum} \\
 b_{chrom} &= B_{ch} / RGB_{sum} \\
 RGB_{chrom} &= cat(3, r_{chrom}, g_{chrom}, b_{chrom}).
 \end{aligned} \tag{1}$$

식 1에서 cat 은 $r_{chrom}, g_{chrom}, b_{chrom}$ 의 색도 영상을 쌓기 (stack) 위한 연산자이며, 그림 2는 식 1에 의해 수행된 칼라 영상들의 색도 영상이다. 그림 1에서 색도 특징을 이용한 그림자 검출 성능은 영상의 색상 정보에 적응되는 것을 알 수 있으며, 그림 2(c)와 그림 2(d)에서와 같이 칼라 영상의 해상도 및 복잡성에 따라 색도 특징을 적용하기에 한계가 있다. 또한 그림 1에서 색도 특징을 이용한 그림자 검출은 영상의 밝기를 이용한 성능보다 현저히 떨어지는 것을 알 수 있으며, 영상의 복잡도 (complexity)에 관계없이 영상의 밝기를 이용한 그림자 검출 성능이 다른 특징 정보들에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다. 영상의 복잡도는 색도 영상에서 영상의 에너지가 높은 값이면 복잡도가 높은 영상으로 정의되며, 식 2와 같이 계산된다.

$$GI_{energy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(i, j)^2, \text{ Range of } GI = [-1, \dots, 1]. \tag{2}$$

그림 2(a) 영상에서 r_{chrom}, g_{chrom} 및 b_{chrom} 채널의 에너지는 $(0.11, 0.09, 0.09) \times 10^{-4}$ 이고, 그림 2(b) 영상의 에너지는 각 채널 별로 $(0.26, 0.21, 0.17) \times 10^{-4}$ 으로 그림 2(a) 영상보다 복잡도가 더 높다. 또한 영상의 복잡도를 나타내는 변수로 정현

신호의 지각 능력을 나타내는 텍스처 감도 (texture degree)를 적용하기도 하며, 식 3과 같다.

$$TD(LB_k) = \frac{1}{n \times m} \sum_{(i,j) \in LB_k} p(LB_k) \frac{|I(i,j) - LB_k|}{LB_k} \quad (3)$$

$$p(LB_k) = (1/LB_k)^\alpha.$$

식 3에서 LB_k 는 영상의 부분 블록의 평균 밝기 값이며, $p(LB_k)$ 는 그레이 레벨 영상에서의 부분 블록의 가중치 계수를 의미한다. $TD(LB_k)$ 의 값이 적으면 블록 LB_k 는 단순한 영상, 크면 텍스처 및 에지 (edge)가 많이 포함된 영상을 의미한다. 본 논문에서는 영상의 에너지와 텍스처와 같은 영상의 복잡도에 관계없이 밝기 영상의 엔트로피 이용하여 효과적으로 그림자를 검출하고, 영상의 근접 화소간의 밝기 변화를 분석하여 그림자를 복원하는 방법을 제안하고 한다.

III. 엔트로피 기반의 그림자 추정

3-1 엔트로피 감도

영상에서의 엔트로피 감도 (entropy sensitivity)는 화소의 중복성에 기인한 사건발생을 고려한 화소 정보의 수치적 기대 값으로 칼라 영상을 그레이 영상으로 변환한 후 화소에 대한 무작위성 (a measure of randomness)을 측정한다. 영상의 엔트로피를 계산하는 방법은 다양한 연구에서 변형 및 제안되었으며, 그레이 영상에서의 엔트로피는 그레이 레벨 히스토그램을 이용하여 각 화소의 확률들을 모델링한다. 즉, $k=1, 2, \dots, L$ 에 대한 이산 랜덤 변수 r_k 가 확률 $p_r(r_k)$ 의 L 그레이 레벨 영상을 나타낼 때 $p_r(r_k)$ 는 식 4와 같고, 영상의 그레이 레벨 히스토그램을 기반으로 영상의 부호 확률들을 모델링하면 식 5와 같이 엔트로피에 대한 1차 추정 (first-order estimate)을 할 수 있다 [10].

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad k = 1, 2, \dots, L, \quad r_1 = 0. \quad (4)$$

$$\tilde{H} = - \sum_{k=1}^L p_r(r_k) \log(P_r(r_k)). \quad (5)$$

식 5에서 이산 랜덤 변수 r_k 는 확률 $p_r(r_k)$ 의 그레이 레벨 영상을 의미하고, n_k 와 n 은 각각 k 번째 그레이 레벨이 영상에서 출현하는 횟수와 영상의 전체 화소 수이다. 그림 3은 그림 2(b)의 부분 영상에 대한 엔트로피를 추정하는 과정으로 식 4와 식 5의 엔트로피 추정 과정을 보이고 있다.

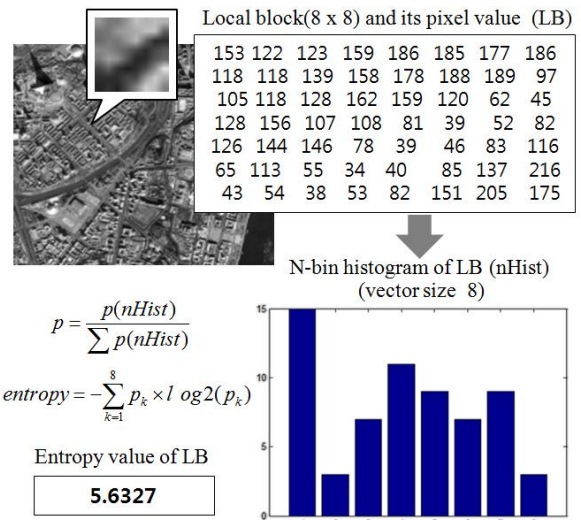


그림 3. 그레이레벨 영상에서 엔트로피 추정 과정
Fig. 3. The process of entropy estimate in gray level image.

또한 엔트로피는 확률 분포 p 에 담긴 불확실성을 나타내는 지표로서 이 값이 클수록 일정한 방향성과 규칙성이 없는 영상으로 복잡도가 높음을 의미한다. 그림 2(a)와 그림 2(b) 영상의 엔트로피 값은 각각 6.3884와 7.5481으로 그림 2(b) 영상이 더 복잡도가 높다.

3-2 크로스 엔트로피

크로스 엔트로피 (cross entropy)는 두 개의 확률 분포 $p = \{p_1, p_2, \dots, p_L\}$ 와 $q = \{q_1, q_2, \dots, q_L\}$ 가 주어졌을 때 두 변수 사이의 거리정보로 식 6에 의해 정의되며, 확률 p 에서 q 의 정보로 바꾸기 위해 필요한 정보량을 의미한다 [10].

$$H_{cm}(p, q) = \sum_{i=1}^N p_i \log(p_i/q_i) \quad (6)$$

또한 크로스 엔트로피의 임계값을 선택하는 과정은 원영상 GI 와 히스토그램 $h(k)$ 가 주어졌을 때 임계값 th 와 함께 식 7에 의해 구성된다.

$$GI_{th}(x, y) = \begin{cases} \mu(1, th), & GI(x, y) < th \\ \mu(th, L+1), & GI(x, y) \geq th \end{cases} \quad (7)$$

식 7에서 $\mu(a, b)$ 는 식 5에 의해 식 8과 같이 정의되고, 식 9와 식 10에 의해 크로스 엔트로피 값과 최적의 임계값 (th^*)이 결정된다.

$$\mu(a, b) = \sum_{k=a}^{b-1} kh(k) / \sum_{k=a}^{b-1} h(k) \quad (8)$$

$$H_{cm}(th) = \sum_{k=1}^{th-1} kh(k) \log\left(\frac{k}{\mu(1, th)}\right) + \sum_{k=th}^L kh(k) \log\left(\frac{k}{\mu(th, L+1)}\right) \quad (9)$$

$$th^* = \arg(\min_{th}\{H_{cm}(th)\}) \quad (10)$$

IV. 제안하는 그림자 검출 및 제거

4-1 제안하는 그림자 검출 방법

본 논문에서 제안하는 그림자 검출 과정은 그림 4와 같으며, 기존의 BSM (background subtraction model)에서 필요한 참조 영상 (reference image)이 필요 없는 RGB 칼라 기반의 싱글 영상 (single image)을 기반으로 수행된다. 또한 그림자 영역을 검출하기 위해 임계값 (threshold value)을 추정하는 방법으로 크로스 엔트로피를 이용하여 수행하였다. 그림 5는 칼라 기반 위성 영상(그림 2(b))에서 그림자 영역을 검출하기 위해 그레이 레벨로 변환된 영상과 히스토그램 영상을 나타내고 있다.

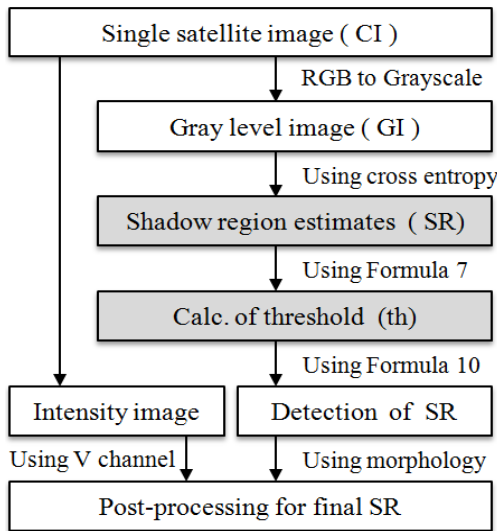


그림 4. 제안하는 그림자 검출 블록도
Fig. 4. The block-diagram of proposed shadow detection.

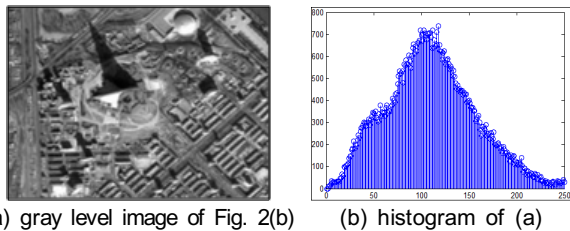


그림 5. 그림 2(b)의 그레이 레벨 영상과 히스토그램
Fig. 5. Gray level image of figure 2(b) and histogram.

그림 6은 식 7부터 식 10에 의해 구해진 그림자 후보 영역이고, 그림 7은 식 10에 의해 계산된 그림 2(a)와 (b) 영상에 대한 임계값(th^*)으로 각각 134와 101의 화소 값을 가진다. 또한 그림 5(a) 영상의 에너지가 0.29×10^{-4} 으로 복잡도가 높은 영상임을 알 수 있다. 밝기는 그레이 레벨 영상을 묘사하는데 핵심 요소로서 그림 4에서 밝기 영상은 HSI (hue, saturation, intensity) 칼라 모델의 무색의 밝기를 나타내는 I 채널을 이용하였으며, 식 11과 같다.

$$Intensity_{image} = (Red_{ch} + Green_{ch} + Blue_{ch}) / 3. \quad (11)$$

그림 6에서 검출된 그림자 영역과 식 7부터 식 10에 의해 구해진 밝기 영상에서의 그림자 영역이 모두 $Pixel_{(i,j)} = 0$ 인 경우를 최종 그림자 영역으로 추정하였다.

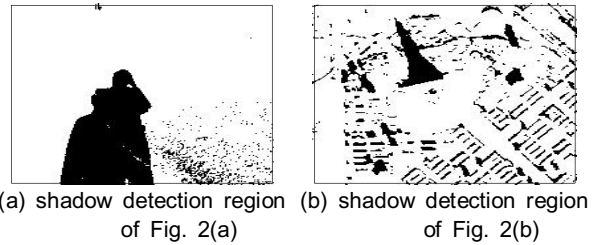
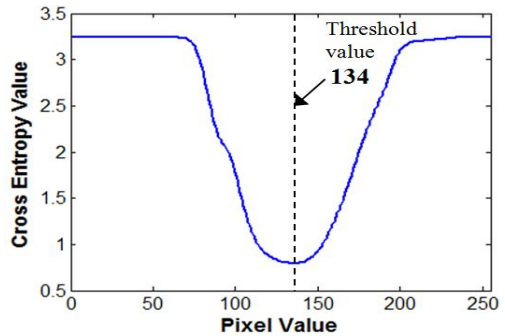
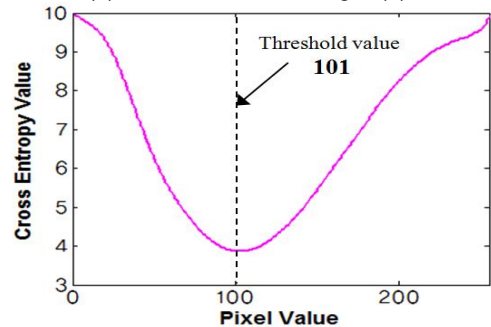


그림 6. 그림 5(a) 영상에서 크로스 엔트로피를 이용한 그림자 검출
Fig. 6. Shadow detection using cross entropy in Fig. 5(a).



(a) threshold value of Fig. 6(a)



(b) threshold value of Fig. 6(b)

그림 7. 그림 6 영상들에 대한 임계값 측정
Fig. 7. Measurement of threshold value for Fig. 6 images.

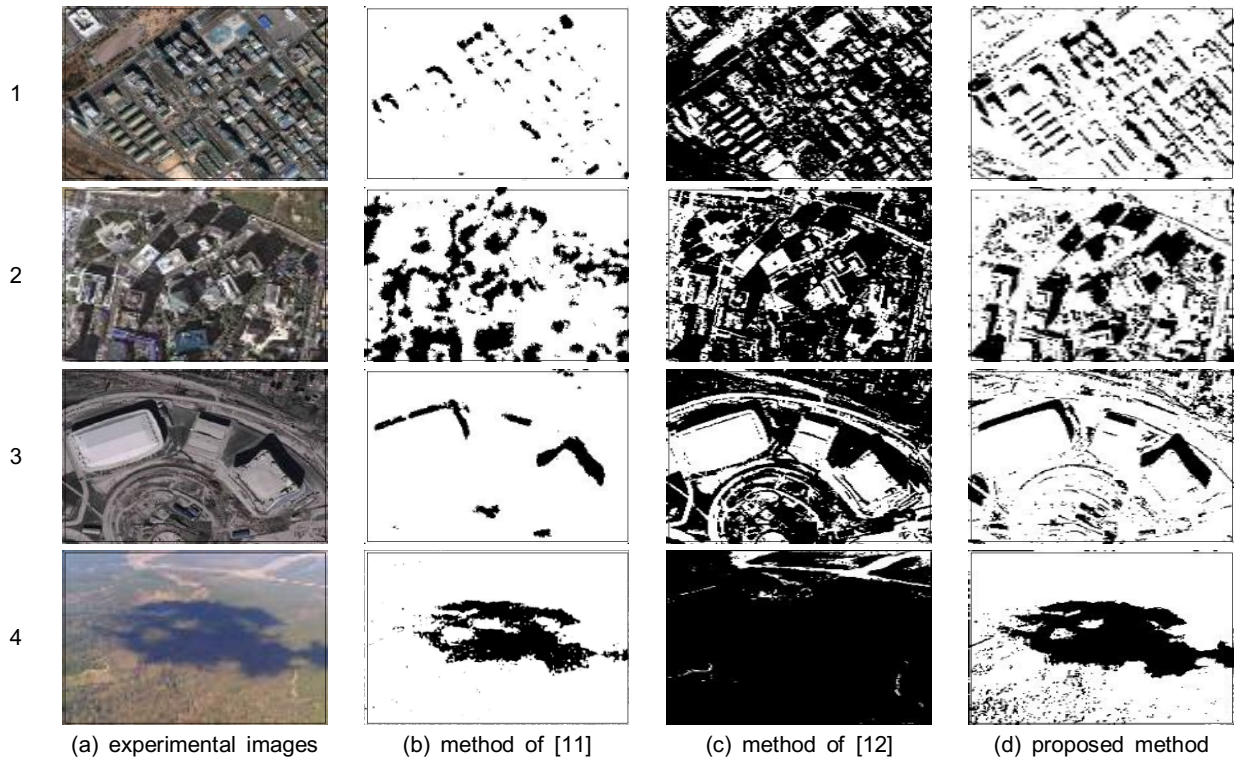


그림 8. 실험 영상들 및 성능평가 결과
 Fig. 8. The experimental images, and the results of performance evaluation.

4-2 실험 및 고찰

본 논문에서 제안하는 그림자 검출 방법의 성능평가를 위해 그림 8(a)와 같은 아리랑 3호 위성 영상들을 실험 영상으로 사용하였다. 또한 비교 성능 평가를 위해 RGB 칼라 모델 기반의 그림자 율 (shadow ratio)을 이용하여 그림자를 검출하는 방법 [11] 및 크로스 엔트로피의 최대값을 기반으로 그림자를 검출하는 방법 [12]과 비교 검증하였다. 식 12는 [11]에서 제안하는 그림자 율(S_{ratio})로 α 보다 작은 경우를 그림자 영역으로 추정 하였으며, 본 논문에서는 α 의 값을 0.2로 적용하였다.

$$S_{ratio} = \frac{4}{\pi} \times \text{atan}\left(\frac{b-g}{b+g}\right), \quad S_{region} = S_{ratio} < \alpha. \quad (12)$$

또한 [12] 방법은 크로스 엔트로피의 최대치를 이용한 방법이며, 그림 9에서 임계값 177은 그림 8(a)의 실험 영상 4에 대한 크로스 엔트로피를 계산한 결과이다. 그림 8은 그림자 검출 방법들의 성능 평가 결과들이며, 실험 결과, 제안하는 방법이 시각적으로 우수함을 알 수 있다. 그림 10은 제안하는 방법으로 검출된 그림자 영역을 칼라 영상으로 복원한 결과로 식 13에 의해 수행되었으며, 향후 연구 주제로 그림 10 영상들을 개선할 계획이다.

$$\begin{aligned} & \text{if } S_{region} = 255 \\ & \quad CI_{(i,j)} = OI_{(i,j)} + OI_{(i,j)} \times \log(\max(CE)) \\ & \text{else} \\ & \quad CI_{(i,j)} = OI_{(i,j)} + OI_{(i,j)} \times \log(\min(CE)) \\ & \text{end} \end{aligned} \quad (13)$$

식 13에서 $CI_{(i,j)}$ 는 그림자 검출 영역을 복원한 영상이고, $OI_{(i,j)}$ 는 원 영상을 의미한다. 또한 $\log(\max(CE))$ 와 $\log(\min(CE))$ 는 각각 크로스 엔트로피 값의 최대 및 최소 값에 대한 자연 대수 (natural logarithm)이다.

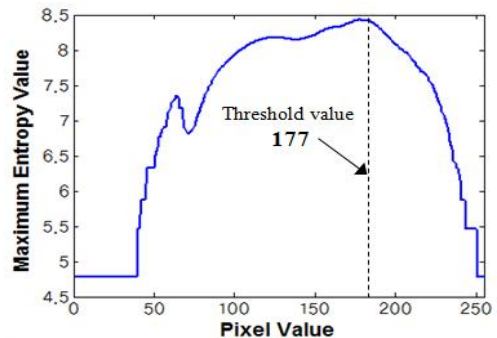


그림 9. 실험 영상 4의 임계값 [12]
 Fig. 9. Threshold value of experimental image 4 [12].

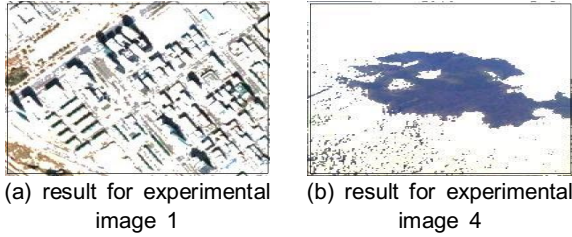


그림 10. 그림자 검출 영역의 복원 영상
 Fig. 10. Reconstruction images of shadow detection region.

V. 결 론

본 논문에서는 위성 영상의 효과적인 영상 분석을 위해 싱글 영상에 포함되어 있는 그림자를 검출하는 방법으로 크로스 엔트로피와 밝기 영상을 이용해 그림자를 검출하는 방법을 제안하였다. 칼라 모델 기반의 영상을 그레이 레벨 영상으로 변환한 후 크로스 엔트로피를 검출하여 최적의 임계값을 추정하였고, 영상에서 임계값보다 작은 영역을 첫 번째 그림자 후보 영역으로 판별하였다. 또한 칼라 영상을 밝기 영상으로 변환하여 두 번째 그림자 후보 영역을 추정하였으며, 이 두 그림자 후보 영역의 화소 값이 모두 0인 경우를 최종 그림자 영역으로 정의하였다. 제안하는 그림자 검출 과정은 참조 영상이 필요 없는 싱글 영상을 기반으로 수행되며, 실험 결과 제안된 크로스 엔트로피를 이용한 임계값 검출과 밝기 영상을 기반으로 한 그림자 검출이 효과적으로 수행되었다. 향후 싱글 영상에서 그림자 영역을 칼라 영상으로 복원 및 개선하는 알고리즘 연구를 계속하고자 한다.

참고 문헌

- [1] J. Tian and Y. Tang, "Linearity of each channel pixel values from a surface in and out of shadows and its applications," in *2011 IEEE Conference on Proceeding of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Providence: RI, pp. 985-992, 2011.
- [2] Z. Wei, K. Yao, X. Ji, and M. Yang, "Removing shadow in color images using a combined algorithm," in *Proceeding of Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Zhangjiajie, Hunan: China, Vol. 1, pp. 506-509, 2009.
- [3] S. Chen, and L. Zou, "Chest radiographic image enhancement based on multi-scale retinex technique," in *Proceeding of the 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, Beijing: China, pp. 1-3, 2009.
- [4] G. Ma, and J. Yang, "Shadow removal using Retinex theory," in *Proceeding of the 3rd International Conference on Intelligent Visual Surveillance (IVS)*, Beijing: China, pp. 25-28, 2011.
- [5] K. Yao, and J. Dong, "Removing shadows from a single real-world color image," in *Proceeding of the 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Cairo: Egypt, pp. 3129-3132, 2009.
- [6] A. R. Backes, W. N. Gonçalves, A. S. Martinez, and O. M. Bruno, "Texture analysis and classification using deterministic tourist walk," *The Journal of Pattern Recognition*, Vol. 43, No. 3, pp. 685-694, Aug. 2009.
- [7] J. S. Lee, "Moving object detection using pixel color changes of overwritten edge image," *The Journal of The Korean Institute of Information Technology*, Vol. 10, No. 10, pp. 39-46, Oct. 2012.
- [8] K. H. Park, "Shadow removal based on chromaticity and entropy for efficient moving object tracking," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 18, No. 4, pp. 387-392, Aug. 2014.
- [9] N. Vincent and S. Mathew, "Shadow detection: A review of various approaches to enhance image quality," *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, Vol. 2, No. 4, pp. 49-54, Apr. 2014.
- [10] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Eddins, *Digital Image Processing using MATLAB*, 1st ed. New Jersey, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [11] B. Sirmacek and C. Unsalan, "Damaged building detection in aerial images using shadow information," in *4th International Conference on Recent Advances in Space Technologies RAST 2009*, Istanbul: Turkey, June 2009.
- [12] P. Grunwald and A. P. Dawid, "Game theory, maximum entropy, minimum discrepancy and robust bayesian decision theory," *The Journal of The Annals of Statistics*, Vol. 32, No. 4, pp. 1367-1433, Aug. 2004.



박 기 흥 (Ki-Hong Park)

2010년 8월 : 목원대학교 IT공학과 (공학박사)
 2010년 10월 ~ 2012년 2월 : ㈜인코넥스 책임연구원
 2012년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 융합컴퓨터미디어학부 교수
 ※ 관심분야 : 컴퓨터 비전, 패턴인식, 영상코덱(H.26x), 항공응용기술, 방재응용기술 등