

SVD 에 의한 적응적 히스토그램 평활화를 이용한 저 대비 영상의 화질 향상 기법

김종호*

*순천대학교 ICT 융합공학부

jhkim@sunchon.ac.kr

Enhancement of Low Contrast Images using Adaptive Histogram Equalization by the SVD

Jongho Kim*

*School of ICT Convergence Engineering, Sunchon National University

요 약

본 논문에서는 위성 영상과 같은 원격 센싱 영상 등의 저 대비 영상의 화질을 개선하기 위하여 SVD (singular value decomposition)를 이용한 적응적 히스토그램 평활화 기법을 제안한다. 저 대비 영상의 특이값과 히스토그램 평활화 영상의 특이값을 결합하되, 사용자 파라미터를 통해 영상의 화질을 조절할 수 있도록 적응적 화질 개선 기법을 제안한다. 위성 영상을 비롯한 다양한 영상을 대상으로 실험한 결과 제안하는 방법이 기존의 히스토그램 평활화 기법 및 이를 개선한 방법에 비해 GSD (global standard deviation)으로 측정된 객관적 수치 측면에서 우수한 성능을 나타내고, 주관적 화질 측면에서 자연스럽게 영상의 어두운 영역 및 밝은 영역에서의 디테일 보존 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

1. 서론

위성 영상(satellite image)과 같은 원격 센싱(remote sensing) 영상은 상대적으로 낮은 신호 파워로 획득되어 낮은 PSNR (peak signal-to-noise ratio) 및 낮은 대비(low contrast) 등의 화질 저하 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 다양한 기법이 제안되어 왔는데, 낮은 PSNR 은 효과적인 잡음 제거 필터를 적용하는 방법으로 해결하고, 낮은 대비는 히스토그램 평활화(HE: histogram equalization)에 기반한 방법을 적용하여 해결하는 방법이 널리 연구되어 왔다. 최근에는 HDR (high dynamic range)을 위한 tone mapping 기법을 응용한 방법 등을 적용하는 경우도 연구되고 있다 [1, 2].

HE 기반 방법은 매우 다양한데, 크게 두 가지 부류로 구분하면, 영상 전체에 같은 매핑 함수를 적용하는 전역 평활화 방식(GHE: global HE)과 주변 픽셀 값에 따라 적용되는 매핑 함수가 달라지는 국부적(또는 적응적) 평활화 방식(LHE: local HE)이 그것이다. 직관적으로 알 수 있는 바와 같이, GHE 기반 방법은 간단한 구조와 적은 계산량 등의 장점이 있지만 영상의 에지 및 디테일을 보존하지 못하는 반면, LHE 기반 방법은 GHE 의 단점을 극복하지만 국부의 크기를

정하는 문제가 있고 영상의 디테일 뿐만 아니라 잡음의 크기도 함께 강화하는 경우가 많다.

본 논문에서는 두 가지 목적, 즉 잡음의 효과를 줄이면서 대비를 향상시키기 위하여 SVD (singular value decomposition)을 이용하여 화질을 개선하는 방법을 제안한다. SVD 는 행렬 대각화 방법의 일반형이라고 할 수 있는데, 영상처리 뿐만 아니라 신호처리, 통계학 등의 다양한 분야에서 사용되는 개념이다. 저 대비 영상과 평활화 영상의 특이값(singular value)을 영상의 특성에 따라 적응적으로 결합하고, 최종적으로 히스토그램을 적절하게 이동시키는 방법을 적용함으로써 사용자가 적절하게 화질을 조절하고, 입력 영상의 특성에 따라 개선 정도가 적응적으로 개선되는 방법을 제안한다.

2. 제안하는 SVD 기반 히스토그램 평활화 기법

행렬 A 에 대한 SVD 는 중요한 특성이 많아 다양한 분야에 응용되어 왔다. $m \times n$ 행렬 A 에 대한 SVD 는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$A = U \Sigma V^T = \sum_{k=1}^n u_k \sigma_k v_k^T \quad (1)$$

이때, $U = \{\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_m\} \in \mathbb{R}^{m \times m}$ 와 $V = \{\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n\} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ 는 직교 행렬이고, V^T 는 V 의 전치 행렬을 의미한다. 행렬 Σ 는 대각 성분에 특이값 $\sigma_i, i = 1, 2, \dots, n$ 이 식 (2)와 같이 크기 순서대로 정렬되어 배치되어 있는 대각 행렬의 형태를 나타낸다.

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \sigma_n \end{pmatrix} = \text{diag}(\sigma_1, \dots, \sigma_n) \quad (2)$$

SVD 를 영상에 적용하면, U 와 V 는 영상의 디테일 및 에지와 관련되어 있고, Σ 의 특이값은 휘도 성분과 관련이 있다. 식 (1)에서 각 특이값은 왼쪽과 오른쪽 고유벡터와 곱해져서 각각 다른 계층의 영상, 즉 랭크-1 행렬을 구성한다. 이러한 특성을 이용하여 저 대비를 갖는 영상을 새로운 특이값을 이용하여 개선할 수 있음을 알 수 있다.

제안하는 화질 개선 방법은 저 대비를 갖는 영상의 특이값을 화질이 개선된 HE 영상의 특이값을 이용하여 보정하는 것이다. 그러나 원 영상의 특이값 및 평활화된 영상의 특이값은 SVD 식을 통해 구할 수 있으므로 상황에 따라 그 크기를 조절할 수 없어 정밀한 대비 개선에 제한이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 HE 영상의 특이값을 원 영상의 특이값에 어느 정도로 적용할지를 결정하는 파라미터를 도입하고, 이 파라미터를 변화시켜 화질 개선 정도를 정밀하게 조절할 수 있는 방법을 제안한다.

원 영상의 특이값 벡터를 σ_{in} , 히스토그램 평활화된 영상의 특이값 벡터를 σ_e 라고 할 때 보정된 특이값 벡터 $\hat{\sigma}$ 는 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\sigma} = \arg \min_{\sigma} \|\sigma - \sigma_{in}\| + \lambda \|\sigma - \sigma_e\| \quad (3)$$

이때, $\hat{\sigma}$, σ_{in} , σ_e , σ 는 모두 \mathbb{R}^n 공간에 속하고, λ 는 Lagrange multiplier 로서 $[0, \infty)$ 의 범위를 갖는다. 식 (3) 은 저 대비 영상의 화질을 개선하기 위하여 (i) 특이값의 크기를 조절할 수 있을 것; (ii) 가능하면 평활화된 영상의 특이값과 유사할 것; (iii) 동시에 원 영상의 특이값과 차이가 작을 것이라는 세가지 제한을 동시에 고려하였고, 서로 trade-off 관계에 있는 제한사항에서 최적값을 구하기 위하여 Lagrange multiplier 를 도입하였고, 이를 풀이하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{1+\lambda} \sigma_{in} + \frac{\lambda}{1+\lambda} \sigma_e \quad (4)$$

식 (4)는 조절 가능한 특이값을 σ_{in} 과 σ_e 의 가중합으로 구할 수 있고, 파라미터 λ 를 이용하여 휘도 성분을 조절할 수 있음을 나타내고 있다. 만일 λ 가 0 이

면 화질 개선된 영상의 특이값이 원 영상의 특이값과 같고, 그 값이 무한대에 가깝게 커질수록 히스토그램 평활화된 영상의 특이값과 같아진다. 또한 λ 가 1 값을 가지면 원 영상과 평활화된 영상의 특이값의 산술평균값과 같아진다. 이러한 점을 반영하여 $t = 1/(1 + \lambda)$, $t \in (0, 1]$ 로 정의하면 식 (4)는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\sigma} = t \sigma_{in} + (1-t) \sigma_e \quad (5)$$

식 (5)의 t 는 원 영상의 특이값과 평활화 영상의 특이값을 합성할 때 비율을 나타낸다. 그러나 저 대비 영상에 대한 히스토그램 평활화 영상의 특이값을 바로 사용하게 되면, 등고선 효과(contouring effect) 및 잡음 등과 같은 왜곡이 발생할 수 있다[3]. 이러한 문제를 해결하기 위해 t 값을 결정할 때, 식 (6)과 같이 평활화 영상의 특이값인 σ_e 의 최대값을 제한하여 반영한다.

$$t = \rho \frac{\max \sigma_e - \max \sigma_{in}}{\max \sigma_e} \quad (6)$$

이때, ρ 는 $[0, 1]$ 의 범위를 갖는 상수이다. 식 (6)에 의해 계산된 t 를 식 (5)에 적용하면 개선된 화질의 특이값은 ρ 에 의해 조절될 수 있는 값으로 변경된다.

식 (6)에 의해 어두운 저 대비 영상의 화질을 개선하면 기존의 히스토그램 평활화 영상에 비해 개선된 화질을 나타내지만 에지 근처에서는 여전히 과대 개선된(over-enhanced) 영상을 나타낸다. 또한 중간 밝기 또는 밝은 저 대비 영상에 대해서는 히스토그램 평활화 영상보다 오히려 화질 개선 정도가 떨어지고, 대비 향상 정도도 떨어지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 식 (6)에서 원 영상의 평활화 영상의 특이값에서 원 영상의 특이값을 뺀 값을 이용하여 원 영상의 특성을 반영하기 때문에 일어나는 현상이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 식 (7)과 같이 히스토그램 이동(histogram shifting) 기법을 적용한다.

$$h_o[n] = \max(0, (h_i[n] - h_{min})), n = 0, 1, \dots, 255 \quad (7)$$

이때, $h_o[n]$ 은 출력 히스토그램, $h_i[n]$ 은 입력 히스토그램, h_{min} 은 입력 영상에 대한 히스토그램의 최소값을 나타낸다.

3. 실험 및 결과

제안하는 방법의 화질 개선 방법의 성능을 평가하기 위하여 테스트 영상에 기존의 히스토그램 평활화 방식과 AGCWD 방식[4] 및 제안하는 방식을 적용하고, 그 결과를 객관적 화질 측면과 주관적 화질 측면에서 비교하여 평가하였다. 객관적 화질은 영상이 높

은 대비를 나타낼수록 큰 값을 갖기 때문에 영상의 대비를 측정할 수 있는 전역 표준편차(GSD: global standard deviation)를 이용하였다[5]. <표 1>은 몇 가지 테스트 영상에 대한 GSD 결과를 나타낸다.

<표 1> 테스트 영상에 대한 GSD 결과

	원 영상	HE	AGCWD	Proposed
sun	36.8	72.8	62.2	68.9
GOES-14	50.5	73.5	45.2	58.3
GOES-13	26.4	72.8	45.6	55.5

<표 1>은 원 영상의 낮은 대비를 히스토그램 평활화는 지나치게 확장하여 과대 개선시켰음을 나타내고 있고, AGCWD 및 제안하는 방법은 평활화 영상과 비교하여 대비를 다소 줄이되, 영상에 따라 적응적으로 줄여 시각적으로 더 나은 영상을 나타냄을 알 수 있다. AGCWD 와 제안하는 방법은 수치적으로는 큰 차이가 없어 보이지만, AGCWD 는 감마 보정에 기반한 방법으로서 영상의 특성에 따라 적응적으로 화질을 조절하는 정도 및 사용자가 조절할 수 있는 파라미터 등의 설정에서 한계가 있어 제안하는 방식이 자유도가 높은 방식이라고 할 수 있다.

저 대비 영상인 pentagon 에 대한 화질 개선 기법을 적용한 결과를 (그림 1)에 나타내었다.



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

(그림 1) pentagon 영상에 대한 화질 개선 결과, (a) 원 영상, (b) HE, (c) AGCWD, (d) Proposed 방법

(그림 1)에서 보는 바와 같이 원 영상은 낮은 대비로 인해 영상의 디테일을 확인하기 어려움을 알 수 있다. 이를 개선한 기법들 중, HE 는 대비가 향상되어 디테일이 선명해지는 효과가 있지만, 과하게 대비를 향상시켜 밝은 부분에 위치한 디테일은 가장 밝은 객체에 의해 가려지고 어두운 부분에 위치한 디테일은 가장 어두운 객체에 의해 가려지는 결과를 나타낸다. AGCWD 는 GSD 수치는 좋지만, 화질의 측면에서는 여전히 저 대비 특성을 나타내고 있고, 감마 보정의 특성에 따라 매우 밝은 부분과 어두운 부분의 화질 개선 정도가 부족함을 알 수 있다. 제안한 방법은 GSD 수치는 AGCWD 기법과 비교적 유사하나 가장 자연스러운 영상을 보이고 있으며 밝은 영역과 어두운 영역에서의 디테일도 비교적 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 저 대비 영상의 화질을 개선하기 위하여 SVD 를 이용한 적응적 히스토그램 평활화 기법을 제안하였다. 이를 위하여 저 대비 영상과 평활화 영상의 특이값을 어두운 밝기, 중간 밝기, 밝은 영상 등의 특성에 따라 적응적으로 결합하고, 최종적으로 히스토그램을 적절하게 이동시키는 방법을 적용함으로써 사용자가 적절하게 화질을 조절하고, 입력 영상의 특성에 따라 개선 정도가 적응적으로 개선되는 방법을 제안하였다.

위성 영상을 비롯한 다양한 영상을 대상으로 실험한 결과 제안하는 방법이 기존의 히스토그램 평활화 기법 및 이를 개선한 방법에 비해 객관적 수치 측면에서 우수한 특성을 나타내었고, 주관적 화질 측면에서 자연스럽게 영상의 어두운 영역 및 밝은 영역에서의 디테일 보존 성능이 우수함을 알 수 있었다. 본 연구 결과를 바탕으로 원격 센싱 영상을 획득할 때, 필연적으로 포함되는 잡음의 영향을 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법을 제안하는 방법과 결합할 수 있는 연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 순천대학교 교연비 사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] S. Chen and A. Ramli, "Minimum mean brightness error bi-histogram equalization in contrast enhancement," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 49, no. 5, pp. 1310-1319, 2003
- [2] J. A. Stark, "Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 5, pp. 889-896, 2000
- [3] H. Nasir, V. Stankovic, and S. Marshall, "Singular value decomposition based fusion for super-resolution image reconstruction," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 27, no. 2, pp. 180-191, 2012
- [4] S.-C. Huang, F.-C. Cheng, and Y.-S. Chiu, "Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 22, no. 3, pp. 1032-1041, 2013
- [5] D. Menotti, L. Najman, J. Facon, and A. Araujo, "Multi-histogram equalization methods for contrast enhancement and brightness preserving," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 53, no. 3, pp. 1186-1194, 2007