

히스토그램 평활화를 이용한 원격감지 영상의 콘트라스트 향상

Contrast Enhancement of Remotely Sensed Images Using Histogram Equalization

서용수*

Seo, Yong-Su

要 旨

본 논문에서는 영상의 콘트라스트 향상법 중에서 히스토그램 평활화(HE) 방법과 평균값 보존 히스토그램 평활화(BBHE) 방법에 대한 처리방법과 처리과정에 대해 논하였으며, Landsat 위성의 TM 센서에 의해 획득된 원격감지 영상데이터 6개 대역(band)의 데이터를 이용하여 3가지 콘트라스트 향상법인 Min-Max 방법, HE 방법, BBHE 방법으로 처리한 결과영상과 히스토그램을 비교 분석하였다. 처리 결과영상과 히스토그램을 비교 분석한 결과, HE 방법과 BBHE 방법은 히스토그램을 평탄화시키는 특성으로 인하여 평활화처리 후 영상의 밝기를 과도하게 변화시키는 점이 있으나, 회색준위의 동적범위를 전체 범위로 확장시킨 결과로 콘트라스트 향상 효과가 우수함을 확인할 수 있었다. HE 방법의 특징은 원 영상의 평균값에 무관하게, 처리결과 영상의 평균값이 회색준위의 중간레벨 부근으로 변환시킴을 알 수 있다. BBHE 방법의 특징은 원 영상의 평균값에 제한되어 변환되므로 인해서 원 영상의 분광특성을 잘 보존하면서 우수한 콘트라스트 향상효과를 나타냈다.

Abstract

In this paper we discussed the processing procedures of histogram equalization(HE) method and brightness preserving bi-histogram equalization(BBHE) method in the contrast enhancement methods for the performance comparison. With remotely sensed image data of Landsat TM we compared the performances of three methods of Min-Max method, HE method, BBHE method. The experimental results demonstrate that the HE method and BBHE method are more effective in the contrast enhancement performances than the Min-Max method. In the HE method the mean brightness of the resultant output images approached to the middle gray level with regardless of input image mean. In the BBHE method, it is capable of preserving the mean brightness of a original image compared to the HE method while enhancing the contrast of original image effectively. Thus BBHE method is provided more natural enhancement effect than the HE method.

1. 서 론

원격감지 영상(remotely sensed image)이란 지구표면에서 멀리 떨어진 비행기나 인공위성에 의해 촬영된 영상을 뜻한다. 콘트라스트 향상(contrast enhancement)은 영상표시장치에 영상을 나타내었을 때 시각적인 질(visual quality)을 개선시키는 것이 목적이다. 일반 영상에서 뿐만 아니라 원격감지 영상에서도 콘트라스트 향상이 필요하다. 특히 원격감지 영상에서 콘트라스트 향상이 필요한 이유는 첫째, 대상물체의 종류가 서로 다르기 때문이고, 둘째, 여러 개의 주파수 대역(band) 별로 사용되는 탐지센서의 감도가 서로 다르기 때문이며, 셋

째, 영상 표시장치인 모니터나 프린트의 전체 밝기 표시 범위(entire brightness range)를 활용하기 위함이다[1-2].

다시 말하면, 원격감지장치 중에서도 인공위성은 대략 지구표면 700Km 상공에서 넓은 지역의 지표면에 대한 영상정보를 수집하고 있다. 이때 사용되는 센서는 지표면의 대상물체로부터 빛의 반사강도(radiance range)에 따라서, 물, 해수면 등과 같은 반사강도가 대단히 낮은 대상물체로부터, 눈, 모래 등과 같은 반사강도가 대단히 높은 대상물체에 이르기까지, 대상물체에 따라 여러 종류의 반사강도를 수용할 만큼 충분히 넓은 동적범위(dynamic range)를 가지고 있다. 그러나 지표면의 특정 지역에 대한 영상의 경우, 대상물체가 제한되므로 빛의

* 정희원, 동서대학교 정보시스템공학부 부교수 (seoyong@dongseo.ac.kr)

반사강도가 전체 동적범위의 일부분 만 활용하게 되는 경우가 대부분이다. 이러한 경우에 영상표시장치에 나타내게 되면 전체 동적범위를 사용하지 못하게 되므로 인식하기 어려운 영상을 나타내게 된다.

콘트라스트 향상 기법[1-4]에는 크게 전역변환(global transform) 방법, 지역변환(local transform) 방법, 칼라변환(color image transform) 방법이 있고, 전역변환 방법으로는 Min-Max 방법(Minimum Maximum), $\pm 1SD$ 방법(Standard Deviation), 히스토그램 평활화 방법(HE: Histogram Enhancement), 평균값 보존 히스토그램 평활화 방법(BBHE: Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization) 등이 있다[4-7].

본 논문에서는, 영상의 콘트라스트 향상 기법 중에서 히스토그램 평활화(HE) 방법과 평균값 보존 히스토그램 평활화(BBHE) 방법에 대한 처리방법과 처리과정에 대해 논한 후, Landsat 위성의 TM 센서에 의해 취득된 원격감지 영상데이터 6개 대역(band)의 데이터를 사용하여 3가지 콘트라스트 향상 방법인 Min-Max 방법, HE 방법, BBHE 방법으로 처리결과를 비교 검토하는데 그 목적이 있다. 또한 본 논문에서 처리하여 개발한 기술을 활용하여, 앞으로 연구하고자 하는 공간해상도 개선(spatial resolution enhancement), 다중분광 영상융합(multispectral image fusion)등 원격감지 영상처리를 위한 기술자료로 활용하는데 목적이 있다.

2. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)

2.1 히스토그램 평활화 과정

공간영역에서 영상처리 함수는 다음의 식으로 표현된다.

$$s(x, y) = T[r(x, y)] \tag{1}$$

여기서, $r(x, y)$ 는 입력영상의 화소 값들이고, $s(x, y)$ 는 처리된 결과영상의 화소 값들이며, T 는 변환함수이다. 식 (1)을 간단히 표현하면,

$$s = T(r) \tag{2}$$

가 된다. 또 정규화(normalization)시킨 화소 값은 다음 식과 같이 0과 1사이의 값을 갖게된다.

$$0 \leq r \leq 1 \tag{3}$$

이 식과 같이 $[0, 1]$ 구간의 값을 가지는 r 에 대하여 식 (2)의 변환을 하여 s 값들을 구한다. 이를 영상처리 혹은 영상변환이라 한다. s 값들로부터 r 값으로의 역 변환은

$$r = T^{-1}(s) \quad 0 \leq s \leq 1 \tag{4}$$

이 된다. 영상변환 중에서도 영상의 콘트라스트를 향상시키기 위한 영상처리를 콘트라스트 향상이라 한다. 여러 가지 콘트라스트 향상 기법 중에서도 히스토그램 평활화 처리과정을 유도하기로 한다. 원 영상의 화소 값 r 와 변환된 영상의 화소 값 s 에 대한 확률 밀도함수를 각각 $p_r(r)$ 와 $p_s(s)$ 로 나타내면, 확률이론으로부터 변환된 영상의 화소 값 s 에 대한 확률 밀도함수는

$$p_s(s) = \left[p_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=T^{-1}(s)} \tag{5}$$

이다. 식 (2)의 변환 관계식을

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w)dw \quad 0 \leq r \leq 1 \tag{6}$$

로 표현된다고 가정하자. 이 식에서 적분 항은 변수 r 에 대한 누적 분포함수로서, 이를 변환함수로 사용함을 뜻한다.

이 식을 r 에 대해 미분하면,

$$\frac{ds}{dr} = p_r(r) \tag{7}$$

가 되고, 이를 식 (5)에 대입하면

$$p_s(s) = \left[p_r(r) \frac{1}{p_r(r)} \right]_{r=T^{-1}(s)} = \left[1 \right]_{r=T^{-1}(s)} = 1 \quad 0 \leq s \leq 1 \tag{8}$$

가 된다. 이 식은 변환된 변수 s 에 대한 확률 밀도함수가 균일 밀도(uniform density)임을 나타낸다. 이 결과는 역 변환함수 $T^{-1}(s)$ 에 무관하다는 점이 중요하다. 왜냐하면, 역 변환함수 $T^{-1}(s)$ 를 구하기가 어렵기 때문이다. 식 (8)이 의미하는 바가 대단히 중요하다. 그 의미하는 바는, 변수 r 의 누적 분포함수를 변환함수로 사용하게 되면, 변환된 변수 s 에 대한 확률 밀도함수는 균일 밀도가 됨을 나타낸다. 이것을 영상향상의 의미로 해석하면, 화소들 간의 동적 범위를 넓혀 주게되어, 영상의 시각적 표현효과를 증가시키게 된다는 점이다.

지금까지 유도된 결과 식들을 디지털 영상처리에 사용하기 위하여, 이산형으로 표현하기로 한다. 이산적인 값을 가지는 회색준위가 나타날 확률은

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad \begin{matrix} 0 \leq r_k \leq 1 \\ k = 0, 1, \dots, L-1 \end{matrix} \tag{9}$$

가 된다. 여기서, L 은 회색준위의 개수이고, r_k 는 k 번째

회색준위이고, n_k 는 k 번째 회색준위가 나타나는 횟수이고, n 는 영상의 총 화소의 개수이고, $p_r(r_k)$ 는 k 번째 회색준위가 나타날 확률이다. r_k 에 따른 $p_r(r_k)$ 의 변화를 그림으로 도시한 것을 히스토그램이라 하고, 균일한 히스토그램을 얻기 위한 기법을 히스토그램 평활화라 한다. 식 (6)의 이산형은

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (10)$$

$$0 \leq r_k \leq 1, \quad k=0, 1, \dots, L-1$$

이며, 이 식의 역 변환은

$$r_k = T^{-1}(s_k) \quad 0 < s_k < 1 \quad (11)$$

이다. 변환함수 $T(r_k)$ 는, 식 (10)으로부터 계산된다. 이 상이 히스토그램 평활화 처리과정을 유도한 것으로, 처리과정을 요약하면 다음과 같다.

단계 1: 주어진 원 영상(original image)으로부터,

- 1) $k = 0, 1, \dots, L-1$ 까지, L 개 회색준위에 대한 각각의 정규화 값, r_k 값들을 계산한다.
- 2) L 개 회색준위에 대한 각각의 회색준위가 나타나는 횟수, n_k 값들을 구한다.

단계 2: n 와 n_k 값들을 가지고, 아래의 식으로

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad (9)$$

각 회색준위가 나타날 확률, $p_r(r_k)$ 값들을 계산한다.

단계 3: $p_r(r_k)$ 값들을 가지고, 아래의 식으로

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (10)$$

$$0 \leq r_k \leq 1, \quad k=0, 1, \dots, L-1$$

히스토그램 평활화를 위한 변환된 회색준위, s_k 값들을 계산한다.

단계 4: 균등한 간격을 갖는 L 개의 회색준위만 허용되므로, 변환된 회색준위 s_k 값들을 재정의하고, 재정의된 s_k 값들에 n_k 값들을 재 할당한다.

2.2 평균값 보존 히스토그램 평활화(Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization)

히스토그램 평활화는 처리방법이 간단하고 향상효과가 높기 때문에 콘트라스트 향상법으로 다양한 응용분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나, 히스토그램 평활화의 한가지 단점은, 평활화처리가 히스토그램을 평탄화시키는 성질로 인해 평활화처리 후 영상의 분광특성을 변화

시켜버린다는 것이다. 이로 인해, 입력영상의 평균값에 관계없이, 히스토그램 평활화처리 결과영상의 평균값은 회색준위의 중간부근에 있게된다. 그래서 원 영상의 밝기를 보존하여 불필요한 시각적 변화를 유발시키지 않아야 하는, TV와 같은 가전제품분야에서는 히스토그램 평활화처리가 거의 이용되지 않고 있다[4-7]. 이러한 단점을 극복할 수 있는 새로운 방법으로, 1997년 김영택이 BBHE 방법[4]을 제안했다. 제안한 알고리즘은 입력영상을 2개의 부분영상으로 나누어 부분영상 단위로 히스토그램 평활화 처리한 후 합성한다.

BBHE 방법의 처리과정을 요약하면 다음과 같다.

단계 1: 입력영상의 평균값에 기초하여 입력 영상을 2개의 부분영상으로 분해한다. 즉, 하나의 부분영상은 평균값 보다 작거나 같은 값을 갖는 화소들의 집합이며, 다른 하나의 부분영상은 평균값 보다 큰 값을 갖는 화소들의 집합이다.

단계 2: 2개 부분영상을 각각 독립적으로 히스토그램 평활화처리를 한다. 평균값 보다 작거나 같은 값을 갖는 화소들의 집합인 부분영상은 최소 회색준위 값에서 입력영상의 평균값까지 매핑(mapping)시키는 히스토그램 평활화처리를 하고, 평균값 보다 큰 값을 갖는 화소들의 집합인 부분영상은 평균값에서 최대 회색준위 값까지 매핑시키는 히스토그램 평활화처리를 한다.

단계 3: 2개 부분영상을 각각 독립적으로 히스토그램 평활화처리한 결과를 하나의 결과영상으로 합성(compose)한다.

3. 실험 결과 및 고찰

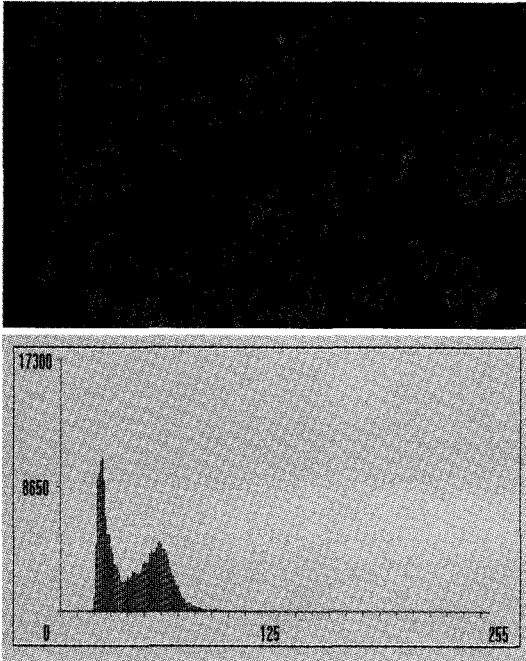
3.1 실험 영상데이터

실험에 사용된 영상데이터는 인공위성으로 촬영된 것

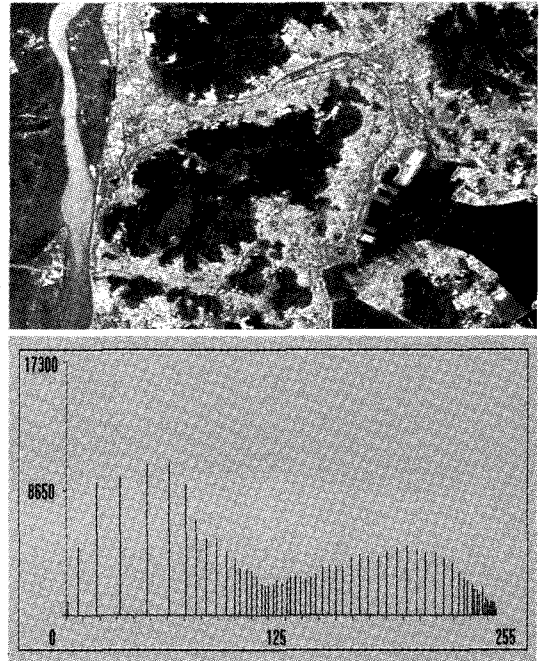
표 1. Statistics for the Sample Data Set

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7
Maximum	212 (192)	105 (105)	144 (135)	152 (152)	255 (214)	200 (200)	255 (133)
Minimum	0 (62)	23 (23)	16 (16)	3(5)	0(0)	140 (140)	0(0)
Mean	88.718	39.709	42.872	60.012	64.889	159.927	30.546
Variance	243.914	100.388	300.520	662.273	950.136	99.594	391.238
Standard	15.618	10.019	17.336	25.735	30.824	9.980	19.780

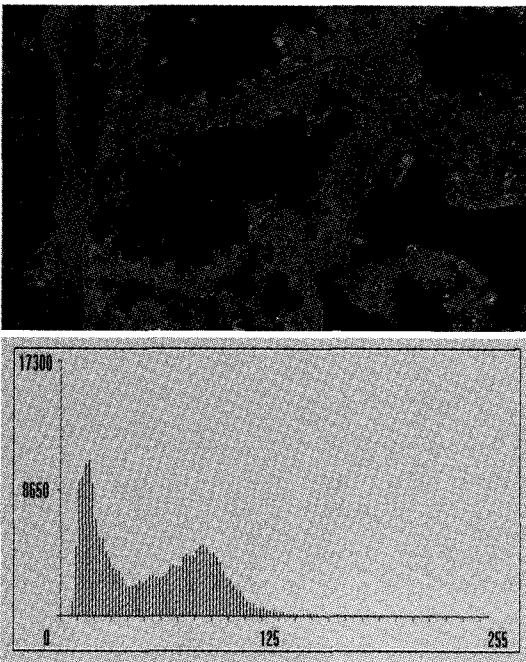
Maximum: 화소의 최대 값
 Minimum: 화소의 최소 값
 Mean: 화소들의 평균 값
 Variance: 화소들의 분산 값
 Standard: 화소들의 표준편차 값
 괄호() 밖의 값: outlier를 고려하지 않았을 경우의 최대, 최소 화소 값을 표시
 괄호() 내의 값: outlier를 고려하였을 경우의 최대, 최소 화소 값을 표시



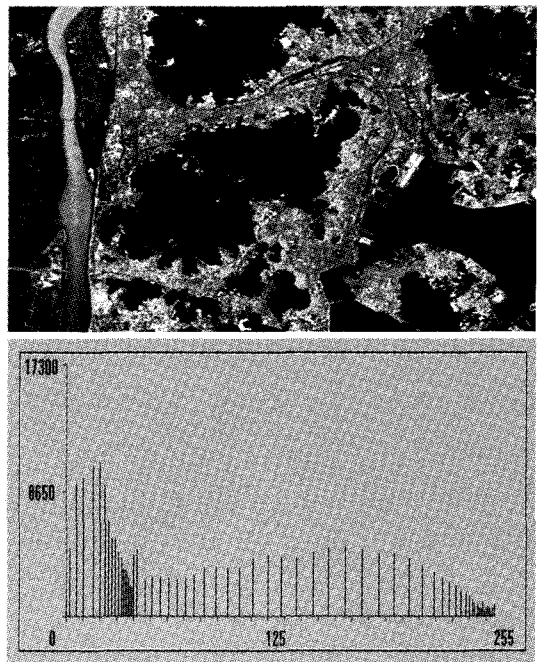
(a) Original image and its histogram



(b) Min-Max contrast enhanced image and its histogram

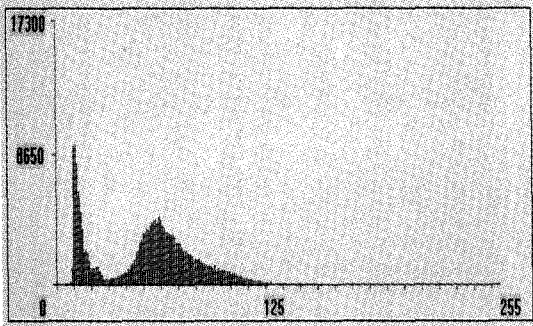
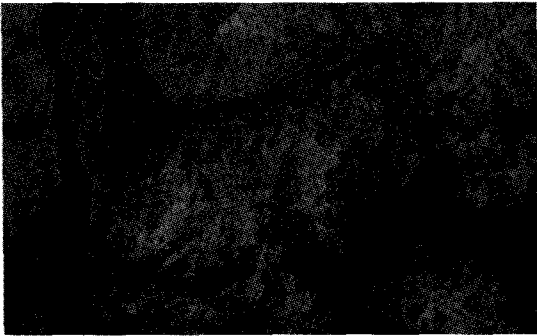


(c) HEed image and its histogram

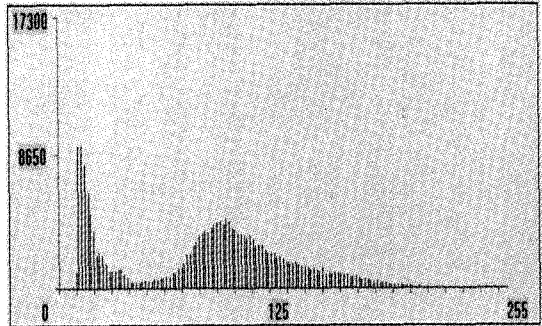
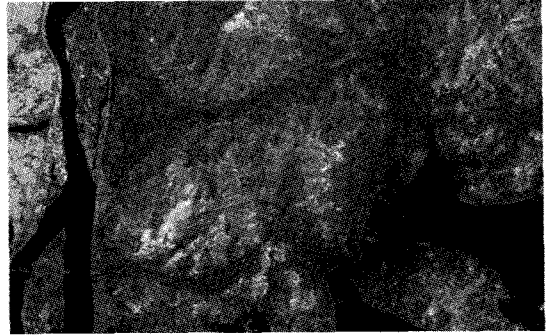


(d) BBHEed image and its histogram.

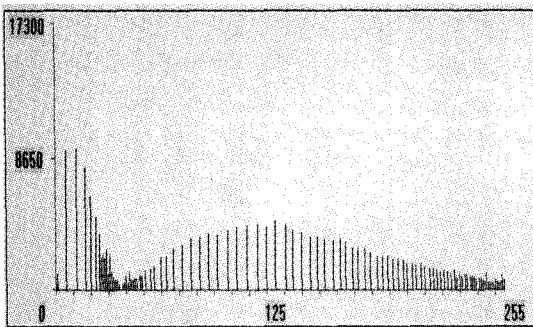
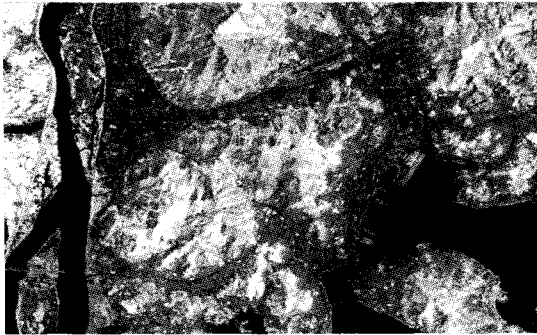
그림 1. 대역 3에 대한 실험결과 영상 및 히스토그램



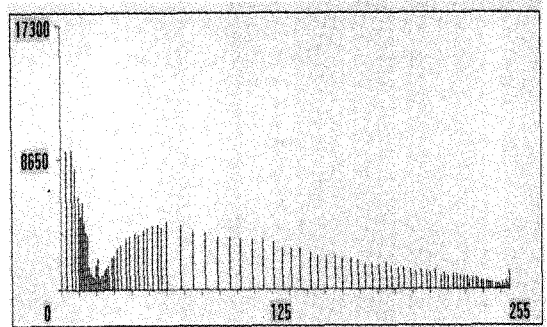
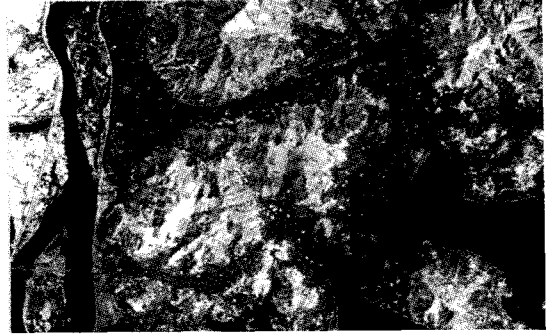
(a) Original image and its histogram



(b) Min-Max contrast enhanced image and its histogram



(c) HEed image and its histogram



(d) BBHEd image and its histogram

그림 2. 대역 4에 대한 실험결과 영상 및 히스토그램

으로, 이러한 영상은 동일지역에 대해 여러 개의 주파수 대역(band) 별로 촬영되므로 다중분광 영상데이터(multispectral image data) 혹은 원격감지 영상데이터(remotely sensed image data)라 한다. 사용된 영상 데이터는 1989년 8월 31일 미국 인공위성 Landsat 5호의 TM 센서에 의해 촬영된 부산지역에 대한 것으로서, 총 7개 대역중 공간 해상도(spatial resolution)가 120m 인 대역 6을 제외하고 공간 해상도가 30m 인 대역 1~5 및 대역 7의 6개를 실험에 사용하였다. 영상의 크기는 512 × 400 화소이고, 각 화소는 256 회색준위를 가진다.

실험에 필요한 기초자료로 활용하기 위해 각 대역별로 계산한 통계 값들은 표 1과 같다.

3.2 성능평가를 위한 실험 및 결과 검토

본 논문에서 성능 평가를 위하여 비교의 대상으로 한 콘트라스트 향상 방법들은 3가지로, Min-Max 방법, HE 방법, BBHE 방법들[3-5] 이며 이들 방법에 의한 처리결과를 원 영상과 함께 비교 분석하였다. 이들 3가지 콘트라스트 향상 방법들에 대한 처리결과와 영상과 히스토그램을 그림 1 및 그림 2에 나타내었다.

원격감지 영상은 분광 대역별로 지표면의 대상물체에 따라 서로 다른 분광특성을 나타내게 되므로 그림 1은 가시(visible) 대역에서 대표적인 대역 3의 처리결과 영상과 히스토그램을 나타내었고, 그림 2는 근적외(near infrared) 대역인 대역 4의 처리결과 영상과 히스토그램을 나타낸 것이다. 그림 1의 (a)와 그림 2의 (a)에서 원 영상의 히스토그램은 거의 비슷한 모양을 나타내고 있으나, 분광대역이 가시대역과 근적외 대역인 차이로 인하여 그림 1의 (a)의 영상에서 회색(gray) 정도는 그림 2의 (a)의 영상에서 회색 정도와 서로 다를 수 있다. 이들 회색 정도의 차이점은

3가지 콘트라스트 향상 방법의 처리결과 영상인 그림 1의 (b), (c), (d) 및 그림 2의 (b), (c), (d)의 영상에서도 유지됨을 알 수 있다.

그림 1과 2의 (a)는 원 영상과 이것의 히스토그램을 나타내고 있다. 이들 원 영상은 콘트라스트가 낮아 전체적으로 어두운 특성을 나타내고 있으며, 히스토그램도 왼쪽으로 치우쳐져 회색준위가 100 이하로 콘트라스트가 낮은 어두운 영상을 나타내고 있다. 그림 1과 2의 (b)는 Min-Max 방법의 처리결과 영상과 히스토그램을 나타낸 것으로 상당한 콘트라스트 향상 효과를 나타내고 있으나 이들 역시 전체적으로 어두운 특성을 나타내고 있으며 회색준위가 중간 레벨 이하이다. 이 방법은 특히 outlier에 민감한 영향을 받는다. 그림 1과 2의 (c)는 HE 방법의 처리결과를 나타낸 것으로 대단히 높은 콘트라스트

향상 효과를 나타내고 있으며, 또한 전체적으로 대단히 밝은 특성을 나타내고 있다. 이는 히스토그램에서 보는 바와 같이 회색준위의 동적범위(dynamic range)가 전체 범위로 확장된 결과로 화소값의 평균레벨이 125 근처이다. 그림 1과 2의 (d)는 BBHE 방법의 처리결과 영상과 히스토그램을 나타낸 것으로 대단히 높은 콘트라스트 향상 효과를 나타내고 있으며, 또한 전체적으로 대단히 밝은 특성을 나타내고 있다. 그러나 히스토그램의 모양이 HE 방법의 결과와 상당히 다른 모양을 보이면서, 원 영상의 평균값에 위아래로 제한되어 원 영상의 평균 밝기를 보존하는, 다시 말해서 분광특성(spectral characteristic)을 잘 보존하는 가장 좋은 방법임을 알 수 있다.

따라서, 콘트라스트 향상이 주목적일 때는 HE 방법이 우수하고, 원 영상의 분광특성을 보존하면서 콘트라스트 향상을 향상시키는 것이 목적일 때는 BBHE 방법이 가장 좋은 방법임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 영상의 콘트라스트 향상법 중에서 히스토그램 평활화(HE) 방법과 평균값 보존 히스토그램 평활화(BBHE) 방법에 대한 처리방법과 처리결과에 대해 논하였으며, Landsat 위성의 TM 센서에 의해 획득된 원격감지 영상데이터 6개 대역의 데이터를 이용하여 3가지 콘트라스트 향상법인 Min-Max 방법, HE 방법, BBHE 방법으로 처리한 결과영상과 히스토그램을 비교 분석하였다.

처리 결과영상과 히스토그램을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 직선적인 기법인 Min-Max 방법에 비해서 비직선적인 기법인 HE 방법과 BBHE 방법의 콘트라스트 향상 효과가 훨씬 우수함을 알 수 있었다.
2. HE 방법과 BBHE 방법은 평활화처리가 히스토그램을 평탄화시키는 특성으로 인하여 평활화처리 후 영상의 밝기를 과도하게 변화시키는 점이 있으나, 회색준위의 동적범위를 전체 범위로 확장시킨 결과로 콘트라스트 향상 효과가 우수함을 확인할 수 있었다.
3. HE 방법의 특징은 원 영상의 평균값에 무관하게, 처리결과 영상의 평균값이 회색준위의 중간레벨 부근으로 변환시킴을 알 수 있다.
4. BBHE 방법의 특징은 원 영상의 평균값을 중심으로 위아래가 각각 독립적으로 히스토그램 평활화 처리됨을 알 수 있고, 원 영상의 평균값에 제한되어 변환되므로 인해서 원 영상의 분광특성을 잘 보존하면서 우

수한 콘트라스트 향상효과를 나타냈다.

5. 콘트라스트 향상이 주목적일 때는 HE 방법이 우수하고, 원 영상의 분광특성을 보존하면서 콘트라스트 향상을 향상시키는 것이 목적일 때는 BBHE 방법이 가장 좋은 방법임을 알 수 있다.
6. HE 방법 및 BBHE 방법을 원격감지 위성영상에 적용한 처리결과를 논한 것으로, 모든 위성영상(고 해상도 및 저 해상도)에 적용 가능하다.

앞으로 좀더 진행시켜야 할 연구과제는, 이들 콘트라스트 향상기법들이 컬러 영상합성(color composites)에 미치는 영향에 관한 연구이며, 나아가 이들 기법들을 활용하여 공간해상도 개선(spatial resolution enhancement) 및 다중분광 영상융합(multispectral image fusion)에 적용시키기 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. John R. Jensen, "Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective", 1996, Prentice Hall, pp. 139-195.
2. Robert A. Schowengerdt, "Remote Sensing : Models and Methods for Image Processing", 1997, Academic Press, pp. 179-226.
3. R.C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital Image Processing", 1987, Addison Wesley, pp. 139-160.
4. Yeong-Taeg Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 43, No. 1, Feb., pp. 1-8, 1997.
5. Tae-Keum Kim, Joon-Ki Paik, and Bong-Soon Kang, "Contrast Enhancement System Using Spatially Adaptive Histogram Equalization with Temporal Filtering", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 1, Feb., pp. 82-87, 1998.
6. J. Y. Kim, L. S. Kim and S. H. Hwang, "An Advanced Contrast Enhancement using Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization", IEEE Trans. on Circuits And System For Video Technology, Vol. 11, No. 4, April., pp. 475-484, 2001.
7. Yu Wang, Q. Chen and B. Zhang, "Image Enhancement Based On Equal Area Dualistic Sub-Image Histogram Equalization Method", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 45, No. 1, Feb., pp. 68-75, 1999.

(접수일 2002. 12. 5, 심사 완료일 2003. 1. 30)