

# 영상 강조를 위한 Adaptive Dynamic Range Linear Stretching 기법

김용민 · 최재완 · 김용일<sup>†</sup>  
서울대학교 공과대학 건설환경공학부

## An Adaptive Dynamic Range Linear Stretching Method for Contrast Enhancement

Yongmin Kim, Jaewan Choi, and Yongil Kim<sup>†</sup>

Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University

**Abstract** : Image enhancement algorithm aims to improve the visual quality of low contrast image through eliminating the noise and blurring, increasing contrast, and raising detail. This paper proposes adaptive dynamic range linear stretching(ADRLS) algorithm based on advantages of existing methods. ADRLS method is focused on generating sub-histograms of the majority through partitioning the histogram of input image and applying adaptive scale factor. Generated sub-histograms are finally applied by linear stretching(LS) algorithm. In order to validate proposed method, it is compared with LS and histogram equalization(HE) algorithm generally used. As the result, the proposed method show to improve contrast of input image and to preserve distinct characteristics of histogram by controlling excessive change of brightness.

**Key Words** : Image enhancement, scale factor, sub-histogram, dynamic range.

**요약** : 영상 강조 기법은 영상의 낮은 명암 대비(contrast)를 노이즈나 블러링(blurring)의 제거, 명암 대비의 증가, 세밀함의 확장 등을 통해 시각적으로 향상시키는 작업을 말한다. 본 논문에서는 기존에 제안되어 온 여러 영상 강조 기법들의 장점을 기반으로 한 Adaptive dynamic range linear stretching(ADRLS) 영상 강조 기법을 제안한다. ADRLS 기법은 입력 영상의 히스토그램 분할과 동시에 adaptive scale factor를 적용하여 다수의 서브 히스토그램을 생성하는 것에 초점을 맞추고 있으며, 생성된 서브 히스토그램은 최종적으로 선형 강조(Linear Stretching, LS) 기법이 적용되어 영상 강조를 수행하게 된다. 제안된 기법의 성능을 검증하기 위해 기존의 히스토그램 선형 강조 기법, 히스토그램 평활화(Histogram Equalization, HE) 기법과 비교·평가하였으며, 그 결과 기존의 기법들에 비해 영상의 과도한 밝기 변화를 억제함으로써 영상의 시각적인 특성을 유지하고, 입력 영상이 갖고 있는 히스토그램의 특성을 보존하는 효과를 보였다.

접수일(2010년 4월 28일), 게재확정일(2010년 8월 25일).

<sup>†</sup> 교신저자: 김용일(yik@snu.ac.kr)

## 1. 서론

영상 강조 기법은 영상처리 분야의 중요한 연구 주제로서 원격탐사 분야 외에도 컴퓨터 비전, 의학 영상 분야에서도 활발히 사용되고 있다. 영상 강조 기법들은 영상의 낮은 명암 대비(contrast)를 노이즈나 블러링(blurring)의 제거, 명암 대비의 증가, 세밀함의 확장 등을 통해 영상의 시각적 특성을 향상시키는 작업이다. 이러한 작업들은 주로 히스토그램(histogram)을 기반으로 이루어지는데, 히스토그램이란 그레이 레벨(gray-level) 영상을 밝기값과 그 빈도수로 표현한 그래프를 의미하며 영상의 명암 대비의 분포를 보여준다(Gonzalez and Woods, 2002).

히스토그램을 이용한 대표적인 전역적 영상 강조 기법은 선형강조(Linear stretching, LS) 기법과 히스토그램 평활화(Histogram Equalization, HE) 기법이 존재한다(Altas 등, 1995). LS 기법은 영상의 동적 범위(dynamic range)를 선형적으로 확장시키는 방법이고, HE 기법은 영상 히스토그램에서의 누적빈도수를 기반으로 하여 기존의 밝기값을 변환시키는 방법이다. 두 방법은 단순하고, 빠르다는 장점이 있는 반면에 국지적 세밀함을 자연스럽게 표현하지 못한다는 단점이 있다. 또한, 전역적 HE 기법의 경우, 영상 전체의 밝기(mean)를 히스토그램의 중앙으로 이동시켜 영상이 갖는 본래의 특성을 지키지 못하며, 노이즈를 지나치게 강조한다는 단점을 나타내기도 한다(Ji et al., 1994). 이러한 단점을 극복하기 위해서 입력 영상의 히스토그램을 두 개 또는 그 이상으로 분할하여 강조하는 다양한 기법들이 제안되어 왔다.

본 논문에서는 기존에 제안된 기법들의 장점을 기반으로 한 Adaptive dynamic range linear stretching (ADRLS) 기법을 제안한다. ADRLS 기법은 Wadud et al.(2007)이 제안한 히스토그램 분할 기법과 Park et al. (2008)이 제안한 adaptive scale factor를 적용하여 다수의 서브 히스토그램을 생성하는 것에 초점을 맞추고 있다. 생성된 서브 히스토그램들은 각각의 구역별로 LS 기법이 적용되어 영상 강조를 수행하게 된다. 최종적으로, 제안된 기법은 기존의 HE, LS 기법과 비교·평가하였다.

## 2. 본론

본론에서는 일반적으로 사용되는 영상 강조 기법인 LS와 HE 기법을 간략하게 설명하고, 본 논문에서 제안한 ADRLS 기법에 대해 상세하게 설명한다.

### 1) 일반적인 영상 강조 기법

#### (1) LS(Linear Stretching)

LS 기법은 영상에서 사용하는 밝기값의 범위가 한정되어 있을 때, 그 사용 범위를 전체 영역으로 확장시킴으로써 영상의 명암 대비를 향상시키는 기법이다. LS 기법은 다음 식 (1)에 의해 정의된다.

$$Y_n = f(x) = aX_n + b \quad (1)$$

$X_n$ : 입력 영상 히스토그램 상의 n번째 화소 밝기값

$Y_n$ :  $X_n$ 의 출력 화소 밝기값

a: 방사해상도/영상의 사용범위

b: 수평이동 변수

a는 변환계수로서 밝기값 범위의 확장을, b는 수평이동 변수로서 출력 화소 밝기값을 왼쪽으로 이동시키는 역할을 한다. a에 대한 개념은 Fig. 1에서 설명하고 있다. LS 기법은 HE 기법에 비해 어느 특정 밝기값의 빈도가 압도적으로 높은 히스토그램 예외(anomaly) 현상에 의한 영향이 적고, 상대적으로 연산이 단순하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 LS 기법의 변형인 2% LS 기법을 적용하였다. 2% LS 기법은 히스토그램 상에서 양 끝의 2%에 해당하는 화소의 밝기값을 각각 최대, 최소값으로 강제 배정한 후, 이 값들을 이용하여 식 (1)을 적용하는 방식이다.

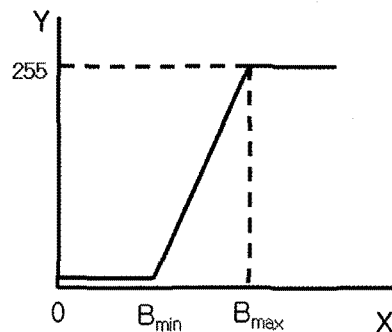


Fig. 1. Brightness value mapping function of LS.

(2) HE(Histogram Equalization)

HE 기법은 그레이 레벨 영상에서 밝기값의 빈도수를 이용하여 영상이 사용할 수 있는 동적 범위(방사해상도) 전체를 사용한다. 즉, 이론적으로 8비트 영상의 경우에는 HE 기법에 의해 강조된 결과 영상은 0에서부터 255 까지의 동적 범위를 사용한다. 또한, HE가 갖는 특성에 의해 결과 영상은 균일한 히스토그램을 나타낸다. HE는 히스토그램의 누적분포함수(CDF : Cumulated distribution function)가 다음 식 (2)과 같을 때, 식 (3)로 정의할 수 있다.

$$CDF(X_n) = \sum_{i=0}^k p(X_n) \quad (2)$$

$$Y_n = f(x) = \frac{L-1}{N} CDF(X_n) \quad (3)$$

$p(X_n)$  : 의 확률밀도 함수

L: 입력 영상의 방사해상도

N: 영상 전체의 화소수

HE는 특정 밝기의 범위에 편중되어 있는 화소들의 밝기값을 재조정하여 보다 넓은 분포를 갖게 함으로써 영상의 명암 대비를 향상시킨다. 단순하고 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있는 반면, 영상의 밝기를 전체적으로 그레이 레벨의 중앙쪽으로 이동시키는 단점이 있다. 또한, 적용 후의 영상은 과도한 명암 대비 확장으로 인해 세밀함이 떨어지며, 노이즈를 과장되게 표현한다.

2) ADRLS 알고리즘

제안된 ADRLS 기법은 입력 영상의 히스토그램을 분할하고, 서브 히스토그램에 Adaptive scale factor 및 LS 기법을 적용하는 세 가지 단계로 이루어져 있다. 이번 절에서는 ADRLS 기법에 적용된 이론을 적용 순서대로 자세하게 설명한다. Fig. 2는 ADRLS 기법의 연구 흐름을 도식화하고 있다.

(1) 히스토그램 분할

입력 영상의 히스토그램을 분할하여 다수의 서브 히스토그램을 생성한 후, 영상 강조를 수행하는 것은 전역적 영상 강조 기법에서 발생하는 단점을 개선한다. 본 논문에서 사용하는 히스토그램 분할 기법은 Wadud et al.(2007)이 제안한 기법을 기반으로 한다. 이 기법은

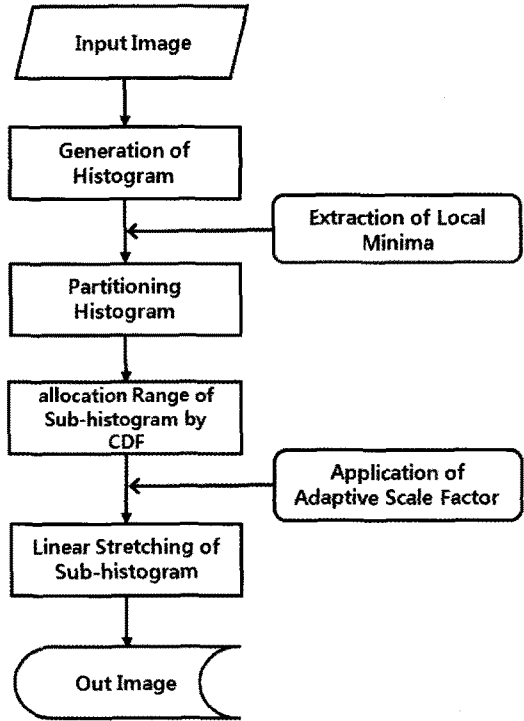


Fig. 2. Flowchart of ADRLS method.

입력 영상의 히스토그램에서 국지적 최소치를 탐지하여 두 국지적 최소치 사이를 정규분포를 갖는 하나의 서브 히스토그램으로 정의한다. 국지적 최소치는 히스토그램의 시작값, 끝값, 변곡점들로 구성된다. 추출된 국지적 최소치들을 이용하여 분할된 서브 히스토그램들은 그 범위에 속하는 화소의 수에 비례하여 재할당된다. 즉, 서브 히스토그램의 범위에 속하는 화소들의 수가 상대적으로 많을수록 재설정되는 동적 범위는 증가하게 된다. 서브 히스토그램의 분할 과정은 다음 식 (4), (5)에 의해 정의되고, Fig. 3은 히스토그램의 초기 분할과 화소 수에 따른 서브 히스토그램의 동적 범위 재할당에 대한 이론을 도해적으로 설명하고 있다.

$$range_i = \frac{span_i}{\sum span_i} (L - 1) \quad (4)$$

$$new\ range_i = range_i * \frac{CDF_i}{\sum CDF} \quad (5)$$

$span_i$ : 입력 영상의 i번째 서브 히스토그램의 동적 범위  
 $CDF_i$ : 입력 영상의 i번째 서브 히스토그램 속의 전체 화소 수

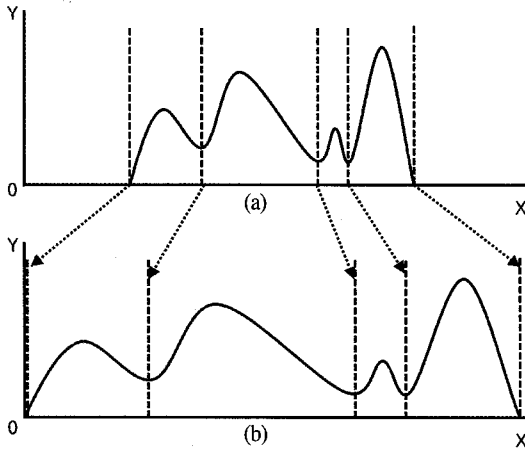


Fig. 3. Procedure of histogram partition (a) Partitioning into sub-histogram based on local minima (b) Gray level range allocation to sub-histogram.

(2) Adaptive scale factor의 적용

전역적 영상 강조 기법은 side effect 효과로 인해 항상 최고의 성능을 제공하기 어렵다. 영상에서 높은 빈도를 보이는 밝기값들은 변환 과정 속에서 대부분의 동적 범위를 사용하게 되므로 낮은 빈도를 갖는 밝기값들은 변환 후에도 상대적으로 낮은 명암 대비 갖게 된다. 높은 빈도수를 갖는 밝기값들에 의해 발생하는 과도한 동적 범위 압축 현상은 adaptive scale factor에 의해 그 영향을 최소화 할 수 있다. adaptive scale factor는 Park et al. (2008)에 의해 제안된 개념으로 scale factor에 의해 동적 범위를 재조정하는 역할을 수행한다. 이론적인 서브 히스토그램의 재조정 범위  $r$ 을 다음 식 (6)과 같이 정의하면,

$$r = \frac{L}{k} \tag{6}$$

L: 방사해상도

k: 분할값(서브 히스토그램의 수)

최종 서브히스토그램의 동적 범위는 다음 식 (7)에 의해 정의된다.

$$Final\ range_i = new\ range_i + \alpha * (r - new\ range_i) \tag{7}$$

$\alpha$ : scale factor

Scale factor는 이론적인 서브 히스토그램의 동적 범위와 빈도수를 이용해 재조정된 서브 히스토그램과의 차이를 일정한 축척  $\alpha$ 를 적용하여 재조정함으로써 지나

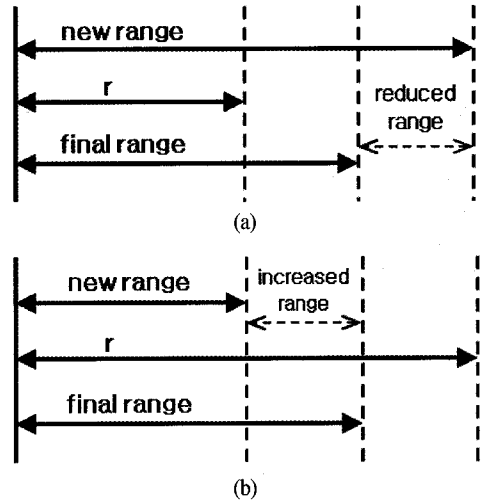


Fig. 4. Effect by application of scale factor.

치게 많은 동적 범위를 갖는 서브 히스토그램의 영향을 최소화하고, 상대적으로 적은 동적 범위를 갖는 서브 히스토그램의 동적 범위를 확장하는 역할을 한다. scale factor는 [0,1]의 범위를 가지며, 본 논문에서는 scale factor의 값을 중앙값인 0.5로 설정하였다. Fig. 4는 adaptive scale factor의 역할을 개념적으로 설명하고 있다.

기존 논문에서는 8비트 영상에 있어서의 분할값을 4로 고정하여 adaptive scale factor를 적용한 반면, 본 논문에서는 히스토그램 분할 기법이 다르므로 입력 영상에 따라 변동적인 분할값을 적용한다는 특징이 있으며, 이는 서브 히스토그램이 갖는 특징을 보존하고, 너무 많거나 너무 적은 동적 범위를 갖는 서브 히스토그램들을 재조정하는 효과를 갖는다.

(3) LS 기법의 적용

서브 히스토그램의 동적 범위가 최종적으로 재설정되면, 각 서브 히스토그램 단위로 영상 강조 기법이 적용된다. 앞서 설명한 LS 기법은 HE 기법에 비해 입력 영상의 히스토그램 특성을 보존하고, 히스토그램 예외 현상에 있어 강건한 성능을 보인다. 따라서 본 논문에서는 LS 기법을 최종적으로 적용하여 영상강조를 수행한다.

3. 실험 결과

제안된 ADRLS 기법은 기존의 LS, HE 기법과 비

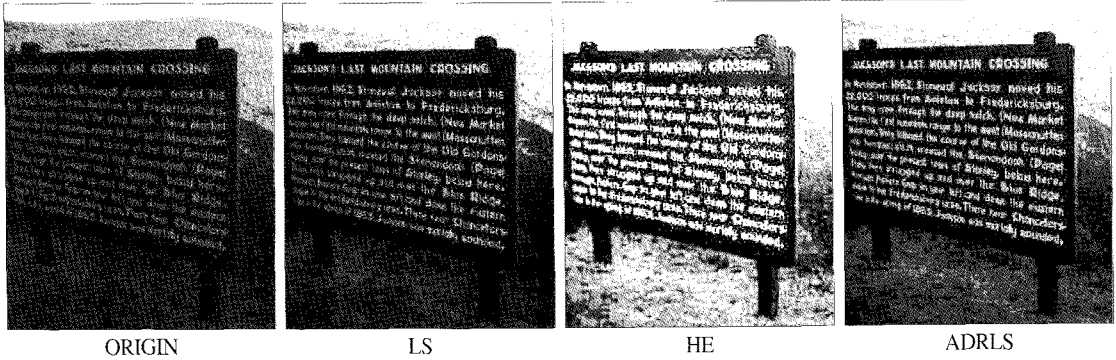


Fig. 5. Enhancement for sign board based on ORIGIN, LS, HE, and ADRLS.

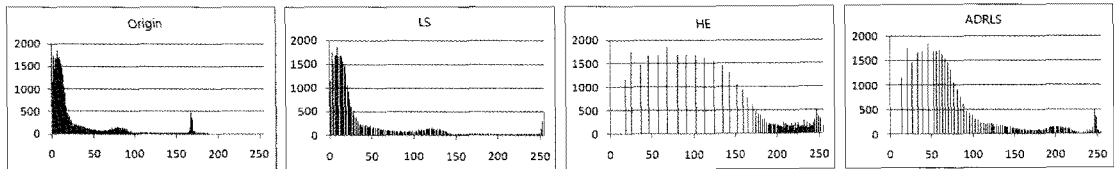


Fig. 6. Histogram for sign board based on ORIGIN, LS, HE, and ADRLS.

교· 평가되었다. LS와 HE 기법은 위성영상 소프트웨어인 ENVI 4.5 버전에서 제공하는 기능을 사용하였고, ADRLS 기법은 Matlab 2008 버전에서 구현하였다. 실험을 위해 사용된 영상은 어두운 쪽으로 밝기 분포가 편향되어 있는 일반적인 표지판 영상과 원격탐사 분야에서 사용되는 QuickBird 센서의 흑백영상이다. 또한, 컬러 영상에서의 성능을 검증하기 위해 고해상도 센서인 Worldview-2 센서의 멀티 영상이 선택되었다.

Fig. 5는 표지판의 원영상과 각 기법들이 적용된 결

과 영상이며, Fig. 6은 각 영상의 화소 분포를 보여주는 히스토그램이다. LS 기법은 표지판 영상에 적용 후에도 명암 대비의 개선이 거의 없었으며, 이는 적용 후의 히스토그램의 분포에 변화가 거의 없다는 것을 통해서도 확인할 수 있다. HE 기법의 경우 시각적인 향상은 있었으나, 높은 빈도를 갖는 화소들이 대부분의 동적 영역을 차지함으로써 과도한 명암대비를 발생시킨 것을 확인할 수 있다. 이에 반해, ADRLS 기법의 경우에 원영상의 시각적인 향상뿐만 아니라 과도한 밝기 변화를 억제함

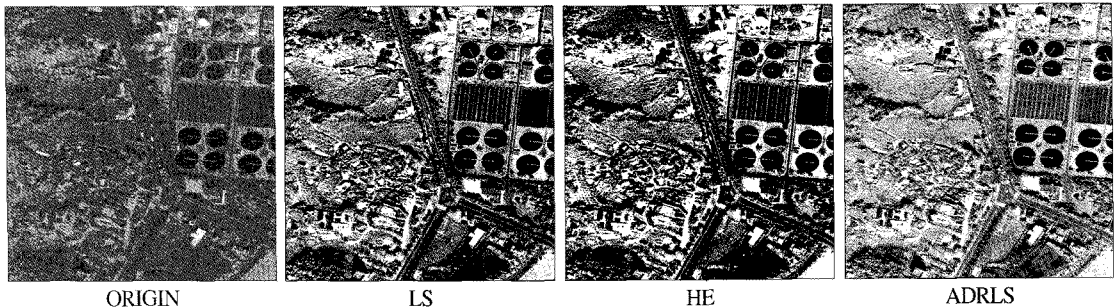


Fig. 7. Enhancement for QuickBird image based on ORIGIN, LS, HE, and ADRLS.

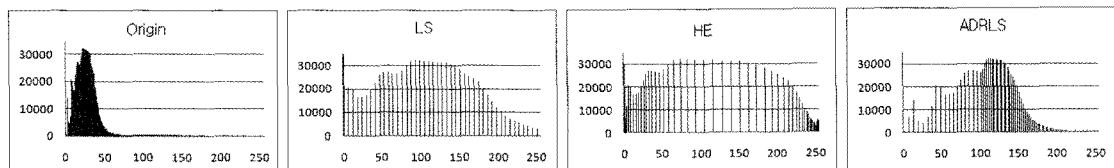


Fig. 8. Histogram for QuickBird image based on ORIGIN, LS, HE, and ADRLS.

으로써 입력 영상이 갖고 있던 히스토그램의 분포 특성을 그대로 보존하는 장점을 보였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 QuickBird 영상에서의 적용 결과 영상과 히스토그램을 보여준다. LS 기법은 히스토그램 양쪽 끝 2%의 화소들이 많은 동적 영역을 차지하고 있는 입력 영상의 특성상 표지판 영상에서보다 좋은 성능을 보였다. 하지만 이러한 특수한 경우를 제외하고는 LS 기법의 경우 명암 대비 확장에 제약을 갖고 있다. HE 기법의 경우, 표지판 영상에서와 마찬가지로 히스토그램의 특성과 관계없이 과도한 명암 대비의 확장만

을 수행함으로써 노이즈가 발생하는 결과를 보였다. 이에 반해 ADRLS 기법은 기존의 LS 기법과 HE 기법에 비해 밝기 변화를 효율적으로 통제함으로써 시각적인 향상과 히스토그램 분포 특성의 보존이라는 측면에서 좋은 성능을 보였다.

추가적으로 컬러 영상에서의 성능을 평가하기 위해 각 기법을 고해상도 위성영상인 Worldview-2 멀티 영상에 적용해 보았다(Fig. 9). LS 기법은 앞에서 언급한 제약으로 인해 적용 후에도 시각적인 향상이 미약하였다. 반면에 HE 기법의 경우, 컬러 영상에서 시각적인

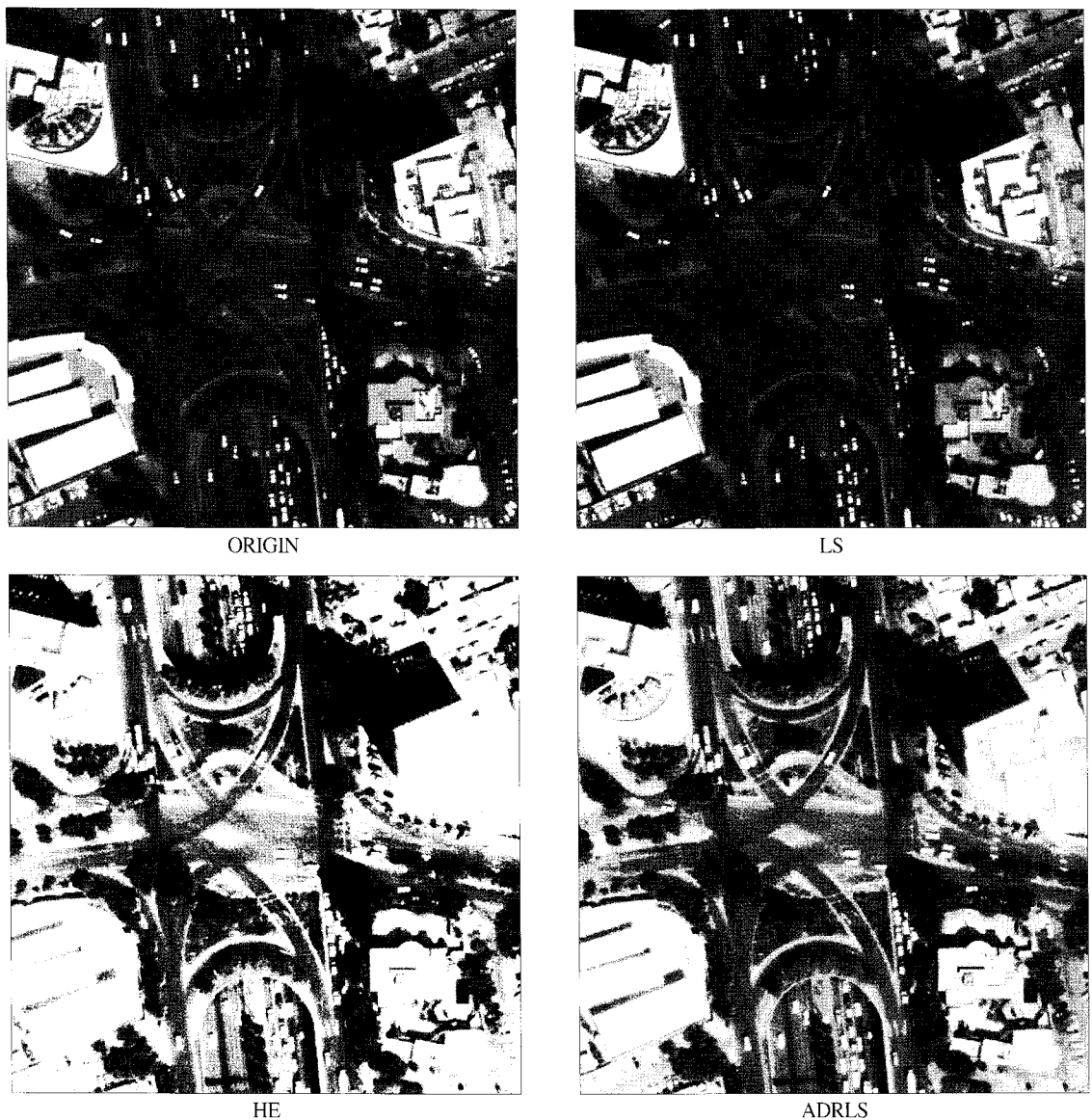


Fig. 9. Enhancement for Worldview-2 image(3, 2, 1 band composited) based on ORIGIN, LS, HE, and ADRLS.

Table 1. Mean and standard deviation of each result image (Sign board, QuickBird)

	Sign Board				QuickBird			
	Origin	LS	HE	ADRLS	Origin	LS	HE	ADRLS
Mean	26.8	40.1	123.8	85.8	25.2	107.3	112.1	112.8
Standard deviation	40.2	60.7	76.1	67.2	13.2	56.1	81.7	40.8

Table 2. Mean and standard deviation of each result image (Worldview-2)

	Worldview-2(Red)				Worldview-2(Green)				Worldview-2(Blue)			
	Origin	LS	HE	ADRLS	Origin	LS	HE	ADRLS	Origin	LS	HE	ADRLS
Mean	62.9	66.3	121.4	94.4	68.1	57.5	123.9	103.8	67.5	57.9	120.7	90.6
Standard deviation	55.8	61.8	76.5	61.1	49.9	58.1	75.3	65.7	47.7	56.4	76.3	58.1

향상이 있었으나 높은 밝기 값의 화소들이 왜곡되는 현상을 보였다. 제안된 ADRLS 기법은 효율적인 밝기 변환을 통해 시각적인 향상과 함께 높은 밝기값을 갖는 화소의 왜곡을 줄일 수 있음을 확인하였다.

변환 결과들에 대한 화소값 분포 변화의 추이를 확인하기 위해 컬러 영상인 Worldview-2 영상을 제외한 각 결과 영상의 평균과 표준편차를 구하였다(Table 1, Table 2). HE 기법과 비교해 볼 때, ADRLS 기법은 입력 영상을 기준으로 평균의 이동과 표준편차의 크기가 상대적으로 작았다. 이는 과도한 명암 대비를 보이는 HE 기법에 비해 제안 기법이 과도한 밝기 변화를 효율적으로 억제함으로써 높은 품질의 영상을 제공했음을 의미한다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 기존에 제안된 히스토그램 분할법과 adaptive scale factor를 적용하여 새롭게 ADRLS 영상 강조 기법을 제안하였다. 제안 기법은 편향된 히스토그램을 갖는 일반 영상 및 위성영상에 적용 후, 기존의 영상 강조 기법들과 비교·평가 되었다. 그 결과, 제안된 ADRLS 기법은 기존의 기법들에 비해 영상의 과도한 밝기 변화를 억제함으로써 영상 시각적인 특성을 유지하고, 입력 영상이 갖고 있는 히스토그램의 특성을 보존하는 효과를 보였다.

향후, 제안 기법이 분류, 특징점 추출과 같은 2차적인 알고리즘의 적용에 있어서 결과 향상에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 사사

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20090085392).

#### 참고문헌

- Gonzalez, R. and Woods, R., 2002. Digital Image Processing, 2nd ed. Prentice Hall, Jan.
- Atlas, I., Louis, J., and Belward, J., 1995. A variational approach to the radiometric enhancement of digital imagery, *IEEE Trans. Image Processing*, 4: 845-849.
- Ji, T. L., Sundareshan, M. K., and Roehrig, H., 1994. Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties, *IEEE Trans. Med. Imag.*, 13: 573-586.
- Wadud, M. A. A. et al., 2007. A Dynamic Histogram Equalization for Image Contrast Enhancement, *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 53( 2): 593-600.
- Park, G. H., Cho, H. H., and Choi, M. R, 2008. A contrast enhancement method using dynamic range separate histogram equalization, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 54(4): 1981-1987.