

논문 2005-42SP-1-7

실시간 처리를 위한 적응형 콘트라스트 향상 기법

(An Adaptive Contrast Enhancement Method for Real-Time Processing)

조 화 현*, 최 명 렬*

(Hwa-Hyun Cho and Myung-Ryul Choi)

요 약

본 논문에서는 실시간 처리를 위한 적응형 콘트라스트 조정 기법을 제안하였다. 제안된 방식은 과도한 영상의 밝기 변화를 제어하기 위하여 확률밀도함수(PDF: Probability Density Function)를 이용하였다. 또한 제안된 알고리즘은 처리된 영상에 영향을 주지 않으면서 최대 콘트라스트를 얻을 수 있었다. 하드웨어의 복잡성을 감소하기 위하여 누적분포함수(CDF: Cumulative Density Function)의 샘플 값을 이용한 선형화 방법을 이용하였다. 제안된 방식에 의한 처리 결과와 원 영상의 화질 평가를 위하여 시각적 검증과 히스토그램 편차를 도입 하였다.

Abstract

In this paper, we propose an adaptive contrast control method for the flat real-time processing. The proposed method has employed probability density function(PDF) in order to control a sudden change in image-brightness. In addition, the proposed algorithm obtains the maximum contrast without affecting the processed image. In order to reduce hardware complexity, we have utilized approximated CDF based on sampling values. Visual test and standard deviation of their histogram have been introduced to evaluate the resultant output images of the proposed method and the original ones.

Keywords: 평판 디스플레이(Flat Panel Display), 영상 향상(Image Enhancement),

히스토그램 평활화(Histogram Equalization), 콘트라스트 향상(Contrast Enhancement)

I. 서 론

히스토그램 평활화(Equalization)는 간단하고 효과적인 기능 때문에 다양한 응용 분야에서 콘트라스트 향상을 위하여 다양한 분야에 사용된다. 그 적용 분야로 의료 분야와 레이더 신호 처리분야 등을 포함하는 분야에서 사용되고 있다. 일반적으로 히스토그램 평활하는 히스토그램을 평탄하게 하는 것이 아니라 명암값 분포를 재분배 하여 결과적으로 이미지의 콘트라스트를 향상시키는 방법이다. 그러나 히스토그램 평활화는 히스토그램 평활화 이후에 영상의 밝기가 과도하게 변화된다는 단점을 가지고 있다. 영상의 히스토그램을 기반으로 한 이미지 향상 기법은 하드웨어적 부담 및 과도한 처리시간을 요구한다^[1].

본 논문에서는 새로운 콘트라스트 향상 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 확률밀도함수(PDF:Probability Density Function)를 이용하여 영상의 분포도를 판단하고, 과도한 영상의 밝기 변화 제어가 가능하다. 하드웨어 연산량을 감소시키기 위하여 본 논문에서는 선형추정방법을 적용하여 입력 영상의 누적분포함수(CDF: Cumulative Density Function)를 계산하였다. 또한 디스플레이 장치에 고해상도를 표시하기 위해서는 많은 정보를 처리해야 하므로 실시간 처리가 필요하다. 제안된 방식은 실시간 처리를 가능하게 하기위하여 곱셈 계산 및 나눗셈 계산을 배럴 쉬프트를 이용함으로써 실시간 처리를 가능하게 하였다.

본 논문의 II장에서는 일반적인 입력 영상에 대한 히스토그램 평활화를 설명하고, III장에서는 제안한 방식에 대하여 설명하였다. VI장에서는 입력영상의 향상에 대한 실험 결과에 따른 특징에 대해 논하며, 마지막으로 결론 부분 및 향후 진행 방향은 V장에서 논하였다

* 정회원, 한양대학교

(ASIC Lab. Dept. of EECI Hanyang University)

접수일자: 2004년6월4일, 수정완료일: 2004년7월16일

II. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)

1. 공간 영역 처리의 기본

영상처리에서 공간 영역이라는 의미는 영상을 구성하고 있는 화소들의 집합을 의미하며, 이러한 화소들의 조작을 통하여 다양한 영상 처리가 가능하게 된다. 일반적인 영상처리 함수는 다음과 같다.

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (1)$$

여기서, $f(x, y)$ 는 입력 영상이고, $g(x, y)$ 는 처리된 연산을 의미한다. $T[]$ 는 입력영상에 적용될 함수를 의미하며, 함수 T 에 따라서 영상의 대비 개선 등 다양한 영상 처리가 가능하게 된다.

2. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization) 방법

히스토그램은 영상의 가장 어두운 영역부터 가장 밝은 영역의 범위이다. 넓은 히스토그램 분포를 갖는 영상들은 어두운 영역에서부터 밝은 영역의 범위를 갖게 된다. 따라서 영상의 히스토그램 분포가 증가하면 영상을 더욱 상세하게 볼 수 있는데, 이것은 영상 정보 양은 전혀 증가하지 않는 순수한 시각 작용에 따른 것이다^[2].

인간의 시각 작용은 광도의 콘트라스트에 더욱 민감하며, 이러한 콘트라스트의 분포는 히스토그램을 통하여 알 수 있다. 영상의 히스토그램은 영상의 명암 값을 알 수 있게 해주는 정보를 제공하며, 또한 영상을 구성하는 명암의 콘트라스트 및 명암의 분포에 대한 정보도 제공한다^[3,4]. 어두운 영상의 히스토그램은 픽셀 값 분포가 왼쪽으로 편중 되게 되며, 밝은 영상은 픽셀 값 분포가 오른쪽으로 편중된 히스토그램을 갖게 된다. 만일, 영상이 이상적이라면 영상의 히스토그램은 균일하게 분포를 갖는다. 명암도 $[0, L-1]$ 범위 내의 명암도를 갖는 영상의 히스토그램은 식(2)과 같은 이산 함수로써 정의된다.

$$h(X_j) = n_j \quad (2)$$

여기서, X_j 는 j 번째 명암도 이고, n_j 는 명암도 X_j 가 가지는 화소들의 수를 나타낸다. 실제적으로 식(2)를 화소의 전체 값으로 나눈 정규화된 히스토그램을 사용하며, 식(3)로 정의된다^[4,5].

$$p(X_j) = n_j/n \quad (3)$$

$$j=0, 1, \dots, L-1, \quad \sum_{j=0}^{L-1} p(X_j) = 1$$

일반적으로 $p(X_j)$ 는 명암도 X_j 가 발생할 수 있는 사건에 대한 확률을 의미하며, 다양한 공간영역 처리에 대한 기본이 된다. 화질 향상 장치는 입력 영상의 히스토그램을 이용하여 전달함수(Transfer Function)를 개발함으로써 세밀한 명암도 및 높은 동작 영역 갖도록 처리 할 수 있다.

III. 제안된 히스토그램 평활화(Histogram Equalization) 방법

1. 선형 추정 방식을 이용한 누적분포함수 계산

디지털 영상처리에서 영상 $X=\{X(i, j)\}$ 는 L 개의 디지털 명암도로 구성되어진 이미지로 나타낼 수 있다. 여기서 $X(i, j)$ 는 공간 영역상의 (i, j) 의 명암도를 나타내고 $X(i, j) \in \{X_0, X_1, \dots, X_{L-1}\}$ 을 나타낸다. 주어진 영상 X 에 대하여, 확률 밀도함수 $p(X_k)$ 는 식(3)를 이용하여 정의 하며, 입력 영상의 히스토그램과 관련이 있다. 입력 영상의 히스토그램은 화소 수를 나타내며, 화소 수는 구체적인 명암도 X_k 를 갖는다. 식(3)은 확률 밀도 함수를 이용하여 식(4)로 정의 된다.

$$\begin{aligned} s &= T(X_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \\ &= \sum_{j=0}^k p(X_j) = CDF(X_j) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $k=0, 1, 2, \dots, L-1$ 이고, $CDF(X_j)=1$ 로써 정의된다. 히스토그램 평활화는 입력 영상을 전체 영역(X_0, X_{L-1})로 매핑(Mapping)하는 역할을 수행한다. 매핑 수행시 사용되는 전달 함수는 CDF(누적 분포 함수)를 사용하게 된다. 식(5)는 누적 분포 함수를 이용하여 전달함수 $f(x)$ 를 정의 하였다. 히스토그램 평활화의 출력 $Y=Y(i, j)$ 는 식(6)과 같이 표시된다^[1].

$$f(x) = x^* CDF(X_j) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} Y &= f(x) \\ &= f(X(i, j)) \quad \forall X(i, j) \end{aligned} \quad (6)$$

식(6)은 시스템 구현시 하드웨어의 복잡성으로 인하여 실시간 처리를 요하는 디지털 어플리케이션에 적용이 불가능 하다. 그 이유는 누적분포함수 연산량에 기

인한다. 따라서 본 논문에서는 샘플링 기법을 사용하여 연산량을 최소화 하였다. 선형 추정 누적분포 함수를 구하기 위하여 사용된 샘플 위치는 식 (7)과 같다.

$$CDF_{sample}(X_k) = \sum_{j=0}^k X_j \quad (7)$$

여기서, $k = \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3}{4}L, L$ 이고, $j = 0, 1, \dots, L$ 이다. $CDF_{sample}(X_k)$ 는 k 까지의 누적된 값으로써 나타나게 되고, 이를 기준으로 하여 선형 추정 누적분포 함수 계산이 가능하게 된다. <그림 1>은 식(7)에 대한 임의의 k 에서의 누적분포함수 값을 도시하였다. $L=255$ 인 경우, 샘플 위치에서의 누적분포함수 값은 다음과 같은 값을 가지게 되고 하드웨어 구조는 <그림 2>에 나타내었다.

$$0 \leq CDF_{sample}(X_{\frac{L}{4}}) \leq CDF_{sample}(X_{\frac{L}{2}}) \leq CDF_{sample}(X_{\frac{3L}{4}}) \leq 255$$

샘플 위치에서의 $CDF_{sample}(X_k)$ 의 값은 선형 추정

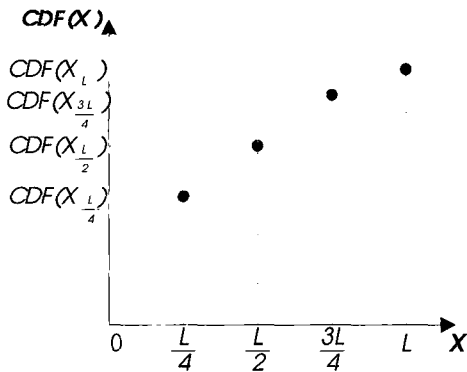


그림 1. 샘플 위치에 대한 누적분포함수의 값
Fig. 1. CDF Value of Sampling Point.

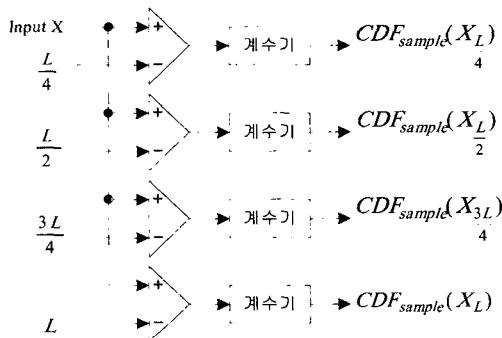


그림 2. 샘플 위치에 대한 하드웨어 구조
Fig. 2. Hardware Structure of Sampling Point.

방법에 이용되며, 선형 추정 방법을 이용함으로써 적은 연산량을 가지고 구현이 가능하게 된다. Y 는 입력영상 X 에 대한 향상된 콘트라스트를 나타내고, 식(8)은 제안된 방식의 히스토그램 평활화를 위한 선형 추정 방식을 나타낸다.

$$Y(n) = (\alpha X_k - \alpha x(n) - 1) \times NCDF(X_k) + (\alpha x(n) - \alpha X_k) \times NCDF(X_{k+1}) \quad (8)$$

여기서, $n = 0, 1, \dots, L-1$ 이고, $k = 0, \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, L$ 이다. $\alpha = \frac{1}{X_{k+1} - X_k}$ 로 정의되고, X_k 는 k 번째 샘플위치의 값을 의미하고, $x(n)$ 은 n 번째 입력 영상의 값을 나타낸다. 마지막으로 $NCDF(X_k)$ 는 정규화된 누적분포함수값을 의미한다.

2. 적응형 콘트라스트 향상 조정 방법

가. 영상의 특성 판별

기존의 히스토그램 평활화 방법은 과도한 영상의 밝기가 변환된다는 단점을 가지고 있다. 어두운 영상의 히스토그램 경우, 히스토그램 평활화된 영상은 입력영상보다 더욱더 밝아진다. 그러나 밝은 영상이 히스토그램 평활화되면, 출력 영상은 더욱 어두워진다. 이것은 히스토그램 평활화 이후에 입력 영상의 전체적인 콘트라스트가 감소됨을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 과도한 영상의 밝기 변화를 제어하기 위하여 확률밀도함수를 이용하여 입력 영상의 분포를 판단하여 제어하는 방법을 제안하였다.

확률밀도함수는 선형추정방법을 이용하여 계산된 누적분포함수로부터 단순한 연산을 통하여 구현 할 수 있다. 이것은 영상에서 중요한 통계의 한 부분이다. 누적분포함수는 일련의 계단함수($u(\cdot)$)로 구성되어 지고, 계단함수의 미분은 충격과 함수($\delta(\cdot)$)라고 가정하면 확장이 가능하다. 식(9)은 이용하여 관련된 확률 P_i 와 이산 랜덤 변수 x 에 대한 누적 분포함수는 다음과 같이 나타낸다^[6].

$$CDF(x) = \sum_i^L P_i u(x - x_i) \quad (9)$$

$$PDF(x) = \frac{d}{dx} \sum_i^L P_i u(x - x_i) \quad \text{또는}$$

$$PDF(x) = \sum_i^L P_i \delta(x - x_i)$$

식(9)는 누적분포함수와 확률밀도함수 성질을 이용하여 제안한 방식을 적용하기 위하여 변경하면 식(10)은

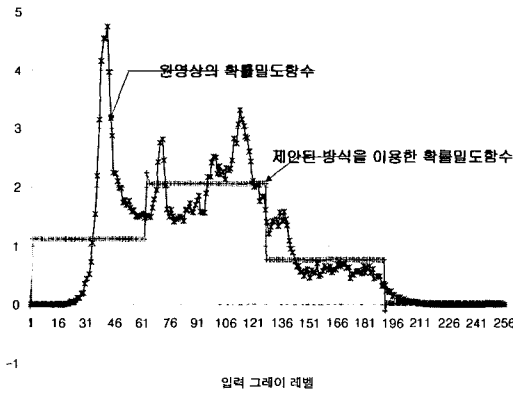


그림 3. 정확한 확률밀도함수와 추정 확률밀도 함수와의 비교
 Fig. 3. The comparison of accurate and approximated PDF curve.

로 나타낼수 있다.

$$PDF(X_{(k+1,k)}) = NCDF(X_{k+1}) - NCDF(X_k) \quad (10)$$

여기서, $PDF(X_{(k+1,k)})$ 는 두개의 입력 샘플에서의 확률밀도함수의 값을 나타내고, $k=0, \frac{L}{4}, \frac{1}{2}L, \frac{3}{4}L, L$ 은 누적분포함수에서 사용된 샘플위치이다. <그림 3>은 전체적인 확률밀도함수(PDF)와 식(10)을 이용한 추정 확률밀도함수를 보여 준다. 추정 확률밀도 함수와 원영상의 확률밀도 함수가 상이하게 다른 점을 발견할 것이다. 본 논문에서 제안한 방식은 정확한 확률밀도 함수를 요구하지 않는다. 샘플 구간에서의 확률밀도 함수의 크기를 이용하여 입력영상의 분포를 판단하기 때문이다. 식(11)은 영상의 밀도를 계산한 후 영상의 분포를 판별하는 알고리즘을 나타내고 있다.

$$PDF_{under} = Mag[PDF(x_{\frac{L}{4}, 0})] + Mag[PDF(x_{\frac{L}{4}, \frac{L}{2}})] \quad (11)$$

$$PDF_{upper} = Mag[PDF(x_{\frac{3L}{4}, \frac{L}{2}})] + Mag[PDF(x_{L, \frac{3L}{4}})]$$

if ($PDF_{under} > PDF_{upper}$) then

Dark Image

else

Bright Image

end if

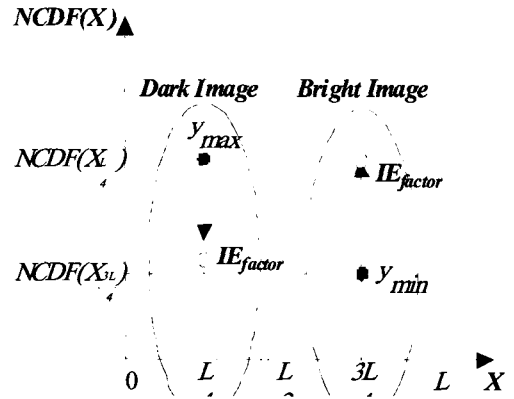


그림 4. 영상 향상인자의 특성 그래프
 Fig. 4. Characteristics curve of IEfactor.

나. 영상 향상 인자(Image Enhancement Factor)

<그림 4>는 영상 향상 인자를 결정하기 위한 방법을 나타낸다. 만약 식(11)에서 입력 영상이 어두운 영상일 경우, 입력 영상은 밝은 영상으로 변환되게 된다. 그러므로 출력 영상이 어두운 영역 부분의 값을 가지도록 조정되어야 한다. 식(12)는 영상 향상 인자에 적용될 알고리즘을 나타낸다.

if (Dark Image) then

$$y_{max} = NCDF_{sample}(X_k)$$

$$y_{min} = k$$

else

$$y_{max} = k$$

$$y_{min} = NCDF_{sample}(X_k)$$

end if

$$IE_{factor} = \alpha(y_{max} - y_{min}) + y_{min} \quad (12)$$

식(12)는 다음과 같은 범위 내에 존재하게 된다.

$$y_{min} \leq IE_{factor} \leq y_{max}$$

여기서, $0 \leq \alpha \leq 1$ 이고, 어두운 영상이 경우, 샘플 포인트는 $X_k = 0, IE_{factor}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, L$ 이고, 밝은 영상인 경우, 샘플 포인트는 $X_k = 0, \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, IE_{factor}, L$ 을 의미한다. 식(8)과 식(12)를 이용하여 적응형 콘트라스트 조정 기법은 식(13)과 같다.

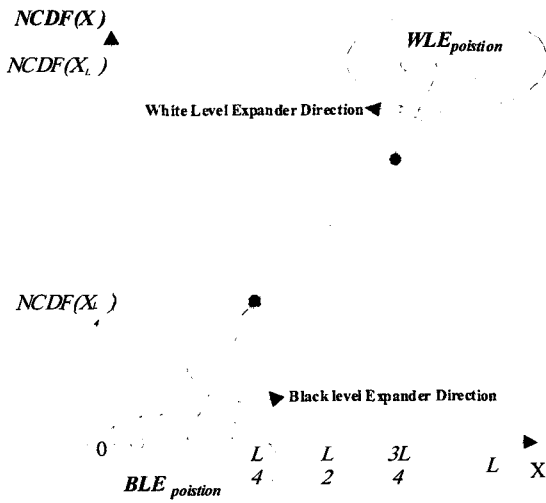


그림 5. BLE와 WLE의 특성 커브
Fig. 5. Characteristics curve of BEL and WLE.

$$Y(n) = (\alpha X_k - \alpha x(n) - 1) \times CE(X_k) + (\alpha x(n) - \alpha X_k) \times CE(X_{k+1}) \quad (13)$$

여기서, $CE_{factor} = NCDF(\cdot)$, 일반적인 경우
 IE_{factor} , 적응형구간인 경우

다. 어두운 영역 증가 또는 밝은 영역 증가(BLE or WLE) 본 논문에서는 영상 향상 인자를 조정하더라도 선형 추정에 대한 예러가 존재한다. 본 논문에서는 발생한 예러를 최소화하고 콘트라스트 향상을 위한 BLE(Black-Level-Expander)또는 WLE(White-Level-Expander) 방법을 제안하였다. <그림 5>는 BLE 및 WLE 영역 확장을 위한 방법을 도시하였고, 식(14)는 알고리즘을 나타낸다.

BLE와 WLE는 각각의 위치는 다음의 방법을 이용하여 결정 되고, 적용된 알고리즘의 출력 식 $Y(n)$ 은 식 (14)에 나타내었다.

If(Dark image) then

$$BLE_{position} = \beta(X_{k+1} - X_k) + X_k$$

else

$$WLE_{position} = \beta(X_{k+1} - X_k) + X_k$$

end if

$$Y(n) = (\alpha X_k - \alpha x(n) - 1) \times CE(X_k) + (\alpha x(n) - \alpha X_k) \times CE(X_{k+1}) \quad (14)$$

여기서, $0 \leq \beta \leq 1$ 이고, 어두운 영상이 경우, 샘플

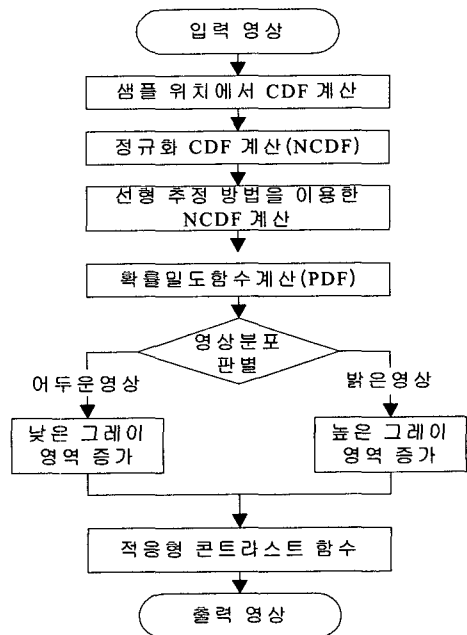


그림 6. 제안한 방식의 처리 절차
Fig. 6. The Processing Procedure of proposed Method.

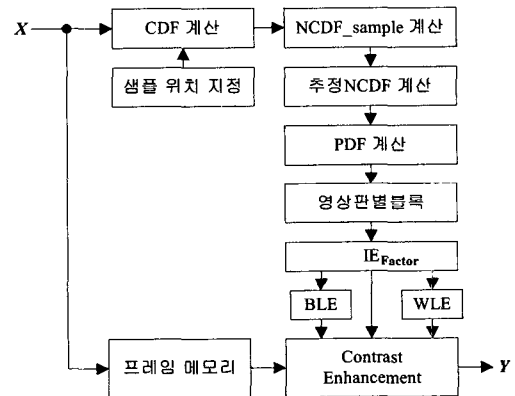


그림 7. 제안한 방식의 블록 다이어그램
Fig. 7. Block diagram of the proposed Method.

포인트는 $X_k = \{BLE_{position}, \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, L\}$ 이고, 밝은 영상 인 경우, 샘플 포인트는 $X_k = \{0, \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, WLE_{position}\}$ 을 의미한다.

<그림 6>는 제안한 방식에 대한 처리 절차를 나타내었다. 일반적으로 히스토그램에 대한 누적 분포함수를 구하기 위하여 한 프레임의 계산이 필요하다. 그러므로 처리된 결과를 출력하기 위한 프레임 메모리가 <그림 7>와 같이 요구되게 된다.

IV. 시뮬레이션 결과

<그림 8>은 제안한 알고리즘의 성능 평가를 증명하

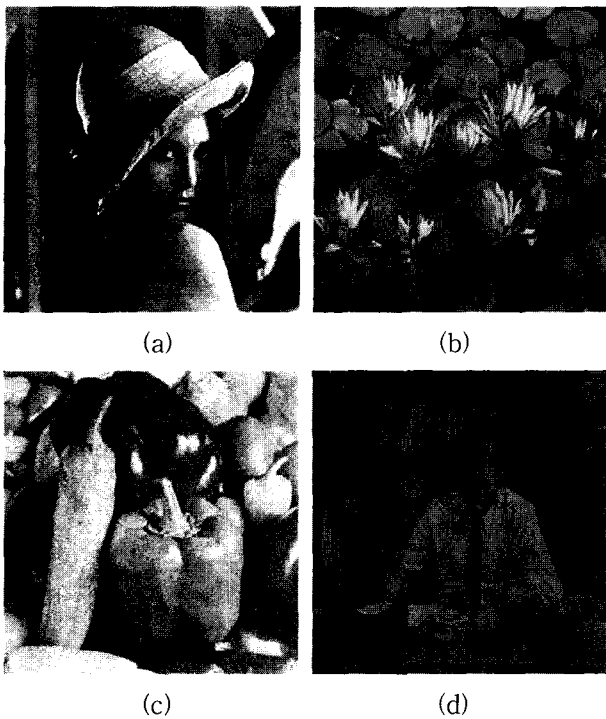


그림 8. 영상 향상 비교를 위한 4개의 테스트 영상
Fig. 8. Four test images for an image enhancement comparisons.

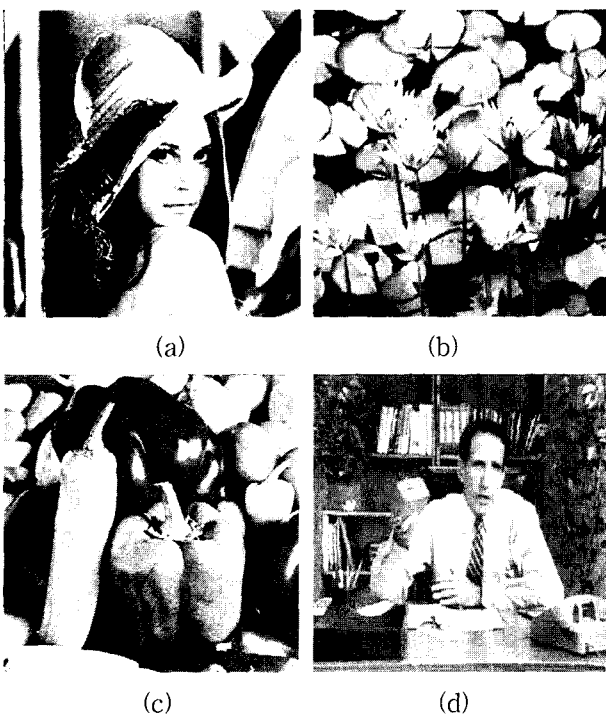


그림 9. 제안한 알고리즘에 대한 처리 결과.
Fig. 9. Simulation Results of the proposed method.

기 위한 4개의 입력 영상을 나타내었고, <그림 9>는 제안한 방법을 적용한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 처리된 영상의 확률 분포(평균값, 표준 편차, 중간 값) 및 히스토그램 분포를 이용하여 비

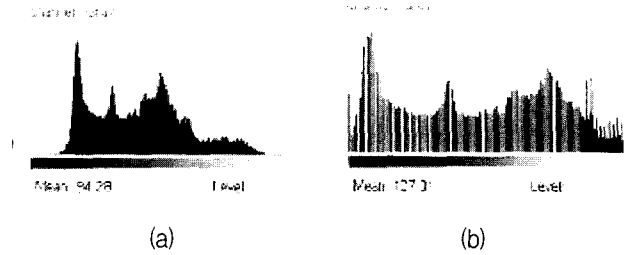


그림 10. 기존 방식과 제안한 방식에 의한 시뮬레이션 결과; (a) 원 영상과 히스토그램, (b) 적응형 기법을 적용하여 처리한 결과

Fig. 10. Simulation Results of the conventional method and the proposed method; (a) original, (b) proposed image enhancement methods(addition to BLE).

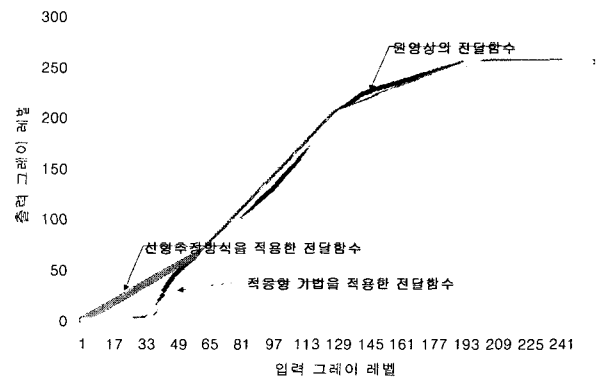


그림 11. 제안한 방식의 선형 추정 누적분포함수의 결과.
Fig. 11. The CDF curve approximation results.

표 2. 원영상과 제안한 방식의 평균, 표준 편차 및 중간 값 비교

Table 2. The comparison of the original image and the proposed method(mean, standard deviation, and median).

		평균	표준 편차	중간 값
레나	원영상	94.2	41.2	95
	처리후	127.3	74.6	137
수련	원영상	81.97	20.96	84
	처리후	126.5	60.8	136
페페	원영상	119	28.6	120
	처리후	123	60.8	136
세일즈맨	원영상	74	34.5	63
	처리후	108	46.8	96

교하였다. 그 이유는 양질의 화상이란 히스토그램의 분포가 균일하다는 것을 의미하며, 히스토그램의 분포는 확률 분포를 통하여 그 정도가 결정되기 때문이다. 제안된 적응형 기법을 적용하여 어두운 영역을 보상함으로써 일반적인 히스토그램 평활화보다 제안한 방식을

적용한 결과 더욱더 자연스런 결과가 관측되었다. <그림 10>는 원 영상과 제안한 방법을 적용하여 처리된 히스토그램 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과 주어진 영상의 과도한 밝기 정보를 제어하여 콘트라스트의 자연스러운 향상이라는 점에서 기존의 방식보다 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다. <그림 11>은 제안된 방식과 실제적인 누적분포함수의 결과를 나타내었다. <표 2>는 원 영상과 처리된 영상의 평균 및 표준편차 등의 비교를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 영상의 화질 향상을 위한 새로운 콘트라스트 향상 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 일반적인 히스토그램 평활화를 이용한 새로운 콘트라스트 확장 방법이다. 제안된 방식은 영상의 과도한 밝기 변화를 제어하기 위하여 확률 밀도 함수를 이용하였다.

제안된 방식의 성능평가를 위하여 히스토그램 분포를 이용하였으며, 그 결과 콘트라스트가 최대가 됨을 확인하였다. 실시간 처리를 위하여 선형 추정방법을 이용하여 누적분포 함수를 구하였으며, 영상 정보를 이용하므로 영역별 화질 향상이 가능하다. LCD 모니터, LCD TV, PDP TV, Camcoder용 등 실시 처리를 요구하는 평판디스플레이 산업분야에 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] Y. T. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization", *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol.43, no. 1, pp.1-8, Feb. 1997.
- [2] Randy Crane, *Simplified Approach to Image Processing*, Prentice-Hall, pp. 55-83, 1994.
- [3] Bernd Jähne, *Digital Video Processing*, Springer-Verlag, pp. 77-94, 1993.
- [4] Y. Koo, et al., "An Image Resolution Enhancing Technique Using Adaptive Sub-Pixel Interpolation for Digital Still Camera system", *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol. 45, no. 1, pp. 118-122, 1999.
- [5] Rafael C. Gonzalez, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, pp.88-102, , 2002.
- [6] 김남, *통신시스템 공학*, 대영사, pp.459-486, 1993.

저 자 소 개



조 화 현(정회원)
 1999년 한양대학교 제어계측 공학과 졸업(학사)
 2001년 한양대학교 전자·전기·제어공학(공학사)
 2001년 ~ 현재 한양대학교 전자·전기·제어공학과 박사과정
 <주관심분야: ASIC, 저전력 반도체 회로 설계, 영상 처리>



최 명 렬(정회원)
 1983년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1985년 미시간주립대학교 컴퓨터공학 졸업(공학석사)
 1991년 미시간 주립대학교 컴퓨터공학 졸업(공학박사)
 1991년 3월~10월 생산기술 연구원 전자정보 실용화센터 조교수
 1991년 11월~1992년 8월 생산기술연구원 산하 전자부품종합기술연구소 선임연구원
 1992년 9월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 교수
 <주관심분야: ASICs, 신경회로망 칩 설계, 스마트카드 응용, μ P/DSP, Wireless ATM >

