

# 선형 추정 CDF에서 밝기 보존을 이용한 이미지 콘트라스트 향상 기법

조 화 현\* · 최 명 렬\*\*

## 요 약

본 논문에서는 평판디스플레이 상에서 밝기 보존을 이용한 콘트라스트 향상 기법을 제안하였다. 제안한 방식은 실시간 처리를 위하여 선형 추정방법을 적용하여 누적분포함수를 계산함으로써 하드웨어 복잡성을 감소시켰다. 본 논문에서는 제안한 알고리즘을 효과적으로 처리하기 위하여 누적분포함수의 샘플 값과 배럴쉬프트(Barrel Shift)를 사용하였다. 제안된 방식에 의한 처리 결과와 원 영상의 화질 평가를 위하여 시각적 검증과 히스토그램 편차를 도입하였다.

## An Image Contrast Enhancement Method Using Brightness Preserving on the Linear Approximation CDF

Hwa-Hyun Cho\* · Myung-Ryul Choi\*\*

### ABSTRACT

In this paper, we have proposed an image contrast control method using brightness preserving on the FPD(Flat Panel Display). The proposed method can be easily applied to the FPD required real-time processing, since hardware complexity is greatly reduced using linear approximation method of CDF(Cumulative Density Function). For effective processing of the proposed algorithm, we have utilized the sample value of CDF and Barrel Shift. 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.

키워드 : 영상 향상(Image Enhancement), 히스토그램 평활화(Histogram Equalization), 콘트라스트 향상(Contrast Enhancement)

### 1. 서 론

히스토그램 평활화(Equalization)는 간단하고 효과적인 기능 때문에 다양한 응용 분야에서 콘트라스트 향상을 위하여 사용된다. 그 활용 분야는 의료 분야와 레이더 신호 처리 분야 등을 포함하는 분야에 사용되고 있다. 일반적으로 히스토그램 평활화는 히스토그램을 평탄하게 하는 것이 아니라 명암값 분포를 재분배 하여 결과적으로 영상의 콘트라스트를 향상시키는 방법이다. 그러나 히스토그램 평활화 방법은 처리된 이후에 영상의 밝기가 과도하게 변화된다는 단점을 가지고 있다. 영상의 히스토그램을 기반으로 한 영상 향상 기법은 하드웨어적 부담 및 과도한 처리 시간을 요구한다.

본 논문에서는 새로운 콘트라스트 향상 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 히스토그램의 누적분포함수(CDF : Cumulative Density Function) 계산시 선형추정방법을 적용함으로써 하드

웨어 복잡성을 감소시켰다. 또한 디스플레이 장치는 고해상도를 표시하기 위해서 많은 정보를 처리해야 하므로 실시간 처리를 필요로 한다. 제안한 방식은 실시간 처리를 가능하게 하기 위하여 곱셈 및 누산 연산시 배럴 쉬프트를 이용함으로써 실시간 처리를 가능하게 하였고, 처리된 영상의 성능 평가를 위하여 히스토그램 분포, 평균, 표준 편차, 중간 값 비교를 통하여 성능 평가를 수행하였다.

본 논문의 2장에서는 일반적인 입력 영상에 대한 히스토그램 평활화를 설명하고, 3장에서는 제안한 방식에 대하여 설명하였다. 4장에서는 다양한 입력 영상의 향상에 대한 실험 결과에 따른 특징에 대해 논하며, 마지막으로 결론 부분 및 향후 진행 방향은 5장에서 논하였다.

### 2. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)

#### 2.1 공간 영역 처리의 기본

영상처리에서 공간 영역의 의미는 영상을 구성하고 있는 화소

\* 정 회 원 : 한양대학교 대학원 전자·전기·제어계측공학과  
\*\* 정 회 원 : 한양대학교 전자·전기·제어계측공학과 교수  
논문접수 : 2004년 4월 16일, 심사완료 : 2004년 9월 30일

들의 집합을 의미하며, 이러한 화소들을 변경하여 다양한 영상 처리가 가능하게 된다. 일반적인 영상 처리 함수는 다음과 같다.

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

여기서,  $f(x, y)$ 는 입력 영상이고,  $g(x, y)$ 는 처리된 영상을 의미한다.  $T[ ]$ 는 입력 영상에 적용될 함수를 의미하며, 함수  $T$ 의 구성 형태에 의해서 영상의 콘트라스트 개선 등 다양한 영상 처리가 가능하게 된다.

2.2 히스토그램 처리

히스토그램은 영상의 가장 어두운 영역부터 가장 밝은 영역의 범위이다. 넓은 히스토그램 분포를 갖는 영상들은 어두운 영역부터 밝은 영역의 범위를 갖게 된다. 따라서 영상의 히스토그램 분포가 증가하면 영상을 더욱 상세하게 볼 수 있는데, 이것은 영상의 정보 양은 전혀 증가하지 않은 순수한 시각 작용에 따른 것이다[1].

인간의 시각 작용은 광도의 콘트라스트에 더욱 민감하며, 이러한 콘트라스트 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[2, 3]. 어두운 영상의 히스토그램은 픽셀 값 분포가 왼쪽으로 편중되게 되며, 밝은 영상은 픽셀 값 분포가 오른쪽으로 편중된 히스토그램을 갖게 된다. 만일, 영상이 이상적이라면 영상의 히스토그램은 균일한 분포를 갖게 된다. 명암도[0, L-1] 범위 내의 명암도를 갖는 영상의 히스토그램은 식 (2)와 같은 이산 함수로 정의된다.

$$h(X_k) = n_k \quad (2)$$

여기서,  $X_k$ 는  $k$ 번째 명암도이고,  $n_k$ 는 명암도  $X_k$ 를 갖는 화소들의 수를 나타낸다. 입력이 8비트인 경우,  $L = 256$  값을 갖는다. 히스토그램 평활화는 식 (2)를 화소의 전체 값으로 나눈 정규화된 히스토그램을 사용하며 식 (3)으로 정의된다[3, 4].

$$p(X_k) = n_k/n \quad (3)$$

$$k=0, 1, \dots, L-1, \sum_0^{L-1} p(X_k) = 1$$

일반적으로  $p(X_k)$ 는 명암도  $X_k$ 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 넓은 동작 영역 갖도록 처리할 수 있다.

2.3 히스토그램 평활화(Histogram Equalization) 방법

변수  $X$ 는 전달함수를 사용하여 영상의 명암도를 향상시킬 수 있다고 가정하면, 식 (4)로 정의 된다.

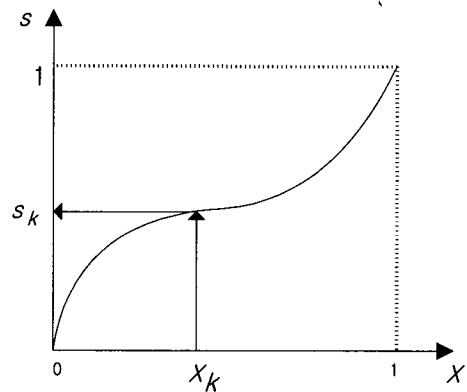
$$S = T(X) \quad (4)$$

여기서,  $X$ 는 구간[0, 1]로 정규화 되어있고,  $X=0$ 은 검은색을 나타내고  $X=1$ 은 흰색을 나타낸다. 또한 식 (4)는 다음과 같은 두 가지 조건을 만족해야 한다.

①  $T(X)$ 는 구간  $0 \leq X \leq 1$ 에 대하여 하나의 값과 단조증가 함수이고

② 구간  $0 \leq X \leq 1$ 에 대하여  $0 \leq T(X) \leq 1$  값을 갖는다.

조건 ①는 출력 영상이 검은색부터 흰색까지 순서대로 증가함을 의미한다. 또한 조건 ②는 영상의 입력 값들이 출력 값의 허용 범위에 내에 존재하게 됨을 의미한다. (그림 1)은 입출력 변환 함수관계를 나타내었다. 영상의 명암도는 구간 [0, 1]사이의 임의의 값으로 표현된다. 만약 명암도가 임의의 변수들 이라고 가정하면, 원 영상의 명암도와 변환된 영상의 명암도는 확률밀도함수(Probability Density Function)로 특징들을 나타낼 수 있다[5-7].



(그림 1) 명암도 변환 함수

3. 제안한 히스토그램 평활화(Histogram Equalization) 방법

디지털 영상처리에서 영상  $X = \{X(i, j)\}$ 는  $L$ 개의 디지털 명암도로 구성되어진 영상을 나타낸다. 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, 확률밀도함수  $p(X_k)$ 는 식 (3)을 이용하여 정의하며, 입력 영상의 히스토그램과 관련 있다. 입력 영상의 히스토그램은 전체 명암도  $X_k$ 를 갖는 화소 수로 표현된다. 식 (4)는 확률밀도함수를 이용하여 식 (5)로 정의된다.

$$s = T(X_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p(X_j) = CDF(X_j) \quad (5)$$

여기서,  $k=0, 1, 2, \dots, L-1$ 이고,  $CDF(X_k) = 1$ 로 정의된다.

히스토그램 평활화는 입력 영상을 전체 영역( $X_0, X_{L-1}$ )으로 매핑(Mapping)하는 역할을 수행한다. 함수  $f(x)$ 는 입력 영상과 누적분포함수를 이용하여 식 (6)으로 표현된다. 히스토그램 평활화의 출력  $Y = Y(i, j)$ 는 식 (7)과 같이 표현된다[8-11].

$$f(x) = x * CDF(X_j) \tag{6}$$

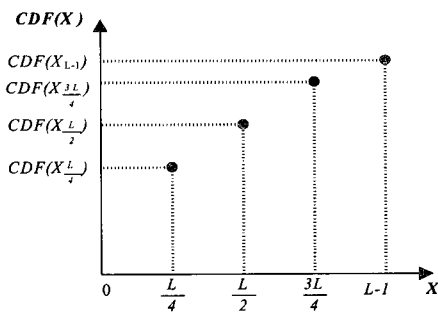
$$Y = f(x) = f(X(i, j)) \forall X(i, j) \tag{7}$$

식 (7)은 시스템 구현시 하드웨어 복잡성으로 인하여 실시간 처리를 필요로 하는 분야에 적용이 불가능하다. 그 이유는 누적분포함수의 연산량에 기인한다. 따라서 본 논문에서는 샘플링 기법을 사용하여 연산량을 감소시켰다. 식 (8)은 선형 추정 누적분포함수 계산시 적용되는 샘플 누적 값을 나타내었다.

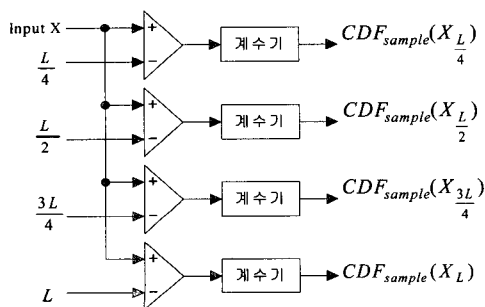
$$CDF_{sample}(X_k) = \sum_{j=0}^k X_j \tag{8}$$

여기서,  $k = \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3}{4}L, L-1$ 이고,  $CDF_{sample}(X_k)$ 는 샘플 위치  $k$ 까지의 누적 값을 나타내고, 이를 기준으로 하여 선형 추정 누적분포함수 계산이 가능하게 된다. (그림 2)는 식 (8)에 대한 임의의  $k$ 에 대한 누적분포함수 값을 도시 하였다.  $L=256$ 인 경우, 샘플 위치에서의 누적분포함수 값은 다음과 같은 값을 가지게 되고, 하드웨어 구조는 (그림 3)에 나타내었다.

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



(그림 2) 샘플 위치에 대한 누적분포함수의 값

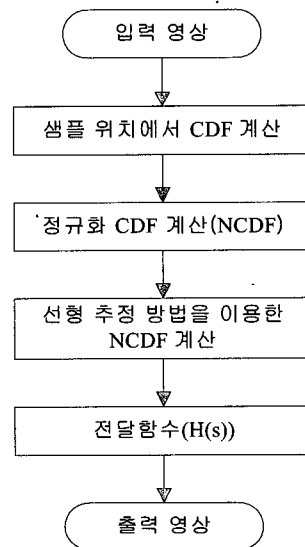


(그림 3) 샘플위치에 대한 하드웨어 구조

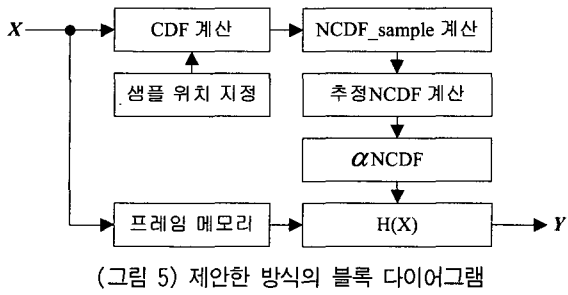
샘플 위치에서의  $CDF_{sample}(X_k)$ 의 값은 선형추정방법을 이용한 누적분포함수 계산에 이용되며, 선형추정방법을 이용함으로써 적은 연산량을 가지고 구현이 가능하게 된다.  $Y$ 는 입력영상  $X$ 에 대하여 향상된 출력 영상을 나타내고, 식 (9)는 제안된 방식을 적용한 출력 결과를 나타낸다.

$$Y(n) = (aX_k - ax(n) - 1) * NCDF(X_k) + (ax(n) - aX_k) * NCDF(X_{k+1}) \tag{9}$$

여기서,  $n = 0, 1, \dots, L-1$ 이고  $k = 0, \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, L-1$ 이다.  $a = \frac{1}{X_{k+1} - X_k}$ 로 정의되고,  $X_k$ 는  $k$ 번째 샘플 위치 값을 의미하고,  $x(n)$ 은  $n$ 번째 입력 영상 값을 나타낸다. 마지막으로  $NCDF(X_k)$ 는 정규화된 누적분포함수( $NCDF$ )값을 의미한다. (그림 4)는 제안한 방식에 대한 처리 절차를 나타내었다. 일반적으로 히스토그램에 대한 누적분포함수를 구하기 위하여 한 프레임의 계산을 필요로 한다. 그러므로 처리된 결과를 출력하기 위하여 프레임 메모리가 (그림 5)와 같이 요구된다. <표 1>은 기존의 평활화 방법과 제안한 방식의 연산량(the required computation)을 비교하여 나타내었다. 기존의 히스토그램 평활화 방법은 입력되는 픽셀을 비교하기 위하여 255개의 비교기를 요구한다. 또한 비교된 픽셀들을 계수(counter)하고 계수된 픽셀들을 저장하기 위해 각각 255개의 계수기와 저장소를 필요로 한다. 누적분포함수 계산 후, 새로운 영역으로 변환하기 위해 각각 곱셈기와 누산기를 1개씩 요구하게 된다. 그러나 제안한 방식을 적용할 경우, 각각의 비교기, 계수기, 저장소는 샘플 포인트에 비례하게 된다. 본 논문에서는 샘플 포인트 값이  $2^n$ 형태이므로 베릴 쉬프트를 이용하여 곱셈 및 누산 연산을 수행할 수 있다.



(그림 4) 제안한 방식의 처리 절차



(그림 5) 제안한 방식의 블록 다이어그램

<표 1> 기존의 방식과 선형 추정 누적분포함수의 연산량 비교 (L=256인 경우)

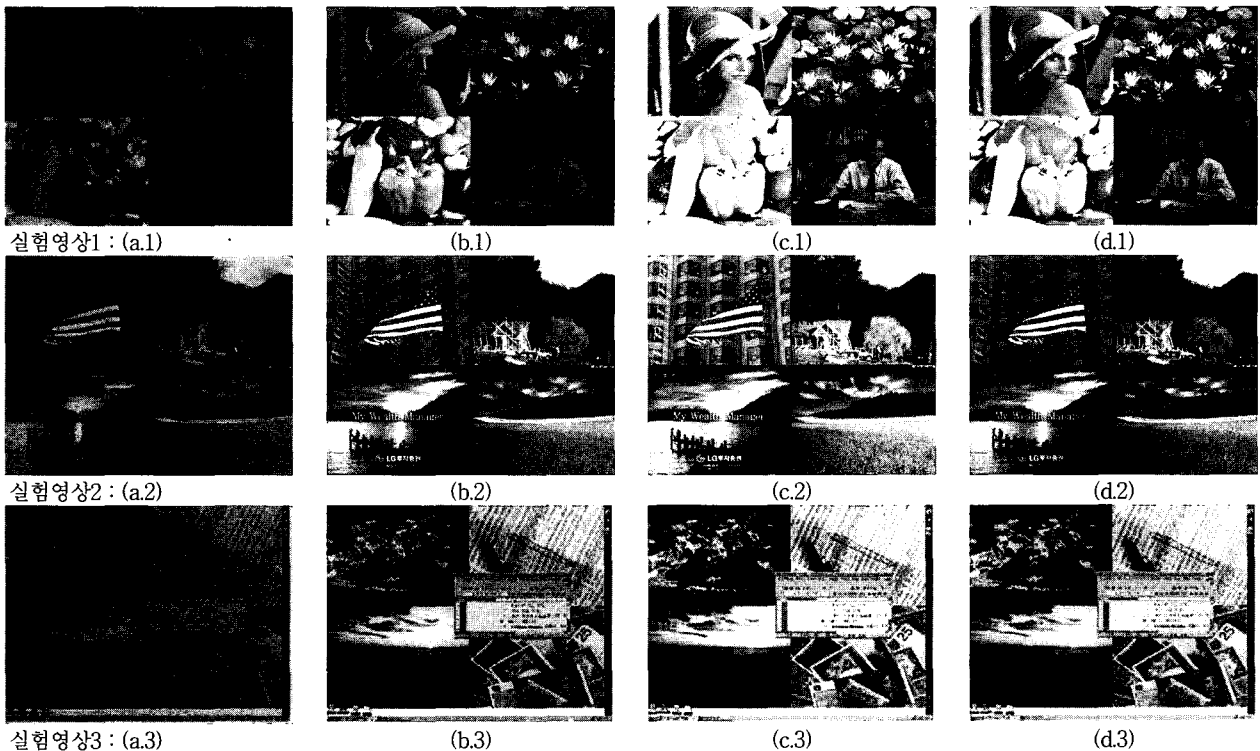
	기존 방식	제안한 방식
비교기	255	4
저장소	256	4
계수기	256	4
곱셈기	1	0
누산기	1	0
배열 쉬프트	0	3
감산기	0	3

#### 4. 시뮬레이션 결과

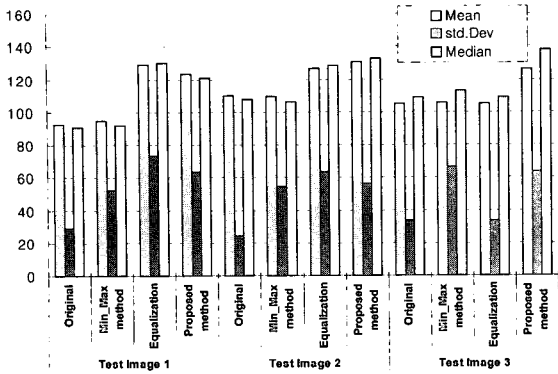
(그림 6)은 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위한 입력 영상과 출력 영상을 나타내었다(i=1: 실험영상 1, i=2: 실험영상 2, i=3: 실험영상 3). 컴퓨터 시뮬레이션 결과 처리된 영상의 확률 분포(평균, 표준 편차, 중간 값) 및 히스토그램 분포를 이

용하여 비교하였다. 양질의 영상이란 히스토그램 분포가 균일하다는 것을 의미하며, 히스토그램 분포는 확률 분포를 통하여 결정되기 때문이다. 각각의 실험 영상(그림 6)(b.i), i=1, 2, 3)은 최소-최대를 이용한 결과를 나타내었고, 실험 결과 전체적인 콘트라스트는 증가 하였으나 히스토그램 평활화 방법과 제안한 방법과 비교 상대적으로 낮은 확률 분포 값과 히스토그램 분포를 관측 할 수 있었다. 실험 영상(그림 6)(c.i), i=1, 2, 3)은 히스토그램 평활화 방법을 적용한 결과를 나타내었다. 전체적인 콘트라스트는 증가 하였으나 제안한 방식과 비교하여 과도한 밝기 변화가 관측되었다. 실험 영상(그림 6)(d.i), i=1, 2, 3)은 원 영상의 밝기 정보를 보존하면서 콘트라스트가 더욱 향상되었음을 관측할 수 있었다. 시뮬레이션 결과 주어진 영상의 밝기 정보가 보존되고, 콘트라스트의 자연스러운 향상이라는 점에서 기존의 방식보다 우수한 성능을 나타냄을 확인하였고 중간계조 ( $64 \leq L \leq 196$ )에서 발생된 오차에 의하여 과도한 밝기 변화 방지가 가능하며, 그 결과를 (그림 9)에 나타내었다.

(그림 7)은 원 영상, 기존의 방식(최소-최대, 히스토그램 평활화)과 제안한 방식에 의한 평균 및 표준 편차, 중간 값을 나타내었고, 원 영상과 비교 후 전체적인 히스토그램, 평균, 표준편차, 중간 값이 향상됨을 알 수 있었다. (그림 6)(a.1) 수련 영상 경우, 기존의 방식이 제안한 방식보다 전체적인 히스토그램, 평균, 표준 편차, 중간 값은 향상된 결과가 나타났으나, 제안한 방식과 비교 결과 원 영상의 히스토그램 정보를 손실함으로 영상의 과도한 밝기 변화를 제어할 수 없는 단점을 가지고 있다((그림 8) 참고).



(그림 6) 실험 영상에 대한 기존의 방법과 제안한 방식의 처리 결과: (a.i) 원 영상 (b.i) 최소\_최대 방법 (c.i) 히스토그램 평활화 방법 (d.i) 제안된 방법(i=1, 2, 3)

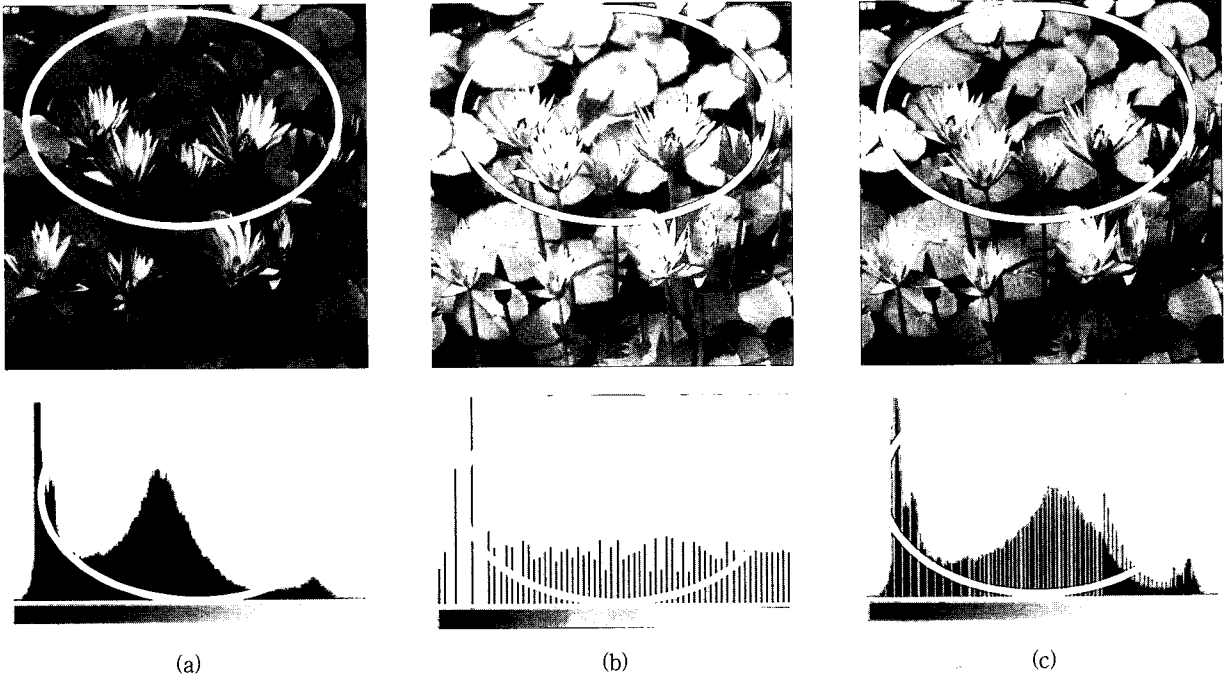


(그림 7) 원 영상, 기존의 방식과 제안한 방식의 평균, 표준 편차, 중간 값 비교

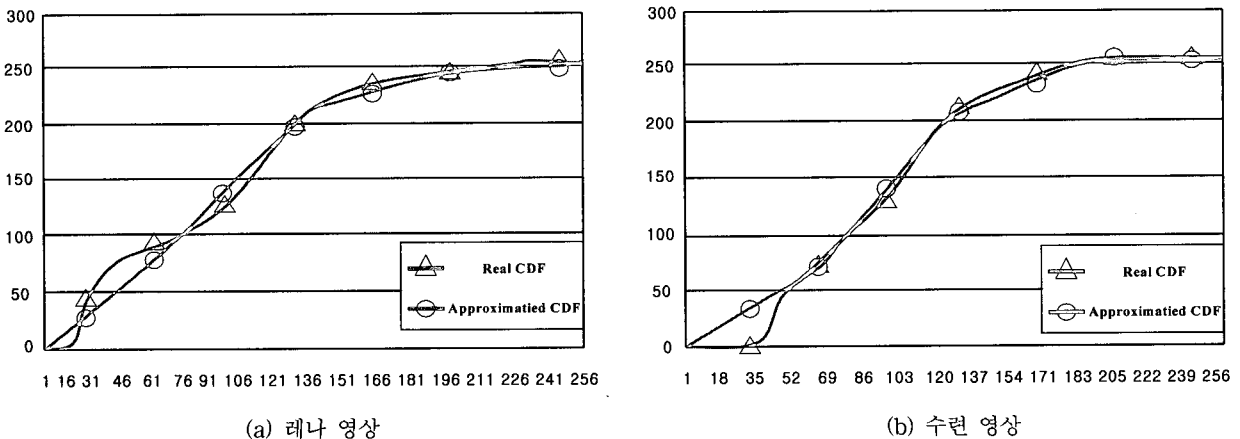
(그림 9)는 제안한 방식을 이용한 누적분포함수와 정확한 함수와의 결과를 나타내었다. 정확한 누적분포함수와 선형 추정 누적분포함수의 비교 결과 일반적으로 낮은 그레이 레벨(L = 64 이하)에서 대부분의 추정 오차가 발생됨을 확인하였다. 이러한 문제점은 샘플링 기법을 적용하므로써 발생하는 현상이며, 낮은 영역의 오차 발생을 최소화하기 위하여 추가적인 샘플 포인트를 추가함으로써 보정이 가능하다. 향후 연구에서는 오차 보정을 위한 방법에 대해 진행할 예정이다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 영상의 평균 밝기를 보존하면서 선형 추정 누적분포함수를 이용한 콘트라스트 향상 기법을 제안하였다.



(그림 8) 시뮬레이션 결과 : (a) 원 영상과 히스토그램 (b) 기존 히스토그램 평활화 방법과 히스토그램 (c) 제안한 방법에 의한 처리 결과



(a) 레나 영상

(b) 수련 영상

(그림 9) 제안한 방식의 선형 추정 누적분포함수와 정확한 누적분포함수의 결과

제안한 방식은 기존의 히스토그램 평활화의 단점인 과도한 영상의 밝기 변화 및 실시간 처리에 적합하도록 연산량을 감소시킨 방법이다. 제안한 알고리즘은 선형추정방법을 이용하여 적은 연산량을 가지고 구현이 가능하며, 제안한 방식의 성능 평가를 위하여 원 영상과 처리된 영상의 히스토그램 분포, 표준 편차, 평균 및 중간 값을 이용하여 비교하였다. 제안한 방식은 LCD 모니터, LCD TV, PDP TV, Camcoder용 LCD와 같은 실시간 처리를 요구하는 디스플레이 산업분야에 적용이 가능하다.

### 참 고 문 헌

[1] Randy Crane, Simplified Approach to Image Processing, Prentice-Hall, pp.55-83, 1994.  
 [2] Bernd Jähne, Digital Video Processing, Springer-Verlag, pp.77-94, 1993.  
 [3] Y. Koo, et al., "An Image Resolution Enhancing Technique Using Adaptive Sub-Pixel Interpolation for Digital Still Camera system," IEEE Transaction on Consumer Electronics, pp.118-122, 1999.  
 [4] Rafael C. Gonzalez, Digital Image Processing, Prentice-Hall, pp.88-102, 2002.  
 [5] Jay L. Devore, Probability and Statistics for Engineering and Sciences, Brooks/Cole, pp.80-128.  
 [6] Rafael C. Gonzalez, Digital Image Processing using MATLAB, Prentice-Hall, pp.65-104, 2004.  
 [7] 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.  
 [8] Hansoo Kim et al., "Digital Signal Processor with Efficient RGB Interpolation and Histogram Accumulation," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.44, No.4, pp.1389-1395, 1998.

[9] Tae Keun Kim et al., "Contrast Enhancement System using Spatially Adaptive Histogram Equalization with Temporal Filtering," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.44, No.1, pp.82-87, 1998.  
 [10] Jong B. Zimmerman et al., "An Evaluation of the Effectiveness of Adaptive histogram Equalization for Contrast Enhancement," IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol.7, No.4, pp.304-312, 1988.  
 [11] Haeng Won Park et al., "A Novel Method for Image Contrast Enhancement in TFT-LCDs," SID03 Digest, pp.1343-1345, 2003.



### 조 화 현

e-mail : chh@asic.hanyang.ac.kr

1999년 한양대학교 제어계측공학과(학사)

2001년 한양대학교 전자·전기·제어공학과  
(공학석사)

2001년~현재 한양대학교 전자·전기·제어  
공학과(박사과정)

관심분야 : Image processing, ASICs, 저전력 반도체 회로 설계



### 최 명 렬

e-mail : choimy@asic.hanyang.ac.kr

1983년 한양대학교 전자공학과(학사)

1985년 미시간주립대학교 컴퓨터공학  
(공학석사)

1991년 미시간 주립대학교 컴퓨터  
(공학박사)

1991년 생산기술 연구원 전자정보설용화센터 조교수

1991년 생산기술연구원 산하 전자부품종합기술연구소 선임연구원

1992년~현재 한양대학교 전자·전기·제어공학과 교수

관심분야 : ASICs, RF-id, 신경회로망 칩 설계, 스마트카드  
응용,  $\mu$ P/DSP, Wireless ATM