

영상의 공간적 축소방법을 이용한 콘트라스트 향상 알고리즘

최인석[†], 윤종호^{**}, 조화현^{***}, 박진성^{****}, 최명렬^{*****}

요 약

본 논문에서는 영상의 공간적 축소방법을 이용한 새로운 영상의 콘트라스트 향상기법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 축소된 영상을 생성하여 콘트라스트 향상을 위한 누적분포함수(CDF: Cumulative Distribution Function)의 계산량을 감소시키고 하드웨어의 복잡성을 줄였다. 제안된 방식으로 처리한 영상은 향상된 콘트라스트 결과를 얻을 수 있었다. 제안된 방식에 의한 처리 결과와 원 영상의 화질 평가를 위하여 시각적 검증과 히스토그램 표준편차를 도입하였다.

Contrast Enhancement Algorithm Using Temporal Decimation Method

In-Seok Choi[†], Jong-Ho Yun^{**}, Hwa-Hyun Cho^{***},
Jin-Sung Park^{****}, Myung-Ryul Choi^{*****}

ABSTRACT

In this paper, new contrast enhancement algorithms that use temporal decimation method and approximated CDF(Cumulative Distribution Function) are proposed. They reduce the amount of computation which is required for image contrast enhancement. Simulation results show that the algorithms can achieve significant reduction in the computational cost and the hardware complexity. 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.

Key words: Contrast Enhancement(콘트라스트), CDF(누적분포함수), Decimation(영상 축소)

1. 서 론

영상의 히스토그램을 이용한 영상 화질 향상 기법은 간단하고 효과적인 방법 때문에 다양한 응용분야

에서 사용된다. 일반적으로 화질 향상 기법은 평판 디스플레이(FPD: Flat Panel Display)시스템에서 많이 사용되고 있다. 화질 향상 기법중에 가장 많이 사용되는 기법들로는 (i)콘트라스트 향상 기법, (ii)에지

* 교신저자(Corresponding Author): 최인석, 주소: 경기도 안산시 상록구 사1동(426-791), 전화: 031)400-4036, FAX: 031)400-3889, E-mail: coolis@asic.hanyang.ac.kr
접수일: 2005년 2월 25일, 완료일: 2005년 5월 18일

[†] 준회원, 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과 석사과정

^{**} 한양대학교 대학원 전자통신전파공학과 박사과정 (E-mail: sfw1179@asic.hanyang.ac.kr)

^{***} 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과 박사과정 (E-mail: chh@asic.hanyang.ac.kr)

^{****} 준회원, (주)CEN 연구소장 (E-mail: pjs72@asic.hanyang.ac.kr)

^{*****} 정회원, 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수 (E-mail: choimy@asic.hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 「IT-SOC 사업단」 연구 지원으로 수행되었음.

강조 기법, (iii)노이즈 감소, (iv)에지 복원 등이 있다. 본 논문에서는 이 중에 콘트라스트 향상 기법에 초점을 맞추고 있다. 히스토그램을 이용한 콘트라스트 향상 기법중에 가장 잘 알려진 히스토그램 평활화 기법은 명암값을 재분배 함으로써, 콘트라스트를 향상시키는 방법이다. 그러나 이 기법은 두 가지 단점을 가지고 있다. 첫째, 원 영상을 평활화 한 이후에 영상의 밝기가 너무 과도하게 변한다. 둘째, 모든 밝기 값 위치에서 픽셀의 누적 값을 계산하는 과정에서 발생하는 과도한 계산 시간과 복잡한 하드웨어를 요구한다[1].

본 논문에서는 기존의 콘트라스트 향상 알고리즘을 보완하기 위하여 새로운 향상 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 확률밀도값(PDV: Probability Density Value)을 이용하여 영상의 밝기 분포를 확인하고, 누적분포함수(CDF: Cumulative Distribution Function)를 이용한 밝기 변화를 제어하고 향상 시켰다. 계산상의 복잡도를 줄이기 위하여, 영상을 공간적으로 축소하여, 누적분포값(CDV: Cumulative Distribution Value)을 계산하였다. 평판 디스플레이 장치는 고해상도의 표현을 위하여 실시간 데이터 처리를 요구한다. 제안한 방식은 실시간 처리를 가능케 하기 위하여 곱셈 및 누산 연산 시 배럴 쉬프트를 이용하여, 실시간 처리를 가능하게 하였다. 하드웨어의 복잡도를 비교하기 위하여 사용 된 가산기, 감산기, 레지스터 및 곱셈기의 수를 비교하였으며, 영상의 성능 평가를 위하여 히스토그램의 표준편차(Standard Deviation)를 통하여 성능 평가를 수행하였다.

본 논문의 2장에서는 일반적 입력 영상에 대한 히스토그램 평활화(HE: Histogram Equalization)를 설명하고, 3장에서는 제안한 방식의 알고리즘을 설명하였다. 4장에서는 기존의 화질 향상을 위한 기법들과의 하드웨어 복잡도 비교 및 입력 영상의 화질 향상에 대한 실험적 결과를 논의 하였다. 마지막 장에서는 결론에 대하여 논의 하였다.

2. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)

2.1. 공간 영역 처리의 기본

영상처리에서 공간 영역의 의미는 영상을 구성하고 있는 화소들의 집합을 의미한다. 이런 화소들을

변형하여 다양한 영상처리가 가능하다. 일반적인 영상 처리 함수는 (1)과 같다.

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \tag{1}$$

여기서, $f(x,y)$ 는 전체 입력 영상을 의미하며, x,y 는 전체 영상에서 화소의 좌표값을 의미한다. 전달함수 $T[]$ 는 입력영상을 처리하기 위한 함수가 되며, 사용자의 정의에 따른 T함수에 따라 출력영상 $g(x,y)$ 로 표현된다[2].

2.2. 히스토그램 처리 방법

히스토그램은 영상의 가장 어두운 영역에서 가장 밝은 영역까지 범위를 나타낸다. 영상의 히스토그램 분포가 증가하면 더욱 선명한 영상을 볼 수 있는데, 이것은 영상의 정보 양은 전혀 증가하지 않은 순수한 시각 작용에 따른 것이다[3].

$[0, L-1]$ 범위 내의 명암도를 갖는 영상의 히스토그램은 (2)와 같이 정의된다.

$$H(X_k) = n_k \tag{2}$$

여기서, X_k 는 k 번째 명암도 이며, n_k 는 명암도 X_k 를 갖는 화소수를 의미한다. 입력이 8비트 인 경우, 최대 $L=255$ 값을 갖는다. 화질 향상 장치는 입력 영상의 히스토그램을 이용하여 (1)의 전달함수 $T[]$ 를 개발하여 세밀한 명암도 및 넓은 동작 영역을 갖도록 처리할 수 있다[4].

2.3. 히스토그램 평활화 방법

히스토그램 평활화는 (2)를 전체 값으로 나눈 정규화된 히스토그램을 사용하며 (3)으로 정의된다 [5,6].

$$P(X_k) = n_k / n \tag{3}$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, L - 1, \sum_0^{L-1} P(X_k) = 1$$

$P(X_k)$ 는 일반적으로 명암도를 나타내는 X_k 가 나타날 수 있는 확률을 의미하며, 다양한 공간 영역 처리에 대한 기본이 된다. 변수 X_k 는 전달함수를 이용하여 영상의 명암도를 향상 시킬 수 있다. 이것은 (4)로 정의된다.

$$S = T(X_k) \tag{4}$$

여기서, X_k 는 구간 $[0,1]$ 로 정규화 되어 있으며, $X_k=0$ 은 검은색을 가지는 명암도를 나타내고, $X_k=1$ 은 흰색을 나타낸다. (4)는 그림 1에서 보여지는 것과 같이 변환 함수 $T(X)$ 는 구간 $0 \leq X \leq 1$ 에서 단조증가함수이며, $0 \leq T(X) \leq 1$ 의 값을 갖는다. 출력 영상이 검은색부터 흰색까지 순서대로 증가함을 나타내고, 입력 영상의 값들이 출력 값의 허용 범위 내에 존재함을 의미한다[5].

히스토그램 평활화는 입력 영상을 전체 영역(X_0, X_{L-1})로 매핑(Mapping)하는 역할을 수행하며, 이때 사용되는 전달 함수 $T[x]$ 는 누적분포함수를 사용한다. 누적분포함수를 이용한 전달함수 $T[x]$ 는 (5)와 같이 정의하였다[6].

$$T[x] = x \times CDF(X_k) \tag{5}$$

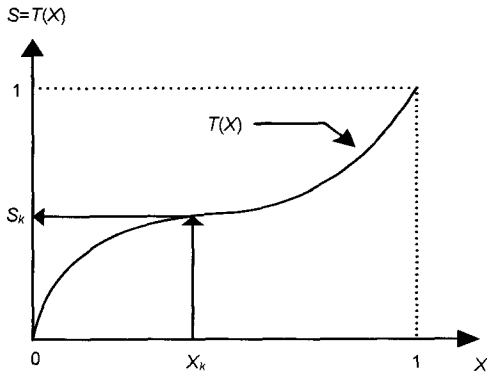


그림 1. 명암 변환 함수: T(X)

3. 제안된 히스토그램 평활화 방법

기존의 히스토그램 평활화 방법은 시스템 구현 시 하드웨어의 복잡성과 많은 연산량으로 인하여 실시간 처리를 요구하는 디지털 어플리케이션에 적용이 불가능 하였다. 그 이유는, 누적분포함수의 계산에서 발생하는 연산량이다. 본 논문에서는 입력 영상을 공간적으로 축소하고, 샘플링에 의한 누적분포함수를 제안하여 연산량을 최소화 하였다. 하드웨어의 복잡성을 줄이기 위하여, 곱셈과 누산의 연산을 대신하여, 배럴 쉬프트(Barrel Shift)를 이용한 연산을 수행하였다.

3.1. 영상의 공간 축소 기법 (Image Temporal Decimation Method)

본 논문에서는 누적분포함수 계산 시 연산량을 줄

이기 위하여 원 영상을 DR1, DR2의 등간격으로 그림 2와 같이 원 영상의 휘도 성분만을 추출하였다. 등 간격으로 샘플링 된 샘플 영상은 원영상의 형상 정보인 휘도 분포와 동일한 특성을 가진다. 즉, 샘플 영상에 대한 히스토그램의 평균 및 표준편차는 원 영상에 대한 히스토그램의 평균 및 표준편차가 동일하기 때문에 연산량을 줄이기 위해 샘플영상을 이용하는데 무리가 없다. 입력 영상의 공간 축소는 영상을 입력 받은 후, 가장 먼저 수행된다.

3.2. 샘플 위치에서의 CDV(Cumulative Distribution Value) 계산 방법

본 논문에서 선형 추정 누적분포 함수를 구하기 위하여 축소된 영상에서 등 간격을 가지는 샘플값을 사용하였다. 샘플위치에서의 픽셀 누적 값은 (6)과 같이 정의된다.

$$CDV_{sample}(X_k) = \sum_{j=0}^k X_j \tag{6}$$

여기서, $k = L/4, L/2, 3L/4, L$ 이고, $j = 0, 1, \dots, (k-1)$ 이다. 따라서, $sample(X_k)$ 는 k값을 가지는 샘플위치를 의미하며, (6)은 샘플위치가 변할 때 각 샘플위치 까지의 누적된 픽셀값을 의미한다. $k=L$ 위치에서는 전체 누적 분포함수의 계산이 가능하게 되며, 각 샘플위치에서의 $CDV_{sample}(X_k)$ 값을 정규화하면, (6-1)과 같은 범위에 포함된다.

$$0 \leq CDV_{sample}(X_{\frac{L}{4}}) \leq CDV_{sample}(X_{\frac{L}{2}}) \leq CDV_{sample}(X_{\frac{3L}{4}}) \leq 255 \tag{6-1}$$

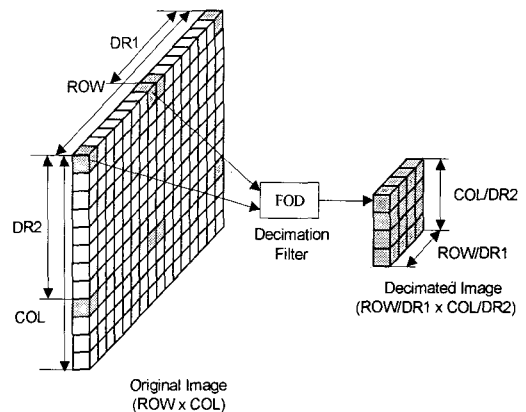


그림 2. 영상의 공간적 축소 방법

여기서,

$$NCDV_{sample}(X_k) = CDV_{sample}(X_k) \times \frac{255}{image\ Max\ resolu\ tuion}$$

이다.

샘플 위치에서의 누적분포함수 값은 다음과 같이 정규화 된 값을 가지게 되며, 하드웨어 구조를 보면 그림 3과 같다.

샘플 위치에서의 CDV값은 누적분포함수를 이용하여 계산하며, 샘플 사이 값들은 선형추정방법을 이용하여 적은 연산량으로 구현을 하였다. (7)의 선형 추정 알고리즘에서 $Y(n)$ 는 n 번째 입력영상값에 대한 출력을 나타낸다.

$$Y(n) = (\alpha X_k - \alpha x(n) - 1) \times NCDV(X_k) + (\alpha x(n) - \alpha X_k) \times NCDV(X_k + 1) \quad (7)$$

여기서, $n=0,1,\dots,L-1$ 이며, $k=0,L/4, L/2, 3L/4, L-1$ 이다. $\alpha=1/(X_{k-1}-X_k)$ 로 정의되고, X_k 는 k 번째 샘플 위치의 값을 의미한다.

3.3. 적응형 콘트라스트 향상 조정 기법

영상의 특성을 확률밀도값(PDV: Probability Density Value)을 이용하여 판별 후, 구간에 대하여 적응형 콘트라스트 향상 알고리즘을 적용 시킨다. PDV는 두개의 입력 샘플에서의 확률밀도함수의 값을 나타내며, (8)과 같이 구할 수 있다.

$$PDV(X_{(k+1,k)}) = CDV(X_{k+1}) - CDV(X_k) \quad (8)$$

여기서, $k=64, 128, 192, 255$ 이다.

영상의 특성 판별을 위하여 중앙 샘플값($k=128$)을

기준으로 두 구간의 IPD(Image Pixel Distribution) 값을 비교한다. 여기서 $IPD_1 > IPD_2$ 일 경우, 어두운 영역에 많은 값을 가진 것으로 판별한다. 영상 판별 알고리즘은 (9)와 같다.

$$IPDV_1 = Mag\{PDV(X(\frac{L}{4}, 0))\} + Mag\{PDV(X(\frac{L}{4}, \frac{L}{2}))\}$$

$$IPDV_2 = Mag\{PDV(X(\frac{3L}{4}, \frac{L}{2}))\} + Mag\{PDV(X(L, \frac{3L}{4}))\}$$

if (IPDV1 > IPDV2) then
 Dark Image
 else
 Bright Image
 end if (9)

어두운 영상으로 판별된 입력 영상은 밝은 영상으로 변환되게 된다. 따라서, ECDV(Enhanced CDV)를 적용하여 새로운 추정누적분포함수(ACDF: Approximated CDF)를 구한 후 원하는 영상의 출력을 얻는다. 추정누적분포함수를 구하는 방법은 (10)과 같다.

$$ACDF(n) = \sum_{k=1}^L ECDV(X_k) \times [x(n) - X_k] + CDV(X_k) \quad (10)$$

여기서, 스케일인자(α)= $1/(X_{k-1}-X_k)$ 로 정의되며 $T=PDV(X_{(k-1, k)})$ 이 된다. 스케일 인자의 범위는 $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위를 가지는 값이며, $CDV(X_k)$ 는 샘플 위치 X_k 에서 측정된 픽셀수를 나타낸다. 그림 4는 제안한 방식의 처리 '절차'를 나타내었다.

히스토그램에 대한 누적분포함수를 구하기 위해서는 한 프레임의 계산이 필요하다. 따라서, 결과를 출력하기 위한 프레임 메모리가 요구되어지며, 프레임 메모리에 쓰기 중에 영상의 축소와 입력되는 데이

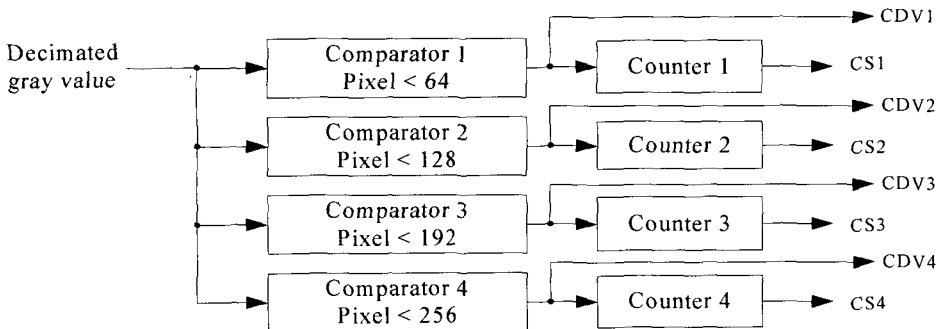


그림 3. 샘플 위치에 대한 CDV 하드웨어 구조

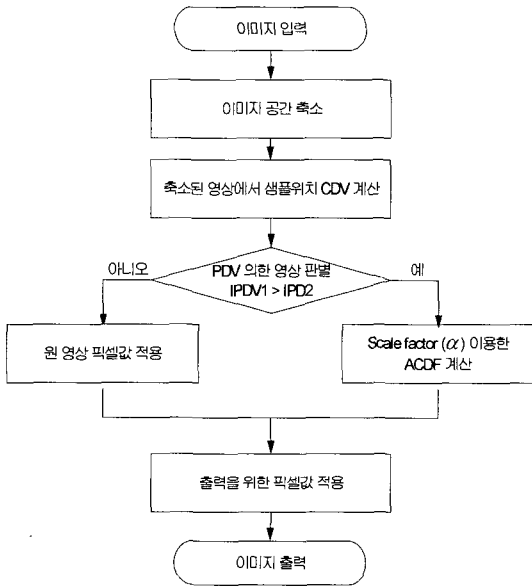


그림 4. 제안한 방식의 처리 절차

터를 비교하여 누적분포값을 계산한다. 누적분포함수의 계산은 V_sync 신호가 '1'인 구간에서 수행된다. 프레임 메모리를 사용하여 제안한 방식의 전체 하드웨어 구조는 그림 5와 같으며, 이때의 타이밍은 그림 6이 된다.

4. 실험적 결과

본 논문에서 제안한 방법의 검증을 위하여, 기존의 영상 화질 향상 기법을 이용하여 비교, 분석 하였다. 기존 방법은 콘트라스트 스트레칭(Contrast Stretching), 히스토그램 평활화 (Histogram Equalization) 그리고 분할 히스토그램 평활화 (Bi-Histogram Equalization) 기법을 이용하였다. 정확한 비교를 위하여 표준편차(Standard Deviation)를 도입하여 원 영상에 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 적용시켜 비교하였다. 실험에서 사용된 영상 'football',

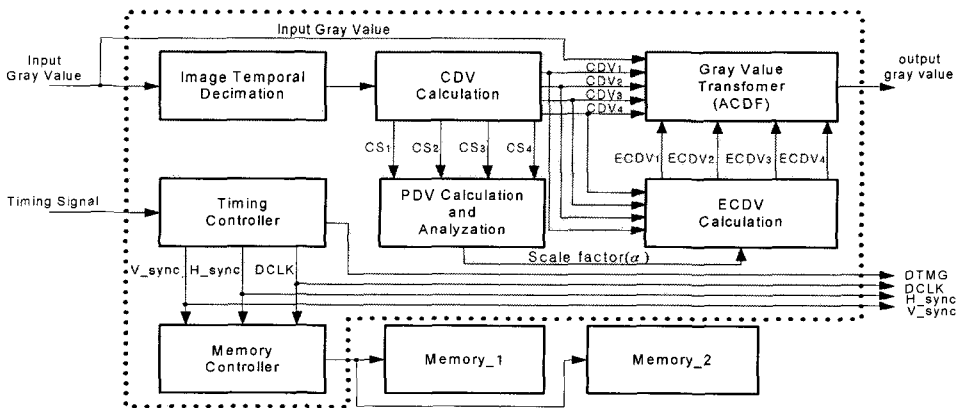


그림 5. 제안한 방식의 전체 하드웨어 구조

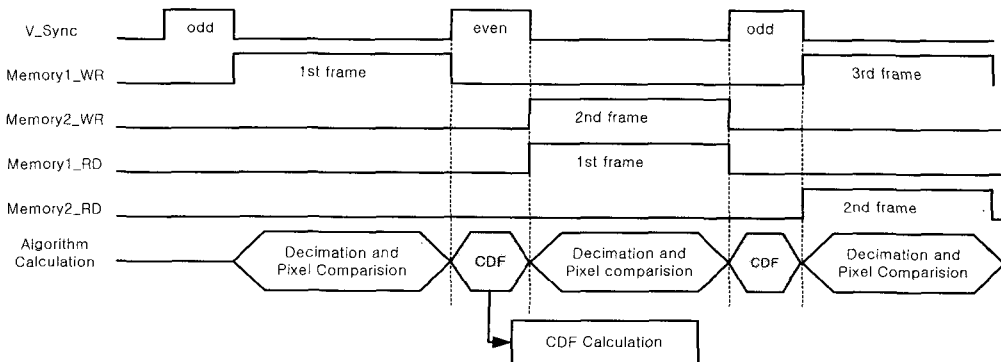
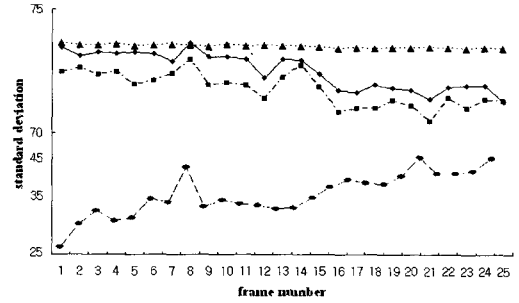


그림 6. 제안한 방식의 계산 타이밍도

'table-tennis', 'salesman' 그리고 'flower garden'의 네 개의 영상에 대하여 각각의 연속되는 25프레임을 실험 하였으며, 모든 영상은 XGA(1024×768)의 해상도를 가지고 있다. 영상의 공간적 축소 방식에서 DR1 과 DR2 값은 '8'로 하였으며, CDV를 구하기 위하여 원 영상은 '128×96'의 해상도를 가지는 영상으로 축소시켰다. 제안한 방식으로 처리된 영상은 최대의 콘트라스트를 얻을 수 있었다. 그림 7은 원 영상과 처리된 영상을 비교하였다.

처리된 영상의 정확한 비교를 위하여 그림 8의 'football' 영상과 같이 25프레임에 대한 기존 방법들과 제안한 방식의 표준편차를 그래프로 표현하여 비교하였으며, 표 1은 네 개의 이미지에 대한 평균 표준편차를 나타내었다. 25프레임에 대한 평균표준편차



● Contrast Stretching
 ▲ Histogram Equalization
 — Bi-histogram Equalization
 ■ Proposed Algorithm

그림 8. 'football' 25프레임에 대한 기존 화질 향상 기법과 제안된 방식의 표준편차 비교

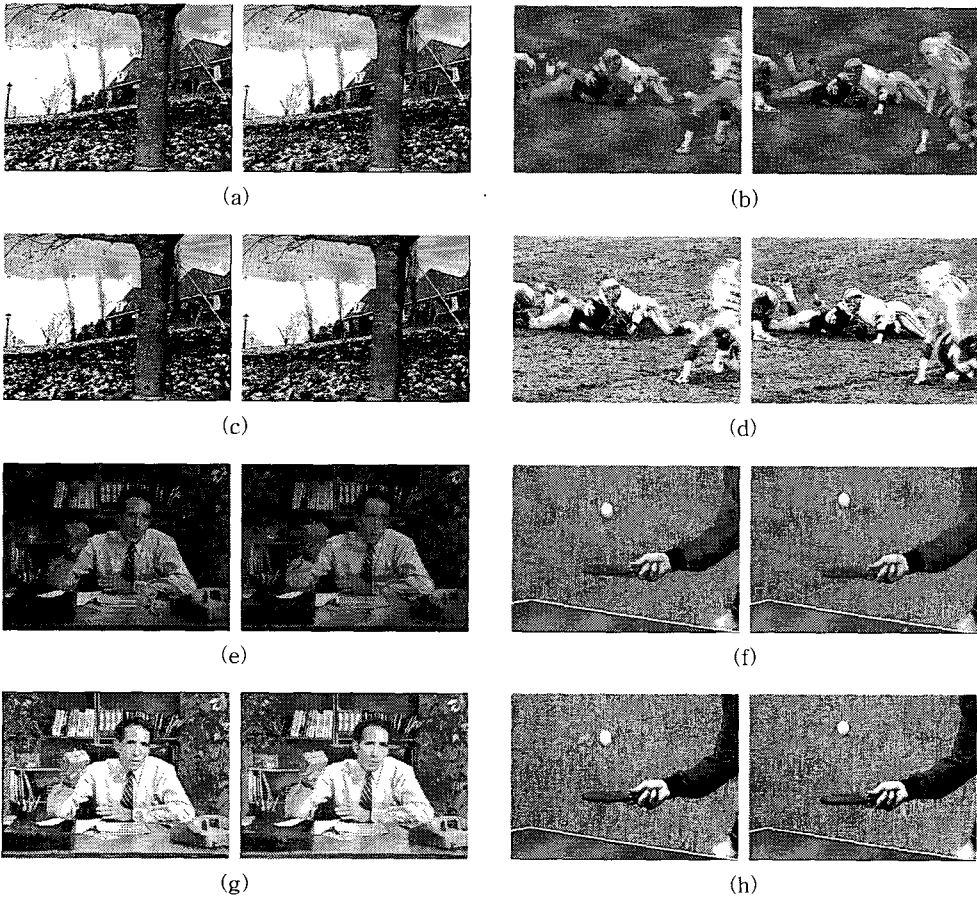


그림 7. 원 영상과 제안한 방식으로 처리된 영상 비교: (a) 'FlowerGarden' 원 영상, (b) 'Football' 원 영상, (c) FlowerGarden의 제안된 방식으로 처리된 영상, (d) Football의 제안된 방식으로 처리된 영상, (e) 'Salesman' 원 영상, (f) 'Tabletennis' 원 영상, (g) 'Salesman'의 제안된 방식으로 처리된 영상, (h) 'Tabletennis'의 제안된 방식으로 처리된 영상.

표 1. 25프레임의 평균 표준 편차

Algorithms	Image sequence			
	Football	Table tennis	Salesman	Flower garden
Contrast Stretching	35.63	49.94	45.52	68.69
Histogram Equalization	73.49	73.79	73.01	72.81
Bi-Histogram Equalization	72.52	71.86	73.83	72.43
Proposed	71.76	71.63	72.54	74.32

표 2. 기존 방식과의 평균표준편차 차이값

Algorithms	Image sequence			
	Football	Table tennis	Salesman	Flower garden
Contrast Stretching	-36.13	-21.69	-27.02	-5.63
Histogram Equalization	1.73	2.16	0.47	-1.51
Bi-Histogram Equalization	0.76	0.23	1.29	-1.89
Proposed	0	0	0	0

표 3. 기존 알고리즘과 계산 복잡도 비교

	Adder	Register	Comparator	Multiplexer
Contrast Stretching	10	33	70	10
Histogram Equalization	257	514	256	258
Bi-Histogram Equalization	258	515	256	258
Proposed	25	15	10	18

를 구한 후, 제안한 알고리즘과의 평균표준편차의 차이값을 표 2와 같이 구하여, 기본 알고리즘과 비교를 하였다.

제안한 방법은 이미지를 축소시키고, 샘플 위치에서 CDV를 계산하여, 계산상의 복잡성을 줄일 수 있었다. 표 3은 이미지 향상을 위한 기존 방법들과 제안한 방법의 현저하게 줄어든 계산상의 복잡성을 나타내고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 영상 화질 향상을 위하여 새로운 콘트라스트 향상 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 히스토그램 평활화를 이용한 방법으로써, 기존의 방식에서 발견된 문제점을 보완하기 위하여 확률밀도값(PDV)을 이용하였다. 계산상의 복잡도와 시간을 줄이기 위하여 입력영상의 축소를 통한 누적분포함수값(CDV)을 계산하고, 샘플 픽셀 위치에서의 누적분포값(CDV)을 통한 추정누적분포함수(ACDF)를 계산하였다. 제안된 방식의 성능평가를 위하여 기존

의 이미지 향상 알고리즘들과 비교하고, 히스토그램의 표준편차를 이용하여 향상된 콘트라스트를 확인하였다. 기존의 방법과 평균표준편차의 차이를 보면, 표 2에서와 같이 가장 차이가 큰 경우는 2.16의 차이값을 계산할 수 있었다. 그러나 하드웨어 복잡도 면에서는 표 3의 결과에서 알 수 있듯이 확실한 감소가 발생했다. 제안된 방법은 LCD 모니터, LCD TV, PDP 등 실시간 처리를 요구하는 평판디스플레이 산업분야에 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] Yeong-Taeg Kim, "Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, Vol. 43, No. 1, pp. 1-8, Feb. 1997.

[2] Rafael C. Gonzalez, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, pp. 88-102, 2002.

[3] Randy Crane, *A Simplified Approach to Image Processing - Classical and Modern Techniques*

in C, Prentice Hall, pp. 42-107, 1997.

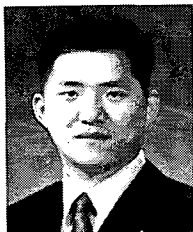
- [4] H. C. Kim et al., "An image interpolator with image improvement for LCD controller," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, Vol. 47, pp. 263-271, May. 2001.
- [5] Y. Koom et al., "An Image Resolution Enhancing Technique Using Adaptive Sub-Pixel Interpolation for Digital Still Camera System," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 1, pp. 118-122, 1999.
- [6] Sang-Yeon Kim et al., "Image contrast enhancement based on the picewise-linear approximation of CDF," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 3, pp. 828-834, Aug. 1999.
- [7] K. N. Plataniotis, *Color Image Processing and Application*, Springer, pp. 209-214, 2000.



최 인 석

2004년 경기대학교 전자공학과 졸업(학사)
 2004년~현재 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측공학과 석사과정

관심분야: ASIC/SoC, 영상처리, RFID



윤 종 호

2001년 한양대학교 제어계측공학과 졸업(학사)
 2003년 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측공학과 졸업 (공학석사)
 2003년~현재 한양대학교 일반대학원 전자통신전공공학과 박사과정

관심분야: ASIC/SoC, Image Scaler, RFID, 3D Display system



조 화 현

1999년 한양대학교 제어계측공학과 졸업(학사)
 2001년 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(공학석사)
 2001년~현재 한양대학교 일반대학원 전자전기제어계측

학과 박사과정

관심분야: ASIC/SoC, 저전력 반도체 회로 설계, 영상처리



박 진 성

1995년 한양대학교 제어계측공학과 졸업(학사)
 1997년 한양대학교 일반대학원 제어계측공학 졸업(공학석사)
 2000년 한양대학교 일반대학원 제어계측공학 박사과정 수료

2000년~2002년 ㈜마니네트웍 개발2팀 팀장
 2001년~2002년 SUN Microsystems 한국교육센터 컨설턴트
 2003년~2005년 노틸러스효성(주) 개발팀 과장
 2005년~현재 (주)CEN 연구소장
 관심분야: ASIC/SoC, Smart Card, Java Card and their COS



최 명 렬

1983년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1985년 미시간 주립대학교 컴퓨터공학 졸업(공학석사)
 1991년 미시간 주립대학교 컴퓨터공학 졸업(공학박사)
 1991년 3월~10월 생산기술연구원 전자정보실용화센터 조교수

1991년 11월~1992년 8월 생산기술연구원 산하 전자부품 종합기술연구소 선임연구원
 1992년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 관심분야: ASIC/SoC 설계, RFID 응용, 스마트카드 응용