실시간 처리를 위한 적응형 콘트라스트 향상 기법
(An Adaptive Contrast Enhancement Method for Real-Time Processing)

조 화현*, 최명렬*
(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 영상의 영향을 주지 않으면서 최대 콘트라스트를 얻을 수 있었다. 하드웨어의 복잡성을 감소하기 위하여 누적분포함수(CDF: Cumulative Density Function)의 성능 값을 이용한 선형화 방법을 이용하였다. 제안된 방식에 의한 처리 결과의 영상의 화질 평가를 위하여 시각적 평가와 하이스트로그램 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 : 평면 디스플레이(Flat Panel Display), 영상 향상(Image Enhancement), 하이스트로그램 평활화(Histogram Equalization), 콘트라스트 향상(Contrast Enhancement)

1. 서 론

히스토그램 평활화(Equalization)는 간단하고 효과적 기능 때문에 다양한 응용 분야에서 콘트라스트 향상을 위하여 다양한 분야에 사용된다. 그 적용 분야로 의료 분야와 레이저 신호 처리 분야 등을 포함하는 분야에서 사용되고 있다. 일반적으로 히스토그램 평활하는 히스토그램을 평활하게 하는 것이 아니라 평균값 분포를 재 분배하여 결과적으로 이미지의 콘트라스트를 향상시키는 방법이다. 그러나 히스토그램 평활화는 히스토그램 평활화 이후에 영상의 밝기가 과도하게 변화한다는 단점을 가지고 있다. 영상의 히스토그램을 기반으로 한 이미지 향상 기법은 하드웨어적 부담 및 과도한 처리시간을 요구한다[1].

* 정희현, 한양대학교
(ASIC Lab. Dept. of EEIC Hanyang University)

참고 자료: 2004년 6월 4일, 수정완료일: 2004년 7월 16일


II. 히스토그램 평활화(Histogram Equalization)

1. 공간 영역 처리의 기법

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

\[ g(x, y) = T[f(x, y)] \] (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. 높은 히스토그램 분포를 갖는 영상들은 어두운 영역에서부터 밝은 영역의 범위를 갖게 된다. 따라서 영상의 히스토그램 분포가 증가하면 영상은 더욱 상세하게 볼 수 있는데, 이것은 영상 정보가 전혀 증가하지 않는 순수한 사각 작용에 따른 것이다[23].

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 영역의 콘트라스트 및 명암에 대한 정보도 제공한다[34]. 어두운 영상의 히스토그램은 빅한 값 분포가 원족으로 펼쳐져 되며, 밝은 영상은 빅한 값 분포가 오른쪽으로 펼쳐진 히스토그램을 갖게 된다. 반면, 영상이 이상적이라면 영상의 히스토그램은 균일하게 분포를 갖는다. 명암도 [0, L-1] 범위 내의 명암도를 갖는 영상의 히스토그램은 식(2)과 같은 이상 함수로 정의된다.

\[ h(X_j) = n_j \] (2)

여기서, \( X \geq j \) 번째 명암도이고, \( n_j \)는 명암도 \( X_j \)가 갖는 화소들의 수를 나타낸다. 실제적으로 식(2)를 회소의 전체 값으로 나눈 정규화된 히스토그램을 사용하며, 식(3)으로 정의된다[45].

\[ p(X_j) = \frac{n_j}{n} \] (3)

\[ j = 0, 1, \ldots, L-1, \quad \sum_{j=0}^{L-1} p(X_j) = 1 \]

일반적으로 \( \rho(X_j) \)는 명암도 \( X \)가 발생할 수 있는 사전에 대한 확률을 의미하며, 다양한 공간영역 처리에 대한 기능이 된다. 화질 향상 장치는 입력 영상의 히스토그램을 이용하여 전달함수(Transfer Function)를 개발함으로써 세밀한 명암도 및 높은 동작 영역을도록 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 L개의 디지털 명암도로 구성되어진 이미지로 나타낼 수 있다. 여기서 \( X(i, j) \)는 공간 영역상의 \( (i,j) \)의 명암도를 나타내고 \( X(i, j) = (X_0, X_1, \ldots, X_{L-1}) \)을 나타낸다. 주어진 영상 \( X \)에 대하여, 확률 밀도함수 \( p(X_j) \)는 식(3)을 이용하여 정의하며, 입력 영상의 히스토그램과 관련이 있다. 입력 영상의 히스토그램은 확률 분포가 사각형+가 되며, 확률 분포는 구체적인 명암도 \( X_j \)를 갖는다. 식(3)은 확률 밀도 함수를 이용하여 식(4)로 정의된다.

\[ s = T(X_j) = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{n} \]
\[ = \sum_{j=0}^{k} p(X_j) = CDF(X_j) \] (4)

여기서, \( k = 0, 1, 2, \ldots, L-1 \) 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 \( CDF(\text{누적분포함수}) \)를 사용하게 된다. 식(5)은 누적 분포 함수를 이용하여 전달함수 \( f(x) \)를 정의하였다. 히스토그램 평활화의 출력 \( Y = Y(i, j) \)는 식(6)과 같이 표시된다[1].

\[ f(x) = x \times CDF(X_j) \] (5)

\[ Y = f(x) = f(X(i, j)) \quad \forall X(i, j) \] (6)

식(6)은 시스템 구현시 하드웨어의 복잡성을 줄여 실시간 처리를 요하는 디지털 어플리케이션에 적용이 불가능하다. 그 이유는 누적분포함수 연산량에 기
인하하, 따라서 본 논문에서는 샘플링 기법을 사용하여 연산량을 최소화 하였다. 선행 추정 누적분포 함수를 구하기 위하여 사용된 샘플 위치는 식 (7)과 같다.

$$CDF_{sample}(X_k) = \sum_{j=0}^{k} X_j$$  \hspace{1cm} (7)

여기서, $k = \frac{L}{4} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{3L}{4} \cdot L$ 이고, $j = 0, 1, \ldots, L$ 이다. $CDF_{sample}(X_k)$는 $k$까지의 누적된 값으로써 나타나게 되고, 이를 기준으로 하여 선행 추정 누적분포 함수 계산이 가능하게 된다. <그림 1>은 식(7)에 대한 입의의 $k$에서의 누적분포함수 값을 도시하였다. $L = 256$인 경우, 샘플 위치에서의 누적분포함수 값은 다음과 같은 값을 가지게 되고 하드웨어 구조는 <그림 2>에 나타내었다.

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

생산 위치에서의 $CDF_{sample}(X_k)$의 값은 선행 추정

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

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

$$Y(n) = (\alpha X_k - \alpha x(n) - 1) \times NCDF(X_n)$$  \hspace{1cm} (8)

여기서, $n = 0, 1, \ldots, L - 1$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 $NCDF(X)$는 정규화된 누적분포함수 값을 의미한다.

2. 적응형 콘트라스트 향상 조정 방법
가. 영상의 특성 관별

기존의 허스토그램 평활화 방법은 과도한 영상의 밝기 변화가 발생한다는 단점을 가지고 있다. 아마운 영상의 허스토그램 경우, 허스토그램 평활화된 영상은 입력영상보다 더욱 높아진다. 그러나 밝은 영상이 허스토그램 평활화되면, 출력 영상은 더욱 어두워진다. 이것은 허스토그램 평활화 이후에 입력 영상의 전체적인 콘트라스트가 감소됨을 야기한다. 따라서 본 논문에서는 과도한 영상의 밝기 변화를 제어하기 위하여 확률밀도함수를 이용하여 입력 영상의 분포를 판단하여 적응하는 방법을 제안하였다.

확률밀도함수는 선행추정방법을 이용하여 계산된 누적분포함수로부터 단순한 연산을 통하여 구현 할 수 있다. 이것은 영상에서 중요한 통계의 한 부분이다. 누적분포함수는 일반인의 계산함수로 구성되어지고, 계산함수의 비중은 축적 함수($\delta(\cdot)$)라고 가정하면 확장이 가능하다. 식(9)은 이용하여 관련된 확률 $P$와 이산 랜덤 변수 $x$에 대한 누적분포함수는 다음과 같이 나타낸다.

$$CDF(x) = \sum_{i=0}^{L} P_i u(x - x_i)$$  \hspace{1cm} (9)

$$PDF(x) = \frac{d}{dx} \sum_{i=0}^{L} P_i u(x - x_i)$$ 또는

$$PDF(x) = \sum_{i=0}^{L} P_i \delta(x - x_i)$$

식(9)는 누적분포함수의 확률밀도함수 성질을 이용하여 계산한 방식을 적용하기 위하여 변환하면 식(10)으로
그림 3. 정확한 확률밀도함수와 추정 확률밀도함수의 비교

Fig. 3. The comparison of accurate and approximated PDF curve.

로 나타낼 수 있다.

\[ \text{PDF}(X_{k+1,b}) = \text{NCDF}(X_{k+1}) - \text{NCDF}(X_k) \]  

(10)

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

\[ \text{PDF}_{\text{under}} = \text{Mag} [\text{PDF}(x_{\frac{L}{4}, 0})] + \text{Mag} [\text{PDF}(x_{\frac{L}{4}, \frac{L}{2}})] \]  

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

if \( \text{PDF}_{\text{under}} > \text{PDF}_{\text{upper}} \) then

Dark Image

else

Bright Image

end if

그림 4. 영상 확장인자(Image Enhancement Factor)

Fig. 4. Characteristics curve of IEfactor.

나. 영상 확장 인자(Image Enhancement Factor)

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

\[ \text{if} (\text{Dark Image}) \text{ then } \quad y_{\text{max}} = \text{NCDF}_{\text{sample}}(X_k) \quad y_{\text{min}} = k \]

\[ \text{else } \quad y_{\text{max}} = k \]

\[ y_{\text{min}} = \text{NCDF}_{\text{sample}}(X_k) \]

end if

\[ \text{IE}_{\text{factor}} = a(y_{\text{max}} - y_{\text{min}}) + y_{\text{min}} \]  

(12)

식(12)는 다음과 같은 범위 내에 존재하게 된다.

\[ y_{\text{min}} \leq \text{IE}_{\text{factor}} \leq y_{\text{max}} \]

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

(54)
그림 5. BLE와 WLE의 특성 키크
Fig. 5. Characteristics curve of BEL and WLE.

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

여기서, CE factor = NCDF(·), 일반적인 경우
IE factor , 작용형구간인 경우

다. 두장 운영 증가 또는 밝은 영역 증가(BLE or WLE)
본 논문에서는 영상 양상 인자를 조정하더라도 선형
추정에 대한 예리가 존재한다. 본 논문에서는 발생된 예
리를 최소화하고 콘트라스트 양상을 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 이용하
여 결정 되고, 적용된 알고리즘의 출력 식 \(Y(n)\)는 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

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

여기서, \(0 \leq \beta \leq 1\) 이고, 여두운 영상이 경우, 샘플

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

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

포인트는 \(X_k = \left[ BLE_{position}, \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, L \right] \)이고, 밝은 영상
인 경우, 샘플 포인트는 \(X_k = \left[ 0, \frac{L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, \frac{L}{2}, \frac{3L}{4}, WLE_{position} \right] \)
을 의미한다.

<그림 6>는 제안한 방식에 대한 처리 절차를 나타내었다.
반대로 도식화에 대한 두정 분포함수 구하기
위하여 한 프레임의 계산이 필요하다. 그러므로 처리된
결과를 출력하기 위한 프레임 매개로가 <그림 7>와 같
이 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.

그림 10. 기존 방식과 제안한 방식에 의한 시뮬레이션 결과; (a) 원 영상과 히스토그램, (b) 적용영 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 중간값 비교
Table 2. The comparison of the original image and the proposed method(mean, standard deviation, and median).

<table>
<thead>
<tr>
<th></th>
<th>평균</th>
<th>표준 편차</th>
<th>중간값</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>레나</td>
<td>원영상</td>
<td>94.2</td>
<td>41.2</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>처리후</td>
<td>127.3</td>
<td>74.6</td>
</tr>
<tr>
<td>수련</td>
<td>원영상</td>
<td>81.97</td>
<td>20.96</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>처리후</td>
<td>126.5</td>
<td>60.8</td>
</tr>
<tr>
<td>폐폐</td>
<td>원영상</td>
<td>119</td>
<td>28.6</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>처리후</td>
<td>123</td>
<td>60.8</td>
</tr>
<tr>
<td>세일</td>
<td>원영상</td>
<td>74</td>
<td>34.5</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>처리후</td>
<td>108</td>
<td>46.8</td>
</tr>
</tbody>
</table>
작용한 결과 더욱의 자연스런 결과가 관측되었다. <그림 10>은 원영상과 제안한 방법을 적용하여 처리된 하스그램 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과 주어진 영상의 과도한 밝기 정보를 제거하여 콘트라스트의 자연스러운 향상을 보이는 점에서 기존의 방식보다 우수한 성능을 나타내었다. <그림 11>은 제안된 방식과 실제적인 누적분포함수의 결과를 나타내었다. <표 2>는 원영상과 처리된 영상의 평균 및 표준편차 등의 비교를 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 영상의 화질 향상을 위한 새로운 콘트라스트 향상 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 일반적인 하스그램 원활화를 이용한 새로운 콘트라스트 확장 방법이다. 제안된 방식은 영상의 과도한 밝기 변화를 제거하기 위하여 확률 밀도 함수를 이용하였다.

제안된 방식의 성능평가를 위하여 하스그램 분포를 이용하였으며, 그 결과 콘트라스트가 향상된 것을 확인하였다. 실험결과 처리를 위하여 선형 추정법을 이용하여 누적분포 함수를 구하였으며, 화질 영상을 이용하여 서로 영역별 화질 향상이 가능하다. LCD 모니터, LCD TV, PDP TV, Camcorder을 등 실시 처리를 요구하는 평판디스플레이 산업분야에 적용이 가능하다.

참고문헌


저자 소개

조 화 현(경희원)
1999년 한양대학교 제어계측공학과 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 릴(경희원)
1983년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
1985년 미시간주립대학 코퍼퍼트 공학졸업(공학석사)
1991년 미시간 주립대학 컴퓨터공학공학박사
1991년 3월~10월 생산기술연구원 전자정보실용화센터 조교수
1991년 11월~1992년 8월 생산기술연구원 산학 전자정보통신기술연구소 선임연구원
1992년 9월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 교수
<주관심분야: ASICs, 신경회로망 친 설계, 스마트카드 송수, µP/DSP, Wireless ATM>