

# 서브블록 히스토그램 등화기법을 이용한 개선된 콘트라스트 강화 알고리즘

## (An Advanced Contrast Enhancement Using Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization)

金正淵\*, 金利燮\*\*, 黃承浩\*\*\*

(Joung-Youn Kim, Lee-Sup Kim and Seung-Ho Hwang)

### 요 약

본 논문에서는 영상의 콘트라스트 (이하 대비)를 높이기 위한 개선된 히스토그램 등화 기법을 제안한다. 기존의 글로벌 히스토그램 등화 기법은 간단하나 영상의 각 부분에 맞는 충분한 대비를 얻을 수 없다. 이를 해결하기 위한 블록 중첩 서브블록 히스토그램 등화 기법은, 높은 대비를 얻을 수 있으나 그 계산량이 엄청나다는 단점이 있다. 본 논문에서는 두 방법의 장점을 모두 얻기 위한 부분 중첩 서브블록 히스토그램 등화 기법(Partially Overlapped Sub-block Histogram Equalization : POSHE)을 제안한다. 이 방법에서는 서브블록들의 히스토그램 등화 함수를 저역 통과 필터 형태의 마스크를 이용하여 얻음으로써 그 계산량을 블록 중첩 서브블록 히스토그램 등화에 비해 크게 줄여서 훨씬 빠른 시간에 블록 중첩 서브블록 히스토그램 등화 기법과 비슷한 정도의 높은 대비를 얻을 수 있게 되었다.

### Abstract

In this paper, an advanced histogram equalization algorithm for contrast enhancement is presented. Histogram equalization is the most popular algorithm. Global histogram equalization is simple and fast, but its contrast enhancement power is relatively low. Local histogram equalization, on the other hand, can enhance overall contrast more effectively, but the complexity of computation required is very high. In this paper, a low pass filter type mask is used to get a sub-block histogram equalization function to more simply produce the high contrast. The low pass filter type mask is realized by partially overlapped sub-block histogram equalization (POSHE). With the proposed method, the computation overhead is reduced by a factor of about one hundred compared to that of local histogram equalization while still achieving high contrast.

### 1. 서 론

영상의 대비를 증가시키는 일은 영상 처리의 중요한 목표 중의 하나이다. 대비 향상은 목표하는 물체의 동

적 영역을 늘림으로써 가능하다. 동적 영역을 증가시키는 방법에는 여러 가지가 있지만<sup>[1-8]</sup>, 그 중 가장 널리 쓰이는 방법 중의 하나가 히스토그램 등화 기법<sup>[1-3]</sup>이다. 히스토그램 등화는 크게 글로벌 히스토그램 등화 기법과 로컬 히스토그램 등화 기법으로 나눌 수 있다. 글로벌 방법에서는 영상 한 프레임 전체의 글로벌 히스토그램을 이용하여 변형 함수를 얻고 이를 이용하여 입력 영상의 각 밝기 레벨들의 동적 영역을 재조정하게 된다. 동적 영역의 증감 정도는 입력 영상에서의 각

\* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科  
(Dept. of Electrical Engineering Korea Advanced Institute of Science and Technology)

接受日字:1999年7月8日, 수정완료일:1999年11月3日

밝기 레벨들의 발생 빈도에 비례한다. 일반적으로 큰 히스토그램 값을 갖는 밝기 레벨 부분은 대부분의 영상에서 목표 물체를 나타내기 때문에 목표 물체의 대비는 증가되게 되지만, 반대로 작은 히스토그램을 갖는 밝기 부분 일반적으로 작은 물체나 배경 부분이 된다는 대비는 오히려 감소되는 결과를 얻게 된다.

이 방법은 간단하고 효과적이거나 영상 각 부분의 공간 정보들을 무시한 변환이기 때문에 부분적인 밝기 특성에 적용할 수 없다. 따라서 설명한 것처럼 영상 내의 위치나 그 물체의 크기에 따라 작은 물체들 특히 배경 부분의 대비가 오히려 감소하게 되고 단계적인 대비 향상 정도도 제한된다. 따라서 경우에 따라서는 원하는 부분의 대비가 오히려 감소하여 목적과는 반대로 동작하게 될 수도 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 로컬 히스토그램을 사용하는 블록 중첩 등화 기법<sup>[1,4]</sup>이 제안되었다. 이 방법에서는 적당한 크기의 서브블록이 설정되어 그 서브블록에 대한 로컬 히스토그램을 구한 후, 이를 이용하여 해당 서브블록의 중심점에 히스토그램 등화를 수행하는 것이다. 이 방법에서는 입력 영상의 각 화소가 이웃한 서브블록의 로컬 히스토그램에 의해 히스토그램 등화 되므로 각 점은 그 점 근처의 밝기 상황에 가장 적절하게 적용할 수 있게 되어 목표 물체나 배경 모두의 대비를 증가시킬 수 있다. 그러나 이 방법은 입력 영상의 모든 화소에 대해 서브블록 히스토그램 등화를 수행해야 하므로 그 반복 횟수가 지나치게 많아지게 된다.

이러한 계산 횟수를 줄이기 위해 부분중첩 서브블록 히스토그램 등화(Partially Overlapped Sub-block Histogram Equalization : POSHE) 기법을 제안한다. 이 방법을 사용함으로써 계산 시간을 로컬한 방법의 1% 이하로 줄이면서 그 성능은 거의 같은 결과를 얻을 수 있다.

## II. 기존의 히스토그램 등화 기법

기본적인 글로벌 히스토그램 등화는 영상의 전체의 글로벌 히스토그램 각 밝기 레벨의 출현 빈도 - 을 이용하여 입력 영상을 변형한다. 영상이 L개의 레벨로 표현된다고 할 때, 그 히스토그램 등화 함수는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$s_k = T(r_k), \quad k=0,1,\dots,L-1 \quad (1)$$

여기서  $S_k$ 는 정규화 된 입력 레벨  $r_k$ 의 출력 레벨이다. 이 변형 함수  $T(r_k)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_j(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad 0 \leq r_k \leq 1 \text{ and } k=0,1,\dots,L-1 \quad (2)$$

여기서  $p_j(r_j) = \frac{n_j}{n}$ 는 입력 레벨  $j$ 의 확률 밀도 함수(probability density function : pdf)를 나타내고  $n$ 은 입력의 총 화소 수를,  $n_j$ 는 밝기 레벨  $j$ 를 갖는 입력 영상의 화소 수를 나타낸다. 따라서, 변형 함수  $T(r_k)$ 는 입력 영상의 각 밝기 레벨에 대한 누적 분포 함수(cumulative distribution function : cdf)를 나타낸다.

히스토그램 등화 함수의 예를 그림 1에 보였다. 그림에서 점선은 입력 영상 밝기 레벨들의 pdf, 즉 각 레벨들의 발생 빈도를, 실선은 cdf, 즉 히스토그램 등화 함수를 나타낸다. 각 밝기 레벨에 대한 cdf는 데이터가 모여 있는 밝기 부분에서 더 가파른 기울기로 나타나고 그렇지 않은 부분에서는 완만한 기울기로 나타난다. 따라서 입력 영상 내에서 해당 레벨들의 발생 빈도가 높아서 cdf의 기울기가 1보다 큰 밝기 레벨 부분의 경우 그 밝기를 가지는 레벨들의 데이터가 좀 더 많은 레벨로 분산되어 대비가 증가되고, 기울기가 1보다 작은 부분은 축소되어 대비가 감소된다. 데이터가 많이 모여 있는 밝기 부분은 대부분의 영상에서 중요한 목표 물체가 되므로, 이 부분의 대비를 증가 시킴으로써 물체 부분을 좀 더 명확하게 인식할 수 있게 된다. 그러나, 만약 영상 내에서 목표 물체 뿐 아니라 배경 부분의 작은 물체들의 대비도 확장 시키려 한다면, 이러한 글로벌 히스토그램 등화 방식은 적합하지 않다. 배경 부분의 밝기 레벨들은 대개 발생 빈도가 그리 높지 않고 따라서 그 대비는 오히려 감소하기 때문이다.

블록 중첩 히스토그램 등화는 이러한 단점이 없이 영상의 모든 부분에서 비슷한 정도의 대비 향상을 가져올 수 있다. 이는 각 서브블록의 중심점에 그 서브블록으로부터 얻은 변형 함수를 사용하여 히스토그램 등화를 수행함으로써 가능하다. 먼저  $m \times n$  크기의 서브블록을 정의하고 그 원점의 좌표를 0으로 설정한 후 그 서브블록의 히스토그램 등화 함수를 구한다. 그 후 이 함수를 이용하여 해당 서브블록의 중앙 점에 히스토그램 등화를 수행한다. 다음으로 수평 좌표를 1 증가

시킨 후 서브블록 히스토그램 등화를 반복한다. 수평 좌표가 수평 라인의 끝까지 증가하면 수직 좌표를 1 증가 시켜 다음 라인의 처음으로 돌아와 다시 히스토그램 등화를 반복한다. 이 과정을 영상 전체에 수행하여 결과 영상을 얻을 수 있다. 이 방법은 높은 대비를 얻을 수 있으나 영상의 모든 화소들에 대해 서브블록 히스토그램 등화를 수행해야 하므로 그 계산량이 엄청나게 증가하게 된다.

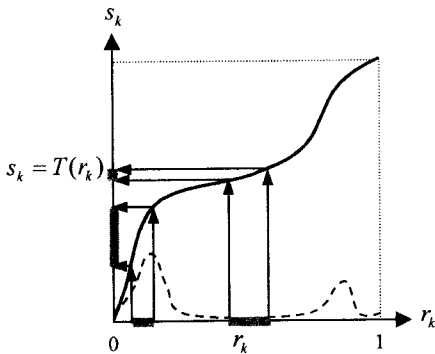


그림 1. 히스토그램 등화 함수  
Fig. 1. Histogram equalization function.

### III. 부분 중첩 서브블록 히스토그램 등화

블록 중첩 히스토그램 등화의 반복 횟수를 줄이기 위해서는 중첩의 횟수를 줄여야만 한다. 이를 위해 비중첩 서브블록 히스토그램 등화 기법을 사용할 수 있는데, 여기서는 각 서브블록이 겹치지 않도록 서브블록의 원점을 이동시켜 가면서 서브블록 전체에 대해 로컬 히스토그램 등화를 수행한다. 그러나 이러한 비중첩 방식은 블록킹 효과를 발생시킨다. 블록킹 효과가 발생하는 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. 입력 영상 내의 인접해 있는 비중첩 서브블록 들을 생각할 때, 이들 각각의 평균 밝기는 거의 비슷하며, 그 경계에 있는 화소들의 밝기는 점진적으로 변화하기 때문에 블록킹 효과는 나타나지 않는다. 그러나 각 서브블록 내의 물체들의 밝기와 크기 등이 다르기 때문에, 이들 각각의 히스토그램은 형태의 차이를 갖는다. 이렇게 형태가 다른 두개의 히스토그램이 해당 서브블록의 변형 함수로 사용되므로, 각 서브블록의 화소들의 밝기 변화 정도도 달라져서 비중첩 서브블록 히스토그램 등화 된 결과 영상에서 인접 서브블록 들의 경계에 블록킹 효과가

나타나게 된다. 즉, 글로벌 히스토그램 등화에서는 영상의 전체 화소에 모두 같은 히스토그램 등화 함수를 적용하므로 블록킹 효과가 나타나지 않으나, 비중첩 서브블록 히스토그램 등화 기법을 사용하면 이웃한 서브블록 들의 히스토그램 등화 함수가 다르기 때문에 블록킹 효과가 나타나는 것이다.

앞에서 언급한 블록 중첩 서브블록 히스토그램 등화는 이러한 변형 함수의 형태 차이를 줄임으로써 블록킹 효과를 없애는 것이다. 이 방법에서는 인접한 화소들을 히스토그램 등화하기 위한 변형 함수들이 거의 겹쳐진 서브블록의 히스토그램으로부터 얻어지므로, 각 히스토그램 등화 함수간의 형태 차이가 거의 없게 되고, 따라서 블록킹 효과가 나타나지 않는 것이다.

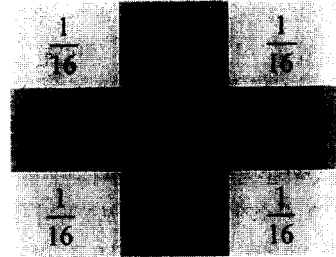


그림 2. POSHE의 확률 밀도 함수  
Fig. 2. pdf of POSHE.

그러므로 비중첩 방식의 빠른 속도를 얻으면서 발생하는 블록킹 효과를 없애려면 인접한 부분 영역들 간의 히스토그램 형태 차이를 없애면 된다. 본 논문에서는 마스크를 이용해서 각 부분 영역들의 히스토그램 등화 함수를 얻음으로써 블록킹 효과를 해결했다. 즉, 한 영역의 히스토그램 등화 함수를 해당 영역의 로컬 히스토그램만을 사용해서 얻는 것이 아니라 인접한 영역들의 히스토그램들의 가중치들의 합으로부터 얻는 것이다. 그림 2에 보인 3×3 마스크를 이용하면, 중심에 있는 영역의 히스토그램 등화 함수는 그 자신의 히스토그램과 인접한 8개 영역의 히스토그램으로부터 얻을 수 있다. 이 마스크는 영상의 저역 통과 필터와 비슷한 형태를 갖고 있고, 그 기능도 비슷하다. 영상 저역 통과 필터는 인접한 화소들간의 밝기 차를 줄임으로써, 영상을 흐릿하게 한다. 본 논문에서 제안된 방식에서는, 이 마스크를 인접한 영역들의 히스토그램들에 적용함으로써, 인접 영역들 간의 히스토그램의 형태 차이를 줄이게 된다. 따라서 각 영역의 히스토그램 등화 함수의 형

태도 비슷해지게 되고 그 결과 블로킹 효과가 감소하게 된다. 마스크의 크기를 증가 시키면, 계산량은 증가되고 블로킹 효과는 더 줄어들게 된다. 여러 가지 영상에의 실험을 통해서 저역 통과 마스크 크기가  $15 \times 15$  이상이면 블로킹 효과를 인식할 수 없음을 확인할 수 있었다.

이러한 저역 통과 필터는 서브블록을 부분적으로 겹치게 이동시키면서 히스토그램 등화를 수행함으로써 간단하게 구현될 수 있다. 이렇게 부분적으로 중첩되는 서브블록을 사용하므로 제안된 방법을 부분 중첩 서브블록 히스토그램 등화 기법(Partially Overlapped Sub-block Histogram Equalization : POSHE)이라고 이름 지었다. 그림 2의  $3 \times 3$  마스크를 구현하기 위해서는, 그림 3에 나타난 것처럼 서브블록을 그 크기의 반 만큼씩 중첩되게 이동시키면서 히스토그램 등화를 수행한다. 이 때 각 서브블록의 히스토그램 등화는 서브블록 내의 모든 화소에 대해 수행되며, 겹쳐진 화소들에 대해 그 결과는 모두 누적되게 된다. 즉, 인접한 두개의 서브블록에 대해 생각해 보면 겹치는 중간 부분의 화소들은 양쪽의 서브블록의 히스토그램에 의해 두 번 히스토그램 등화되고 그 결과는 누적되어 저장되는 것이다. 이 과정을 영상 전체에 대해 수행하면, 그림 3처럼 가장자리 부분을 제외한 부분은 4개의 서브블록에 의해 히스토그램 등화되어 4번 누적된 결과를 갖게 되고 가장자리 부분은 2번, 네 모서리는 1번 반복된 결과를 갖게 된다. 이 누적된 결과의 각 화소 밝기를 그 히스토그램 등화 반복 횟수로 나누면 앞에서 설명한  $3 \times 3$  마스크를 얻을 수 있다. 자세한 유도 과정은 다음 장에 보였다. 서브블록이 중첩되도록 이동시키는 스텝 크기를 서브블록 크기의  $1/4$ 로 하면  $7 \times 7$  마스크를 얻을 수 있고  $1/8$ 로 하면  $15 \times 15$  마스크를 얻을 수 있다. 이처

기의 마스크를 얻을 수 있다. 따라서 영상의 조광 상태에 따라 마스크 크기를 적응적으로 변화시켜가면서 히스토그램 등화를 수행하는 것도 가능하다. 기존의 로컬 히스토그램 등화 기법과 제안된 POSHE와의 계산량 비교 역시 다음 장에 보였다.

다음에 POSHE의 구체적인 수행 과정을 설명하였다.

- 과정 1 : 입력 영상의 크기 ( $M \times N$ )와 같은 출력 영상 배열을 정의하고 모든 값을 0으로 초기화한다.
- 과정 2 :  $m \times n$  서브블록을 정의한다. 그 크기는 어느 값이나 될 수 있으나, 입력 영상의 크기를 2의 배수로 나눈 몫으로 사용하여 곱하기 연산을 시프트 만으로 가능하게 할 수 있다. 서브블록의 원점을 입력 영상의 원점으로 정의한다.
- 과정 3 : 해당 서브블록에 대해 히스토그램 등화를 수행한다. 이 때 히스토그램 등화는 서브블록 내의 모든 화소들에 대해 행해진다. 결과는 앞에서 정의된 출력 배열의 해당 화소 위치에 누적된다.
- 과정 4 : 원점의  $x$ 좌표(수평 좌표)를 수평 스텝 크기만큼 증가 시킨다. 수평/수직 스텝 크기 역시 서브블록 크기 이내의 어떤 값이나 가질 수 있으나, 계산의 편의를 위해 서브블록 크기를 2의 배수로 나눈 몫으로 정의한다.
- 과정 5 : 서브블록 히스토그램 등화를 반복한다.  $x$ 좌표가 한 라인의 끝에 도달할 때까지 반복한다. 라인의 끝이 되면 서브블록의  $y$ 좌표를 수직 스텝 크기만큼 증가 시킨 후 한 라인에 대한 서브블록 히스토그램 등화를 반복한다.
- 과정 6 : 영상 전체에 대한 서브블록 히스토그램 등화 과정이 완료되면 출력 배열에 저장된 값들을 그 히스토그램 등화 반복 횟수에 의해 나눈다. 이 과정을 통해 반복되어 더해졌던 화소의 밝기 값들이 정규화 된다.
- 과정 7 : 만약 서브블록 들의 경계 부분에서 약간의 블로킹 효과가 발생하는 경우, 블로킹 효과 감소 필터 (Blocking Effect Reduction Filter : BERF)를 이용하여 이를 없앤다.

과정 7에서는 BERF가 사용된다. 이것은 서브블록 들의 경계에서 나타날 수 있는 약간의 블로킹 효과를 없애기 위한 간단한 필터이다. 실제로 블로킹 효과는 앞에서 설명한 저역 통과 필터링 효과에 의해 거의 사라

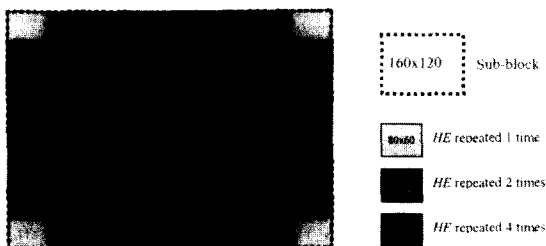


그림 3. POSHE의 영상 프레임  
Fig. 3. Image plane for POSHE.  
럼 스텝 크기만을 변형시킴으로써 간단하게 다양한 크

지지만, 경우에 따라 서브블록 들의 경계에서 인접한 화소들 간에 수 레벨 정도의 밝기 차이가 발생할 수 있다. 이러한 밝기 차이는 블록킹 효과로 나타나기 때문에, 이러한 경우에 대비하기 위하여 BERF를 사용한다. 이 필터의 목표는 히스토그램 등화 중에 블록킹 효과가 나타나지 않도록 하는 것이 아니라, 약간의 블록킹 효과가 나타났을 때 이를 인간의 눈에 보이지 않도록 하는 것이다. 만약 결과 영상의 서브블록 들간의 경계에 인접한 두 화소의 밝기 차이가 정해진 값 이상 나타나게 되면, 이 경계에서 블록킹 효과가 나타난 것이고 이 때 BERF가 동작하게 된다. 블록킹 효과를 확인하는 임계값은 그 값 이상이 될 때 인간의 눈이 밝기차를 구분할 수 있는 크기로 정한다. BERF의 동작은 다음과 같다. 먼저, 블록킹 효과가 확인되면 그 인접한 두 화소의 밝기 값의 평균을 구한다. 다음으로, 경계에 수직인 양방향으로 한 화소씩 밝기 값을 바꾸어 준다. 이 바꾸는 밝기 값은 경계에서 평균값으로 시작하여 더 밝은 서브블록 쪽으로는 밝기를 미리 정해진 값만큼 증가시키는 방향으로, 어두운 서브블록 쪽으로는 그만큼 밝기를 감소시키는 방향으로 정해진다. 이 과정은 종료 조건이 만족될 때까지 수행된다. 종료 조건은 다음과 같다.

- BERF 된 화소의 밝기 값과 다음 화소의 밝기 값의 차이가 증가/감소 스텝 크기보다 작다면, 이는 그 화소의 밝기가 경계에서의 평균값에서 시작해서 원래의 밝기에 도달하게 된 것이므로 종료된다.
- 다음 BERF될 위치에 영상의 에지가 존재하는 경우, 에지에 의해 블록킹 효과는 나타나지 않게되므로 종료된다.

BERF의 예를 그림 4에 보였다. 숫자들은 그 화소의 밝기를 나타낸다. BERF는 서브블록 들의 경계에서의 밝기 차이가 크지 않을 때, 즉 약간의 블록킹 효과가 나타났을 때 효과가 있다.

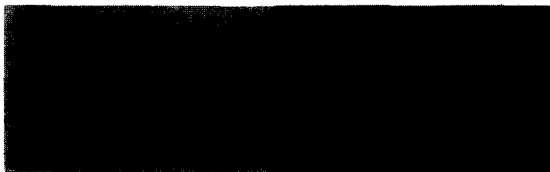


그림 4. BERF의 예  
Fig. 4. Example of BERF.

#### IV. POSHE 분석

식 (1)과 (2)에서 히스토그램 등화 함수는 입력 영상 밝기 레벨들의 누적 분포 함수(pdf)임을 보였다. 그림 3.1의 예와 같이 스텝 크기가 서브블록 크기의 반인 경우에 대해 생각해 보자. 부분적으로 중첩된 4개의 서브블록에 의해 그림 5와 같이 9개의 영역이 생기게 된다. 4개의 서브블록을 1, 2, 3, 4로, 9개의 영역을 a, b, c, d, e, f, g, h, i로 나타내었다. 중앙의 영역 e에 대한 POSHE는 주위의 4개의 서브블록에 의해 이루어진다. 따라서 하나의 영역 e의 히스토그램 등화를 위해 주위의 8개의 영역들의 정보가 사용되는 것이다.



그림 5. 4개의 부분 중첩된 서브블록 들  
Fig. 5. Four partially overlapped sub-blocks.

각 서브블록의 히스토그램 등화 함수를 각각  $T_1(r_k), T_2(r_k), T_3(r_k), T_4(r_k)$ 라고 할 때, 영역 e를 위한 POSHE 함수는 이들에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$s_k^e = \frac{1}{4} [ T_1(r_k^e) + T_2(r_k^e) + T_3(r_k^e) + T_4(r_k^e) ] \quad (3)$$

또한 각 서브블록의 히스토그램 등화 함수는 그 pdf의 누적값이므로 아래의 식들과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_1(r_k^e) = \sum_{r_j=0}^k p_1(r_j), \quad p_1(r_j) = \frac{n_j^1}{4n} = \frac{n_j^a + n_j^b + n_j^d + n_j^e}{4n} \quad (4)$$

$$T_2(r_k^e) = \sum_{r_j=0}^k p_2(r_j), \quad p_2(r_j) = \frac{n_j^2}{4n} = \frac{n_j^b + n_j^c + n_j^e + n_j^f}{4n} \quad (5)$$

$$T_3(r_k^e) = \sum_{r_j=0}^k p_3(r_j), \quad p_3(r_j) = \frac{n_j^3}{4n} = \frac{n_j^d + n_j^e + n_j^g + n_j^h}{4n} \quad (6)$$

$$T_4(r_k^e) = \sum_{r_j=0}^k p_4(r_j), \quad p_4(r_j) = \frac{n_j^4}{4n} = \frac{n_j^e + n_j^f + n_j^h + n_j^i}{4n} \quad (7)$$

여기서  $n$ 은 4개의 서브블록에 의해 만들어지는 전체 영역의 화소 수를 나타내며,  $n_j^e$ 는 각 영역  $x(x = a, b, \dots, i)$ 에서 레벨  $j$ 를 갖는 화소들의 수를 나타낸다. (4)~(7)를 (3)에 대입하면, 영역  $e$ 의 히스토그램 등화 함수는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다. 또한 히스토그램 등화 함수 (8)은 영역  $e$ 의 누적 분포 함수 (cdf)를 나타내므로, 영역  $e$ 의 POSHE를 위한 확률 밀도 함수(probability density function : pdf)는 (8)을 그림 5의 9개의 영역들로 이루어지는 전체 화소 수로 나눈 식 (9)로 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 s_k^e &= \frac{1}{4} \sum_{j=0}^k [p_1(r_j) + p_2(r_j) + p_3(r_j) + p_4(r_j)] \\
 &= \frac{1}{4} \sum_{j=0}^k \left[ \frac{4n_j^a + 2n_j^b + 2n_j^d + 2n_j^f + 2n_j^g + n_j^i + n_j^c + n_j^e + n_j^h}{\frac{4n}{9}} \right] \quad (8) \\
 &= \sum_{j=0}^k \left[ \frac{\frac{9}{4} n_j^a + \frac{9}{8} (n_j^b + n_j^d + n_j^f + n_j^g) + \frac{9}{16} (n_j^c + n_j^e + n_j^h + n_j^i)}{\frac{4n}{9}} \right] \\
 &= p(r_j^e) = \frac{1}{4} p_c(r_j^e) + \frac{1}{8} [p_b(r_j^e) + p_d(r_j^e) + p_f(r_j^e) + p_g(r_j^e)] \\
 &\quad + \frac{1}{16} [p_a(r_j^e) + p_e(r_j^e) + p_h(r_j^e) + p_i(r_j^e)] \quad (9)
 \end{aligned}$$

여기서  $p_x(r_j^e)$ 는 영역  $x$ 에서 레벨  $j$ 가 나타날 확률을 나타낸다. 이 pdf의 합은  $\frac{1}{4} + 4 \times \frac{1}{8} + 4 \times \frac{1}{16} = 1$ 이 되어 총 합이 1이 되어야 한다는 확률밀도함수의 조건을 만족한다.

제안된 알고리즘의 효율성을 확인하기 위해서는 이전의 블록 중첩 히스토그램 등화 기법과 POSHE의 계산량을 비교해 보아야 한다. 두 알고리즘을 정확하게 비교하는 것은 어렵기 때문에, 가장 큰 부분을 차지하는 서브블록 히스토그램 등화 횟수를 비교해 보도록 한다. 블록 중첩 히스토그램 등화 기법은 모든 화소에 히스토그램 등화가 적용되어야 하므로,  $M \times N$  크기의 영상에 대해서  $M \times N$  번의 반복이 필요하다. 서브블록의 중앙점에 대해 히스토그램 등화를 수행하므로 네 모서리의 서브블록의 반 크기의 영역은 다른 방법으로 등화 되어야만 한다. 이 부분에 대해 히스토그램 등화가 수행되지 않는다고 가정하면 블록 중첩 히스토그램 등화 기법의 최소 반복 횟수를 구할 수 있다. 서브블록 크기가  $m \times n$  이라고 할 때 블록 중첩 방법의 히스토그램 등화 반복 횟수를  $N_{BOHE}$ 라면, 이는 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$N_{BOHE} = (M - m) \times (N - n) \quad (10)$$

POSHE의 히스토그램 등화 횟수는 서브블록 크기와 스텝 크기에 비례한다. 서브블록 크기를 영상 크기의  $1/B$ 라 하고 스텝 크기를 영상 크기의  $1/S$ 라 하면, POSHE의 히스토그램 등화 횟수  $N_{POSHE}$ 는 아래의 식으로 나타낸다.

$$N_{POSHE} = \left[ \left(1 - \frac{1}{B}\right)S + 1 \right]^2 \quad (11)$$

POSHE는 BERF와 반복 횟수만큼 출력을 나누어주기 위한 계산이 추가로 필요하다. 출력 나눗셈은 시프트와 간단한 곱셈으로 구현될 수 있어 계산량이 크지 않고 일정하기 때문에, 상수 C로 대체될 수 있다. BERF는 각 서브블록의 경계에 대해서 블록킹 효과가 나타나는 경우에만 동작한다. 따라서 가장 많이 동작한 경우는 모든 경계에 대해 다 동작한 경우이고, 이 때 그 반복 횟수  $N_{BERF}$ 는 경계의 수, 즉 스텝 크기  $1/S$ 에 반비례한다. 이는 다음 식으로 표현된다.

$$N_{BERF} = M(S - 1) + N(S - 1) = (M + N)(S - 1) \quad (12)$$

이 식에 따라  $640 \times 480$  영상에 대해 BERF 반복 횟수는  $1120(S - 1)$ 번이 된다.

BERF는 3번의 덧셈과 1번의 시프트, 그리고  $160 \times 120$  크기 서브블록에 대해 최대 80회의 증가 또는 감소로 구성된다. 이를 255번의 덧셈 (8비트 영상에 대해), 256번의 시프트, 그리고  $m \times n$  번의 증가로 이루어진 서브블록 히스토그램 등화와 비교해 볼 때, 덧셈은 약  $1/85$ , 시프트는  $1/256$ , 증가/감소는 서브블록 크기가  $160 \times 120$ 일 경우  $1/240$ 이 되어 최대로 약  $1/85$  정도의 계산량을 갖는다.  $C_{HE}$ 을 히스토그램 등화 연산량,  $C_{BERF}$ 를 BERF 연산량이라고 하면, 이는 다음 식으로 표현된다.

$$C_{BERF} = \frac{1}{85} C_{HE} \quad (13)$$

따라서, POSHE의 전체적인 서브블록 히스토그램 등화 반복 횟수  $C_{TOTAL}$ 는 식 (11), (12)와 (13)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C_{TOTAL} &= N_{POSHE} \times C_{HE} + N_{BERF} \times C_{BERF} + C \\
 &= \left[ \left(1 - \frac{1}{B}\right)S + 1 \right]^2 + \frac{1}{85} (M + N)(S - 1) \times C_{HE} + C \quad (14) \\
 &= \left[ \left(1 - \frac{1}{B}\right)S^2 + \left\{ 2\left(1 - \frac{1}{B}\right) + \frac{(M + N)}{85} \right\} S - \frac{(M + N)}{85} \right] \times C_{HE} + C
 \end{aligned}$$

식 (10)과 (14)를 이용해서 두 방법의 복잡도를 비교해 볼 수 있다. 영상의 크기가  $640 \times 480$ 이고 서브블록 크기는  $160 \times 120$ , 즉  $B = 4$ 로 고정되었다고 가정할 때, POSHE의 히스토그램 등화 횟수는  $S$ 의 이차함수로 나타나게 되어 그림 6의 그래프를 얻을 수 있다.

그림 6(a)는 전체를, 6(b)는  $S = 160$ , 즉 스텝 크기가  $1 \times 3$ 인 경우까지를 확대해서 나타낸 것이다. 실험 결과에 의하면 영상 크기가  $640 \times 480$ 이고 서브블록 크기가  $160 \times 120$ 일 때 스텝 크기가  $20 \times 15$  이하가 되면 블록킹 효과가 나타나지 않는다. 그림 6의 그래프에서 스텝 크기  $20 \times 15$ 에 대한 반복 횟수는 1028번으로, 이는 블록 중첩 방법의 172800번의 0.59%가 되어 계산량이 확실히 줄었음을 알 수 있다.

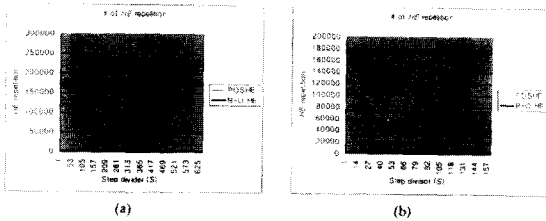


그림 6. 블록 중첩 방식과 POSHE의 히스토그램 등화 반복 횟수 비교 (a)  $S = 0$  부터  $S = 640$ , (b)  $S = 0$  부터  $S = 160$ 까지의 확대된 그래프

Fig. 6. HE repetition frequencies of block-overlapped HE and POSHE (a) From  $S = 0$  to  $S = 640$ , (b) Zoomed version of (a) from  $S = 0$  to  $S = 160$ .

## V. 시뮬레이션 결과

그림 7과 그림 8에 각 방법에 대한 시뮬레이션 결과와 그 히스토그램을 보였다. 히스토그램 등화와 같은 방법은 그 성능을 비교할 수치적인 값이 없기 때문에 결과 영상의 주관적인 판단에 근거해야 하며, 따라서 많은 테스트가 필요하다. 본 논문에서는 수백장의 영상에 대한 실험을 하였고, 그로부터 실험 결과와 블록킹 효과가 없는 서브블록의 크기를 결정하였다. 실험 영상의 크기는  $640 \times 480$  화소, 서브블록의 크기는  $160 \times 120$  화소이며, POSHE에 쓰인 스텝 크기는  $20 \times 15$  화소, 마스크 크기는  $15 \times 15$ 이다.

실험 결과들의 공통적인 특징은 다음과 같다. 글로벌 히스토그램 등화 기법은 어둡고 큰 목표 물체 부분의 대비를 증가시키나, 그 대가로 배경이나 작은 물체 부분의 대비를 감소시킨다. 블록 중첩 방식이나 POSHE

의 대비는 영상 전반에 걸쳐서 고르게 증가되었으며 블록킹 효과도 나타나지 않는다.



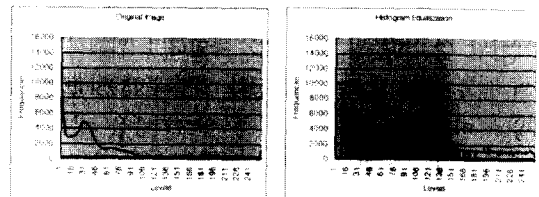
(a)

(b)



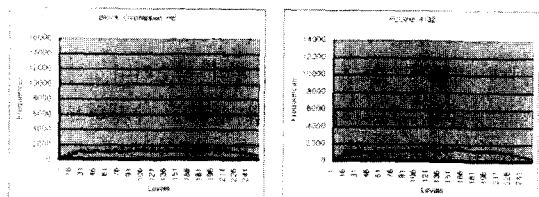
(c)

(d)



(a)

(b)



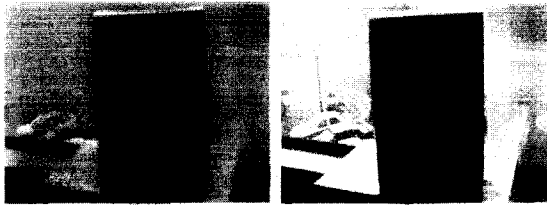
(c)

(d)

그림 7. 시뮬레이션 결과와 히스토그램  
(a) 원래 영상, (b) 히스토그램 등화 영상  
(c) 블록 중첩 등화 영상, (d) POSHE 영상

Fig. 7. Simulation result and histogram  
(a) original image, (b) histogram equalized image, (c) block-overlapped HEed image, (d) POSHEed image.

결과 히스토그램을 보면, 글로벌 히스토그램 등화된 영상 의 히스토그램은 원래 영상의 히스토그램과 비슷한 형태를 가지나 뒤의 두 가지 방법에서는 결과 히스토그램이 원래의 형태와 전혀 다름을 알 수 있다.



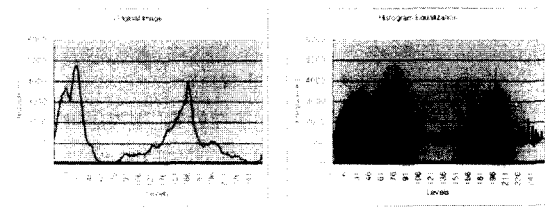
(a)

(b)



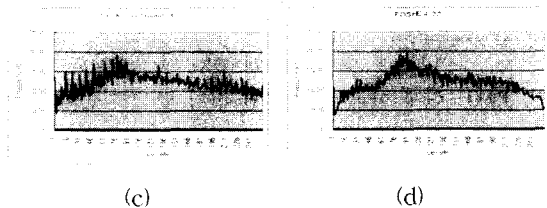
(c)

(d)



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 8. 시뮬레이션 결과와 히스토그램  
(a) 원래 영상, (b) 히스토그램 등화 영상  
(c) 블록 중첩 등화 영상, (d) POSHE 영상

Fig. 8. Simulation result and histogram  
(a) original image, (b) histogram equalized image, (c) block-overlapped HEed image, (d) POSHEed image.

그림 7을 보면 이러한 사실을 쉽게 확인할 수 있다. (c), (d)의 두 로컬 히스토그램 등화 결과 영상을 보면 의자 부분 대비도 글로벌한 방법에 비해 더 확장되었지만, 특히 크게 차이 나는 것은 배경의 대비이다. 그림 7(b)의 경우 배경 부분의 데이터는 거의 소실되어 나타

나지 않지만 (c), (d)의 로컬한 방법의 경우 배경 멀리 에 있는 물체들의 대비도 함께 확장되어 훨씬 뚜렷해 졌음을 알 수 있다. 이전의 블록 중첩 히스토그램 등화 기법과 제안된 POSHE의 결과를 비교해 보면, 두 방법 의 대비 강화 정도가 거의 비슷함을 알 수 있다.

그림 8의 또 다른 역광 영상에 대한 결과에서도 마찬가지 현상을 확인할 수 있다. POSHE는 이전의 블록 중첩 방식과 거의 비슷한 대비를 가지며, 블록킹 효과 는 나타나지 않는다.

## VI. 결 론

본 연구에서는 지역 통과 필터 형태의 마스크를 히스토그램 등화의 확률 밀도 함수에 적용함으로써 기존의 로컬 히스토그램 등화 기법보다 더 간단하고 빠른 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘인 POSHE의 가장 큰 특징은 지역 통과 필터 형태의 마스크이다. 서브블록의 히스토그램 등화 함수를 그 자신의 히스토그램으로부터만 얻는 것이 아니라 지역 통과 필터 형태 의 마스크를 인접 서브블록 들의 히스토그램에 적용해 서 얻음으로써 블록킹 효과를 없애면서 속도를 크게 향상시켰다. 이러한 지역 통과 필터는 각 서브블록을 일부만 중첩되도록 이동시키면서 서브블록 히스토그램 등화를 수행함으로써 간단하게 구현된다. POSHE를 이 용함으로써 기존의 글로벌 히스토그램 등화 기법보다 훨씬 큰 대비를 빠른 시간 안에 블록킹 효과 없이 얻 을 수 있었다. 또한 배경 부분의 지나친 대비 강화로 인한 원근감의 왜곡을 막기 위해 글로벌 히스토그램 정보를 로컬 히스토그램과 함께 사용함으로써 영상의 로컬한 밝기 특성과 글로벌한 밝기 특성에 모두 적용 할 수 있게 되었다. 이러한 특성들은 제안된 알고리즘 을 폐쇄 회로 캠코더나 영상 인식 장치, 디지털 스틸 카메라 등에 활용할 수 있게 해 준다.

## 참 고 문 헌

- [1] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd edition. Addison-Wesley Publishing Co., 1992.
- [2] Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 1989.



- [3] J. Zimmerman, S. Pizer, E. Staab, E. Perry, W. McCartney, and B. Brenton, "Evaluation of the Effectiveness of Adaptive Histogram Equalization for Contrast Enhancement", *IEEE Trans. On Medical Imaging*, December, 1988, pp. 304-312.
- [4] Tae-keun Kim, Joon-ki Paik, and Bong-soon Kang, "Contrast Enhancement System Using Spatially Adaptive Histogram equalization with Temporal Filtering", *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 1, February 1998, pp.82-86.
- [5] Yeong-taeg Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram equalization", *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, Vol. 43, No 1, February 1997, pp.1-8.
- [6] G. Boccignone, "A Multiscale Contrast Enhancement Method", in *Proc. of International Conference on Image Processing, 1997*, pp.306-309.
- [7] Vicent Caselles, Jose Luis Lisani, Jean Michel Morel, and Guillermo Sapiro, "Shape Preserving Local Contrast Enhancement", in *Proc. of International Conference on Image Processing, 1997*, pp.314-317.
- [8] Shigeo Sakaue, Akihiro Tamura, Masaaki Nakayama, Susumu Maruno, "Adaptive Gamma Processing of the Video Cameras for the Expansion of the Dynamic Range", *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, Vol. 41, No 3, August 1995, pp.555-562.

## 저 자 소 개



金正淵(正會員)

1997년 연세대학교 전자공학과 학사. 1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 주관심 분야: 영상 처리, 3D Graphics, VLSI 설계.



黃承浩(正會員)

1979년 서울대학교 전자공학과 학사. 1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1985년 U. C. Berkeley 전기공학과 박사. 1985~1989년 univ. of California 연구원 및 Schlumberger Technology 연구원. 1990~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수. 주관심 분야: 하이레벨 회로 합성 및 전력 소모 예측 및 최적화를 위한 CAD 알고리즘, hardware-software codesign, VLSI 설계



金利燮(正會員)

1982년 서울대학교 전자공학과 학사. 1986년 Stanford University 전자공학과 석사. 1990년 Stanford University 전자공학과 박사. 1990~1993년 Toshiba Corporation 연구원. 1993년~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수. 주관심 분야: 멀티미디어 VLSI 설계, 저전력 설계, EMI 설계, 3D Graphics