

Bin Underflow Bin Overflow 를 이용한 Contrast Enhancement

오재환, 강현, 양승준
삼성전자 디지털 미디어 연구소 Video Lab.

Contrast Enhancement with Bin Underflow and Bin Overflow

Jae-Hwan Oh, Hyun Kang, Seung-Joon Yang
Video Lab., Digital Media R&D Center, Samsung Electronics CO., LTD.
E-mail : aroma5@samsung.co.kr

Abstract

Image enhancement 를 하기 위한 영상처리 알고리즘 중의 하나인 contrast enhancement 알고리즘은 화면의 flickering 과 같은 부작용과 조절 가능한 contrast enhancement rate 에 대한 구현의 어려움 등으로 실제 TV 와 같은 동영상에 적용하기에 어려움이 있었다.

본 논문에서는 Bin Underflow Bin Overflow(BUBO)를 이용하여 동영상에 적용할 경우에도 flickering 등의 부작용이 생기지 않으며 contrast enhancement rate 을 조절할 수 있는 효율적인 알고리즘을 제안한다. 또한 이와 관련하여 영상의 휘도 레벨에 있어서 어두운 영역의 계조와 밝은 영역의 계조를 향상시킬 수 있는 black/white level stretch 알고리즘과 전체 화면의 출력 휘도 레벨에 대한 dynamic range 를 유지하면서 brightness 를 조절할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

I. 서론

Contrast enhancement 알고리즘은 영상의 휘도 레벨에 대한 dynamic range 를 넓혀 줌으로써 contrast 를 향상시키는데 그 목적이 있다. Underexposed 되거나 overexposed 된 사진에서 볼 수 있듯이, 부적절한 contrast 는 화질을 크게 저하시킬 수 있다. 영상의 contrast 를 향상시키기 위한 알고리즘 중의 하나인

histogram equalization(HE)[1]-[2]은 그 효과에 비해 구현이 단순한 반면, pixel 의 분포(histogram)에 따라 만들어지는 cumulative distribution function(cdf)이 바로 mapping 함수로 적용되기 때문에 contrast enhancement rate 을 조절할 수 없으며, 화질이 좋은 영상의 경우 오히려 화질을 떨어뜨릴 수 있다.

본 논문에서는 Bin Underflow Bin Overflow (BUBO)를 이용하여 영상의 histogram 이 어느 한쪽의 휘도 레벨로 집중되어 있을 경우에도 자연스런 휘도 mapping 함수를 계산할 수 있고, 동영상의 flickering 을 제한하며 contrast 를 향상시킬 수 있는 효율적인 알고리즘을 제안한다. 또한, BUBO 알고리즘에 사용되는 두 가지 threshold 를 이용하여 black/white 영역의 레벨을 stretch 하고, 출력 휘도 레벨의 dynamic range 를 유지하면서 영상의 brightness 를 조절하는 방법을 제안한다.

II. 기존 알고리즘: Histogram Equalization

HE 의 궁극적인 목적은 영상의 histogram 이 균일한 분포를 갖도록 함으로써 휘도 값 분포를 재분배 하는 것이다. 즉, HE 는 입력 영상의 휘도 레벨을 count 하여 histogram 즉, probability density function(pdf)을 구하고 그것으로부터 cdf 를 구해낸다. 이 cdf 를 이용하여 주어진 영상의 histogram 을 uniform 한 형태로 바꿔 줌으로써 영상의 contrast 를 향상시켜 주게 된다[3]. 그러나, HE

는 contrast enhancement rate 을 조절할 수 없다. 영상이 주어지면 이로부터 pdf 와 cdf 가 곧바로 구해지고 이것은 contrast enhancement 를 위한 mapping 으로 그대로 사용되기 때문에, 그 과정에서 contrast enhancement rate 을 조절할 방법이 없다. 주어진 영상의 성질이 특이하거나 noise 로 인해 degrade 되었을 경우 원하지 않는 결과를 얻기 쉬우며, 정지영상이 아닌 동영상에 적용할 경우 image frame 의 작은 histogram 변화에 따라 화면의 flickering 이 발생하는 단점이 있다.

III. 제안한 알고리즘

3.1 Contrast Enhancement with BUBO

앞에서 설명한 HE 는 pdf 가 어느 한 영역의 휘도 레벨에 집중되어 있을 경우, 그것으로부터 계산된 mapping 함수에 의해 오히려 화질을 떨어뜨리고 pdf 의 변화에 의해 mapping 함수의 심한 fluctuation 으로 화면의 flickering 이 일어난다.

BUBO 를 이용한 contrast enhancement 알고리즘은 overflow threshold 와 underflow threshold 의 두 가지 threshold 를 이용하여 HE 의 단점을 극복하였다. 식 1 을 보면, 하나의 휘도 레벨에서 cdf 증가율은 해당 휘도 레벨에서의 pdf 양을 의미한다. 따라서, 식 2 와 같이 하나의 휘도 레벨에서의 pdf 양에 대해 제한을 해준다면 cdf 증가율을 조정할 수 있게 된다.

<식 1>

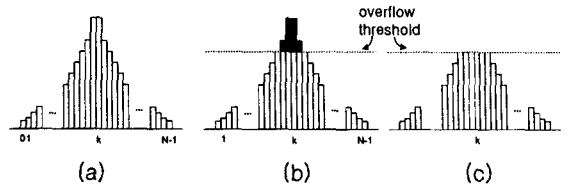
$$cdf[k] = \sum_{t=0}^k pdf[t] \rightarrow \frac{d}{dt} cdf[k] = pdf[k]$$

<식 2>

$$th_b \leq pdf[k] \leq th_a$$

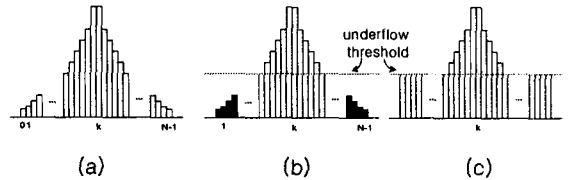
th_a : overflow threshold
th_b : underflow threshold

Overflow threshold 는 그림 1 과 같이 영상의 pdf 가 어느 한 영역의 휘도 레벨에 집중되어 있을 경우, 그것으로부터 계산되는 cdf 의 급격한 증가를 방지하기 위해 overflow threshold 를 넘는 pdf 는 clipping 하는 역할을 한다.



<그림 1> Bin Overflow Operation. (a) input pdf, (b) bin overflow occurs, and (c) pdf after bin overflow

한편, 그림 2 와 같이 underflow threshold 보다 낮은 pdf 의 크기를 갖는 휘도 레벨이 있을 경우, 그것으로부터 계산되는 cdf 의 부족한 증가량을 보충하기 위해 underflow threshold 값만큼 pdf 값을 대치하게 된다. 이러한 threshold 에 의한 pdf 의 제한 및 조정은 영상의 pdf 변화에 robust 한 알고리즘을 구현하게 해주며, 동영상에 적용할 경우 flickering 의 부작용을 제거해 준다.



<그림 2> Bin Underflow Operation. (a) input pdf, (b) bin underflow occurs, and (c) pdf after bin underflow

이렇게 해서 조정된 pdf 로부터 cumulative sum 을 통하여 cdf 를 구한다. 누적된 cdf 는 overflow threshold 와 underflow threshold 에 의한 영향으로 그 최대 값이 영상의 전체 pixel 수에 미치지 못하거나 넘게 된다. 따라서 식 3 혹은 식 4 에 의해 BUBO 알고리즘이 cdf 에 미친 영향을 보정해주게 된다.

<식 3>

$$cdf[k] = cdf[k] - \frac{cdf[N-1]}{N-1} \times k + c \times k$$

<식 4>

$$cdf[k] = \frac{cdf[k]}{cdf[N-1]} \times (N-1)$$

N : gray level number
 c : constant

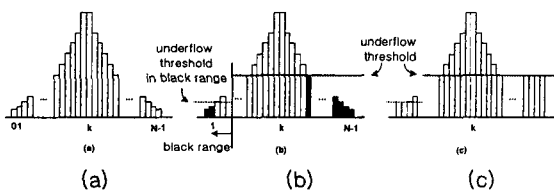
보상된 cdf는 0~255의 휘도 레벨로 normalize 되고, 이것을 mapping 함수로 이용하여 입력 영상의 pixel 값을 변화시켜 준다.

이렇게 두 가지 threshold를 이용함으로써 BUBO를 이용한 contrast enhancement 알고리즘은 영상의 statistic에 맞게 적절히 대응할 수 있고, threshold값의 조정에 따라 자연스럽게 contrast enhancement rate을 조절할 수 있다. 또한, underflow threshold값과 overflow threshold값을 조정함에 따라 HE를 수행하도록 하는 두 가지 효과를 거둘 수 있다.

3.2 Black/White Level Stretch with BUBO

화질을 향상 시키는데 있어서 black과 white의 레벨은 인간의 시각 특성상 매우 중요하다. 같은 영상을 보더라도 black과 white의 레벨에 따라서 그 선명도는 달리 평가된다.

BUBO를 이용한 black/white level stretch 알고리즘은 stretch하고자 하는 휘도 레벨의 black영역과 white영역에 독립적인 overflow/underflow threshold를 설정해 줌으로써 간단하게 구현된다. 그림 4와 같이 black영역의 underflow threshold를 낮게 주었을 경우, underflow threshold에 의해 대치되는 값이 낮아지면서 cdf의 증가율도 낮아지게 되고 해당 영역의 black레벨이 stretch되는 효과를 얻게 된다.



<그림 3> Bin Underflow for Black Level Stretch. (a) input pdf, (b) bin underflow occurs, and (c) pdf after bin underflow

한편, white 영역의 underflow threshold를 낮게 주었을 경우, underflow threshold에 의해 대치되는 값이 낮아지면서 cdf의 증가율도 낮아지지만, 이것은 cdf를 보상

해주는 과정에서 해당 영역의 mapping 함수가 white레벨이 stretch되도록 형성된다. 또한, 위 두 가지 경우에 stretch하고자 하는 영역에 대해, 다른 영역보다 더 낮은 overflow threshold를 적용할 경우 더 좋은 stretch효과를 얻을 수 있다. BUBO 알고리즘이 letter box와 같은 영상에 적용될 때, 영상의 많은 부분을 차지하는 black레벨이 하나의 휘도 값을 갖지 않고 noise에 의해 넓은 영역에 걸쳐 여러 개의 휘도 값을 갖게 된다면, 최적의 cdf 증가율을 형성할 수 없게 된다. 이러한 경우, overflow threshold값을 낮게 설정하여 줌으로써 letter box의 black에 해당되는 휘도를 선명하게 stretch할 수 있다.

3.3 Brightness Control with BUBO

영상처리를 하기 위한 알고리즘을 설계하다 보면, 적용할 application이나 패널의 특성에 따라 영상의 brightness를 높이거나 낮춰야 할 필요성이 생긴다. 이러한 경우, 영상의 휘도에 따른 offset의 가감을 이용하거나 auto gain control(AGC) 회로를 추가함으로써 brightness를 조절하게 된다. 하지만, 전자의 경우 black레벨이나 white레벨 방향으로 saturation이 일어나 출력 휘도 레벨의 dynamic range가 손실되며, 후자의 경우 추가적인 회로에 의한 복잡도가 증가하게 된다.

BUBO를 이용한 brightness control 알고리즘은, overflow/underflow threshold에 기울기를 줌으로써 출력 휘도 레벨의 dynamic range의 손실 없이 단순함을 유지하며 구현될 수 있다. Underflow threshold를 음의 기울기를 줄 경우, 휘도 레벨의 어두운 영역이 밝은 영역보다 큰 underflow threshold값으로 대치되면서 mapping 함수의 곡선이 출력 휘도 레벨의 dynamic range를 유지하며 전체적으로 높아져 brightness가 증가된다. 또한, underflow threshold에 양의 기울기를 줄 경우, 휘도 레벨의 밝은 영역이 어두운 영역보다 큰 underflow threshold값으로 대치되면서 mapping 함수의 곡선이 전체적으로 낮아져 brightness가 감소된다.

Overflow threshold에 기울기를 주는 경우는, 휘도레벨의 영역별 pdf 증가율에 영향을 줄 수 있다. Overflow threshold에 양의 기울기를 줄 경우 어두운 영역의 cdf 증가율이 높게 되고 반대로 밝은 영역의 cdf 증가율이 낮게 된다. 이것은 어두운 영역의 contrast가 상대적으로 밝은 영역에 비해 증대된다는 것을 의미하

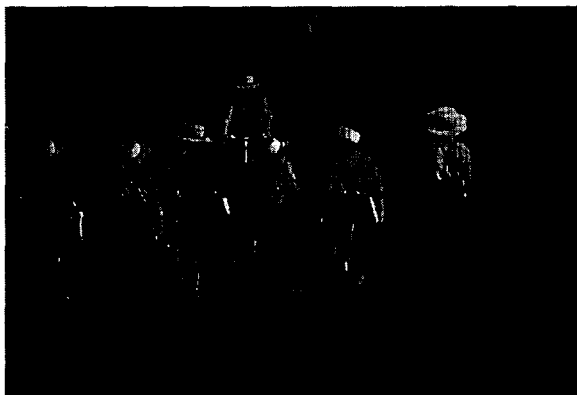
며 contrast enhancement rate 을 결정하는 중요한 factor 가 된다.

IV. 실험 및 결과

BUBO 를 이용한 세 가지 알고리즘의 테스트는 영상의 반만을 처리 하여 비교하기 편리하게 하였다. 또한, 테스트 영상과 함께 mapping 함수의 곡선을 나타내었고, overflow/underflow threshold 에 변화된 pdf 의 모양을 변화되기 전의 pdf 와 함께 나타내었다.



(c) Brightness increased image with BUBO



(a) Contrast enhanced image with BUBO



(b) Black/white level stretched image with BUBO

<그림 4> Contrast Enhancement with BUBO

V. 결론

본 논문에서는 Bin Underflow Bin Overflow(BUBO)를 이용하여 영상의 contrast 를 향상 시키고, black/white 레벨을 stretch 하며 application 이나 패널의 특성에 따라 brightness 를 조절하는 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 특히, 알고리즘을 하드웨어로 구현해 검증한 결과, 구현이 단순하며 동영상에 적용했을 경우 flickering 등의 부작용이 없었으며, black 과 white 레벨이 stretch 되고, 출력 휘도 레벨의 dynamic range 를 유지하면서 brightness 를 향상시키는 등 선명한 영상을 재현해 주었다.

참고문헌

- [1] Digital Image Processing, Rafael C. Gonzalez
- [2] A Simplified approach to Image Processing, Randy Crane
- [3] Albert M. Vossepoel, Berend C. Stoel, and A. Peter Meershoek. Adaptive histogram equalization using variable regions. In Proceedings of the 9th International Conference on Pattern Recognition, pages 351-353. IEEE, 1988.