

Histogram을 이용한 적응형 내시경 Image Enhancer의 개발

이상학, 김정훈, 송철규*, 이영목*, 김원기*, 이명호
연세대학교 공과대학 전기공학과, *삼성생명과학연구소 임상의공학센터

Development of Adaptive Endoscope Image Enhancer Using Histogram

S. H. Lee, J. H. Kim, C. G. Song*, Y. M. Lee*, W. K. Kim*, M. H. Lee
Department of Electrical Engineering, Yonsei University
*Biomedical Engineering Center, SAMSUNG Medical Center

ABSTRACT

Endoscope image is the shape that a doctor sees inside of patient through endoscope. The characteristics of these images are much effected by the light source of endoscope, specially areas in short distance from a light have much light source and look clear, but areas in long distance from a light look dark relatively because of little light quantity.

So we developed a new level adaptive image enhancer for the dark area in a endoscope image. The algorithm we made consists of three parts ;

- 1) Classification of histogram in segmented area
- 2) Smoothing and Adaptive Histogram Equalization
- 3) Adaptive Histogram Modification

1. 서론

내시경은 임상적으로 위내부를 들여다보는등의 관찰기능 뿐만아니라 수술시에도 사용되는등 활용도가 날로 증대되고 있다. 내시경을 신체 내부에 삽입하여 사용할 경우 사진이나 모니터상에 나타나는 이미지는 내시경에서 나오는 빛의 영향을 받거나 인체내부의 특성상 어둡거나 희미하게 보이는 부분이 존재한다. 또한 광원의 영향과 더불어 위장이나 그외 장기들은 굴곡이 있는 부분이 많이 있어서 빛의 반사로 인해 올바른 이미지의 형태를 띠지 않는 경우도 종종 있다.

이런 이미지를 일반적인 histogram enhance를 적용하여 처리하면 밝은 부분이 saturation되어 지나치게 밝게 보이게 되고, 반대로 어두운 부분의 이미지는 너무 어둡게 되는 결과를 낳게 된다. 이러한 결과는 고도의 정밀도를 원하는 의료영상에서, 기존의 정보가 손실되고 진료의가 원하는 정보를 놓치게 되는 잘못을 범하는 것이다. 본 논문에서는, 산부인과 영상을 이용해서 광원과 멀리 떨어진 어두운 영역중 개선하고자 하는 이미지영역의 histogram을 찾아서 세가지 패턴으로 분류한 후 processing을 적용할 범위를 찾아 adaptive histogram equalization과 modification을 통해 이미지를

enhance하는 방법을 사용하였다.

본 논문에서 사용한 내시경이미지는 삼성의료원에서 제공한 것으로 TGA(TARGA)형식을 취한 color 이미지로 되어있는데 이중 gray정보만을 추출하여 사용하였다.

2. Histogram Pattern 분류와 Smoothing

내시경 이미지(512 by 486)중에 개선하고 싶은 부분을 마우스로 사각 박스를 만들어 capture한다. 이렇게 capture한 segment는 세가지 종류의 histogram으로 구분할 수 있다. 첫째가 unimodal이면서 distance(segment의 gray level 중에 가장 작은 값과 가장 큰 값의 범위, 단 noise로 인식될 수 있는 가능성이 있는 pixel들은 배제한다)가 1/2 gray level 보다 작은 경우이고, 둘째가 unimodal이면서 histogram의 distance가 gray level(0~255)의 1/2 보다 큰 경우이다. 셋째로 bimodal인 경우이다. 그러나 bimodal이면서 distance가 1/2 gray level 보다 작은 경우는 실제 잘 일어나지 않는 일이기 때문에 논의로 한다.

일반 histogram은 크기의 변화가 심하여 미분하였을 경우 zero crossing이 많이 생겨 결과적으로 아래에 설명할 계곡점을 detect하기 어렵다. 뿐만아니라 최대 gray value에 가까워 질수록 histogram의 변화가 많고 선택한 영역의 특성에 따라 연속적인 형태를 취하지 못하고 몇 단계를 건너뛰어 나타나기도 한다. 그렇수록 잘못된 결과를 얻게되는 경우가 많기 때문에 이런 문제를 해결하기위해 전처리과정으로 식(1)과같이 histogram을 smoothing하는 방법을 택하였다.

$$\begin{aligned} \text{Smooth_hist}[k] &= \frac{1}{9} (\text{hist}[k-4] + \text{hist}[k-3] \\ &+ \text{hist}[k-2] + \text{hist}[k-1] + \text{hist}[k] \\ &+ \text{hist}[k+1] + \text{hist}[k+2] + \text{hist}[k+3] \\ &+ \text{hist}[k+4]) \end{aligned} \quad (1)$$

그리고 처리할 histogram의 유효범위를 결정하기 위해 임의의 점 k를 시작으로 k-1, k-2, k-3, k-4, k-5에서의 histogram의 값이 threshold를 넘어갈 때를 최대 gray value로 설정하고 최소 gray value는 최초로 나타나는 gray value로 설정하였다.

앞서 언급한 세가지 segment에 대한 histogram의 처리범위중 top_his(적용범위의 위쪽 한계값) 설정방법은 다음과 같다.

case1. Unimodal중에 distance가 1/2보다 작을 경우는 영역의 최대 gray value를 선택하도록 한다.

case2. Unimodal중에 distance가 1/2보다 클 경우는 distance의 80%를 가지는 값에 최소 gray value를 더한 값을 선택하도록 한다.

case3. Bimodal인 경우 두 peak사이의 계곡값을 검출해야 한다.

먼저 case1에서는 간단히 bottom_his (적용범위의 아래쪽 한계값)를 histogram의 최소 gray value로, top_his를 최대 gray value값으로 선택하면 된다.

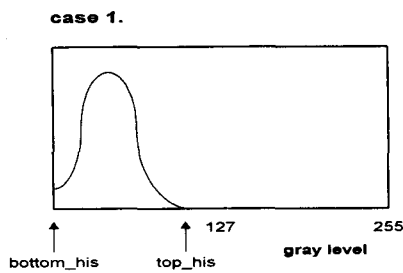


그림1 case1의 histogram(Unimodal)
Fig.1 Histogram of case1(Unimodal)

case2에서는 bottom_his를 최소 gray value로, top_his를 distance의 80%에 최소 gray value를 더한 값으로 한다.

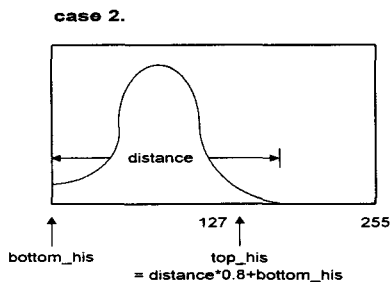


그림2 case2의 histogram(Unimodal)
Fig.2 Histogram of case2(Unimodal)

마지막으로 case3에서는 두 peak사이의 계곡값을 detect해야 한다. 먼저 smooth histogram을 미분하여 zero crossing되는 point를 찾는다. segment의 통계적 특성상 histogram은 low gray value에 최대 peak를 가지고 우리가 구하고자 하는 point는 그 peak보다는 큰 gray value를 가지게 마련이다. 때문에 peak point부터 최대 gray value까지 zero crossing이 되면서 원 histogram의 값이 최소가 되는 point('가상 계곡점')를 구한다. 가상 계곡점부터 최대 gray value까지 zero crossing이 되면서 smooth histogram이 최대가 되는 지점을 찾은 후 최대값이 가상 계곡점의 smooth histogram의 값(아래에서는 가상 계곡값으로 부르겠다)보다 작으면 우리가 찾은 가상 계곡점은 잘못된 것이다.

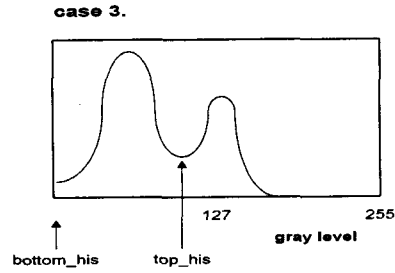


그림3 case3의 histogram(Bimodal)
Fig.3 Histogram of case3(Bimodal)

이러한 경우는 가상 계곡점이 smooth histogram의 최대 gray value가 되거나 smooth histogram의 중간에서 minima나 maxima가 되는 값중에 잘못된 한점을 detect한 것이 된다. 때문에 이 가상 계곡점을 제외한 새로운 배열을 만들어서 위에서 수행한 작업을 다시 반복적으로 적용하여 가상 계곡점의 계곡값이 최대값보다 커지는 점을 detect하여 top_his로 정한다. 그러나 어떤 경우에는 비록 가상 계곡값보다 최대값이 크더라도 잘못 detect한 경우가 발생하는데 이런 경우가 발생하는 것에 대비하여 실험적으로 최대값이 가상계곡값보다 1.0배에서 2.0배한 값보다 클 때를 올바른 가상계곡값이라고 정의하였다.

이렇게 세 가지 경우에 대해서 각각 구한 범위에 대해 histogram equalization을 적용한다.

3. Adaptive Histogram Equalization

Histogram equalization을 수행하려면 CDF (Cumulative Density Function)를 먼저 구해야 한다.

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=bottom_his}^k \frac{n_j}{n} \quad (2)$$

$$= \sum_{j=bottom_his}^k p_r(r_j)$$

$0 \leq r_k \leq 1$ and $bottom_his \leq k \leq top_his$

식(2)에서 각 gray level에 대해 CDF를 구한 후, 아래의 histogram equalization 식을 적용하여 위에서 구한 범위에 대해 수행한다.

$$f(k) = \frac{D_m}{Range} \sum_{j=bottom_his}^k s_k + bottom_his \quad (3)$$

$D_m = top_his - bottom_his$
 $bottom_his \leq k \leq top_his$

Range는 범위사이의 총 CDF이다. 식(3)의 결과 값인 f(k)가 우리가 원하는 flat(uniform) 형태를 지니는 histogram이 된다. Histogram equalization을 수행하고 나면 결과 이미지는 contrast가 향상되어 있어 불분명하게 보이던 이미지가 윤곽이 뚜렷해지고 눈으로 식별이 가능한 이미지가 된다. 그렇지만 histogram equalization의 특성상 어두운 gray level은 어떤 threshold를 경계로 더욱 어두워져서 그나마 보일 수 있는 기회마저 잃게 되고 혹시나 필요한 정보가 없어지는 경우가 종종 발생한다. 이런 현상은 의료영상에서 치명적인 결과를 초래할 수도

있기 때문에 피해야 할 사항이다. 결국 contrast의 향상은 가져 오지만 우리가 얻고자 하는 이미지로는 적합하지 못하다. 그래서 아래에 설명할 histogram modification을 생각하게 되었다.

4. Histogram Modification

Histogram modification의 algorithm을 아래에 설명하였다

$$T(r) = \sum_{i=0}^r n_0(i) \quad (4)$$

$$G(z) = \sum_{i=0}^z n_m(i) \quad (5)$$

- (a) 얻으려는 이미지의 histogram을 도식한다.
- (b) 위의 두식을 이용하여 원이미지와 mapped 이미지의 CDF인 T(r)과 G(z)를 계산한다.
- (c) 일정 범위까지 1씩 증가시키면서 위의 조건을 만족하는 z를 구하도록 한다.

z가 우리가 바람직하다고 생각되는 histogram으로 mapping 하였을 때의 gray level이 된다.

Mapped Histogram

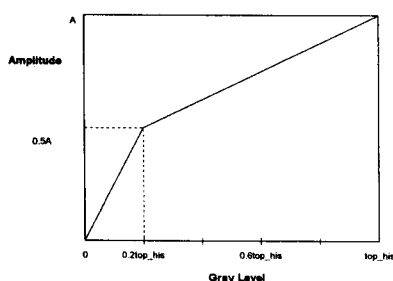


그림4 밝은 부분을 어두운 부분보다 강조하는 Level Adaptive Mapping Histogram
Fig.4 Level Adaptive Mapping Histogram

위의 mapped histogram의 특성은 밝은 부분의 gray value에는 큰 amplitude를 곱하여 histogram equalization으로 contrast는 향상되었지만 어두운 부분이 증가한 histogram을 밝은 쪽으로 밀도를 이동시켜주는 역할을 하고 있다. 다만 전영역에 대해 linear한 histogram을 만들지 않는 까닭은 자칫 너무 밝은 부분만 강조하다 보면 이미지의 전체적인 입체감이 없어지는 경향이 있고 비록 작은 크기를 갖지만 histogram equalization으로 살아난 edge들이 histogram modification으로 인해 blurring되는 결과를 초래하기 때문이다. 여러 이미지들에 대해 실험적으로 적용한 바에 의하면 0.2*bottom_his 정도까지의 어두운 부분은 살려두고 나머지에 대해서 밝게 만들어 주는 것이 edge의 blurring이 별로 나타나지 않으며 이미지의 입체감도 감소되지 않았다.

5. 결 과

A. case1의 pattern 예

그림5는 자궁내막증을 검사하기 위해 자궁경을 삽입한 다음 획득한 전체 이미지이고 그림의 흰색선을 따라 capture한 후 확대한 것이 그림6이다. 아래

나타내는 모든 이미지도 이런 방법을 통해 전체 내시경이미지에서 개선하고자 하는 부분을 capture하여 확대한 것이다. 그림6은 보는 바와같이 어둡워서 어떤 정보들을 가지고 있는지 식별하기가 힘이 든다. 뿐만아니라 edge들도 어두운 부분에 가려서 잘 들어나지 않는다. 아래 그림7이 그림6의 histogram인데 case1의 pattern에 해당하는 것을 알 수 있다.

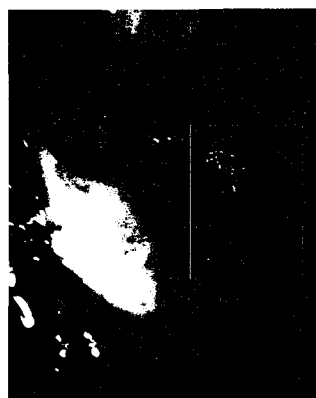


그림5 이미지 I (자궁내막)

Fig.5 Pelviscopic image I

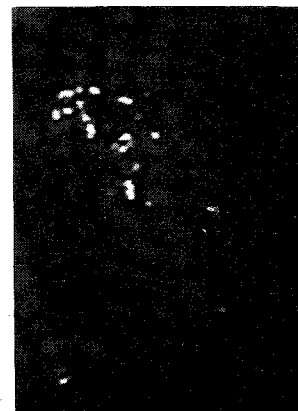


그림6 capture하여 확대한 이미지

Fig.6 Magnified Image

이것을 processing한 후의 이미지자 그림9인데 그림6에 비해서 훨씬 식별이 가능하고 edge들이 선명하게 살아나서 필요한 정보들을 볼 수 있게 해주고 있다.

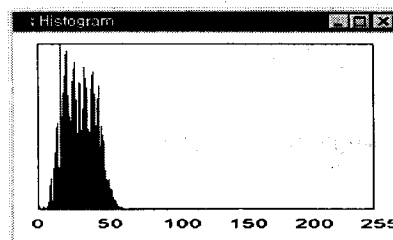


그림7 그림6의 Histogram(case1)
Fig.7 Histogram of figure 6(case1)



그림8 기존의 histogram equalization을 적용한 결과 이미지
Fig.8 Image using a normal histogram equalization

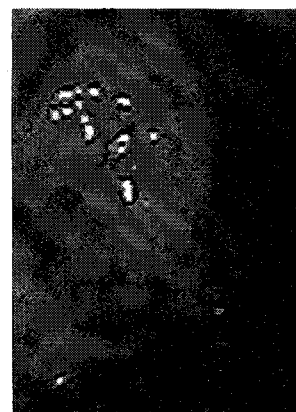


그림9 본 논문에서 제시한 enhance 방법을 이용한 결과 이미지
Fig.9 Image using the adaptive image enhancer

위의 그림8과 9는 기존의 histogram equalization 방법에 의한 결과와 본 논문에서 제안한 enhance 방법을 적용한 결과로서 기존의 방법을 적용한 그림8은 밝은 쪽으로 많이 saturation되어 contrast는 향상되었다고 볼 수 있지만 보기에다 부자연스럽고 edge나 이미지의 양감등에서도 문제가 있음을 볼 수 있다.

B. case2의 pattern 예

그림10은 자궁경을 통한 자궁내막의 내부구조를 나타낸 것으로 전체적으로 어두워 보이고 아래부분이 잘 보이지 않는 것을 알 수 있다. 이것의 histogram은 그림11로 case2의 pattern에 속한다. 이것을 processing 한 결과가 그림12에 잘 나타나 있는데 어두운 부분이 상당히 많이 개선되어 식별이 가능하게 된 것을 볼 수 있다.

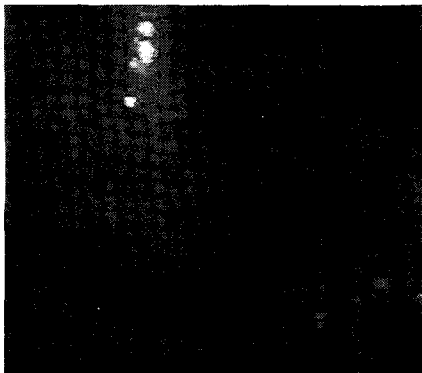


그림10 자궁내막 내부의 이미지 II
Fig.10 Pelvicoscopic image II

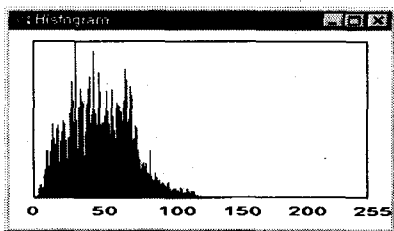


그림11 그림10의 histogram(case2)
Fig.11 Histogram of figure 10(case2)

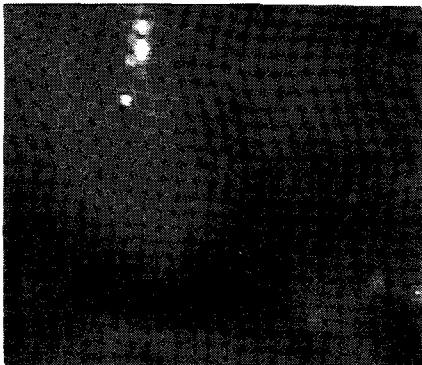


그림12 processing 한 후의 이미지
Fig.12 Processed image

C. case3의 pattern 예



그림13 자궁내막 내부의 이미지 III
Fig.13 Pelvicoscopic image III

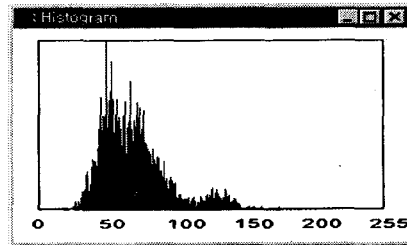


그림14 그림 12의 histogram(case3)
Fig.14 Histogram of figure 12(case3)

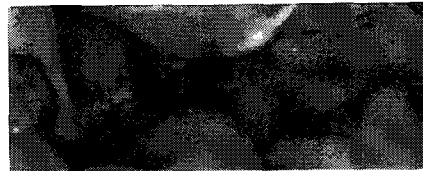


그림15 processing 한 후의 이미지
Fig.15 Processed image

결론적으로 본 논문에서 개선하고자 하는 이미지는 대체로 어둡고 이미지의 굴곡이나 edge등이 뚜렷하지 않아 진료의가 판단하기 힘든 이미지에 해당한다. 이런 이미지를 기존의 histogram equalization 방법을 사용하여 처리하게 되면 그림8에 나타난 것처럼 밝은 부분이 saturation되어 실제 존재하고 있는 정보를 잃어 버리게 되고 다시 전체 이미지에 삽입하였을 경우 주위와 어울리지 않는 이미지를 만들게 되는 단점이 있다. 따라서 본 논문은 어둡고 이미지의 굴곡이나 edge등이 뚜렷하지 않는 영역의 histogram pattern을 3가지 case로 분류한 다음, 각각 다른 processing을 적용하는 adaptive image enhancer method를 사용하여 정보의 손실도 줄이고 edge와 더불어 어두운 부분을 밝고 선명하게 만들었다.

5. 참고문헌

[1] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods "Digital Image Processing", Addison-Wesley publishing company pp161-228, 1992
 [2] M. A. Sid-Ahmed "Image Processing" Mcgraw-Hill International editions pp66-78, 1994
 [3] Dwayne Phillips "Image processing in C" R&D Publications, Inc. Lawrence, Kansas pp103-163, pp345-396., 1994