

정확성을 향상시킨 히스토그램 명세화 방법

A Method of Improving Accuracy of Histogram Specification

허경무*

(Kyung Moo Huh^{1,*})

¹Department of Electronics Engineering, Dankook University

Abstract: The histogram specification turns the shape of a histogram into that we want to specify. This technique can be applied usefully in various image processing fields such as machine vision. However, the histogram specification technique has its basic limits. For instance, the histogram does not have location information of pixels. Also, the accuracy of the specification drops because of quantization errors of the digitized image. In this paper, we proposed a multiresolution histogram specification method in order to improve the accuracy of specification in terms of resemblance between destination and source image. The experimental results show that the proposed method enhances the accuracy of the specification compared to the conventional methods.

Keywords: histogram, quantization, specification, accuracy, multiresolution

I. 서론

히스토그램은 이미지 또는 이미지 품질의 향상을 위한 특성 분석의 기본 도구로 사용되고 있다. 이러한 히스토그램에 관련된 기술은 크게 히스토그램 균등화(histogram equalization)와 히스토그램 명세화(histogram specification)로 나눌 수 있다. 히스토그램 균등화는 이미지의 품질을 향상시키기 위해 전체적으로 균등한 분포가 되도록 자동적으로 변환을 결정하게 된다. 하지만 자동적으로 변환을 결정하는 것이 유용한 기술이기는 하나, 워터 마킹, 객체 인식 및 의료 영상 처리 등 다양한 응용 분야에서는 전체적인 향상보다는 원하는 부분을 향상시키는 것이 유용한 경우도 있다. 그런데 이러한 히스토그램 향상 기법들은 디지털 이미지의 양자화 오류에 많은 영향을 받고 있다. 그러나 디지털 이미지를 다중해상도로 분해할 경우, 정밀한 움직임과 데이터의 빠른 계산을 위한 특성들을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 정확성을 확보하기 위해 유리하며[1-4], 다중해상도 이미지의 히스토그램들을 이용하여, 공간 정보가 히스토그램들에 통합될 수 있다. 이와 같은 이유로, 본 논문에서는 양자화 오류에 의한 영향을 극복하기 위해 다중해상도 분해 기술을 응용하여, 다중 해상도를 이용한 개선된 히스토그램 명세화 방법을 제안한다.

II. 연구배경

1. 기존의 히스토그램 명세화 방법

연속적인 명암도를 가진 두 영상의 확률 밀도 함수 $H(p)$, $Q(z)$ 를 각각 원래 및 명세화된 연속적인 확률 밀

도 함수로 정의한다. 히스토그램 명세화의 목적은 입력 영상의 밝기값 p 가 지정된 영상의 밝기값 z 로 변화되게 하는 화소 밝기 단조 변환 함수 $z = \tau(p)$ 를 찾는 것이다. 먼저 입력 영상의 히스토그램 균등화를 다음과 같이 수행한다.

$$q = T(p) = \int_0^p H(t) dt \quad (1)$$

마찬가지 방법으로 명세화된 영상에 대한 히스토그램 균등화도 다음과 같이 수행한다.

$$v = G(z) = \int_0^z Q(t) dt \quad (2)$$

이것에 대한 역변환 $z = G^{-1}(v)$ 는 균등한 명암도 분포 영상을 지정된 명암도 분포 영상으로 변환시킬 수 있음을 의미한다. 여기서 q , v 는 모두 균등한 밀도 함수를 가지기 때문에 $z = G^{-1}(q)$ 라고 할 수 있고, 따라서 다음 식이 성립한다.

$$z = G^{-1}(q) = G^{-1}[T(p)] \quad (3)$$

위 식은 원래의 밝기값 p 를 지정된 밝기값 z 로 변환시키는 관계를 나타낸다. 히스토그램 명세화 기법을 처리하는 과정은 다음과 같다[4,5].

- ① 먼저 처리하고자하는 입력영상의 히스토그램을 균등화한다.
- ② 원하는 특정 명세화 히스토그램을 정의하고 균등화한다.
- ③ 입력영상의 균등화된 명암도 값에 가장 가까운 명세화 히스토그램의 균등화 명암도 값을 찾는다.
- ④ ③에서 찾은 명암도 값에 대응하는 명세화 히스토그램 명암도 값을 원 입력영상 명암도에 대응하는 출력 영상 명암도로 정한다.

* Corresponding Author

Manuscript received December 6, 2013 / revised December 31, 2013 / accepted January 11, 2014

허경무: 단국대학교 전자공학과(huhkm@dku.edu)

* 본 논문은 2013년 ICROS 전북제주시부 학술대회에서 초안이 발표되었음.

2. 기존의 히스토그램 명세화 방법의 문제점

히스토그램 명세화는 목적 히스토그램에 따라 전체적인 영상 개선의 효과가 결정되기 때문에 목적 히스토그램을 적절하게 선정하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 자신이 원하는 목적 히스토그램을 설정하는 것은 입력영상의 상태나 개선하고자하는 영역 등 고려해야할 사항들이 많아 정확하게 설정하기는 어렵다. 또한, 목적 히스토그램을 선정하여 히스토그램 명세화를 수행할 때, 목적하는 히스토그램의 명암도 누적합과 입력되어지는 영상의 누적합의 차이가 발생하며, 그로인한 목적하지 않은 부분에 대한 변환도 이루어지게 되어 그로인한 오차가 발생하게 된다. 또한, 공간영역에서 다중해상도를 사용하여 히스토그램을 향상시키는 방법은 두 개의 히스토그램 사이의 정확한 매핑에 대한 방법이 없기 때문에 이미지에서 밝은 픽셀의 수가 증가하여 히스토그램 합계에서 왜곡이 발생하게되어 정확한 히스토그램 명세화는 수행할 수 없게 된다[1-3,8,9].

III. 제안하는 다중해상도 히스토그램 명세화 방법

1. 다중해상도 이미지에 있어서 이미지 피라미드와 히스토그램 명세화

히스토그램의 왜곡된 모양은 저해상도 이미지에 최소화할 수 있다. 원 해상도의 입력 이미지와 목적 이미지를 식 (4)를 이용하여, 저해상도 이미지로 만든다.

$$\frac{1}{4} \sum_{i=m_j}^{m+1} \sum_{j=n}^{n+1} I_N(i,j) = I_{N+1}\left(\frac{m}{2}, \frac{n}{2}\right) \quad (4)$$

where $m = 0, 2, 4, \dots, (W_N - 1)$, $n = 0, 2, 4, \dots, (H_N - 1)$

물론 이 과정에서 N레벨의 원 이미지를 N+1레벨의 저해상도로 만드는 과정에서 손실이 발생하게 되나 유사한 명암도 값을 가지는 값들만 고려한다면, 이미지 해상도는 중요하지 않게 된다. N레벨과 N+1레벨의 영상에서 각 명암의 상대 빈도수를 식 (5)를 통하여 구할 수 있다.

$$p(r_k) \equiv \frac{n_k}{n} \quad (5)$$

식 (5)에서 r_k 는 k번째 명암도이며, n_k 는 영상에서 명암도가 r_k 인 화소의 개수를 나타낸다. 이를 식 (6)을 이용하여 누적합을 구하게 되면, 누적합의 곡선이 보다 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 히스토그램 명세화 과정에서 수행하게 되는 누적합 또한 선형적으로 증가하는 것을 나타낸다.

$$s_k = (L-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (6)$$

여기서 L은 입력 영상의 명암값에 대한 양자화 레벨을 나타낸다. 따라서 고해상도 영상의 평균값을 사용해서 저해상도 영상을 만들었다. 영상 피라미드란 영상의 해상도를 일정한 비율에 의해, 저해상도 영상들로 만드는 것이다. 영상 피라미드를 구성한 후의 히스토그램 처리는 단일 해상도 영상의 히스토그램 처리와 비교해서 많은 장점을 가지고 있다. 위 식 (4)를 이용하여 목적 이미지와 소스 이미지의

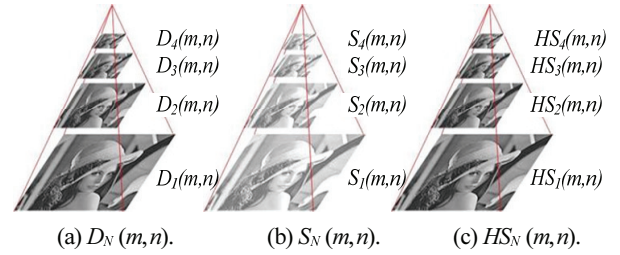


그림 1. 다중해상도 히스토그램 명세화의 예.

Fig. 1. Examples of multiresolution histogram specification.

저해상도 영상을 만들어 간다면 영상 피라미드를 구성할 수 있는 것이다.

이미지 피라미드를 만든 후, 우리는 히스토그램 명세화 방법을 소스 이미지와 목적 이미지의 각 레벨에 적용한다. 그림 1은 다중해상도 히스토그램 명세화의 예를 나타내고 있다.

일반적으로 영상 처리 영역에서 이미지의 크기가 클수록 처리 결과는 정확하지 않다. 그 이유는 이미지의 해상도가 커질수록 유사한 명도값을 갖는 픽셀을 더 많이 가지게 되어, 영상처리의 결과에 그로인한 정량화 오차(quantization error)의 영향이 크게 나타난다. 제시된 알고리즘의 저해상도 이미지와 고해상도 이미지를 이용한 영상처리의 강점은 정량화 오차에 의해 영향을 적게 받는 저해상도 이미지 히스토그램과 정량화 오차에 많은 영향을 받는 고해상도의 이미지 히스토그램의 차이점을 보상하는 것이다. 저해상도 이미지의 히스토그램을 명세화한 뒤 본래 해상도로 이미지를 복원시키는 과정에서 이미지의 다중해상도의 편차뿐 아니라 이미지의 각 레벨의 히스토그램과 제시된 방법에 의한 목적 이미지의 각 레벨의 불일치성을 보상함으로써 발생하는 이미지 품질 문제를 해결한다.

2. 제안하는 다중해상도 히스토그램 명세화 방법

우리는 level(1)의 해상도를 가지는 히스토그램을 재설정하기 위해 식 (7)을 이용하여 level(N)으로 만들어진 저해상도 이미지 히스토그램의 한 픽셀을 4개의 픽셀로 확장했다. 이때 N의 범위는 4에서 2까지이다.

$$\begin{aligned} HS_N(m,n) &= EHS_{N-1}(2m+1, 2n) \\ &= EHS_{N-1}(2m, 2n+1) \\ &= EHS_{N-1}(2m+1, 2n+1) \\ &= EHS_{N-1}(2m, 2n) \end{aligned} \quad (7)$$

$HS_N(m,n)$ 과 $EHS_N(m,n)$ 의 편차를 식 (8)을 이용하여 구하게 된다. 이때 N의 범위는 3부터 1까지이다.

$$DD_N(m,n) = HS_N(m,n) - EHS_N(m,n) \quad (8)$$

where $m = 0, 1, 2, \dots, (W_N - 1)$, $n = 0, 1, 2, \dots, (H_N - 1)$

이렇게 구해진 대상편차 $DD_N(m,n)$ 을 소스 이미지인 S_N 의 각 레벨에 더함으로써 각 레벨에서의 픽셀 편차를 보상하게 되는 것이다. 보정된 히스토그램 명세화 이미지인 $CHS_N(m,n)$ 은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있으며, N의 범위는 3에서 1까지이다.

$$CHS_N(m,n) = DD_N(m,n) + S_N(m,n) \quad (9)$$

where $m = 0,1,2,\dots,(W_N - 1)$, $n = 0,1,2,\dots,(H_N - 1)$

다음으로 목적하는 이미지인 $D_N(m,n)$ 을 식 (10)을 이용하여 level(N)으로 만들어진 목적 이미지의 한 픽셀을 4개의 픽셀로 확장했다. 이때 N의 범위는 4에서 2까지이다.

$$\begin{aligned} D_N(m,n) &= ED_{N-1}(2m+1,2n) \\ &= ED_{N-1}(2m,2n+1) \\ &= ED_{N-1}(2m+1,2n+1) \\ &= ED_{N-1}(2m,2n) \end{aligned} \quad (10)$$

다중해상도 히스토그램 명세화 이미지 $MHS_N(m,n)$ 는 $CHS_N(m,n)$ 에 $ED_N(m,n)$ 과 $D_N(m,n)$ 의 편차를 더함으로써, 최종적인 결과 이미지는 식 (11)에 나타낼 수 있으며, N의 범위는 3에서 1까지이다.

$$\begin{aligned} MHS_N(m,n) &= CHS_N(m,n) \\ &+ (D_N(m,n) - ED_N(m,n)) \end{aligned} \quad (11)$$

where $m = 0,1,2,\dots,(W_N - 1)$, $n = 0,1,2,\dots,(H_N - 1)$

위와 같은 식을 이용하여 각 단계에서 편차를 보정하면서 이미지를 보정해 가는 것이다.

3. 실험성능 측정을 위한 HDMC

제시된 다중해상도 히스토그램 알고리즘적용후의 차이를 비교 분석하기 위해, Euclidean distance [10]을 이용하여 히스토그램 차이 측정계수(HDMC)를 정의하였다. 히스토그램 명세화와 다중해상도 히스토그램 방법을 수행할 경우의 목적이미지와 소스 이미지의 히스토그램의 차는 식 (12)에 의해 나타낸다.

$$HDMC = \sqrt{\sum_{i=0}^N \{d(g_i) - r(g_i)\}^2} \quad (12)$$

식 (12)의 $d(g_i)$ 와 $r(g_i)$ 는 목적 이미지와 결과 이미지의 히스토그램을 나타내고 i 의 범위는 0부터 255까지이다. $d(g_i)$ 와 $s(g_i)$ 의 그레이 레벨의 차이가 적다면 HDMC 값은 작을 것이다.

IV. 실험 및 고찰

우리는 실험에서 레나, Elaine, X-ray 이미지를 사용하였다. 우리가 사용한 레나, Elaine, X-ray 이미지의 목적 이미지는 그림 2와 같다.

소스 이미지는 각 이미지에 일정한 입력 변환함수를 적

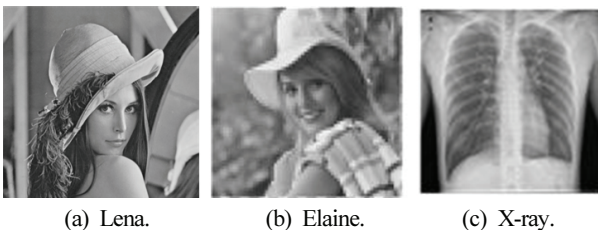


그림 2. 목적 이미지.

Fig. 2. Destination image.

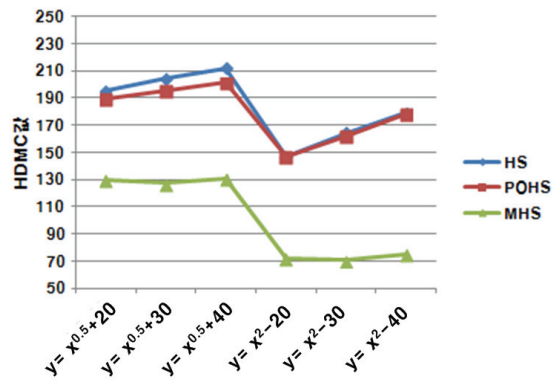
표 1. HDMC 결과.

Table 1. HDMC Result.

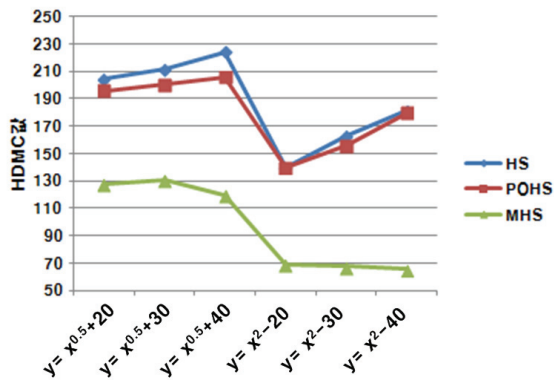
HDMC값 (레나)	입력 변환 함수	HS	POHS	MHS
	$y=x^{0.5}+20$	195.51	189.55	129.86
	$y=x^{0.5}+30$	204.44	195.67	127.25
	$y=x^{0.5}+40$	211.83	201.18	130.55
	$y=x^2-20$	146.99	146.54	72.13
	$y=x^2-30$	164.32	162.02	70.82
$y=x^2-40$	179.37	178.7	75.26	
HDMC값 (엘레나)	입력 변환 함수	HS	POHS	MHS
	$y=x^{0.5}+20$	204.84	195.83	127.51
	$y=x^{0.5}+30$	211.23	200.43	130.54
	$y=x^{0.5}+40$	224.08	205.72	119.92
	$y=x^2-20$	139.58	139.51	68.85
	$y=x^2-30$	162.69	156	67.73
$y=x^2-40$	181.4	179.59	65.74	
HDMC값 (X-ray)	입력 변환 함수	HS	POHS	MHS
	$y=x^{0.5}+20$	203.29	197.35	132.18
	$y=x^{0.5}+30$	230.04	214.67	140.27
	$y=x^{0.5}+40$	245.59	225.29	143.07
	$y=x^2-20$	143.77	138.98	82.38
	$y=x^2-30$	156.96	147.36	78.59
$y=x^2-40$	177.52	166.06	79.28	

용하여 만든 후 원 이미지를 목적 이미지로 설정하여 HS (히스토그램 명세화), POHS (Partially Overlapped 부 블록 히스토그램 명세화)와 제안된 MHS를 수행하였다. 그리고 나서, 3가지 방법의 결과로 나타난 이미지의 HDMC 값을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 비교분석 하였다. 위의 표 1과 아래 그림 3은 각 이미지에서의 HDMC 결과값을 나타내고 있다.

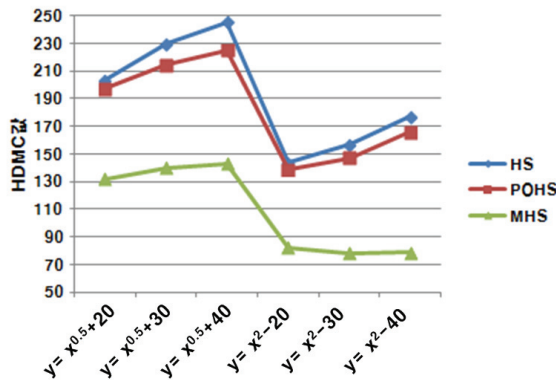
실험 결과, 레나 이미지를 목적으로 할 때의 각각의 평균 HDMC는 HS가 “183.74”, POHS가 “178.94”, 제안한 MHS는 “99.34”를 나타내었으며, 엘레나 이미지를 목적으로 할 때는 HS가 “186.53”, POHS가 “179.32”, 제안한 MHS는 “97.12”를 나타내었다. 또한 X-ray 이미지를 목적으로 할 때의 평균 HDMC는 HS가 “192.86”, POHS가 “181.61”, 제안한 MHS가 “98.63”을 나타내었다. 따라서 제안하는 방법의 MDMC가 다른 방법들보다 적게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 제안하는 방법을 이용하여 히스토그램 명세화를 수행하였을 때, 목적하는 이미지에 가장 가깝게 변환이 수행되었다는 것을 나타내며, 목적 이미지와 결과 이미지의 차이가 적게 발생하는 것을 나타낸다. 이와 같이 히스토그램 명세화가 제안된 알고리즘에 의해 처리되면, 그래프에서 보여지는 것과 같이 입력영상의 변동에 따른 변화의 폭이 기존의 방법들보다 적게 나타나고 이로 인하여 이미지의 정확도가 항상 비슷한 정도의 값을 가질 수 있으므로, X-Ray, CT 등과 같이 영상 판독을 통하여 진단을 하는 의료분야나, 영상의 전체적인 균등함을 주요한 기준으로 사용되는 분야에서 사용하기에 적절한 수준의 영상을 얻을 수 있다. 그리고 제안한 히스토그램 명세화 과정은 기존의 방법보다 더 높은 정확도를 가짐을 알 수 있다.



(a) Lena image.



(b) Elaine image.



(c) X-ray image.

그림 3. HDMC 결과 그래프.

Fig. 3. HDMC result graph.

V. 결론

본 논문에서 우리는 더 정확한 히스토그램 명세화 방법을 제안하였다. 종래 히스토그램 명세화가 디지털 영상에 적용될 때, 양자화된 디지털 영상의 특성 때문에 정확한 히스토그램 명세화를 성취할 수 없었다. 그러나 다중해상도를 이용하는 제안된 히스토그램 명세화 방법은 원래의 해상도로 이미지를 개선하여, 일루미네이션 변화와 같은 이미지 획득 환경의 변화에 따른 회색 화소값의 왜곡을 보정하여 변형이 거의 없는 원본에 가까운 이미지를 얻을 수 있다. 따라서 제안한 히스토그램 명세화 방법을 적용한 영상은 X-ray나 CT와 같이 정상적인 이미지와 새로 입력되는 영상과의 차이점에 의해서 판단을 해야 하는 경우에, 항상 원본

이미지와 비슷한 명암도를 가지게 만들 수 있음으로써 두 이미지의 차이점을 보다 쉽게 판별할 수 있도록 만들 수 있다. 따라서 의료분야뿐만 아니라 이미지의 차이점에 의한 판단을 해야 하는 분야나 이미지가 항상 일정한 명암도를 가지고 있어야 하는 분야에서, 제안한 방법이 상당히 유용하게 응용가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] C.-C. Sun, S.-J. Ruan, and T.-W. Pai, "Dynamic contrast enhancement based on histogram specification," *IEEE Trans. Consumer Elect.*, vol. 51, pp. 1300-1305, 2005.
- [2] Y. W. and D. Shi, "Joint exact histogram specification and image enhancement through the wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 16, no. 9, pp. 2245-2250, Sep. 2007.
- [3] L. Ping and Q. Linlin, "The method of improving accuracy of histogram equilibrium base on GML," *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2011 International Conference on*, vol. 2, pp. 769-771, Mar. 2011.
- [4] M. Mignotte, "An energy-based model for the image edge-histogram specification problem," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 21, no. 1, pp. 379-386, Jan. 2012.
- [5] G. Thomas, D. Flores-Tapia, and S. Pistorius, "Histogram specification: A fast and flexible method to process digital images," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 60, no. 5, pp. 1565-1578, May 2011.
- [6] J. D. Kim and Y. T. Do, "Removing shadows using background features in the images of surveillance camera," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 3, pp. 202-208, Mar. 2013.
- [7] H.-W. Jung and J.-H. Lee, "A directional feature extraction method of each region for the classification of fingerprint images with various shapes," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 9, pp. 887-893, Sep. 2012.
- [8] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002.
- [9] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.
- [10] F.-D. Jou, K.-C. Fan, and Y.-L. Chang, "Efficient matching of large-size histograms," *Pattern Recognition Letters*, vol. 25, no. 3, pp. 277-286, Feb. 2004.
- [11] K. M. Huh, "An improved histogram specification method using multiresolution," *Proc. of 2013 ICROS Jeonbuk-jeju Regional Conference (in Korean)*, pp. 95-98, Dec. 2013.

**허경무**

1979년 서울대학교 전자공학과 학사.
1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1989년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1993년~현재 단국대학교 전자공학과 교수. 2005년 2월~2011년 6월 단국대 전자부품 검사자동화 지역혁신센터(RIC) 소장. 2011년 1월~2012년 12월 대한전자공학회 시스템및제어 소사이어티 회장. 제어 로봇시스템학회(ICROS) Fellow Member. 관심분야는 시스템 제어, 머신비전, 검사자동화, 로봇제어, 학습제어.