

논문 2011-48SP-5-2

변분법을 이용한 명암도 변환 함수 획득 방법

(A Method of Deriving an Intensity Mapping Function by Using The Variational Technique)

김 준 형*, 노 창 균**, 고 성 제***

(Jun-Hyung Kim, Chang-Kyun Noh, and Sung-Jea Ko)

요 약

히스토그램 평활화 방법은 영상의 대조비를 개선시키는 효과적인 방법이다. 하지만 이 방법은 과도한 대조비 향상이나 잡음을 증폭시키는 것과 같은 의도하지 않은 결함을 발생시킬 수 있다. 이러한 결함은 히스토그램 평활화 방법에서 사용되는 명암도 변환 함수를 조절함으로써 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 명암도 변환 함수를 조절하는 문제를 변분법을 사용하여 접근하였다. 이를 위하여 범함수를 정의하고 그 범함수를 최소화하여 명암도 변환 함수를 계산한다. 제안하는 방법을 적용하여 얻은 명암도 변환 함수를 사용하면 눈에 보이는 결함 없이 영상의 대조비를 개선시킬 수 있음을 실험결과로부터 확인할 수 있다.

Abstract

Histogram equalization is an effective method to enhance the contrast of the image. However, it can result in unwanted artifacts such as excessive contrast enhancement and noise amplification. These artifacts can be reduced by modifying an intensity mapping function which is generated by histogram equalization. In this paper, we present a variational approach to the modification of the intensity mapping function. We define a functional whose minimization produces a modified intensity mapping function. Experimental results show that the intensity mapping function obtained by the proposed method can enhance the contrast of the image without visual artifacts.

Keywords : image enhancement, histogram equalization, variational techniques, intensity mapping function

I. 서 론

대조비 개선 (contrast enhancement) 방법은 촬영 환경, 촬영하는 사람의 숙련도, 또는 촬영 장비의 성능 제약 등 여러 가지 이유로 인하여 화질이 저하된 영상을 사람이 더욱 잘 인지할 수 있게 한다. 또한 대조비 개선

방법은 물체의 검지나 인지 성능을 향상 시키기 위한 전처리 과정으로 사용되는 등 영상처리 분야에서 널리 쓰이는 기법이다.

히스토그램 평활화 (histogram equalization, HE) 방법은 대조비 개선 기법 중 하나로 명암도 변환 함수 (intensity mapping function)를 입력 영상의 히스토그램으로부터 구하고, 화소 (pixel) 값을 명암도 변환 함수를 사용하여 새로운 화소 값으로 변환한다^[1]. 이 방법은 연산량이 적으면서도 대조비가 낮은 영상을 효과적으로 개선할 수 있다.

그렇지만 히스토그램 평활화 방법은 영상의 대조비를 과도하게 증가시켜 오히려 영상의 화질이 저하되거나 영상 내의 잡음을 증폭시켜 개선 이전에 눈에 보이지 않던 잡음들이 개선 후 관찰되는 등의 결함을 발생

* 학생회원, *** 평생회원-교신저자,
고려대학교 전기전자전공공학부
(School of Electrical Engineering,
Korea University)

** 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

※ 본 연구는 국방과학연구소에서 지원받는 EO/IR 영상을 위한 지역적 영상처리 기법 개발 과제와 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (No. 2011-0000200)으로 수행하였음.

접수일자: 2010년11월23일, 수정완료일: 2011년7월15일

시킬 수 있다. 이러한 결함은 입력영상의 히스토그램이 특정 화소 값들에서 큰 값을 갖고, 이를 누적하여 만든 명암도 변환 함수의 기울기가 급격히 증가하여 발생한다^[2]. 따라서 히스토그램 평활화의 단점을 개선하기 위해 원 영상의 히스토그램을 그대로 이용하여 명암도 변환 함수를 생성하는 것이 아니라, 원 영상의 히스토그램을 변형하고 이를 이용하여 명암도 변환 함수를 생성하는 방법이 제안되었다^[2~5].

본 논문에서는 변분법을 이용하여 명암도 변환 함수를 조절하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 원 영상의 히스토그램을 변형하여 명암도 변환 함수를 구하는 기존의 방법들^[2~5]과는 달리, 원 영상의 히스토그램으로부터 얻은 명암도 변환함수를 사용하여 새로운 명암도 변환 함수를 구한다. 이를 위하여 명암도 변환 함수에 관한 범함수 (functional)를 정의하고 이를 최소화하는 명암도 변환 함수를 계산하는데 이것에 대하여 II장에서 설명한다.

II. 제안하는 기법

1. 명암도 변환 함수의 조절

본 논문에서는 영상의 화소 값이 $[0, N-1]$ 범위에 있을 때, $[0, 1]$ 범위로 정규화 하였다고 가정한다. 따라서 명암도 변환 함수의 입력 값과 출력 값도 모두 0부터 1까지의 값을 갖는다. 히스토그램 평활화 방법에서 사용되는 명암도 변환 함수 $g(r)$ 이 주어졌을 때, 새로운 명암도 변환 함수 $f(r)$ 를 얻기 위해 다음과 같은 범함수를 정의한다.

$$J[f(r)] = \lambda \int_0^1 [f(r) - g(r)]^2 dr + \int_0^1 \left[\frac{df(r)}{dr} - 1 \right]^2 dr, \tag{1}$$

여기서 λ 는 상수이다. 제안하는 기법에서는 히스토그램 평활화 방법에서 사용되는 명암도 변환 함수 $g(r)$ 이 일반적으로 영상의 대조비를 향상시키는데 효과적인 것이라는 가정을 한다. 따라서 식 (1)에서 첫 번째 항은 새로운 명암도 변환 함수 $f(r)$ 이 $g(r)$ 과 같아지도록 하는 역할을 한다. 하지만 서론에서 언급하였던 바와 같이 히스토그램 평활화는 대조비를 과도하게 증가시킨다는 단점이 있다. 만약 어떤 입력 화소 값 부근에서 명암도 변환 함수의 기울기 값이 크다면 이를 감소시켜야 과도하게 대조비가 향상되는 것을 막을 수 있다. 이와 같은

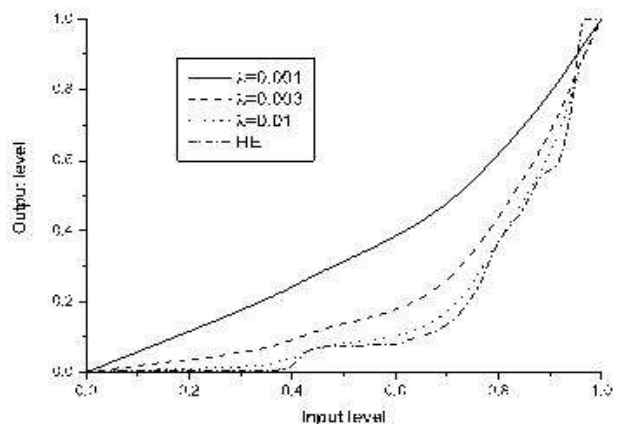


그림 1. 명암도 변환 함수
Fig. 1. Intensity mapping function.

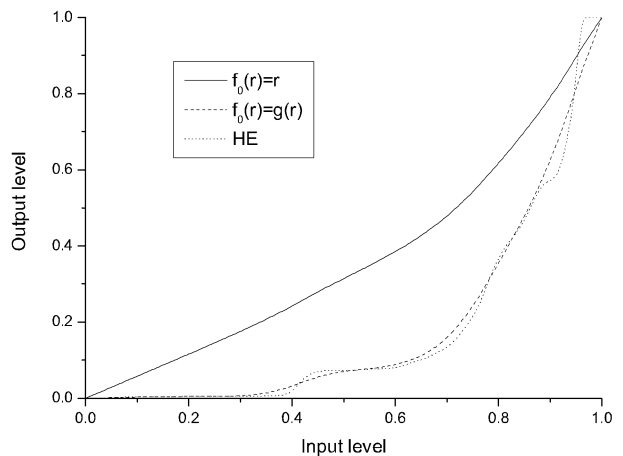


그림 2. 초기 값에 따른 명암도 변환 함수의 변화
Fig. 2. A change of the intensity mapping function depending on initial value.

역할을 하는 것이 식 (1)의 두 번째 항이다.

$f(r)$ 는 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$f(0) = 0, f(1) = 1. \tag{2}$$

$f(r)$ 는 식 (2)를 만족하면서 범함수 (1)을 최소화하는 해이다. λ 가 큰 값일 경우에는 식 (1)의 두 번째 항을 무시 할 수 있으므로 범함수를 최소화 하는 해는 $g(r)$ 이다. 따라서 이러한 경우에는 히스토그램 평활화 방법을 적용했을 때와 같은 결과를 보여줄 것이다. 이와는 반대로 λ 가 0에 가까운 값을 갖게 되면 식 (1)의 첫 번째 항이 범함수의 값에 기여하는 정도가 작으므로 $f(r)$ 의 기울기가 일정할수록 범함수의 값이 작아질 것이다. 식 (2)를 만족하면서 $f(r)$ 의 기울기가 일정한 경우는 항등 변환 함수 (identity mapping function) r 이다. r 을 명암도 변환 함수로 사용할 경우에는 대조비 개선 효과가가 없으므로 λ 값을 0과 큰 값 사이에서 변화시

켜 얻은 명암도 변환 함수를 사용하면 영상의 대조비 개선 정도를 조절 할 수 있다. 그림 1은 실제로 λ 값의 변화에 따른 $f(r)$ 의 변화를 보여준다. λ 값을 작게 할 수록 $f(r)$ 의 기울기가 일정해지려는 경향을 관찰할 수 있다.

오일러-라그랑주 (Euler-Lagrange) 방정식을 적용하면, 범함수 (1)을 최소화하는 $f(r)$ 를 구하는 것은 아래의 편미분 방정식의 해를 계산하는 것과 같다.

$$\lambda[f(r)-g(r)] = \frac{d^2f(r)}{dr^2}, \quad (3)$$

위 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\lambda f(r) - \frac{d^2f(r)}{dr^2} = \lambda g(r). \quad (4)$$

2. 이산치 (discrete) 해

앞에서 설명한 기법을 실제 디지털 영상에 적용하기 위해서는 식 (4)를 이산화 해야 한다. 이를 위해 이차 미분을 다음과 같이 정의한다.

$$\frac{d^2f(r)}{dr^2} = f(r+1) + f(r-1) - 2f(r). \quad (5)$$

식 (5)를 식 (4)에 대입하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$(2 + \lambda)f(r) - f(r+1) - f(r-1) = \lambda g(r). \quad (6)$$

$f(r)$ 을 벡터 형태로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{f} = [f(0) f(1) \dots f(N-1)]^T, \quad (7)$$

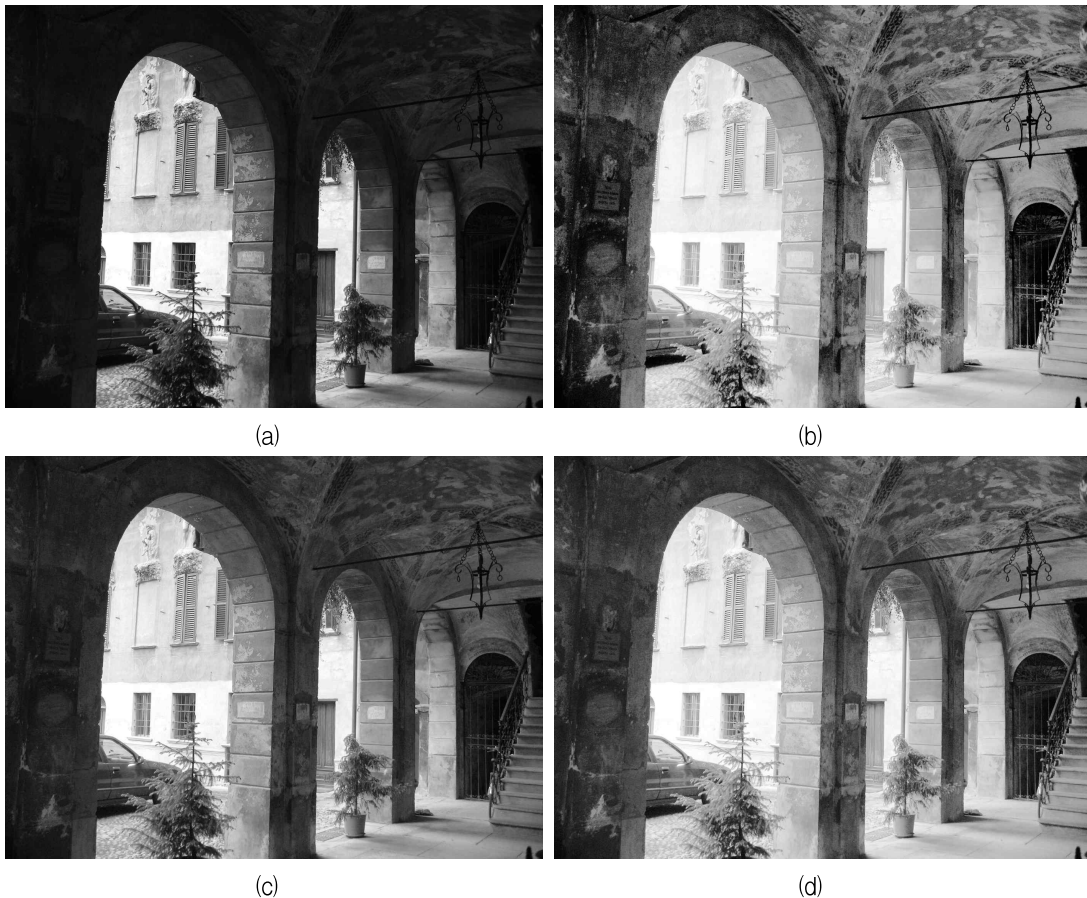


그림 3. 실험결과 (a) 원 영상 (b) 히스토그램 평활화 방법의 결과 영상 (c) 제안한 방법의 결과 영상 ($\lambda = 0.001$) (d) 제안한 방법의 결과 영상 ($\lambda = 0.005$)
 Fig. 3. Result images (a) original image (b) enhanced image using HE. (c) enhanced image using the proposed method ($\lambda = 0.001$) (d) enhanced image using the proposed method ($\lambda = 0.005$).

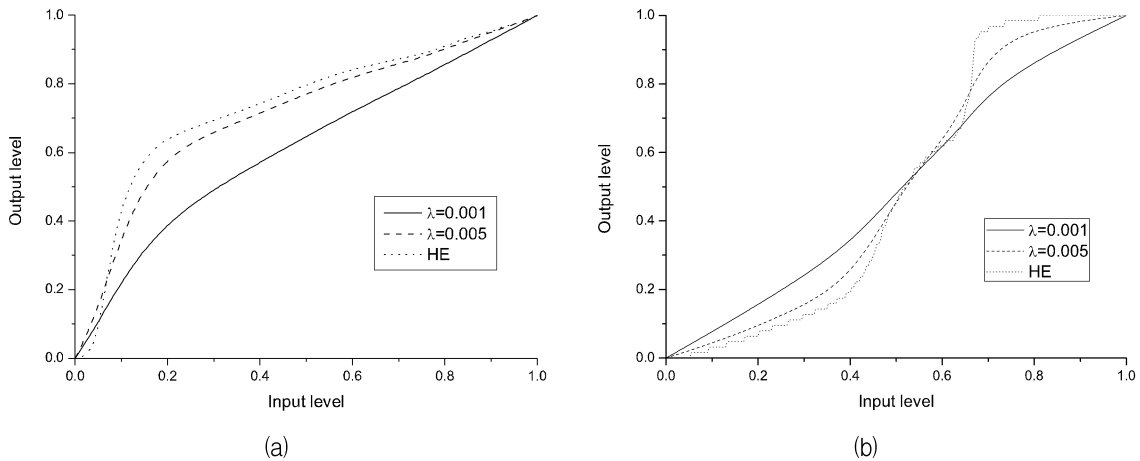


그림 5. 명암도 변환 함수 (a) 그림 3의 (b)-(d) (b) 그림 4의 (b)-(d)
 Fig. 5. Intensity mapping functions (a) Fig. 3 (b)-(d) (b) Fig. 4 (b)-(d).

사용하여 식 (8)의 해를 계산하였다. Conjugate gradient 방법은 다른 산술적인 방법들과 마찬가지로 어떤 초기 값을 설정하고, 특정 조건을 만족할 때까지 그 값을 점진적으로 수정한다^[6].

Conjugate gradient 방법은 산술적으로 선형 방정식의 해를 구하므로 초기 값에 따라 결과가 달라질 수 있다. 그림 2는 λ 값이 일정할 때 서로 다른 초기 값 $f_0(r)$ 에 따라 최종적인 명암도 변환 함수 $f(r)$ 이 어떻게 다른지 보여준다. 첫 번째 초기 값은 $g(r)$ 로 설정하였고 두 번째 초기 값은 r , 즉 항등 변환 함수로 설정하였다. λ 값을 조절함에 따라 $f(r)$ 이 변화하는 정도가 커야 영상의 대조비 개선 정도를 조절하기가 용이하다. $f_0(r)$ 이 $g(r)$ 로 설정 되었을 경우에는 결과로 나온 명암도 변환 함수가 $g(r)$ 과 크게 다르지 않은 반면 $f_0(r)$ 이 r 로 설정되어 있을 때에는 $f(r)$ 의 변화를 확연히 관찰할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 conjugate gradient 방법을 사용하여 식 (8)의 해를 계산할 때에 초기 값으로 r 을 사용하였다.

III. 실험

그림 3과 4는 각 영상에 제안하는 기법과 히스토그램 평활화 방법을 적용한 결과를 보여준다. 그림 3의 (a)는 원영상으로, 건물 외부의 조도 환경에 맞추어 촬영하여 건물 내부의 상세한 부분이 잘 관찰되지 않는다. 그림 3의 (b)는 대조비를 개선하기 위하여 히스토그램 평활화 방법을 적용한 결과이다. 그림 3의 (b)에서는 건물 내부의 상세한 부분이 쉽게 관찰되지만 건물 외부

영역이 전체적으로 밝게 변하여 대조비가 감소되었다. 반면, 제안한 방법을 적용한 결과 영상 (그림 3의 (c)와 (d))에서는 앞에서 언급한 히스토그램 평활화 방법의 단점이 완화 되면서 대조비가 증가된 것을 볼 수 있다.

그림 4의 (b)는 그림 4의 (a)를 히스토그램 평활화 하여 얻은 영상이다. 영상의 전체적인 대조비가 증가하였지만 하늘 영역에서 잡음이 증폭된 것을 관찰할 수 있다. 또한 일부 건물들이 어둡게 변하여 건물의 세세한 정보를 식별하기 어렵다. 하지만 제안하는 방법을 적용하여 얻은 영상 4의 (c)와 (d)에서는 하늘 영역의 잡음 증가 없이 대조비가 향상된 것을 관찰할 수 있다.

그림 5는 제안한 방법을 그림 3의 (a)와 4의 (a)에 적용할 때 사용한 명암도 변환 함수를 보여준다. 제안한 방법을 사용하여 얻은 명암도 변환 함수는 λ 의 값이 작을수록 항등 변환 함수와 비슷해 지고, 커질수록 히스토그램 평활화 방법에서 사용하는 명암도 변환 함수와 같은 형태를 갖는 것이 관찰된다.

IV. 결론

본 논문에서는 변분법을 이용하여 명암도 변환 함수를 조절하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법에서는 사용자가 파라미터를 변화시킴으로써 대조비 개선 정도를 조절할 수 있게 하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안하는 방법은 과도하게 영상의 대조비가 증가한다거나 잡음이 증폭되는 결함 없이 영상의 대조비를 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. Ronzalez and R. Woods, *Digital image processing*, 2nd edition, Prentice Hall, 2002.
- [2] B.-W. Yoon and W.-J. Song, "Image contrast enhancement based on the generalized histogram," *J. Electron. Imag.*, vol. 16, no. 3, pp. 033005, Aug. 2007.
- [3] T. Arici, S. Dikbas, and Y. Altunbasak, "A histogram modification framework and its application for image contrast enhancement," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 18, no. 9, pp. 1921-1935, Sep. 2009.
- [4] C. H. Ooi, N. S. P. Kong, and H. Ibrahim, "Bi-Histogram Equalization with a Plateau Limit for Digital Image Enhancement," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 55, no. 4, pp. 2072-2080, Nov. 2009.
- [5] T. Kim and J. Paik, "Adaptive contrast enhancement using gain-controllable clipped histogram equalization", *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 4, pp. 1803-1810, Nov. 2008.
- [6] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, and B. P. Flannery, *Numerical recipes in C++*, Cambridge University Press, 2007.

— 저 자 소 개 —



김 준 형(학생회원)
 2006년 고려대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2006년 3월~현재 고려대학교
 전기전자전파공학부
 석박사 통합과정
 <주관심분야 : 영상처리>



노 창 균(정회원)
 2000년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 현재 국방과학연구소 선임연구원.
 <주관심분야 : EO/IR영상 화질개
 선>



고 성 제(평생회원)
 1980년 고려대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1985년 State Univ. of New York
 at Buffalo 전기 및 컴퓨터
 공학과 석사 졸업.
 1988년 State Univ. of New York
 at Buffalo 전기 및 컴퓨
 터공학과 박사 졸업.

1981년~1983년 대우통신 중앙연구소 연구원
 1988년~1992년 The Univ. of Michigan,
 Dearborn 전기 및 컴퓨터공학과 조교수
 1996년 11월 IEEE APCCAS best paper award
 1997년 12월 대한전자공학회 해동논문상 수상
 1999년 11월 한국통신학회 LG 학술상
 2000년 IET Fellow
 2004년 3월 고려대 훌륭한공대교수상(학술 부문)
 1992년~현재 고려대학교 전기전자전파공학과
 정교수
 2008년~현재 대한전자공학회 부회장
 <주관심분야:영상처리 및 압축, 멀티미디어통신>