

論文94-31B-8-19

퍼지 논리를 이용한 흐린 영상의 콘트라스트 향상

(Contrast Enhancement of Blurred Images Using Fuzzy Logic Concepts)

朴重祖*, 金景敏*, 朴貴泰*

(Joong Jo Park, Kyoung Min Kim and Gwi Tae Park)

要約

본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 흐린 영상의 콘트라스트를 향상시키는 기법을 제안하였다. 일반적으로 흐린 영상은 흐린 경계를 가지게 되며, 이는 에지 추출이나 영상의 영역 분할을 어렵게 하는 요인이 된다. 영상의 흐린 경계 부분의 콘트라스트를 향상시키기 위해 영상의 국부적인 콘트라스트 정보와 local min/max연산의 erosion/dilation특성을 사용하였다. 이때 local min/max연산은 퍼지 논리 연산이므로 본 향상 기법을 적용하기 위해서는 먼저 입력 영상을 퍼지 영상으로 변환하여야 한다. 본 기법은 영상에 반복 적용됨으로써 경계 부분의 콘트라스트를 점진적으로 향상시키며, 또한 내재된 저역 통과 필터링 특성에 의해 계조치 “salt and pepper” 잡음을 감소시킨다. 제안된 방법의 효율성을 흐린 모조 영상과 실제 영상에 대한 실험을 통하여 보였다.

Abstract

A new method for enhancing blurred images using fuzzy logic concepts is proposed. Blurred images contain blurred boundaries which make it difficult to detect edges and segment areas in images. In order to sharpen blurred edges, local contrast information of an image and erosion/dilation properties of local min/max operations are used, in which local min/max operations are fuzzy logic operations, so that given images are transformed to fuzzy images and then these operations are applied on them. In this method, the sharpening operation can be iteratively applied to the image to get better deblurring effect, and gray-scale “salt-and-pepper” noises are suppressed.

The efficiency of our algorithm is demonstrated through experimental results obtained with artificially-made blurred images and real blurred images.

1. 서론

*正會員, 高麗大學校 電氣工學科
(Dept. of Elec. Eng. Korea Univ.)
接受日字: 1993年 1月 5日

영상 향상(image enhancement)은 영상 처리를 통하여 화질을 개선하는 것으로서, 이에 의해 영상내

의 잡음의 제거, 에지의 선명화(deblur), 특정 부위의 강조(highlight)등을 할 수 있다. 일반적으로 영상 향상은 화질의 개선시킴으로써 인간의 눈에 선명한 영상을 제공하기 위해 사용되거나, 컴퓨터 시각 시스템을 사용하여 영상인식을 자동화하는 경우 최종 인식율을 높이기 위해 전처리로서 사용되고 있다. 영상 취득시 화질이 저하되는 원인으로는 잡음에 의해 화소의 계조치가 왜곡되는 경우와 비حت점화나 물체의 이동등에 의해 영상이 흐려지는 경우가 있는데, 모든 경우에 일반적으로 적용될 수 있는 특정한 영상 향상 기법은 없으며, 당면 문제에 따라 적절한 접근 방법들이 시도된다. 특히 콘트라스트 향상의 경우, 전체 영상에서 얻어지는 정보에 의해 계조치를 조작하고 재양자화를 하는 계조치 리스케일링(gray level rescaling)기법과 영상의 콘트라스트를 국부적으로 조사하여 이에의해 에지부분의 콘트라스트를 더욱 강화하는 에지향상 기법으로 크게 나눌 수 있는데, 전자는 주로 함수 매핑(functional mapping)이나 히스토그램 변형화(histogram modification)와 관련이 되고, 후자에는 에지검출 기법이나 국부적 통계량 분석등이 내포된다.^[1-4]

최근 부정확하거나 모호한 정보를 다루는 수학적 도구로서 개발된 퍼지 집합 개념이 영상처리에 많이 도입되고 있다. 계조치 영상은 여러가지 밝기 레벨을 가질 수 있으므로 화소내에 어떤 모호성(ambiguity)이 존재한다고 볼 수 있으며, 이는 영상처리에 퍼지 집합 개념을 적용할 수 있는 타당성을 제공한다.^[5] 퍼지 집합 개념을 사용한 영상의 콘트라스트 향상 기법으로는 S-함수 및 퍼지척도를 이용하는 것들^[6-7]과 이를 응용한 fuzzy relaxation 기법^[8]이 제안되었다. 전자는 전체 영상의 정보만을 이용하는 방식이고, 후자는 국부적인 영상정보를 이용하는데, 이들은 주로 bimodal 영상에 적합한 기법이며, multimodal 영상의 경우에는 히스토그램의 정보를 이용해야 하는 등 사실상 적용이 용이하지 않다.

본 논문에서는 영상의 국부적인 콘트라스트 정보를 이용하고 퍼지 논리 연산중의 하나인 local min/max연산을 사용하여 multimodal영상에 쉽게 적용할 수 있는 영상 향상 기법을 제안한다. Nakagawa와 Rosenfeld^[9]가 제안한 local min/max연산은 기본적으로 퍼지 영상에 대해 erosion과 dilation특성을 갖는데, 이를 응용하여 에지검출, 공간 필터링, 계조치 세션화등을 행할 수 있다.^[10-12] 본 논문에서 기술되는 영상 향상 기법은 이 연산에 의해 에지를 검출함으로써 영상의 국부적 콘트라스트를 측정하고, 이를 원래 영상에 더하는 방식으로 흐린 에지 부분의

콘트라스트를 향상시킨다. 이때 발생하는 불필요한 계조치 성분의 제거 및 향상된 에지 위치의 교정을 위하여 이 연산의 erosion특성이 사용된다. 제안된 기법은 영상의 히스토그램 정보를 필요로 하지 않으며 직접 입력 영상에 적용된다. 또한, 본 기법은 영상에 반복 적용됨으로써 에지 부분의 콘트라스트를 점진적으로 향상시킬 수 있고, local min/max연산의 저역통과 필터링 특성에 의해 계조치 "salt and pepper"잡음이 제거되는 특성을 갖는다.

본 논문의 구성은 1장의 서론에 이어, 2장에서 local min/max연산의 특성을 간단히 기술하고, 3장에서 제안된 콘트라스트 향상 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 본 기법의 사용 가능성을 입증하기 위해 실험영상에 본 알고리즘을 적용한 결과를 보이고, 마지막으로 5장에 결론을 실었다.

II. 퍼지 논리와 Local min/max

이치의 디지털 영상에 있어서의 shrinking과 expanding연산은 잡음제거, 영상분할 등에 유용하게 사용된다. 이치 영상에 대해서, shrinking연산은 '1'들에 의해 완전히 둘러싸이는 '1' 값을 갖는 화소만을 그 '1' 값을 그대로 유지하게하고, 그렇지 않은 화소는 모두 '0' 값으로 대체하는 것이고, expanding연산은 '0'들에 의해 완전히 둘러싸이는 '0' 값을 갖는 화소는 그 '0' 값을 유지하게하고, 그외의 것은 '1'로 대체하는 것이다. 이 연산들은 그 속성상 국부적 소영역내에서 수행되며, 본질적으로 이치 연산이므로 부울대수의 AND 및 OR연산으로 구현될 수 있다. 그리고 이들을 조합하여 사용함으로써 에지검출, 세션화등의 많은 영상처리 분야에 응용될 수 있다.^[9] 그런데 이 연산은 이치 영상에만 적용되는 제약성을 가지므로 계조치 영상 즉, 다치 영상에 적용하기 위해서는 이 연산을 일반화해야 할 필요가 있다. Nakagawa와 Rosenfeld는 퍼지 집합 이론으로 부터 영감을 받아서, shrinking, expanding연산을 확장하여 다치 영상에도 적용할 수 있도록 하는 local min/max연산을 제안하였다.^[9] 이 연산은 퍼지 논리 연산이므로 이를 영상에 적용하기 위해서는 먼저 영상의 퍼지화가 선행되어야 한다.

1. 퍼지 영상

영상의 퍼지화는 램프 사상 함수, S-함수, π -함수 등을 사용하여 행할 수 있는데, 여기서는 램프 사상 함수를 사용하여 퍼지 영상(fuzzy image)을 정의한다. 즉, 화소값 $g_{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, f\}$ 로 구성되는 크기

가 $I \times J$ 인 디지털 계조치 영상 G 를 퍼지 영상으로 변환하기 위해, 그림 1의 램프 사상 함수(ramp mapping function) $R(\cdot)$ 를 사용하여 G 의 각 화소를 퍼지 단일값(fuzzy singleton) $\mu_G^{ij} \in \{0(\text{dark}), 1/f, 2/f, \dots, 1(\text{white})\}$ 로 변환한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\mu_G^{ij} = R(g_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad g_{ij} \in G \quad (1)$$

이때 이들 각 퍼지 단일값들의 소속함수는 영상내의 각 화소가 갖는 밝기 정도를 나타내며, 그 크기가 구간 $[0, 1]$ 의 사이값으로 제한된다. 이와 같은 방식으로, 크기가 $I \times J$ 인 계조치 영상 G 에 대응하는 퍼지 영상 Π_G 는 식 (2)와 같이 퍼지 단일값들로 구성되는 $I \times J$ 크기의 2차원 배열로 정의된다.^[11] 그리고 이에 의해 영상에 퍼지 집합 이론을 적용할 수 있게 된다.

$$\Pi_G = \{ \mu_G^{ij}; \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J \} \quad (2)$$

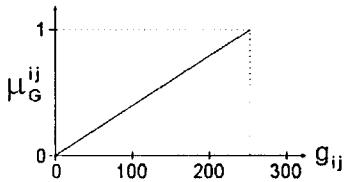


그림 1. 램프 사상 함수
Fig. 1. Ramp Mapping Function.

2. local min/max

다치의 소속함수값을 처리하기 위해, 퍼지 논리는 부울대수 개념의 AND와 OR연산을 min, max연산으로 확장하였다. 이들은 포인트 연산이므로 연산자로서 \min_p, \max_p 을 사용한다면, 두 퍼지 영상 Π_A 와 Π_B 에 대한 교집합은 영상의 각 포인트에서 Π_A 와 Π_B 의 최소값을 취함으로써 구해지며, 식 (3a)로 표현된다.^[10] 그리고 이와 유사한 방법으로 이 두 퍼지 영상의 합집합은 식 (3b)로 주어진다.

$$\Pi_A \wedge \Pi_B = \min_p(\Pi_A, \Pi_B) \quad (3a)$$

$$\Pi_A \vee \Pi_B = \max_p(\Pi_A, \Pi_B) \quad (3b)$$

또한, 퍼지 영상 Π_G 의 논리적 역상(inverse image)

는 $1 - \Pi_G$ 에 의해 식 (3c)로 주어진다.

$$-\Pi_G = 1 - \Pi_G \quad (3c)$$

한편, 이치 영상에 대한 shrinking 및 expanding연산은 국부적 소영역에 대해 AND, OR 연산자를 사용하여 구현되며, 이에 대한 퍼지 영상에서의 등가 개념은 min, max 연산을 국부적 소영역에 적용함으로써 얻어질 수 있다. 따라서 이를 local min, local max연산이라 부르며, 포인트 연산자인 \min_p, \max_p 와의 구별을 위해 연산자 \min_R, \max_R 을 사용하기로 한다. 이 local min/max연산은 이치 영상에서의 shrinking/expanding에 대응하여 다치 영상에 대해 erosion/dilation특성을 갖는다.^[9-11] local min/max연산의 제반 특성은 Nakagawa와 Rosenfeld의 논문^[9]에 잘 분석되어 있으며, 퍼지 영상에 대한 이의 동작은 다음과같이 간단히 요약될 수 있다. \min_R 연산은 퍼지 영상내의 각 화소의 값을 자신을 포함한 자기 이웃내의 최소값으로 대체한다. \max_R 연산은 퍼지 영상내의 각 화소의 값을 자신을 포함한 자기 이웃내의 최대값으로 대체한다. local min/max연산의 erosion/dilation특성은 퍼지 영상에 있어서 많은 종류의 정보 처리에 사용될 수 있으며, 계조치 "salt and pepper"잡음의 제거, 에지 검출, 비선형 공간 필터링, 계조치 세션화등에 응용될 수 있다.^[10-12] 이중에서, 에지 검출의 경우, 퍼지 영상 Π_G 내의 에지 정보는 원래 영상과 그의 erode된 영상과의 차이를 취함으로써 얻을 수 있는데, 이는 다음식으로 표현될 수 있다.^[6,11]

$$\Pi_{EDGE} = \Pi_G - \min_R(\Pi_G) \quad (4a)$$

또 다른 방법으로서 다음이 가능하다.

$$\Pi_{EDGE} = \max_R(\Pi_G) - \Pi_G \quad (4b)$$

$$\Pi_{EDGE} = \max_R(\Pi_G) - \min_R(\Pi_G) \quad (4c)$$

또한, 이 연산의 erosion/dilation특성을 퍼지 영상 Π_G 에 적용함으로써, 다음과 같이 비선형 공간 필터링 연산을 구현할 수도 있다.^[10,11]

$$\Pi_{LPF} = [\max_R[\min_R(\Pi_G)]]^r \quad (5a)$$

$$\Pi_{HPF} = \Pi_G - [\max_R[\min_R(\Pi_G)]]^r \quad (5b)$$

$$\Pi_{BPF} = [\max_R[\min_R(\Pi_G)]]^r - [\max_R[\min_R(\Pi_G)]]^m, \quad m > r \quad (5c)$$

여기서, Π_{LPF} , Π_{HPF} , Π_{BPF} 는 각각 퍼지 영상 Π_G 에 저역통과 필터링, 고역통과 필터링, 대역통과 필터링을 취한 후의 퍼지 영상을 나타낸다. 이때, r 과 m 은 이 연산의 반복 적용 횟수를 나타내며, 저역통과 필터의 경우 r 이 클수록 차단주파수가 작아진다. 또한 이 필터링 수식에서 보면, 모든 비선형 필터들의 특성은 저역통과 필터의 특성에 의해 결정됨을 알 수 있다.

이중에서 local min/max 연산의 에지 검출 기능과 erosion 및 dilation 특성이 본 연구의 목적인 흐린 계조치 영상의 콘트라스트 향상에 이용된다.

III. 콘트라스트 향상 알고리즘

본 절에서는 2절에서 설명된 퍼지 영상에 대한 local min/max 연산의 특성을 이용하여, 흐린 영상의 콘트라스트를 향상시키는 기법에 대하여 기술한다. 흐린 영상에 대한 콘트라스트 향상의 목적은 그림 2과 같이 영상의 에지부분의 계조치 변화도를 크게 증폭하는 것이다. 이 그림에서 실선은 흐린 영상의 에지 부분의 계조치 분포를 나타내고, 점선은 바람직하게 콘트라스트가 향상된 에지 부분의 계조치 분포를 나타낸다.

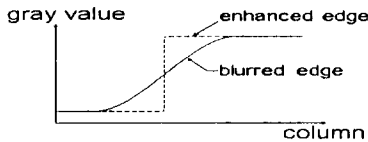


그림 2. 콘트라스트 향상의 목표
Fig. 2. Aim of contrast enhancement.

본 논문에서는 디지털 계조치 영상에서 각 화소에 관련된 국부적 콘트라스트를 고려함으로써 영상의 콘트라스트 향상을 꾀한다. 기존의 국부적 콘트라스트를 이용하는 방법에는 영상신호의 1차 미분(즉 에지 신호)을 이용하는 방법^[4]과 2차 미분(즉 라플라시안 신호)을 사용하는 방법^[1,13,14]이 있는데, 이중에서 에지 신호를 사용하는 방법은 각 화소값과 그의 이웃 화소값 사이의 차이분을 계산하고 이 차이가 증폭되도록 각 화소값을 재 할당함으로써 국부적 콘트라스트를 향상시키는 것이고, 2차 미분을 사용하는 방법으로는 식 (6)으로 표현되는 anti-diffusion 기법^[14]이 널리 알려져 있다.

$$g'_{ij} = g_{ij} - \alpha \cdot \nabla^2 g_{ij} \quad (6)$$

여기서, g_{ij} 는 주어진 입력 영상의 (i, j) 위치에 있는 화소의 계조치이고, $\nabla^2 g_{ij}$ 는 g_{ij} 의 2차 미분값이며, g'_{ij} 는 g_{ij} 에 대응해서 콘트라스트가 향상된 영상의 계조치이다. 또한 α 는 임의의 양의 상수로서 콘트라스트 향상의 비율을 결정하는 인자이다. 그림 3은 이 기법에 의한 에지 부분의 콘트라스트 향상 효과를 보인다. 그림 3(b)는 그림 3(a)의 2차 미분값이고, 이를 사용해서 식 (6)의 연산을 취한 결과를 그림 3(c)에 보이는데, 이 그림에서 보듯이 에지의 낮은 계조치 부분에 골이 생성되고 높은 계조치 부분에 산이 형성되며, 에지 영역 자체의 계조치 변화도를 더욱 크게함으로써 전반적으로 콘트라스트 향상을 가져온다. 식 (6)의 α 값을 크게 할수록 에지 부분의 경사도는 더욱 급격해지나, 그에 따라 발생하는 산과 골의 크기도 더 커지게 된다. 이때 발생하는 산과 골은 multimodal 영상의 경우에 대해서는 영상의 분할시 동일 계조치의 대상체 추출에 바람직하지 못한 작용을 하며, 또한 이 기법의 반복 적용을 곤란하게 하는 요소가 된다.

이에 대해 2차 미분값 대신 1차 미분값을 사용하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 즉, 식 (6)에 대응해서 다음 식의 사용을 고려해 볼 수 있다.

$$g'_{ij} = g_{ij} - \alpha \cdot \nabla g_{ij} \quad (7)$$

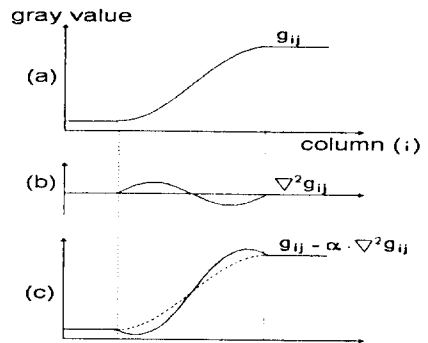


그림 3. anti-diffusion 기법에 의한 콘트라스트 향상
Fig. 3. Contrast enhancement by anti-diffusion operation.

식 (7)을 사용하여 영상의 콘트라스트 향상을 시도할 경우 영상의 erosion 및 dilation이 필요하게 되는데, 이를 구현하기 위해 퍼지 논리인 local min/max 연산을 사용하고자 하므로, 먼저 계조치 입력 영상을 퍼지 영상으로 변환해야 한다. 계조치 영상 G 를

그림 1의 램프 사상 함수에 의해 퍼지 영상 μ_G 로 변환하면, 이 퍼지 영상에 대한 식 (7)의 등가는 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$\mu'_G{}^i = \mu_G{}^i - \alpha \cdot \nabla \mu_G{}^i \quad (8)$$

식 (8)의 효과를 그림 4에 보인다. 그림 4(b)는 그림 4(a)의 1차 미분값이고, 이를 사용해서 식 (8)의 연산을 취한 결과를 그림 4(c),(d)에 보인다. 이때 접선 그래프는 원래 영상인 그림 4(a) 부분을 나타낸다. 여기서 그림 4(c)는 식 (8)에서 작은 α 값을 취한 경우이고, 그림 4(d)는 큰 α 값을 사용한 경우이다. 이 그림에서 보면 에지의 낮은 화소값 부분에 골이 생성되면서 그 우측에 급격한 변화가 생기는데, 이때 골 부분을 무시한다면 에지가 향상되면서 그 위치가 우측으로 이동되었다고 볼 수 있다. 이 경우 발생하는 에지 부분의 위치 변동과 골의 발생은 식 (8)의 결과 영상에 dilation 연산을 적용함으로써 해결할 수 있다. 그림 4(d)에 dilation을 취함으로써 콘트라스트가 향상된 에지 부분을 그림 4(e)에 보인다. 이때 영상의 1차 미분 즉 에지 성분의 추출과 영상의 dilation에 2장에서 설명한 local min/max 연산을 사용할 수 있다.

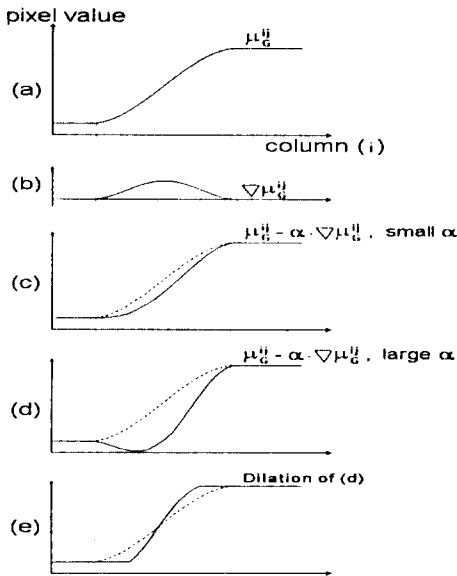


그림 4. 1차 미분값을 이용한 콘트라스트 향상
Fig. 4. Contrast enhancement using first-order derivative.

그런데, 퍼지 영상에 대한 dilation 연산은 영상의

모호성(ambiguity)을 증가시키고, erosion 연산은 영상의 모호성을 감소시킨다.^[11] 따라서 본 논문에서는 흐린 영상의 콘트라스트 향상 기법으로서 식 (8) 대신 식 (9)를 사용하여 위와 동등한 콘트라스트 향상 효과를 달성하고, 그 결과 영상에 erosion 연산을 적용하여 에지 부분의 위치 조정을 할 수 있게 한다.

$$\mu'_G{}^i = \mu_G{}^i + \alpha \cdot \nabla \mu_G{}^i \quad (9)$$

그림 5는 식 (9)에 기초하여 본 논문에서 제안하는 콘트라스트 향상 기법의 원리를 보이는데, 그림 5(b)는 그림 5(a)의 1차 미분값이고, 그림 5(c),(d)는 각각 작은 α 값과 큰 α 값에 대해 식 (9)를 그림 5(a)에 적용한 결과이다. 그림 5(d)에 erosion을 적절히 취함으로써 불필요한 산을 제거하고 에지의 위치를 조정하여 콘트라스트가 향상된 결과를 그림 5(e)에 보인다.

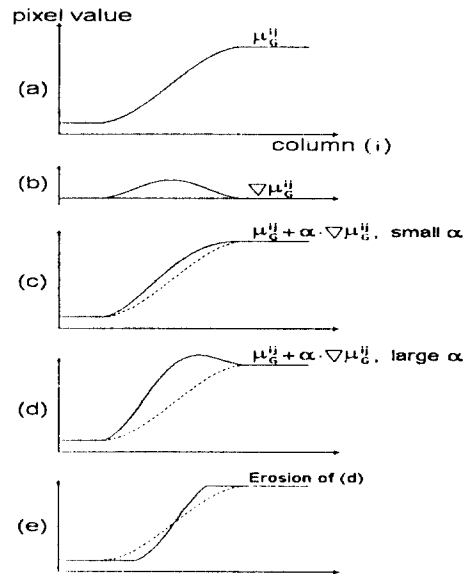


그림 5. 제안된 콘트라스트 향상 기법의 원리
Fig. 5. Principle of the proposed contrast enhancement method.

식 (9)에 근거하고 2절에서 설명한 local min/max 연산을 사용하여, 퍼지 영상의 콘트라스트 향상을 행하는 절차는 다음과 같다. 여기서 local min/max 연산이 취해지는 국부적 영역의 크기는 3x3이다. 먼저 식 (9)에서 에지 영상의 화소값 $\nabla \mu_G{}^i$ 는 local min/max 연산을 이용하는 식 (4c)를 사용하여 구한다.

$$\Pi_{EDGE} = \max_R(\Pi_G) - \min_R(\Pi_G) \quad (4c)$$

그리고 퍼지 영상의 경우 식 (9)에서의 $\alpha \cdot \nabla \mu_G^{ij}$ 의 구현은 식 (4c)에 의해 구현된 에지 영상에 erosion을 한번 취함으로써 성취될 수 있다. 이는 식 (9)에서 $\alpha < 1$ 을 사용하는 것과 유사한 효과를 가지며, 이런 방식으로 축소된 에지 영상을 식 (9)에 따라 원래의 퍼지 영상에 화소 단위로 더하면 에지의 높은 화소값 부분에 불필요한 산이 발생하지 않으면서 콘트라스트가 향상된다. 그러나 식 (9)의 적용시 에지의 위치가 낮은 화소값 방향으로 한 화소 간격 만큼 이동되는 효과가 있으므로 이 결과 영상에 erosion을 한번 취함으로써 에지의 위치를 보정한다. 이렇게 구현된 콘트라스트가 다소 향상된 영상에는 산과 골이 발생되어 있지 않으므로 이 결과 영상에 본 콘트라스트 향상 절차를 계속하여 반복 적용할 수 있고 그에 따라 영상의 콘트라스트는 점차 향상되게 된다. 이때 영상의 erosion은 local min연산에 의해 구현되므로, 결국 본 절차는 local min/max연산과 영상 프레임간의 더하기 연산만을 사용함으로써 수행된다.

이상의 흐린 디지털 게조치 영상에 대한 콘트라스트 향상 절차는 다음의 알고리즘으로 정리될 수 있으며, 이때 local min/max연산을 행하기 위한 국부적 소영역의 크기는 3x3을 사용한다.

단계 1. 그림 1의 램프 사상 함수 $R(\cdot)$ 를 사용하여, 주어진 게조치 영상 G 를 퍼지 영상 Π_G 로 변환한다.

$$\mu_G^{ij} = R(g_{ij}), \quad g_{ij} \in G, \quad \mu_G^{ij} \in \Pi_G \quad (10)$$

단계 2. 입력 퍼지 영상 Π_G 로부터 식 (4c)를 사용하여 에지 영상 Π_{EDGE} 을 구한다.

$$\Pi_{EDGE} = \max_R(\Pi_G) - \min_R(\Pi_G) \quad (4c)$$

단계 3. local min연산을 사용하여 단계 2에서 구한 에지영상을 erode함으로써, 축소된 에지 영상 Π'_{EDGE} 를 구한다.

$$\Pi_{EDGE} = \min_R(\Pi_{EDGE}) \quad (11)$$

단계 4. 입력 퍼지 영상 Π_G 와 단계 3에서 구한 축소된 에지 영상 Π'_{EDGE} 를 화소단위로 더하여 콘트라스트가 보다 향상된 퍼지 영상 Π_E 를 구한다. 이 영상의 에지 부분은 원

래의 위치로 부터 낮은 화소값 영역으로 한 화소 간격 만큼 이동되어 있다.

$$\Pi_E = \Pi_G + \Pi'_{EDGE} \quad (12)$$

단계 5. 에지 위치의 조정을 위해, local min연산을 사용하여 단계 4에서 구한 영상을 erode한다. 이렇게 하여 구현된 퍼지 영상 Π'_G 가 콘트라스트가 향상된 영상이 된다.

$$\Pi_G = \min_R(\Pi_E) \quad (13)$$

단계 6. 콘트라스트 향상이 더 필요하다면, 단계 5에서 구현된 영상 Π'_G 를 다시 입력 퍼지 영상 Π_G 로 하여 단계 2로 되돌아 가서 이 절차를 반복하고, 그렇지 않으면 그림 1의 램프 사상 함수의 역변환을 사용하여 단계 5에서 구현된 콘트라스트가 향상된 퍼지 영상 Π'_G 를 게조치 영상 G 로 변환한다.

$$g_{ij} = R^{-1}(\mu_G^{ij}), \quad \mu_G^{ij} \in \Pi_G, \quad g_{ij} \in G \quad (14)$$

본 기법에서는 local min/max연산을 행하기 위한 윈도우의 크기를 3x3으로 고정하여 사용하였는데, 만일 윈도우의 크기를 이보다 더 큰 $n \times n$, $n=5,7,9,\dots$ 으로 취할 경우, 단계 3에서 에지 영상의 erosion을 $[(n-1)/2]$ 회 실시해야만 단계 4에서 불필요한 산이 발생되지 않는다. 그런데 이런 방식으로 축소된 에지 영상은 크기가 3x3인 윈도우를 사용한 경우와 동일한 형태를 가지게 되며, 오히려 세부적인 영상 부분의 향상에 악영향을 끼치므로 본 기법에서는 윈도우의 크기를 3x3으로 고정하여 사용하였다. 그림 6은 에지 폭이 6화소인 부드러운 에지 부분을 갖는 퍼지 영상의 수평축 화소값 분포에 대해 본 알고리즘을 적용하여 에지의 콘트라스트가 향상되는 과정을 보인다. 그림에서 보이듯이 제안된 알고리즘은 그 절차가 한번씩 반복될때 마다 전체 영상이 한번씩 erode되므로 최대 반복횟수는 에지 폭(화소 단위)의 1/2 이하이어야 한다. 그렇지 않으면 단계 5의 erosion에 의해 에지의 위치가 한 화소만큼씩 이동되므로 상대적으로 높은 화소값 영역이 한 화소만큼씩 수축되게 된다. 한편 본 기법의 절차상에 내재된 local min/max연산의 저역통과 필터 특성에 의해 게조치 "salt and pepper"잡음이 제거되는 효과도 얻어진다.

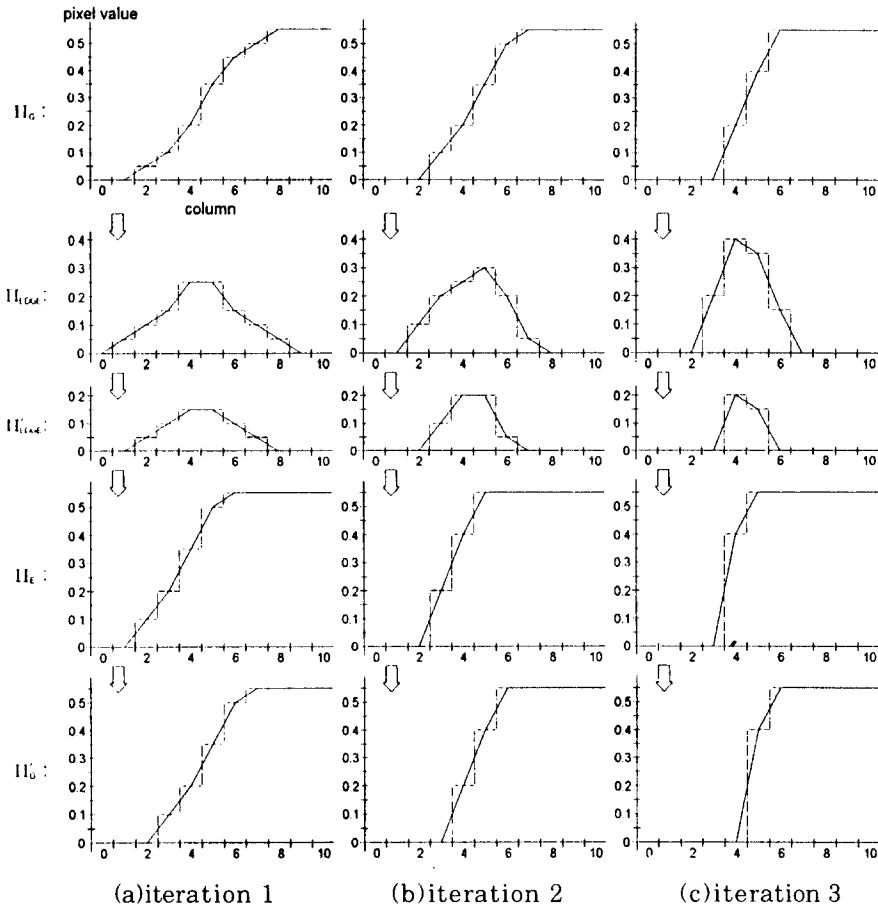


그림 6. 제안된 콘트라스트 향상 알고리즘의 수행 과정

Fig. 6. Process of the proposed contrast enhancement algorithm.

IV. 실험 및 결과

제안된 콘트라스트 향상 기법의 성능을 알아보기 위해 두가지 종류의 흐린 영상을 사용하였다. 즉, 인공으로 제작한 모조 영상을 사용하여 본 기법에 의해 콘트라스트가 향상되는 과정을 보이고, 실제의 흐린 영상에 대해 본 기법의 효능을 알아본다. 또한 모조 영상에 가우지안 잡음을 임의로 혼입하여 실험함으로써 본 기법의 잡음에 대한 성능도 알아본다.

그림 7.8.9는 영상처리 장비로 모조 영상을 제작하고 이를 국부적 평균화시켜서 만든 실험용 흐린영상이다. 그림 (7)에 콘트라스트가 향상되는 과정을 보인다. 그림 7(a)는 입력 영상이고, 이 영상의 19번째 행의 계조치 분포를 그림 7(b)에 보인다. 여기서 보면 흐림 현상에 의해 에지부분이 비교적 넓게 분포되어 있음을 알 수 있다. 그림 7(c),(d),(e)는 각각 그림 7(a)에 본 기법을 2,

4.6회 반복 적용한 경우의 19번째 행의 계조치 분포를 보인다. 반복 횟수가 증가할수록 에지 부분의 콘트라스트가 더욱 커지면서 에지 폭이 줄어들음을 볼 수 있다. 그림 7(f)는 그림 7(e)에 대한 실제의 향상된 영상이다. 이 실험 영상의 경우 그림 7(b)에서 보면 에지 폭이 대략 12화소 정도이므로 본 기법이 최대 6회 반복 적용될 수 있으며, 그 이상의 적용시 본 기법의 erosion효과에 의해 상대적으로 낮은 계조치 영역이 팽창하게 된다.

그림 8(a)와 그림 9(a)에 또 다른 모조의 흐린 패턴영상과 그의 120번째 및 165번째 행의 계조치 분포를 보인다. 그림 8(b)와 그림 9(b)는 이들 영상에 본 기법을 6회 반복 적용함으로써 얻어진 향상된 영상과 각 해당 행의 계조치 분포를 보인다. 그림 8(b)에서 보면 수평 및 수직 방향의 에지 부분에서 콘트라스트가 향상되어 있음을 알 수 있고, 그림 9(b)에서는 사선 방향의 에지 부분이 향상되어 있음을 볼 수 있다.

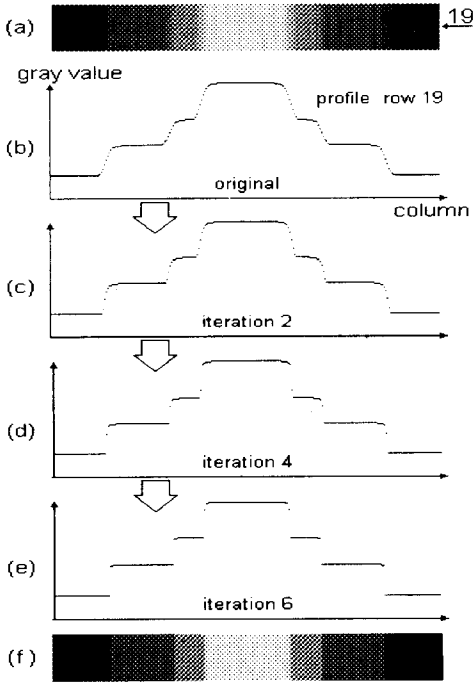


그림 7. 콘트라스트 향상 과정
 Fig. 7. Process of contrast enhancement.

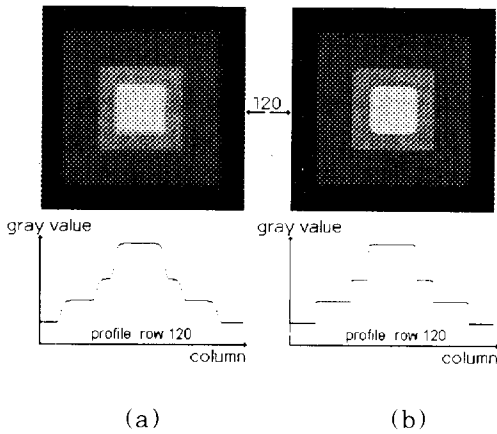


그림 8. 흐린 패턴 영상 #1에 적용한 결과
 (a) 원영상 (b) 향상된 영상
 Fig. 8. The applied result of blurred pattern image #1 (a) Original image (b) Enhanced image.

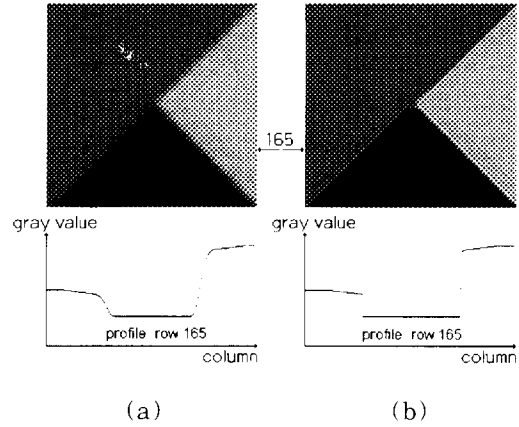


그림 9. 흐린 패턴 영상 #2에 적용한 결과
 (a) 원영상 (b) 향상된 영상
 Fig. 9. The applied result of blurred pattern image #2 (a) Original image (b) Enhanced image.

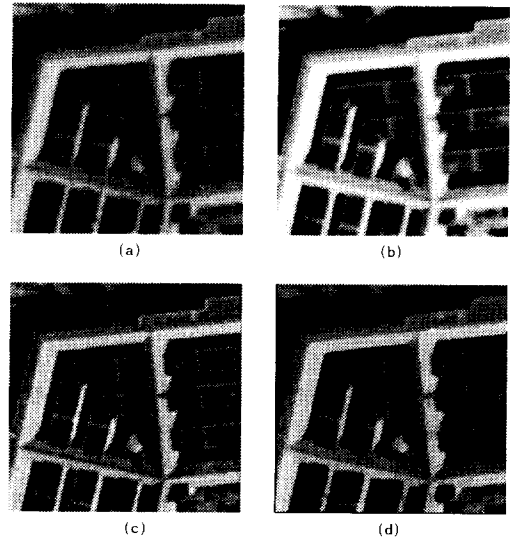


그림 10. 흐린 영상에 적용한 결과
 (a) 원영상 (b) 히스토그램 평활화
 (c) anti-diffusion (d) 제안 기법
 Fig. 10. The result of blurred image (a) Original image (b) Histogram equalization (c) anti-diffusion (d) Proposed method.

그림 10은 펜타곤 영상의 일부를 평균화하여 얻은 256x256 크기의 흐린 영상에 대한 실험 결과이다. 그림 10(a)는 원영상이고, 그림 10(b)는 히스토그램 평활화(histogram equalization)를 이용하여 얻어진 영상이며, 그림 10(c)는 anti-diffusion기법을 사용하여 얻어진 향상된 영상이다. 이때 식 (6)의 사용시 라플라시안 처리를 위해 3x3 마스크를 사용하였으며, α 값으로는 1을 채용하였다. 그림 10(d)는 제안 기법을 3회 적용하여 얻어진 향상된 영상이다. 이상의 처리된 결과 영상들을 비교해 보면, 히스토그램 평활화 기법의 경우에는 영상의 전반적인 화소값 분포를 사용하므로 전반적인 콘트라스트는 향상되어 있으나, 화소값이 완전히 재배치 되므로 영상의 화소값은 그대로 유지하면서 각 경계 부분의 흐림 현상만을 제거하는 목적에는 적합하지 않다. anti-diffusion기법의 사용시에는 그림 3의 효과에 의해 각 영역의 경계 부분의 콘트라스트가 향상되므로 유사한 화소값으로 구성되는 각 영역의 경계 부분에 미소한 산과 골이 추가로 발생하게 되고 그결과 콘트라스트가 뚜렷하게 향상된 것으로 보인다. 한편 제안된 기법의 사용시에는 각 영역의 경계 부분의 화소값이 해당 영역의 화소값과 같게 유지되면서 콘트라스트가 향상되므로 전반적인 입체감은 다소 미흡하게 보인다. 그러나 이 현상은 영상의 영역 분할(region segmentation)시 유리한 특성이 될 수 있다. 결국, 히스토그램 평활화 및 anti-diffusion 기법은 인간 시각에 의한 영상 평가시에 유리한 콘트라스트 향상 방법이고, 컴퓨터 시각에 의한 영상 처리의 자동화시에는 제안 기법에 의해서 보다 유용한 효과를 얻을 수 있다고 생각된다.

그림 11은 카메라의 초점을 흐리게하여 취득한 256x137 크기의 문자 영상에 대한 실험 결과이다. 그림 11(b)는 그림 11(a)의 원영상에 대해 본 기법을 2회 반복 적용하여 얻어진 영상으로서 문자 경계 부분의 콘트라스트가 잘 향상되어 있음을 볼 수 있다.



그림 11. 흐린 문자 영상에 적용한 결과
 (a) 원영상 (b) 향상된 영상
 Fig. 11. The result of blurred character image
 (a) Original image (b) Enhanced image.

한편 잡음성 영상에 대한 본 기법의 효과를 고찰하기 위해, 그림 8(a)의 영상에 가우지안 분포의 잡음을 혼입하여 실험해 보았다. 그림 12(a)는 그림 8(a)에 가우지안 잡음을 혼입하여 SNR이 33.3dB가 된 영상이다. 이 영상의 120번째 행의 계조치 분포도 도시하였는데, 이는 혼입된 잡음이 영상의 계조치에 미친 영향을 잘 보여준다. 이 영상에 본 기법을 6회 반복 적용한 결과의 영상과 그의 계조치 분포를 그림 12(b)에 보인다. 그림에서 보듯이 본 기법에서 사용된 local min/max연산의 erosion 및 dilation 특성에 의해 에지부분의 콘트라스트는 향상되고, 에지 이외의 부분의 잡음은 제거되어 있음을 알 수 있다. 또한 이 경우, 잡음의 영향에 의해, 향상된 후의 영상의 에지선에 약간의 변형이 생김을 볼 수 있다.

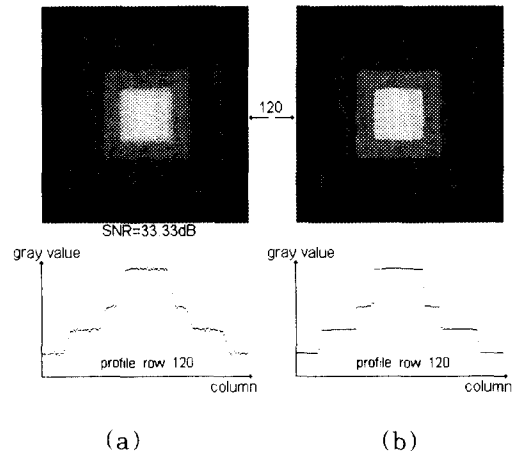


그림 12. 잡음영상에 대한 제안된 기법의 효과
 (a) 원영상 (b) 향상된 영상
 Fig. 12. Effect of the proposed algorithm on noisy image (a) Original image (b) Enhanced image.

이상의 실험 결과를 보면 본 알고리즘이 잡음에 큰 영향 없이 흐린 영상의 콘트라스트를 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 퍼지 논리 개념인 local min/max 연산을 사용하여 흐린 영상의 콘트라스트를 향상시키는 기법을 제안하였다. 본 기법의 기본 착상은 영상 향상 기법의 일종인 anti-diffusion 기법으로 부터

나왔으며, 이 방식에서는 영상의 2차 미분값을 사용하는데 반하여 본 기법에서는 1차 미분값인 에지 정보를 사용하여 콘트라스트 향상을 시도하였다. 제조치 영상에 퍼지 논리 개념인 local min/max연산을 적용하기위해, 램프 사상 함수를 사용하여 제조치 영상을 퍼지 영상으로 변환하였으며, 이 퍼지 영상내에서 영상 향상 절차가 수행된다. 즉, 퍼지 영상내의 에지 성분을 검출함으로써 영상의 국부적 콘트라스트를 측정하고, 이를 원래의 퍼지 영상에 화소 단위로 더하는 방식으로 흐린 영상의 콘트라스트를 향상시키는데, 이때 필요한 에지 영상의 생성 및 중간 과정에서 발생하는 산과 에지 위치의 이동을 교정하는데 local min/max연산의 erosion 및 dilation특성이 사용되었다. 이 절차는 퍼지 영상에 대해 반복적으로 적용될 수 있고 그에 따라 영상의 흐린 에지 부분의 콘트라스트가 점차 향상된다.

본 기법은 multimodal 영상에 대해 히스토그램의 정보를 사용함이 없이 콘트라스트를 향상시킬 수 있으며, local min/max 연산의 제조치 "salt and pepper"잡음 제거 특성에 의해 잡음성 영상에 대해서도 잡음 성분을 향상시키지 않아 영상의 콘트라스트가 양호히 향상된다. 본 기법은 흐린 영상의 에지 추출시에 전처리로서 사용될 수 있으며, 영상을 동일 제조치의 여러 영역들로 분할하는데도 유용하게 응용될 수 있으리라 기대된다. 또한 본 기법에서 사용되는 주된 연산은 local min/max연산이므로, 이 연산을 수행하는 전용 H/W 보드가 제작될 경우 고속의 영상 향상 처리가 가능하다.

한편, 본 기법에서는 local min/max연산의 적용시 3x3 크기의 윈도우를 사용하므로 그보다 작은 세부적인 영상 부분의 향상에는 미흡한 면이 있는데, 향후 이에 대한 추가 연구가 필요하리라 본다.

參 考 文 獻

- [1] David C. C. Wang, Anthony H. Vagnucci and C. C. Li, "Digital Image Enhancement : A Survey", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 24, pp.363-381, 1983.
- [2] J. D. Tubbs, "A Note on Parametric Image Enhancement", *Pattern Recognition*, Vol. 20, No. 6, pp.617-621, 1987.
- [3] Ling-Hwei Chen and Wen-Hsiang Tsai, "Moment-Preserving Sharpening - A New Approach to Digital Picture Deblurring", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 41, pp.1-13, 1988.
- [4] Azeddine Beghdadi and Alain Le Negrate, "Contrast Enhancement Technique Based on Local Detection of Edges", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 46, pp.162-174, 1989.
- [5] S.K.Pal and R.A.King, "Image Enhancement Using Smoothing with Fuzzy Sets", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-11, No. 7, pp.494-501, 1981.
- [6] S.K.Pal and R.A.King, "On Edge Detection of X-Ray Images Using Fuzzy Sets", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell.*, Vol. PAMI-5, No. 1, pp.69-77, 1983.
- [7] Sankar K. Pal and A. Rosenfeld, "Image Enhancement and Thresholding by Optimization of Fuzzy Compactness", *Pattern Recognition Letters* 7, pp.77-86, 1988.
- [8] Hua Li and Hyun S. Yang, "Fast and Reliable Image Enhancement Using Fuzzy Relaxation Technique", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. 19, No. 5, pp.1276-1281, 1989.
- [9] Y. Nakagawa and A. Rosenfeld, "A Note on the Use of Local min and max Operations in Digital Picture Processing", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-8, No. 8, pp.632-635, 1978.
- [10] V.Goetcherian, "From Binary to Grey Tone Image Processing Using Fuzzy Logic Concepts", *Pattern Recognition*, Vol. 12, pp.7-15, 1980.
- [11] M. M. Gupta and G. K. Knopf, "Fuzzy Logic in Vision Perception", SPIE Vol. 1826, *Intelligent Robots and Computer Vision XI*, pp.300-316, 1992.
- [12] S. Peleg and A. Rosenfeld, "A Min-Max Medial Axis Transformation",

IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell., Vol. PAMI-3, No.2, pp.208-210, 1981.

Picture Processing, Vol. 2, Academic Press, New York, 1982.

[13] A. Rosenfeld and A. C. Kak, *Digital*

[14] J.C.Russ, *The Image Processing Handbook*, CRC press, 1992.

著 者 紹 介

朴 重 祖(正會員) 第 31卷 B編 第 6號 參照
현재 고려대학교 전기공학과 대학원
박사과정

金 景 敏(正會員) 第 31卷 B編 第 6號 參照
현재 고려대학교 전기공학과 대학원
박사과정

•
朴 貴 泰(正會員) 第 31卷 B編 第 6號 參照
현재 고려대학교 전기공학과 교수