

적응적인 방향성 정칙화 연산자를 이용한 반복 영상복원

(Iterative Image Restoration using Adaptive Directional Regularization)

김 옹 훈 † 신 현 진 ** 이 태 흥 ***
(Yonghun Kim) (Hyoujin Shin) (Taihong Yi)

요 약 영상을 처리하는 과정에서 광학시스템과 전자회로의 특성으로 인해 흐려지고, 잡음으로 훼손된 영상을 복원하는 경우에 일반적으로 정칙화 반복복원방법이 사용된다. 기존의 방법은 영상의 국부적인 특성을 고려하지 않고, 영상 전체에 일률적으로 정칙화 연산자를 사용함으로써 에지의 주변영역에서는 링잉 현상을 초래하고, 평면영역에서도 잡음증폭을 피할 수 없으며, 또한 시각적으로 효율적이지 못한 면이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 방향성 정칙화 연산자를 사용하여 평면영역과 에지영역의 특성을 고려하여 적응적으로 처리하는 반복복원방법을 제안한다. 실험결과, 제안된 방법은 기존의 방법에 비해 평면영역에서의 잡음 증폭을 억제하는 동시에 에지영역의 경계를 더욱 선명하게 복원함을 알 수 있었다.

키워드 : 영상 복원, 반복 정칙화 복원

Abstract To restore image degraded by blur and additive noise in the optical and electrical system, a regularized iterative restoration is used. A regularization operator is usually applied to all over the image without considering the local characteristics of image in conventional method. As a result, ringing artifacts appear in edge regions and the noise is amplified in flat regions. To solve these problems we propose an adaptive regularization iterative restoration considering the characteristic of edge and flat regions using directional regularization operator. Experimental results show that the proposed method suppresses the noise amplification in flat regions, and restores the edge more sharply in edge regions.

Key words : Image restoration, Iterative regularization restoration

1. 서 론

영상은 형성되고 기록되는 과정에서 영상처리 시스템의 여러 가지 요인들에 의해 훼손된다. 이러한 훼손된 영상을 원 영상에 근접한 영상으로 복원하는 영상복원에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 오고 있다. 영상의 훼손 종류에 따라 여러 가지 복원방법들이 제안되어 있다. 특히, 반복처리방법은 시간이 많이 걸리고 처리가 어려운 주파수 영역에서 처리하는 것이 아니라 단순히 공간

영역에서 처리하므로써 영상을 흐려지게 만드는 점 확산함수(PSF: point spread function)의 역 행렬을 구할 필요가 없을 뿐 아니라, 복원과정에서 원 영상에 대한 사전 지식을 적용할 수 있다. 또한, 복원되는 과정을 관찰함으로써 최적의 복원상태를 구할 수 있고, 잡음의 증폭이나 복원과정에서 발생 할 수 있는 복원오차를 제어 할 수 있는 구속변수를 적용할 수 있다는 장점을 가지기 때문에 많이 사용되는 방법이다[1,2].

잡음에 의해 훼손되고 흐려진 영상을 복원하는 경우에 반복복원방법은 반복횟수가 증가함에 따라 잡음의 증폭이 발생한다. 또한, 잡음을 평활화하는 경우에는 에지도 같이 평활화되며 에지를 복원하는 경우에는 잡음도 동시에 강조되는 문제점이 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 정칙화 방법이 도입되었고[3,4], 최근까지도 각종 파라메타에 관한 연구나 빠른 처리를 위한 연구

† 정 회 원 : 영남대학교 전자공학과

garam027@ynu.ac.kr

** 정 회 원 : 영남대학교 의료공학연구소 상임운영위원

hshin@med.yu.ac.kr

*** 정 회 원 : 영남대학교 전자정보공학부 교수

taehong@ynu.ac.kr

(Corresponding author)

논문접수 : 2006년 3월 15일

심사완료 : 2006년 9월 4일

등이 진행되고 있다[5-7].

Biemond, Lagendijk, 그리고 Katsaggelos 등은 기존의 반복처리방법에 정칙화 이론을 적용함으로써 링잉현상 등과 같은 복원오차를 감소시키고, 라플라시안 정칙화 연산자를 반복복원방법에 적용한 방법을 제안하였다 [8-10]. 그러나 이러한 방법들은 영상의 국부적인 특성을 고려하지 않고 영상 전체에 일률적으로 라플라시안 정칙화 연산자를 사용하여 정칙화를 행함으로써 에지의 주변영역에 링잉현상이 발생하고 평면부분에서도 잡음 증폭을 피할 수 없으며, 또한 시간적으로 중요한 에지부분의 복원에 효율적이지 못한 문제점이 있다.

S-H Lee 등은 영상의 국부적인 특성을 고려하여 영상을 에지 영역과 에지 주변 영역, 그리고 평면 또는 복잡한 에지 영역인 세 영역으로 나누었다. 그리고 에지 영역과 에지 주변 영역은 각각 에지 방향과 동일한 방향의 정칙화 연산자와 에지 방향에 수직인 방향의 정칙화 연산자를 사용하고, 평면 또는 복잡한 에지 영역은 방향성이 없는 기존의 라플라시안 연산자를 사용하였다 [7]. 그러나 이 방법은 에지 영역의 복원은 잘 이루어지지만, 평면 영역에서 잡음의 발산은 효과적으로 억제하지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 방향성이 없는 라플라시안 연산자와 방향성을 갖는 4가지 연산자를 정칙화 연산자로 이용하고, 에지부분과 평면부분을 나누어 적응적으로 처리하는 반복복원방법을 제안하였다. 제안된 방법은 정칙화 연산자를 적응적으로 선택함으로써 평면영역에서는 잡음의 증폭을 효과적으로 억제하고, 에지부분에서는 보다 선명하게 경계를 복원하며, 에지 주변영역에서는 링잉현상을 감소시킬 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 정칙화 반복복원방법에 대한 일반적인 이론을 서술하였고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 방향성 연산자를 이용한 적응 정칙화에 대해 나타내었다. 4장에서는 제안한 방법을 적용한 실험 및 그 결과를 분석하고, 5장에서 결론을 맺었다.

2. Tikhonov-Miller 정칙화 이론 [1,9]

원 영상이 흐려지고 가산잡음에 의해 훼손되었을 경우 영상의 훼손모델은 다음과 같다.

$$g = Hf + n \quad (1)$$

여기서, g 는 잡음이 첨가된 훼손된 영상, f 는 원 영상, n 는 가산잡음이고, H 는 점 확산함수이다.

잡음과 흐려짐이 동시에 발생하여 훼손된 영상의 복원에서는 잡음의 평활화와 에지의 복원이 서로 상반된 이중적 관계이다. 따라서 Tikhonov-Miller 정칙화 방법

은 해의 집합으로부터 적합한 복원해를 구하기 위한 기준을 정의한다. 복원해가 만족해야하는 잡음 평활화 기준은 다음과 같다.

$$\Phi(\hat{f}) = \|g - H\hat{f}\| \leq \|n\| = \epsilon \quad (2)$$

여기서, \hat{f} 는 복원된 해이고, ϵ 은 잡음 상수이다.

에지의 복원 기준은 다음과 같이 정의한다.

$$\Omega(\hat{f}) = \|C\hat{f}\| \leq E \quad (3)$$

C 는 정칙화 연산자로서 고주파 통과 필터의 성질을 갖는 선형연산자로, 잡음증폭을 억제하는데 사용된다. 이때 E 는 상수이다.

정칙화 해는 식 (2)의 조건을 만족하는 상태에서 식 (3)을 최소화함으로써 아래의 식 (4)와 같이 정칙화 기준을 만족하는 해를 구할 수 있다.

$$\Omega(\hat{f}) = \|g - H\hat{f}\|^2 + \alpha \|C\hat{f}\|^2 \leq 2\epsilon^2 \quad (4)$$

여기서, α 는 정칙화 파라메타로 상수이다.

복원해 \hat{f} 에 대하여 식 (4)의 정칙화 기준을 미분함으로써 정칙화 오차를 최소로 하는 복원해 \hat{f} 를 구할 수 있다.

$$\hat{f} = (H^T H + \alpha C^T C)^{-1} H^T g \quad (5)$$

식 (5)와 같은 비반복 Tikhonov-Miller 정칙화의 경우에는 역행렬 $(H^T H + \alpha C^T C)^{-1}$ 이 약조건이거나 특이점을 가질 때, 복원이 불가능하거나 많은 계산량이 필요하게 된다. 이 문제를 해결할 수 있는 방법으로 Tikhonov-Miller 반복복원 방법이 있다. Tikhonov-Miller 반복복원 방법을 구하기 위하여 식 (5)를 연속치환 방법을 적용하여 다시 정리하면 다음과 같은 Tikhonov-Miller 반복복원 방법을 구할 수 있다.

$$\hat{f}_{k+1} = \hat{f}_k + \beta [H^T g - (H^T H + \alpha C^T C)\hat{f}_k] \quad (6)$$

여기서, β 는 이완 파라메타로 사용되는 상수로서 수렴속도를 조절하기 위해 사용하며, $0 \leq \beta \leq 2$ 의 범위 내에서 수렴조건을 만족한다.

3. 적응적인 방향성 정칙화 연산자를 이용한 반복 영상복원

식 (6)에서 정칙화 항인 $C^T C \hat{f}_k$ 가 작은 값을 가질 경우, 흐려짐 등의 왜곡에 의한 복원은 빠르게 수행되지만 가산 잡음에 의한 훼손은 더욱 발산하게 된다. 반면에 정칙화 항이 큰 값을 가질 경우, 흐려짐 왜곡에 의한 복원은 느리게 수행되고, 가산 잡음에 의한 훼손은 억제하게 된다.

기존의 정칙화 방법은 정칙화 연산자로 그림 1(e)만을 사용하여 영상의 국부 특성을 전혀 반영할 수 없었다. 그리고 방향성 정칙화를 이용한 S-H Lee는 에지 방향에 따라 그림 1의 5개의 정칙화 연산자 중 하나를 선택

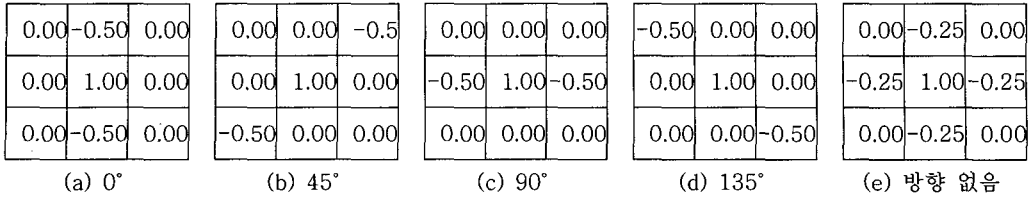


그림 1 방향성 정칙화 연산자

하게 된다. 그러므로, 에지 영역에서는 복원이 효과적으로 이루어지지만 평면에서는 그림 1(e)의 연산자를 선택함으로써 기존의 정칙화 방법과 마찬가지로 잡음의 발산을 효과적으로 억제할 수가 없다.

본 논문에서는 에지 영역에서 경계를 보존하고, 평면 영역에서 잡음의 발산을 억제하는 적응적인 방향성 정칙화 연산자를 제안한다. 방향성 정칙화 연산자는 방향의 종류에 따라 그림 1과 같이 5개의 연산자로 구별된다. 그리고, 식 (7)과 같이 에지 영역과 평면 영역에 따라 각각 정칙화 항이 최소가 되는 값과 최대가 되는 값을 적응적으로 선택하여 정칙화 항의 값으로 이용한다.

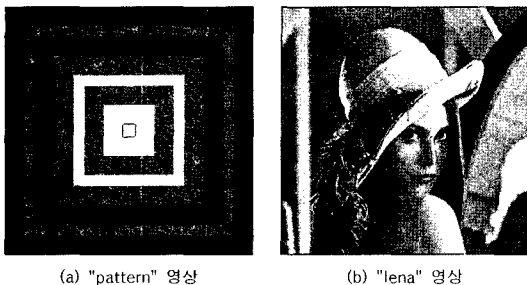
$$C^T C \hat{f}_k(i, j) = \begin{cases} \min [|C_n^T C_n \hat{f}_k(i, j)|], & \sigma_{f_k(i, j)}^2 \geq T \text{ (에지 영역)} \\ \max [|C_n^T C_n \hat{f}_k(i, j)|], & \sigma_{f_k(i, j)}^2 < T \text{ (평면 영역)} \end{cases} \quad (7)$$

여기서, C_n 은 그림 1의 방향성 정칙화 연산자이고, $\sigma_{f_k(i, j)}^2$ 는 k 번째 복원된 영상의 국부 분산값이다.

에지 영역에서는 정칙화 항이 최소가 되는 값을 선택함으로써 보다 작게 정칙화가 이루어지고, 경계는 더욱 선명하게 복원된다. 반면에 평면 영역에서는 정칙화 항이 최대가 되는 값을 선택하여 보다 큰 정칙화가 이루어지므로, 잡음의 발산을 최대한 억제하게 된다.

4. 실험 결과 및 분석

실험에 사용된 영상은 복원 정도를 더욱 자세히 알 수 있도록 만들어진 256×256 크기의 “pattern” 영상과 표준 영상인 “lena” 영상으로 그림 2에 나타내었다.



(a) "pattern" 영상 (b) "lena" 영상

그림 2 실험에 사용된 원 영상

영상 훼손에 사용된 PSF는 식 (8)과 같이 균일 흐려짐(uniform blur) 점 확산함수로서 L의 크기는 11로 하였다. 훼손 영상은 PSF에 의해 흐려진 영상에 20dB의 가우시안 백색 잡음이 첨가된 영상이다.

$$H(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{L \times L}, & 0 \leq (i, j) < L \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

화질의 평가 척도는 식 (9)와 같이 k 번째 반복하여 복원된 영상의 객관적인 개선정도를 판단할 수 있는 ISNR(improved signal-to-noise ratio)을 사용하였다. 복원된 결과는 각 반복회수마다 기존의 방법과 비교하였다.

$$ISNR = 10 \times \log_{10} \left[\frac{\sum_{(i, j) \in I} \{g(i, j) - f(i, j)\}^2}{\sum_{(i, j) \in I} \{f(i, j) - \hat{f}_k(i, j)\}^2} \right] \text{ (dB)} \quad (9)$$

실험 방법은 기존의 Katsaggelos 방법과 방향성 정칙화를 이용한 S-H Lee의 방법, 본 논문에서 제안된 적응적인 방향성 정칙화 연산자를 사용한 방법을 비교 분석하였다.

“pattern” 영상에 대하여 Katsaggelos 방법과 S-H Lee의 방법을 이용하여 100회 반복 복원한 결과와 제안된 방법을 이용한 100회 반복 복원 결과 및 그에 대한 오차 영상을 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 원 영상인 그림 2(a)의 훼손 영상이고, 그림 3(b)는 원 영상인 그림 2(a)와 그림 3(a)의 오차를 5배 증폭하여 반전시킨 오차 영상이다. 그림 3(c)는 그림 1(e)의 정칙화 연산자를 영상 전체에 일률적으로 사용하는 기존의 Katsaggelos 방법으로 처리한 결과 영상이고, 그림 3(d)는 그림 3(c)의 오차 영상이다. Katsaggelos 방법은 에지 주위에 링잉 현상이 많이 발생하고, 평면 영역의 잡음도 발산함을 알 수 있다. 그림 3(e)는 방향성 정칙화 연산자를 이용한 S-H Lee 방법을 사용한 결과이고, 그림 3(f)는 그림 3(e)의 오차 영상이다. S-H Lee 방법은 에지와 에지 주변에서는 오차가 많이 줄어 복원이 효과적으로 이루어졌지만, 평면 영역의 잡음 발산은 Katsaggelos 방법과 마찬가지로 많이 발생함을 알 수 있다. 그림 3(g)는 제안된 방법인 적응적 방향성 정칙화 연산자를 사용한 결과이고, 그림 3(h)는 그림 3(g)의 오차

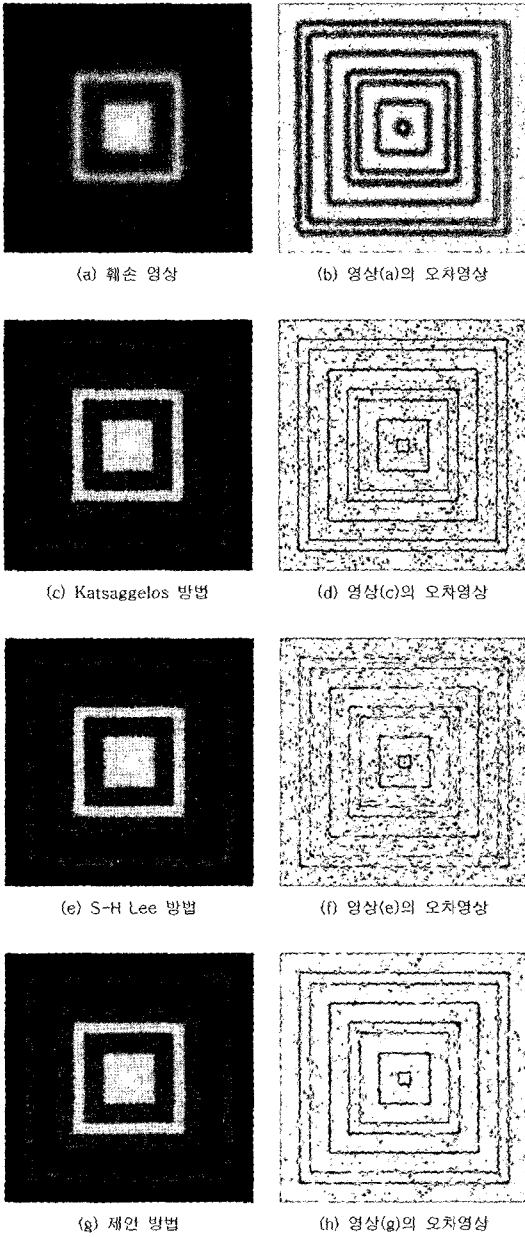


그림 3 “pattern” 영상에 대한 복원 영상과 오차 영상 (100회 반복)

영상이다. 제안된 방법은 Katsaggelos 방법에 비해 에지 영역의 경계를 더욱 선명하게 복원하고, 에지 주위의 링잉 현상도 많이 제거함을 알 수 있다. 그리고, Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법과 비교하면 평면 영역의 잡음도 효과적으로 발산을 억제함을 알 수 있다.

그림 4는 Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법, 제안된 방법의 효과를 더욱 자세히 알아보기 위한 “pattern”

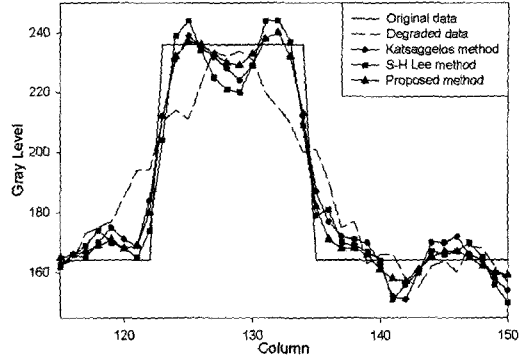


그림 4 그림 3 영상들의 프로파일 (row=128)

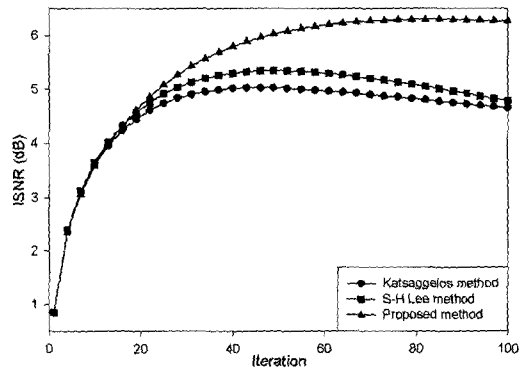


그림 5 “pattern” 영상에 대한 ISNR

영상과 훼손 영상, 복원 영상의 128번째 행의 프로파일이다. S-H Lee 방법은 Katsaggelos 방법에 비해 에지 영역의 복원은 좋지만, 평면 영역의 잡음 발산은 제대로 억제하지 못함을 알 수 있다. 그리고 그림 4는 제안된 방법이 다른 방법들에 비해 에지 영역에서 경계를 보다 선명하게 복원하고, 동시에 경계 주위의 링잉 현상도 효과적으로 억제함을 나타낸다. 그리고 다른 방법들이 처리하지 못하는 평면 영역의 잡음 발산도 제안된 방법이 매우 효과적으로 억제함을 알 수 있다.

“pattern” 영상을 복원하는 과정에서 Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법, 제안된 적응적인 방향성 정적화 연산자를 사용한 방법의 객관적인 비교를 위하여 매 반복시의 ISNR을 그림 5에 나타내었다. 각 반복횟수 1, 30, 60, 90번째에서의 ISNR을 서로 비교하면 Katsaggelos 방법의 ISNR은 0.84, 4.88, 4.97, 4.73 dB이고, S-H Lee 방법의 ISNR은 0.84, 5.10, 5.31, 4.94 dB이며, 제안된 방법의 ISNR은 0.84, 5.38, 6.20, 6.29 dB이다. Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법은 40회 정도까지는 복원의 개선 정도가 좋아지다가 그 이후에는 복원의 개선 정도가 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 에지 영역

의 복원 정도보다 평면 영역의 잡음 발산이 더 크게 이루어져 전체적인 개선 정도가 나빠지는 현상이다. 그러나 제안된 방법은 반복횟수가 증가하더라도 적응적인 방향성 정칙화 연산자를 사용하여 잡음의 발산을 효과적으로 억제할 수 있음을 알 수 있다.

일반적인 자연 영상에 대한 각 방법의 성능 평가를 위해 표준 영상인 "lena" 영상에 대하여 기존의 방법과 제안된 방법의 100회 반복 복원한 결과 및 그에 대한 오차 영상을 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)는 그림

2(b)의 훼손 영상이고, 그림 6(b)는 원 영상인 그림 2(b)와 그림 6(a)의 오차 영상이다. 그림 6(c)는 Katsaggelos 방법으로 처리한 결과 영상이고, 그림 6(d)는 그림 6(c)의 오차 영상이다. 그림 6(e)는 S-H Lee 방법으로 처리한 결과 영상이고, 그림 6(f)는 그림 6(e)의 오차 영상이다. S-H Lee 방법은 에지 주변 영역에서 정칙화 항이 매우 큰 값을 가지므로, Katsaggelos 방법에 비해 에지 주변 영역의 링잉현상이 줄어들음을 알 수 있다. 그러나 S-H Lee 방법은 복잡한 영상에서 에지 방향을 선택하는 것이 쉽지 않고, 특히 흐려짐이 심하거나 잡음 전력이 큰 경우에는 에지 영역과 에지 주변 영역의 판단이 매우 어렵게 된다. 그림 6(g)는 제안된 방법으로 처리한 결과 영상이고, 그림 6(h)는 그림 6(g)의 오차 영상이다. 제안된 방법의 결과 영상은 Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법의 결과 영상에 비해 평면 영역의 잡음이 많이 감소했음을 알 수 있고, 세밀한 모자 장식 부분과 경계 주위의 링잉 현상도 많이 개선되었음을 알 수 있다.

"lena" 영상에 대한 Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법, 제안된 방법의 매 반복시의 ISNR을 그림 7에 나타내었다. 각 반복횟수 1, 30, 60, 90번째에서의 ISNR을 서로 비교하면 Katsaggelos 방법의 ISNR은 0.19, 2.37, 2.66, 2.74 dB이고, S-H Lee 방법의 ISNR은 0.19, 2.37, 2.67, 2.75 dB이며, 제안된 방법의 ISNR은 0.19, 2.38, 2.78, 2.97 dB이다. Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법은 반복횟수 120회 이상에서는 잡음의 증폭으로 인해 ISNR이 감소한다. 그러나 제안된 방법은 반복횟수가 계속 증가함에 따라 ISNR도 계속 개선되고, 기존의 방법에 비해 더욱 안정적임을 알 수 있다.

Katsaggelos 방법은 $C^T C \hat{f}_k(i, j)$ 를 구하는데 하나의 정칙화 연산자를 사용하지만, 제안된 방법은 5개의 정칙화 연산자를 사용하기 때문에 정칙화 항에서 연산량이 약 5배 정도 더 많게 된다. 그러나 제안된 방법은 품질

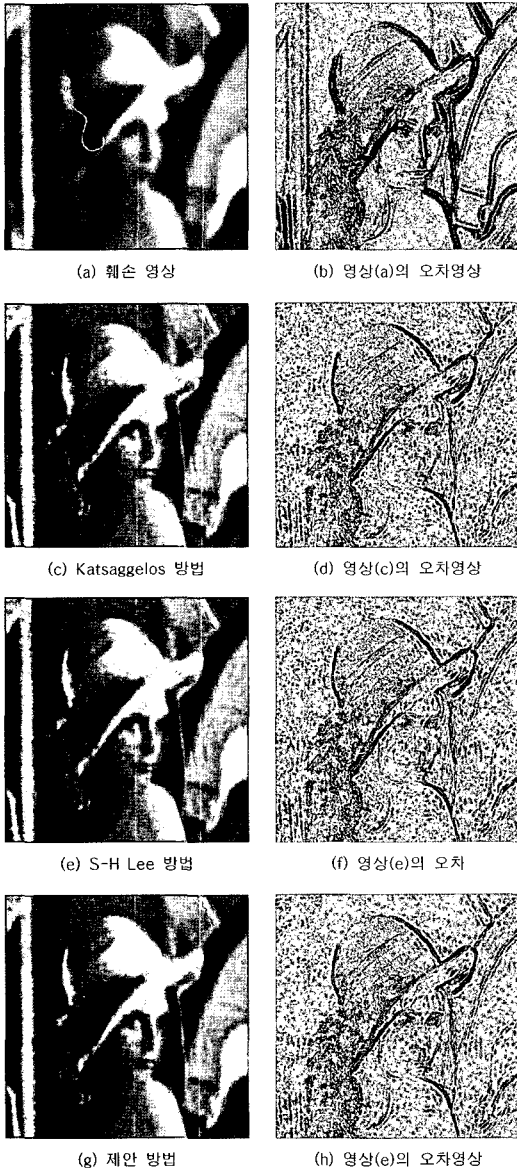


그림 6 "lena" 영상에 대한 복원 영상과 오차 영상 (100회 반복)

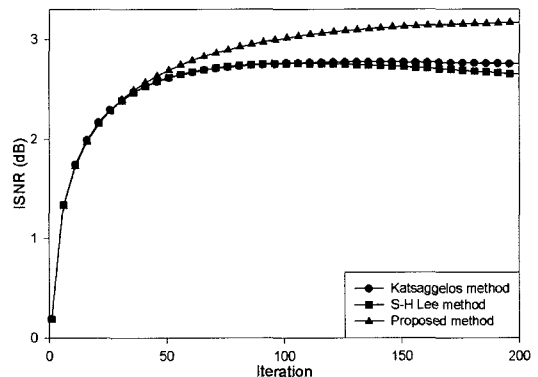


그림 7 "lena" 영상에 대한 ISNR

의 개선 정도가 훨씬 좋기 때문에 반복회수를 적절히 줄임으로서 오히려 전체 연산량을 Katsaggelos 방법보다 더욱 줄일 수 있다. 즉, 제안된 방법이 1회 처리에는 연산량이 더 많기는 하지만, 동일한 연산량을 갖도록 반복회수를 조절하더라도 더 나은 성능을 나타낸다.

5. 결론

렌즈의 초점과 같은 다양한 요인에 의해 흐려지고, 잡음으로 훼손된 영상을 복원하는 경우에 일반적으로 정칙화 반복복원방법이 사용된다. 기존의 방법들은 영상의 국부적인 특성을 고려하지 않고, 영상 전체에 일률적으로 정칙화를 수행함으로써 평면 영역에서의 잡음 증폭과 에지 영역의 링잉 현상을 피할 수 없어 시각적으로 만족스러운 결과를 얻을 수 없었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 라플라시안 연산자와 방향성을 갖는 4가지 연산자를 정칙화 연산자로 이용하고, 에지부분과 평면부분을 나누어 적응적으로 처리하는 반복복원 방법을 제안하였다. 실험 결과, 제안된 방법은 Katsaggelos 방법과 S-H Lee 방법에 비해 평면 영역에서 잡음의 증폭을 효과적으로 억제하고, 에지 영역에서는 보다 선명하게 경계를 복원하며, 에지 주변영역에서는 링잉현상을 감소시킨다. 그리고 객관적 평가기준인 ISNR면에서도 100회 반복을 기준으로 "pattern" 영상의 기존의 방법과 제안된 방법의 ISNR은 각각 4.65dB, 4.79dB, 6.27dB이고, "lena" 영상은 2.75dB, 2.76dB, 3.01dB로 제안된 방법이 가장 우수하였다.

참 고 문 헌

[1] A. K. Katsaggelos, J. Biemond, R. W. Schafer and R. M. Mersereau, "A Regularized Iterative Image Restoration Algorithm," IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 39, No. 4, pp. 914-929, April 1991.

[2] R. W. Schafer, R. M. Mersereau, and M. A. Richards, "Constrained Iterative Restoration Algorithms," Proc. IEEE. Vol. 69, No. 4, pp. 432-450, April 1981.

[3] A. N. Tikhonov and V. Y. Arsenin, Solution of Ill-Posed Problems, Washington, D.C. : V. H. Winston and Sons, 1977.

[4] K. Miller, "Least-squares Method for Ill-Posed Problems with a Prescribed Bound," SIAM J. Math. Anal., Vol. 1, pp. 52-74, Feb. 1970.

[5] Xianjin Wu, Runsheng Wang, Cheng Wang, "Regularized Image Restoration Based on Adaptively Selecting Parameter and Operator," Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, Vol. 3, pp. 662-665, Aug. 2004.

[6] Pan, R., Reeves, S.J., "Fast Restoration with

Edge-preserving Regularization," Proceedings of the Thirty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory, pp. 471-474, March 2005.

[7] S-H Lee, N-I Cho, J-I Park, "Directional Regularisation for Constrained Iterative Image Restoration," Electronics Letters, Vol. 39, No. 23, pp. 1642-1643, 2003.

[8] R. L. Legendijk, J. Biemond, and D. E. Boekee, "Regularized Iterative Image Restoration with Ringing Reduction," IEEE Trans. ASSP, Vol. 36, No. 12, pp. 1874-1888, Dec. 1988.

[9] R. L. Legendijk, J. Biemond, Iterative Identification and Restoration of Images, Kluwer Academic Publishers, pp. 71-88, 1991.

[10] A. K. Katsaggelos, "Iterative Image Restoration Algorithms," Opt. Eng., Vol. 28, No. 7, pp. 735-748, 1989.



김 용 훈
1999년 영남대학교 학사. 2001년 영남대학교 석사. 2006년 영남대학교 공학박사
관심분야는 신호처리, 영상검색, 영상통신



신 현 진
1986년 영남대학교 학사. 1995년 영남대학교 석사. 1999년 영남대학교 공학박사
1986년~현재 영남대학교 의료공학연구소 운영위원. 관심분야는 생체신호처리, 의료영상처리, 전자파생체장애

이 태 홍
정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용
제 33 권 제 1 호 참조