

적응성 가속변수를 이용한 반복영상복원

김태선, 권동현, 이대홍
영남대학교 대학원 전자공학과

Iterative Image Restoration Using Adaptive Acceleration Parameter

Taesun Kim, Donghyun Kwon, Taihong Yi
Dept. of Electronic Engineering, YeungNam University

요 약

카메라의 렌즈 등 광학장비의 성능 제한으로 인하여 초점이 맞지 않아 흐려지고 잡음으로 훼손된 영상을 복원하는데 일반적으로 반복복원방법이 사용된다. 이 경우에 가속변수는 훼손영상에 관계없이 영상전체에 일률적으로 적용되기때문에 흐려짐 훼손이 심한 윤곽부분도 훼손이 작은 평면영역과 같이 일정하게 처리되어 수렴속도가 느려지고 시각적으로 중요한 윤곽부분의 복원에는 효율적이지 못하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 흐려짐 훼손이 작은 평면영역은 가속변수를 작게 하고 훼손이 큰 윤곽영역은 가속변수를 크게 하여 영상의 국부적인 특성에 따라 적응적으로 반복 복원하는 방법을 제안하였다. 제안한 복원방법은 기존의 방법과 비교하여 수렴속도가 빨라지고 시각적으로 중요한 윤곽정보의 복원에도 효율적임을 실험결과를 통해 알 수 있었으며, MSE면에서도 우수하였다.

1. 서론

영상은 저장, 전송, 처리과정 등 여러 가지 요인에 의해 훼손된다. 특히 영상의 인식이나 컴퓨터 비전 등에 대한 연구를 수행할 경우 카메라의 렌즈와 같은 광학장비의 성능의 제한으로 인해서 초점이 맞지 않아 생기는 흐려짐 현상이 발생하여 문제가 되고, 이 과정에서 잡음이 추가되면 영상은 더욱 열화 된다. 이 경우 전처리 과정으로서 영상의 복원이 필요하게 된다.

영상의 복원은 훼손된 영상을 원래의 영상에 가능한 가깝게 만드는 것을 목적으로 하고 있다. 흐려짐에 의한 훼손영상을 복원하는 방법들이 여러 가지 제시되었으며 그 중에서 대표적인 방법으로서 역 필터를 이용한 영상복원과 반복복원방법을 들 수 있다. 역 필터를 이용한 방법은 특이점(singular point)을 갖는 경우 역 행렬이 존재하지 않으며 악조건 문제에 직면 하였을때 해를 구하는 것이 어렵다[1]. 따라서 역 행렬을 구할 필요가 없고 전달함수가 특이점을 갖거나 악조건일 경우에도 해를 구할 수 있는 반복복원

방법이 제시되었다[2].

반복복원방법은 수렴과 수렴속도를 조절하는 가속변수(acceleration parameter)를 결정하는 방법에 의해 두 가지로 구별할 수 있다. 첫째는, Jacobi방법이나 Gauss-Seidel방법과 같이 반복 처리하는 과정에서 운영자의 판단에 의해 가속변수를 지정하는 방법[3]이고 둘째는, Steepest-Descent방법[4]이나 Conjugate-Gradient방법[5]과 같이 반복 단계마다 가속변수가 자동적으로 결정되는 방법이다. 또한 잡음에 의한 흐려진 영상을 복원하는데는 Tikhonov-Miller 반복복원방법이 있다[6]. 그러나 이러한 방법들은 흐려짐으로 훼손된 영상이 갖는 특징인 분산이 작은 평면영역에서는 훼손이 작게 나타나고 분산이 큰 윤곽영역에서는 훼손이 크게 나타나는 영상의 국부적인 특성을 고려하지 않고 가속변수를 사용함으로써 특히 훼손이 심한 분산이 큰 윤곽부분에서의 수렴율도 일정하게 처리되어 전체적으로 수렴속도가 느려지고 시각적으로 중요한 윤곽부분의 복원에 효율적이지 못한 문제점이 있다.

본 논문에서는 영상의 국부적인 특성을 갖는 적

응성 가속변수를 윤곽과 평면영역에 적용적으로 적용하는 복원방법을 제안하고자 한다. 이는 훼손정도가 작은 평면영역은 가속변수를 작게하고 훼손정도가 큰 윤곽영역은 가속변수를 크게하여 복원함으로써 시각적으로 중요한 윤곽영역에서의 복원을 가속화시켜 전체적인 수렴속도를 증진시키고 윤곽영역에서의 해상도를 향상시키고자 한다. 본 논문에서는 흐려지고 잡음에 의해 훼손된 영상에 제안한 방법을 적용하여 개선 효과를 확인한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 Tikhonov-Miller 반복복원방법에 대한 일반적인 이론을 제시하였고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 적응성 가속변수를 이용한 반복복원 방법을 설명하였으며, 4장에서는 본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 실험결과 및 분석을 하고, 5장에서 결론을 맺었다.

2. Tikhonov-Miller 반복복원방법[6]

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

$$g = H \cdot f + n \quad (1)$$

여기서 g, f, n 은 각각 잡음이 섞인 훼손된 영상, 원 영상, 가산잡음을 표현한다. H 는 점확산 함수이다. 잡음과 흐려짐이 동시에 발생하여 훼손된 영상의 복원에서는 잡음의 평활화와 윤곽의 복원이 서로 상반된 이중적 관계이다. 따라서 Tikhonov-Miller 정칙화 방법은 해의 집합으로부터 가장 적합한 복원해를 구하기 위한 기준을 정의한다. 복원해가 만족해야 하는 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. 윤곽의 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, 윤곽부분의 잡음증폭을 억제하는데 사용된다. 이때 E 는 상수이다.

정칙화 해는 식(2)의 조건을 만족하는 상태에서 식(3)을 최소화함으로써 구할 수 있다. 즉

$$\Omega(\hat{f}) = \|g - H \cdot \hat{f}\| + \alpha \|C \cdot \hat{f}\| \quad (4)$$

의 정칙화 기준을 만족하는 해를 구한다. 여기서 α 는 정칙화 변수로 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 종전의 비반복 Tikhonov-Miller정칙화의 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 방법으로서 반복 Tikhonov-Miller 복원 방법이 있다.

Tikhonov-Miller 반복복원 방법을 구하기 위하여 식(5)를 연속치환(successive substitution) 방법을 적용하여 다시 정리하면 다음과 같은 Tikhonov-Miller 반복복원 방법을 얻을 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 이완변수로 사용되는 상수로서 수렴속도를 조절하기위해 사용하며, $0 < \beta < 2$ 의 범위 내에서 수렴조건을 만족한다[8].

3. 적응성 가속변수를 이용한 반복복원방법

흐려짐 현상이 영상전체에 일률적으로 적용되지만 화소의 국부적인 특성에 따라 훼손되는 양이 각각 다르다. 그림 1은 가우시안 함수 5×5 로 흐려진 lena 영상의 단면도에서 분산값과 훼손오차와의 관계를 나타낸 것이다. 즉 분산이 작은 평면영역에서는 훼손이 작게 나타나고 분산이 큰 윤곽영역에서는 훼손이 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 반복복원을 하는 경우에 영상전체에 일률적으로 가속변수를 적용하는 것보다 화소의 국부특성에 따라 적응성 있는 가속변수를 적용하면 전체 수렴속도를 빠르게 하고 특히 시각적으로 중요한 윤곽영역의 수렴을 가속화시킴에 따라 윤곽부분의 해상도 증가를 가진다는 장점을 가져 기존의 방법보다 효율적인 복원이 이루어질 수 있다.

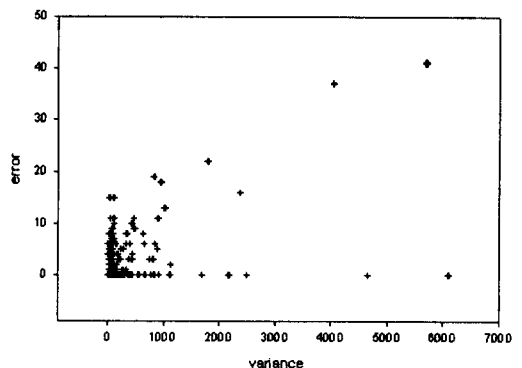


그림 1. 화소주변의 분산과 훼손량과의 관계

본 논문에서는 화소 각각의 분산값을 구하여 화

소의 국부특성에 맞게 적용되는 다음과 같은 적용성 가속변수를 제안한다.

$$\beta_k(i, j) = \left(2 - \frac{\sigma_T^2}{\sigma_T^2 + \sigma_{f_{k,i,j}}^2} \right) \quad (7)$$

여기서 σ_T^2 , $\sigma_{f_{k,i,j}}^2$ 는 각각 문턱치 분산값, 화소 분산값이다.

위 식에서 가속변수인 $\beta_k(i, j)$ 는 σ_T^2 의 분산값보다 작은 영역, 즉 훼손이 작은 평면영역에서는 1에 근사하게 되며 σ_T^2 의 분산값보다 큰 윤곽영역에서는 2에 근사하게 된다. 위 식에서 우변의 첫째 항의 2는 수렴조건을 위하여 사용되었다. 여기에서 σ_T^2 는 흐려짐에 의한 훼손오차가 작게 나타나고 수렴이 아주 느린 영역에서 실험적으로 정한다.

흐려지고 잡음으로 훼손된 영상을 복원하는 기존의 방법에서는 가속변수를 훼손영상에 따라 운영자가 판단하고 영상전체에 일률적으로 적용함으로써 영상의 국부특성을 고려하지 못하여 처리함으로써 수렴속도면에서나 시각적으로 중요한 윤곽영역의 복원면에서 효율적이지 못하였다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 식(6)의 기존의 반복복원 방법에 식(7)에서 제안한 적용성 가속변수를 사용함으로써 흐려짐에 의한 훼손오차가 작게 나타나는 평면 영역에서는 가속변수를 작게 하여 수렴율을 안정시키고 훼손오차가 큰 윤곽 영역에서는 가속변수를 크게하여 수렴 속도를 가속화하여 수렴율을 증가시켜 전체적으로 수렴 속도를 빠르게 할 뿐 아니라 시각적으로 중요한 윤곽영역의 해상도를 증가시키는 효과적인 반복복원 방법을 제안한다.

본 논문에서는 제안하는 적용성 가속변수를 이용한 반복복원방법은 다음과 같다.

4. 실험결과 및 분석

본 논문에서의 실험에 사용된 표준영상은 "lena" 영상이며, 사용된 PSF(point spread function)는 5×5 의 가우시안 함수를 이용하였다. 흐려지고 가산잡음에 의한 훼손영상은 PSF에 의해 흐려진 영상에 20dB의 BSNR(Blurred SNR)을 갖는 의사 가우시안 백색 잡음이 첨가된 영상이다. 복원된 결과는 각 반복횟수에 따라 기존의 방법과 비교하였다. 화질의 평가척도는 MSE(Mean Square Error)를 이용한 객관적인 방법을 사용하였다. 흐려지고 잡음에 의해 훼손된 영상 복원에 대하여 기존의 Tikhonov-Miller 정칙화에 사

용된 두 개의 변수는 $\alpha=0.5$, $\beta=1.0$ 으로 하였다. 제안된 방법에서의 α 는 객관적인 비교를 위하여 기존 방법에 제시된 0.5를 사용하였다.

그림 2는 그림 1의 예에 대한 분산값과 가속변수의 관계를 나타내며 화소의 국부특성에 따라 가속변수가 적용성 있게 변화함을 알 수 있었다. 또한 이 변화율은 2 절에서 제시한 β 의 수렴조건을 만족함을 알 수 있었다.

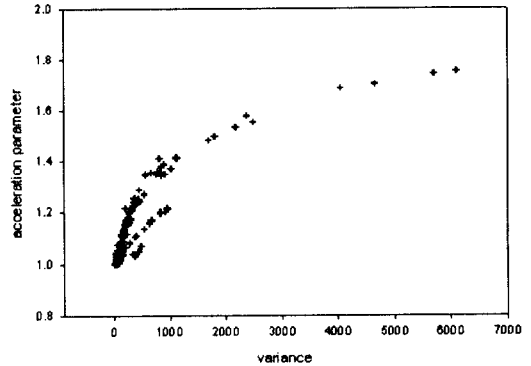


그림 2. 분산에 따른 가속변수 변화율

그림 3은 기존의 방법을 이용하여 복원한 결과와 제안한 적용성 가속변수를 이용한 복원방법의 결과 및 그에 대한 오차영상을 나타내었다. 그림 4는 기존의 방법과 제안한 방법과의 반복횟수에 따른 MSE 변화율을 나타낸 것이다.

그림 3을 보면 본 논문에서 제안한 방법이 훼손 정도가 심한 윤곽부분에서 해상도가 증가되어 시각적으로 기존의 방법보다 개선됨을 알 수 있다. 또한 그림 4에서 알 수 있듯이 각 반복 횟수에서의 MSE를 비교해보면 기존 방법에 비해 MSE가 개선되었고 수렴성이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 흐려짐에 의한 훼손 오차의 국부적인 특성을 이용한 가속변수는 잡음이 섞인 훼손 영상에서도 개선효과가 있음을 알 수 있었다. 제한된 지면으로 다 나타내지는 못하였으나 제안한 방법을 여러종류의 다른 영상에 적용해도 유사한 효과를 얻을 수 있었다.

5. 결론

잡음에 의해 훼손되고 흐려진 영상을 반복복원하는 방법은 가속변수를 훼손영상에 관계없이 영상전체에 일률적으로 적용하는 것이 일반적이었다. 따라서 훼손이 심한 윤곽부분에서의 수렴율도 훼손이 적은

평면영역과 같이 일정하게 처리되어 수렴속도가 느려지고 시각적으로 중요한 윤곽부분의 복원에도 효율적이지 못하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 흐려짐에 의한 훼손이 작은 평면영역은 가속변수를 작게 하고 훼손이 심한 윤곽영역은 가속변수를 크게 하여 영상의 국부적인 특성에 따라 적응적으로 반복 복원하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 시각적으로 중요한 윤곽부분에서 해상도를 증가시켜 시각적인 효과가 개선됨을 알 수 있었고 MSE값 비교에서도 수렴성이 기존의 방법보다 우수함을 알 수 있었다.

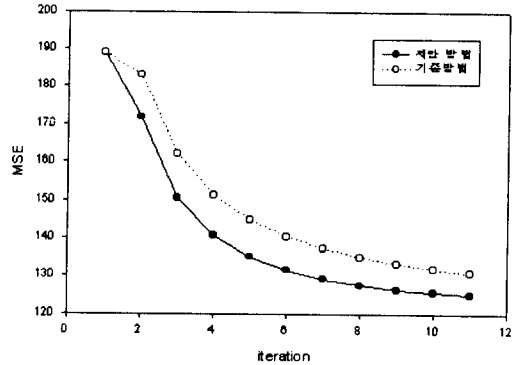


그림 4. MSE 변화율

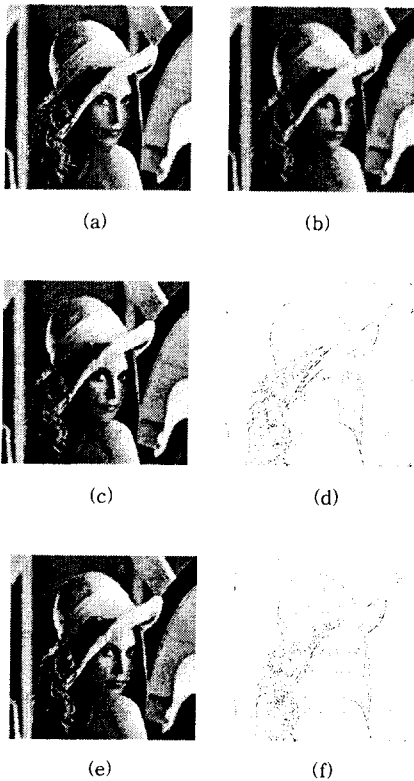


그림 3. "lena" 영상에 대한 복원된 영상과 오차영상

(a)원영상 (b) (a)의 훼손된 영상 (c) 기존의 방법으로 10번째 반복에서 복원한 영상 (d) (c)의 에러영상 (e) 제안한 방법으로 10번째 반복에서 복원한 영상 (f) (e)의 에러영상

[참고문헌]

- [1]. H. C. Andrews and B. R. Hunt, Digital Image Restoration, Prentice-Hall, 1978
- [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
- [3]. H. Maitre, "Iterative Picture Restoration Using Video Optical Feedback," Comput. Graphics and Image Process, vol.16, pp. 95-115, June 1981.
- [4]. Y.Ichoka,Y.Takudo,K.Matsuoka and T. Suzuki, "Iterative Image Restoration by a method of Steepest-Descent", J.Optic,vol.12,no.1,pp.35-41,1981.
- [5]. S. Kawata and O. Nalcioglu, "Constrained Iterative Reconstruction by the Conjugate Gradient Method", IEEE Trans. on Medical Imaging, vol. MI-4, no.2, pp. 65-71, June 1985.
- [6]. A. K .Katsaggelos, J.Biemon, R. W. S. chafer and R.M.Mersereau, "A Regularized Iterative Image Restoration Algorithm," IEEE Trans. signal processing, vol. 39, no.4, pp. 914-929, April 1991
- [7]. A. K. Katsaggelos, "Iterative Image Restoration Algorithms", Opt.Eng.28(7),pp.735-748,1989
- [8]. T. H. Lee, "Iterative Image Restoration Using Adaptive Regularization," 박사학위 논문 , February 1997