

수정된 Wiener 필터를 사용한 에지 영역에서의 효과적인 잡음 제거

論 文

52D-3-7

Effective Noise Suppression in Edge Region Using Modified Wiener Filter

宋 映 澈*

(Young-Chul Song)

Abstract - The modified Wiener filtering method is proposed for effective noise suppression in edge region of images corrupted by additive white gaussian noise. Although the pixels classified as a edge region in the conventional Wiener filter have lots of noise components, the conventional Wiener filter cannot remove noise effectively due to the preserving of edges. To reduce noise well in edge region, we modify filter coefficients of the conventional Wiener filter. The modified filter coefficients increase in noise suppression effect in edge region, while they preserve edges for strong edge region. From simulation (256×256 size, 256 graylevel images) filtered images by the proposed method show much improved subjective image quality with some improved peak signal-to-noise ratio compared to those by the conventional Wiener filtering.

Key Words : Wiener filter, noise suppression, edge region, resolution enhancement

1. 서 론

영상 내에 존재하는 잡음을 제거하기 위한 연구들은 지난 십 수년간 지속적으로 이루어져 오고 있다. 이 연구들의 공통된 주제는 영상 내의 평탄한 영역에 존재하는 잡음들은 최대한 제거하면서도 에지들에 관한 정보는 가능한 보호하는 것이다. 이러한 개념을 기본으로 하는 많은 필터링 알고리즘들이 소개되어져 왔다[1]-[3]. 그 중에서 Wiener 필터는 가장 널리 사용되는 필터링 방법들 중의 하나이며 통계적 특성을 고려하여 필터 계수들을 선택하게 된다. Wiener 필터는 흔히 Lee 필터라고 부르기도 하는데 평탄 영역에서는 뛰어난 잡음 제거 성능을 보이는 반면에 에지 영역에서는 에지를 최대한 보존하려는 특성을 지닌다[4]. 결국 잡음 제거는 주로 평탄 영역에서 이루어지므로 에지 영역을 많이 포함하고 있는 영상에서의 잡음 제거 능력은 떨어지게 된다.

기존의 Wiener 필터의 성능을 확인하기 위하여 가산 백색 가우시안 잡음(additive white gaussian noise)을 첨가한 시험 영상들을 이용하여 필터링을 수행하였다. 그 결과 에지 영역으로 분류된 영역들의 필터링에서 시각적으로 저하된 결과를 보임을 확인하였다. 이러한 왜곡(distortion) 현상은 기존의 Wiener 필터에서 평탄 영역내에 존재하는 잡음 성분으로 인해 평탄 영역을 에지 영역으로 잘못 분류하였기 때문에 발생된다. 기존의 Wiener 필터를 정의하는 수

식에서는 성분으로 인해 평탄 영역을 에지 영역으로 잘못 분류 때문에 평탄 영역과 에지 영역의 분류를 위하여 단지 잡음 영상에서 추정된 잡음 분산 σ_n^2 과 제한된 크기의 윈도우안에 존재하는 국부 분산 $\sigma_y^2(i, j)$ 를 근거로 사용한다. 이때 국부 분산 $\sigma_y^2(i, j)$ 은 제한된 크기의 윈도우에서 추정되었으므로 신뢰성에 대한 문제가 발생하며, 신뢰성이 저하된 $\sigma_y^2(i, j)$ 와 σ_n^2 를 비교하여 $\sigma_y^2(i, j)$ 가 큰 경우에 무조건적으로 에지 영역으로 분류하였다. 이 경우 평탄 성분을 지닌 픽셀들이 잡음 성분으로 인해 분산 값이 커지면서 에지 영역으로 분류되어 영상 내에서 에지 영역의 비율이 증가하게 된다. 에지 영역으로 분류된 픽셀들은 Wiener 필터의 에지 보존성의 특징에 의해 잡음 제거가 제대로 이루어지지 않아 필터링된 영상에서의 해상도의 저하를 가져오게 된다.

본 논문에서는 기존의 Wiener 필터와는 달리 평탄 성분을 지닌 에지 영역에서의 효과적인 잡음 제거를 위하여 각 픽셀이 가진 국부 분산의 크기에 따라서 필터링 강도를 조절하는 방법을 제안하였다. 입력된 영상은 평탄 성분과 에지 영역들로 분류되어 수정된 Wiener 필터를 통해 필터링된다. 제안된 알고리즘은 최대신호대잡음비의 향상보다는 기존의 Wiener 필터가 갖는 필터링 성능을 유지하면서 필터링된 영상에서의 시각적 향상에 중점을 두었다. 모의 실험 결과 제안한 방법은 평탄 성분을 지닌 에지 영역에서의 적절한 잡음 제거로 인해 영상의 주관적인 화질면에서 기존의 방법에 비해 우수한 성능을 보이면서도 작지만 최대신호대잡음비(PSNR)의 향상을 가져올 수 있었다. 에지 영역에

* 正 會 員 : 慶 北 大 工 大 電 子 工 學 科 助 教 授 · 王 博
接 受 日 字 : 2002年 10月 7日
最 終 完 了 : 2003年 2月 15日

서의 필터링 강도를 증가하였음에도 불구하고 에지 영역에서의 뭉롱화(blurring) 현상은 발생되지 않았으며, 특히 영상 내에 강한 에지 성분을 가진 픽셀들에 대해서는 에지를 최대한 보존하는 필터링이 이루어지도록 하였다. 본 논문에서는 2장에서 기존의 Wiener 필터에 대해서 기술하였으며, 3장에서는 수정된 Wiener 필터 방법, 4장에서는 수정된 Wiener 필터에 관한 분석 그리고 5장에서 모의 실험 결과를 기술하였고, 6장에서 결론을 맺었다.

2. 기존의 Wiener 필터

원 영상에 가산 백색 가우시안 잡음이 첨가된 영상을 다음과 같이 표현하였다.

$$y(i, j) = x(i, j) + n(i, j) \quad (1)$$

여기서, $x(i, j)$ 는 원영상을 나타내며, $n(i, j)$ 는 가산 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 첨가된 잡음은 정제적(stationary)이고, 0의 평균과 σ_n 의 분산을 가지며, 원영상과의 상관성이 전혀 없다. 또한 국부 윈도우와 같은 좁은 영역에서 원영상이 정제적이라 가정한다면 국부 윈도우 내에서 원영상은 다음과 같이 모델링 될 수 있다.

$$x(i, j) = m_x(i, j) + \sigma_x n(i, j) \quad (2)$$

여기서, $m_x(i, j)$ 는 국부 평균을, σ_x 는 국부 표준편차를 나타낸다. 이때 m_x 와 σ_x^2 이 각 픽셀마다 계산된다고 가정하면 평균 자승 오차(mean square error)를 최소화하는 Wiener 필터는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{x}(i, j) = m_x(i, j) + \frac{\sigma_x^2(i, j)}{\sigma_x^2(i, j) + \sigma_n^2} [y(i, j) - m_x(i, j)] \quad (3)$$

여기서, $\hat{x}(i, j)$ 는 필터링된 결과 영상이다. $m_x(i, j)$ 와 $\sigma_x^2(i, j)$ 는 각각 픽셀 (i,j)를 중심으로 하는 국부 윈도우내의 평균과 분산을 나타내며, 원영상으로부터 구해내야 하지만 잡음이 첨가된 영상으로부터 추정할 수 있다. 식(4)~식(6)은 식(3)의 파라미터들에 대한 추정치를 구하는 방법을 나타낸 것이다.

$$\hat{m}_x(i, j) = \frac{1}{(2m+1)(2n+1)} \sum_{k=i-m}^{i+m} \sum_{l=j-n}^{j+n} y(k, l) \quad (4)$$

$$\hat{\sigma}_x^2(i, j) = \max\{0, \hat{\sigma}_y^2(i, j) - \sigma_n^2\} \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_y^2(i, j) = \frac{1}{(2m+1)(2n+1)} \sum_{k=i-m}^{i+m} \sum_{l=j-n}^{j+n} [y(k, l) - \hat{m}_x(i, j)]^2 \quad (6)$$

여기서, $(2m+1)(2n+1)$ 은 국부 윈도우의 크기를 나타낸 것으로 본 논문에서는 3×3 크기를 사용하였다.

3. 제안된 방법에 의해 수정된 Wiener 필터

기존의 Wiener 필터는 에지를 최대한 보존하면서 균일성이 강한 평탄 영역에서의 필터링 효과를 극대화하는 특징을 지닌다. 식 (7)은 기존의 Wiener 필터가 평탄 영역과 에지 영역을 분류하는 기준을 보이기 위하여 식(3)을 간단히 정리한 것이다.

$$\hat{x}(i, j) = \frac{\sigma_x^2(i, j) \cdot y(i, j) + \sigma_n^2 \cdot m_x(i, j)}{\sigma_x^2(i, j) + \sigma_n^2} \quad (7)$$

이제 식(5)와 식(7)을 이용하여 잡음을 첨가한 영상으로부터 평탄 영역과 에지 영역을 분류할 수 있다.

1) 평탄 영역으로 분류되는 경우

$$\sigma_n^2 \geq \hat{\sigma}_y^2(i, j) \rightarrow \hat{\sigma}_x^2(i, j) = 0 \rightarrow \hat{x}(i, j) = m_x(i, j) \quad (8)$$

즉 국부 윈도우내의 분산이 잡음 분산 보다 작거나 같다면 현재 픽셀은 평탄 영역으로 분류되어 국부 윈도우내의 픽셀 값들의 평균으로 대체된다. 이것은 평균 필터(mean filter)를 이용하여 평탄 영역에서의 잡음 제거를 극대화시키기 위한 전략으로 볼 수 있다. 그러나 기존의 Wiener 필터에서는 잡음 영상에서의 국부 분산 추정에 대한 신뢰성이 떨어지므로 평탄 영역이 에지 영역으로 분류될 수 있어 전체적인 잡음 제거 능력은 떨어지게 된다. 제안한 방법에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 새로운 필터 계수를 정의하여 사용하였다.

2) 에지 영역으로 분류되는 경우

$$\hat{\sigma}_y^2(i, j) > \sigma_n^2 \rightarrow \hat{\sigma}_x^2(i, j) = \hat{\sigma}_y^2(i, j) - \sigma_n^2 \quad (9)$$

식(9)의 $\hat{\sigma}_x^2(i, j)$ ($\approx \sigma_x^2(i, j)$)를 식(7)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\hat{x}(i, j) = \left(1 - \frac{\sigma_n^2}{\hat{\sigma}_y^2(i, j)}\right) \cdot y(i, j) + \frac{\sigma_n^2}{\hat{\sigma}_y^2(i, j)} \cdot m_x(i, j) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \hat{x}(i, j) &= (1 - r) \cdot y(i, j) + r \cdot m_x(i, j) \\ &= c_1 \cdot y(i, j) + c_2 \cdot m_x(i, j) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $r = \frac{\sigma_n^2}{\hat{\sigma}_y^2(i, j)}$ 이며, c_1, c_2 는 일종의 가중치이며 필터 계수라 정의할 수 있다. 즉 에지로 분류되는 경우는 잡음 영상 내의 국부 분산 $\hat{\sigma}_y^2(i, j)$ 가 잡음 분산 σ_n^2 보다 큰 경우로 이들의 비율에 따라서 필터링 강도가 조절된다. 식

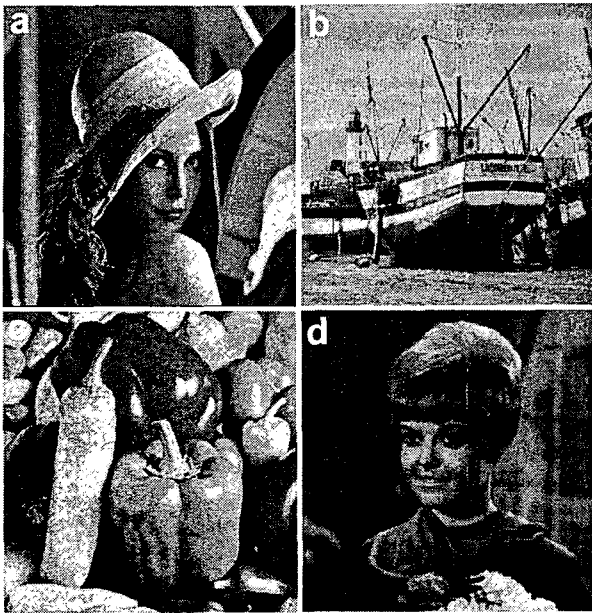


그림 1 가산 백색 가우시안 잡음을 가진 시험 영상들(28 dB): (a) Lena, (b) Boat, (c) Pepper, (d) Girl
 Fig. 1 Test Images with additive white gaussian noise(28 dB): (a) Lena, (b) Boat, (c) Pepper, (d) Girl



■ : 평탄 영역 □ : 에지 영역

그림 2 기존의 Wiener 필터에 의해서 평탄 영역과 에지 영역으로 분류된 시험 영상들: (a) Lena, (b) Girl, (c) Pepper, (d) Boat
 Fig. 2 Test images classified in plain region and edge region by the conventional Wiener filter : (a) Lena, (b) Girl, (c) Pepper, (d) Boat

(11)에서 에지 성분이 강한 픽셀($\sigma_y^2(i, j) \gg \sigma_n^2$)들 일 경우 r 은 0으로 수렴하여 필터링이 전혀 이루어지지 않으며, 그 외 에지 성분을 지닌 픽셀($\sigma_y^2(i, j) > \sigma_n^2$) 들은 각각의 픽셀들이 지니는 에지 성분의 크기에 따라 r 값이 바뀌게 되어 필터링 강도가 조절되게 된다. r 은 $0 \leq r < 1$ 의 범위를 가진다. 그러나 기존의 Wiener 필터는 에지 영역으로 분류된 픽셀들의 잡음 제거시 지나치게 c_1 에 큰 가중치를 부여함으로써 에지 영역으로 분류된 픽셀에서의 잡음 제거를 최소화하게 된다. 그림 1은 모의 실험에서 사용한 28 dB 잡음 영상들이다. 그림 2는 그림 1의 영상들을 기존의 Wiener 필터에 적용하여 평탄 영역과 에지 영역으로 분류한 결과 영상들이다. 에지 성분의 함유 정도는 Lena, Boat, Pepper, Girl 영상순으로 크게 나타났다. 결과 영상들을 자세히 살펴보면 영상의 배경 영역이나 오브젝트내의 평탄 성분을 지닌 영역들이 잡음 성분으로 인해 평탄 영역으로 분류되지 못하고 에지 영역으로 분류되는 것이 관찰된다. 이에 본 논문에서는 에지 영역에 존재하는 잡음들을 적절히 제거하기 위하여 에지의 강도에 따라 필터링 강도를 적절히 조절할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 이를 위하여 식(11)을 다음과 같이 수정하여 사용하였다.

$$\hat{x}(i, j) = (1 - f(r)) \cdot y(i, j) + f(r) \cdot m_x(i, j) \tag{12}$$

$$= c_1 \cdot y(i, j) + c_2 \cdot m_x(i, j)$$

여기서, $f(r) = \exp\left(-\frac{1}{rk}\right)$ 이며, 제안된 방법에서 k 는 5를 사용하였다. $f(r)$ 은 점진적으로 감소하는 지수 함수 형태를 지닌 식 (11)의 필터 계수 c_1, c_2 의 특징을 그대로 유지하고 있으며 k 값을 변화시킴으로써 필터 계수들을 조정하여 평탄 성분을 지닌 에지 영역에서의 필터링 강도를 적절히 조절하는 역할을 한다(그림 3 참조). 식(12)에서 보듯이 k 를 크게 설정하면 $f(r)$ 이 커지게 되므로 필터링된 영상에는 원영상의 성분보다 평균 성분이 더 많이 반영되어 필터링 효과가 커지게 된다. 반대로 k 를 작게 설정하면 $f(r)$ 이 작아지게 되므로 필터링된 영상에는 평균 성분보다 원영상의 성분이 더 많이 반영되어 필터링 효과가 줄어들게 된다. 즉 제안된 방법에서는 식(12)를 사용하여 필터 계수들을 변화시켜 기존의 방법에 비해 에지 영역에서의 필터링 강도를 좀 더 강하게 조절하였다.

4. 수정된 Wiener 필터에 관한 분석

기존의 Wiener 필터와 제안된 방법이 가지는 필터 계수들의 변화를 좀 더 자세히 관찰하기 위하여 그림 3에 평탄 영역과 에지 영역에서의 필터 계수들의 변화를 보였다. 그림 3에서의 CWF(Conventional Wiener Filter)는 기존의

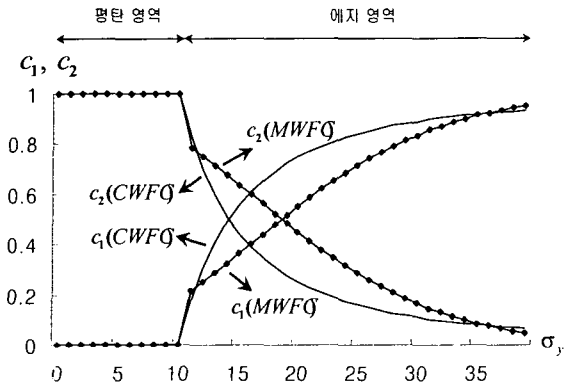


그림 3 기존의 Wiener 필터 계수와 제안한 방법 1에 대한 필터계수들의 비교
 Fig. 3 Comparison of filter coefficients for the conventional Wiener filter and the proposed method 1

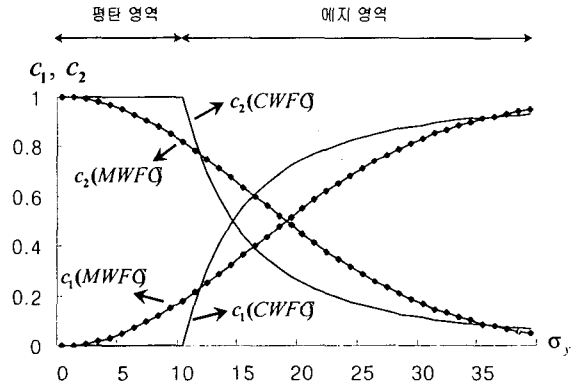


그림 4 기존의 Wiener 필터 계수와 제안한 방법 2에 대한 필터계수들의 비교
 Fig. 4 Comparison of filter coefficients for the conventional Wiener filter and the proposed method 2

Wiener 필터 방법을, MWF(Modified Wiener Filter)는 제안한 수정된 Wiener 필터 방법을 나타낸다. CWF에서의 c_1, c_2 는 식(11)에서의 필터 계수를 나타내며, MWF에서의 c_1, c_2 는 식(12)에서의 필터 계수를 나타낸다. 제안한 방법인 MWF에서의 c_1, c_2 의 계수들은 $f(r) = \exp\left(-\frac{1}{rk}\right)$ 을 포함하고 있으므로 k 값을 적절히 조정하여 필터링 강도를 조절할 수 있다. 본 논문에서는 28dB 영상을 시험 영상으로 사용하였으므로 잡음 분산 σ_n 은 10.15로 평가되는데, 소수 점을 제거한 10의 값을 σ_n 으로 사용하였다. 구해진 σ_n 을 상수로 놓고 $\sigma_y(i, j)$ 를 0에서 39까지 변화시켜 필터 계수 c_1, c_2 의 변화를 관찰하였다. 그림 3에서 보면 $\sigma_n = \sigma_y(i, j) = 10$ 을 기점으로 하여 평탄 영역과 에지 영역으로 나뉘게 된다. 제안한 방법에서 평탄 영역으로 분류된 픽셀들은 기존의 Wiener 필터가 가지는 필터링 계수와 동일한 필터 계수로 필터링을 수행한다. 즉 평탄 영역에서는 $c_1(CWF), c_1(MWF)$ 가 0을 유지하고 $c_2(CWF), c_2(MWF)$ 는 1을 유지하므로 식 (11)과 식 (12) 모두에서 $\hat{x}(i, j) = m_x(i, j)$ 가 되어 평균 필터와 동일한 필터링 강도로 필터링이 수행된다. 만약 $\sigma_y(x, y)$ 가 10 보다 커지면 픽셀들은 에지 영역으로 분류된다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 에지 영역에서 기존의 Wiener 필터의 $c_1(CWF)$ 는 급격히 증가하고 $c_2(CWF)$ 는 급격히 감소함을 알 수 있다. 이것은 식(11)에서 볼 수 있듯이 에지 영역에서의 필터링은 평균 성분 $m_x(i, j)$ 보다 잡음 영상 성분 $y(i, j)$ 를 더 고려한 필터링이 이루어짐을 알 수 있다. 이로 인해 기존의 Wiener 필터는 에지 영역에서의 원활한 잡음 제거 효과를 갖지 못한다. 이에 제안된 방법에서는 $c_1(MWF)$ 에 대한 증가의 폭

과 $c_2(MWF)$ 에 대한 감소의 폭을 적절히 조절함으로써 에지 영역에서의 필터링 강도를 증가시킬 수 있게 하였다. 그러나 에지 성분이 강한 픽셀들에 대해서는 영상 내의 중요성을 고려하여 에지를 충분히 보존할 수 있는 필터링을 수행하였다. 이것은 그림 3에서 확인할 수 있는데, $\sigma_n(i, j)$ 가 35이상인 강한 에지 픽셀에서는 $c_2(MWF)$ 가 0에 가까워지고 $c_1(MWF)$ 이 1로 수렴함에 따라 식 (12)의 $\hat{x}(i, j)$ 가 $y(i, j)$ 와 거의 같게 되어 에지를 보존할 수 있게 되는 것이다.

그림 4는 평탄 영역과 에지 영역 모두에서 식 (12)를 적용한 경우로 두 영역 모두에서 필터링 강도를 적절히 조절한 것이다. 이것을 통해 기존의 Wiener 필터에서 평탄 영역을 필터링 하기 위하여 사용한 평균 필터의 성능과 제안한 방법이 갖는 평탄 영역에 대한 필터링 성능을 서로 비교할 수 있을 것이다.

우리는 앞으로 그림 3에서 제안한 방법을 PM1(Proposed Method1), 그림 4에서 제안한 방법을 PM2(Proposed Method2)라고 명명하기로 한다.

5. 모의 실험 결과

제안한 필터링 방법에 대한 성능 평가를 위하여 그림 1의 가산 백색 가우시안 잡음을 첨가한 256×256 크기의 8비트 그레이레벨을 갖는 영상들을 시험 영상으로 사용하였다. 식 (13)은 필터링된 영상의 객관적인 성능 평가를 위해서 사용한 최대신호대잡음비를 나타낸 것이다.

$$PSNR = 20 \log \sqrt{\frac{255}{\sum_{k,l} \frac{\{x(k, l) - \hat{x}(k, l)\}^2}{K \cdot L}}} \quad (13)$$

여기서, $x(k, l)$, $\hat{x}(k, l)$ 은 각각 잡음이 첨가되지 않은 원 영상과 필터링된 영상을 나타내며, K와 L은 수평, 수직 방향에 따른 영상의 크기를 나타낸다.

표 1은 모의 실험 결과로 나온 최대신호대잡음비이다. 출력된 최대신호대잡음비의 특성을 분석하기 위하여 각각의 시험 영상에서 에지로 분류된 픽셀들에 대한 평균 표준 편차를 구하였다. 표 2는 구해진 평균 표준 편차들로서 Boat, Lena, Pepper, Girl의 순서로 크게 나타났다. 이 순서대로 그림 3에서의 c_1, c_2 변화를 분석해 보면 에지 영역들에서의 필터링 강도를 알 수 있다. 첫째로 Boat 영상인 경우 에지에 대한 평균 표준편차가 20.4 로써 강한 에지 성분들이 많이 포함된 영상임을 알 수 있다. 그림 3에서 보듯이 구해진 표준 편차에서 Boat 영상의 평균 표준 편차에서 $c_1(MWF)$ 와 $c_1(CWF)$ 의 차이와 $c_2(MWF)$ 와 $c_2(CWF)$ 의 차이가 매우 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 잡음 영상 성분보다는 평균 성분을 더 많이 고려한 필터링이 이루어짐

표 1 기존의 Wiener 필터와 제안된 필터 방법들에 의해 필터링된 영상에서의 최대신호대잡음비

Table 1 Peak signal-to-noise ratio in filtered images by the conventional wiener filter and the proposed filter methods

	기존의 Wiener 필터	PM1	PM2
Lena	31.30	31.49	31.53
Boat	31.15	31.17	31.18
Pepper	32.07	32.41	32.44
Girl	32.16	32.56	32.60

표 2 그림 2에서 에지 영역으로 분류된 픽셀들에 대한 평균 표준 편차들

Table 2 Average standard deviations in classified pixels as the edge region at the Fig. 2

	에지로 분류된 픽셀에 대한 평균 표준 편차
Lena	19.0
Boat	20.4
Pepper	17.9
Girl	15.3

을 암시한다. 필터링 결과 PM1과 PM2에서 기존의 Wiener 필터의 경우와 거의 동일한 최대신호대잡음비를 보이게 된다. 이것은 제안한 알고리즘이 강한 에지 성분을 지니는 영상보다는 평탄 성분을 많이 가지고 있는 영상에 좀 더 최적

화된 알고리즘임을 의미한다. 그러나 필터링된 영상의 해상도 측면에서의 성능 향상은 주목할만하다(그림 8 참조). 둘째로 Lena 영상의 경우 에지 영역에서의 평균 표준 편차가 Boat 영상에 비해 상대적으로 작아지게 되어 필터 계수의 특성이 달라지게 된다. 이것은 에지 영역으로 분류된 픽셀들이 Boat 영상에 비해서 상대적으로 작은 국부 기울기를 가진다는 것을 의미한다. 결국 $c_2(MWF)$ 과 $c_2(CWF)$ 그리고 $c_1(MWF)$ 와 $c_1(CWF)$ 의 차이는 에지 영역의 필터링에 있어서 잡음 영상의 성분보다는 평균 성분을 보다 많이 고려한 필터링이 이루어지는 효과를 낸다. 이것으로 에지 영역의 필터링에 있어 제안한 방법이 기존의 Wiener 필터에 비해 효과적인 잡음 제거가 이루어지게 된다. 나머지 Pepper 영상과 Girl 영상은 앞선 두 시험 영상들 보다 작은 국부 기울기를 가지는 에지 픽셀들로 구성되어 있어 $c_2(MWF)$ 와 $c_2(CWF)$ 그리고 $c_1(MWF)$ 와 $c_1(CWF)$ 의 차이로 인한 필터링 강도의 조절이 에지 영역에서의 잡음 제거 성능을 더욱 향상시켜 기존의 Wiener 필터에 비해 0.3~0.4 dB 정도의 최대신호대잡음비의 향상과 더불어 주관적 해상도 측면에서 우수한 성능을 보이게 된다.

본 연구에서 제안한 방법들인 PM1과 PM2의 필터링된 영상에서의 최대신호대잡음비와 해상도에 대한 성능은 거의 비슷한 것으로 나타났다. 이것은 평탄 영역의 필터링에서 제안된 필터 계수들과 기존의 Wiener 필터의 필터 계수들이 가지는 잡음 제거 성능이 거의 동일함을 의미한다. 그러나 평탄 영역의 필터링시 기존의 Wiener 필터의 필터 계수들은 평균 필터의 필터 계수들로서 항상 고정되어 있는 비적응 필터링(nonadaptive filtering) 방식인 반면에 제안한 PM2에서는 각각의 픽셀들에서의 국부 분산들의 변화에 따라 필터 계수를 변화시켜 나가는 적응 필터링(adaptive filtering) 방식이라 할 수 있다. PM2의 이러한 장점을 바탕으로 평탄 영역에서의 최대신호대잡음비와 해상도의 향상을 위한 알고리즘 개발이 향후 과제가 될 것이다.

그림 5는 시험 영상 중에서 평탄 영역을 가장 많이 포함하고 있는 Pepper 영상을 필터링한 결과 영상들이다. 그림 5(b), 그림 5(c)에서와 같이 제안한 방법들인 PM1, PM2를 이용한 경우가 기존의 Wiener 필터를 사용한 경우인 그림 5(a)보다 최대신호대잡음비의 향상은 물론 해상도 측면에서 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 그림 6에서는 그림 5의 결과 영상들에 대한 에리 영상들을 보여주고 있다. 제안된 방법들이 에지 영역에서의 필터링에도 불구하고 기존의 Wiener 필터와 거의 동일한 에리를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 그림 7, 그림 8은 각각 Pepper 영상, 그리고 Boat 영상에서 기존의 Wiener 필터와 PM1을 이용하여 필터링된 영상들의 일부분을 확대해서 보인 것이다. 그림 7과 8에서 볼 수 있듯이 기존의 Wiener 필터의 경우 평탄 영역에서 임펄스성 잡음이 심하게 관찰되지만 제안한 방법에서는 상당히 제거되어 있음을 확인할 수 있다. 이를 좀 더 자세히 관찰하기 위하여 그림 9에 기존의 Wiener 필터와 제안한 방법으로 필터링된 영상들에 고주파 필터를 적용시켜 보았다. 기존의 방법인 그림 9(a)는 많은 임펄스성 잡음이 존재하지만 제안한 방법인 그림 9(b)에서는 상당히 제거되어 있음을 볼 수 있다. 이처럼 모든 필터링된 영상에서 제안한



그림 5 Pepper 영상에 대한 필터링된 결과 영상들: (a) 기존의 Wiener filter, (b) PM1, (c) PM2

Fig. 5 Filtered resulting images for Pepper image : (a) The conventional Wiener filter, (b) PM1, (c) PM2

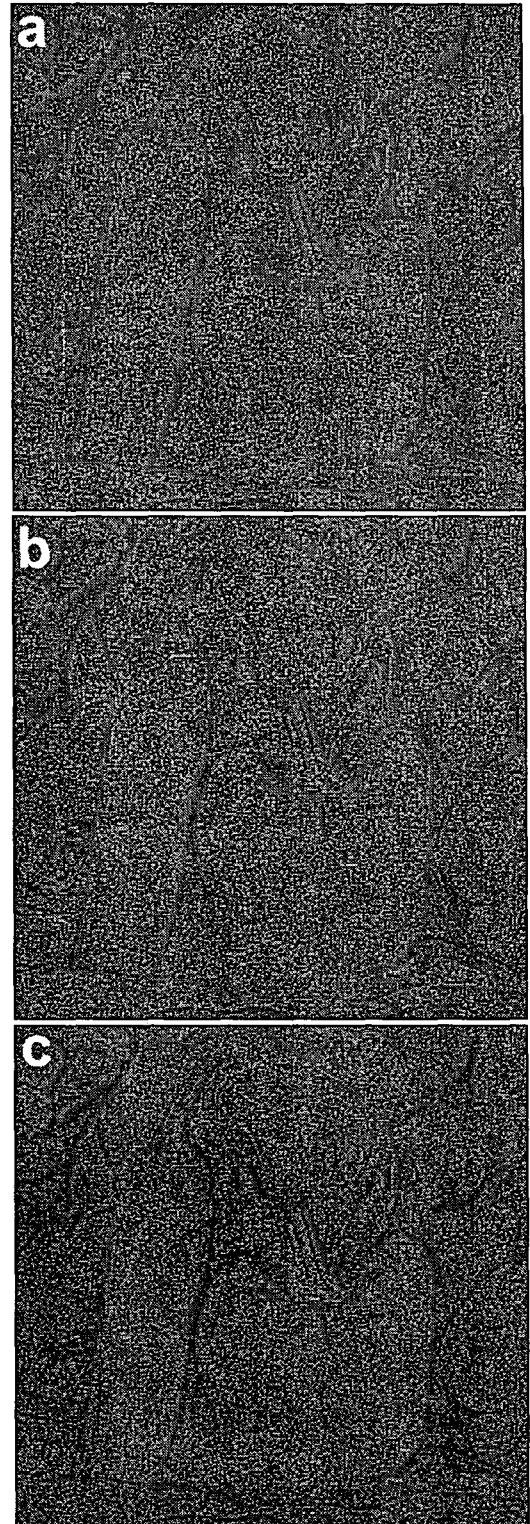


그림 6 그림 5의 필터링된 영상들에 대한 에러 영상들(10배 증폭): (a) 기존의 Wiener filter, (b) PM1, (c) PM2

Fig. 6 Error images for filtered images in Fig. 5 (amplification by a factor of 10): (a) The conventional Wiener filter, (b) PM1, (c) PM2

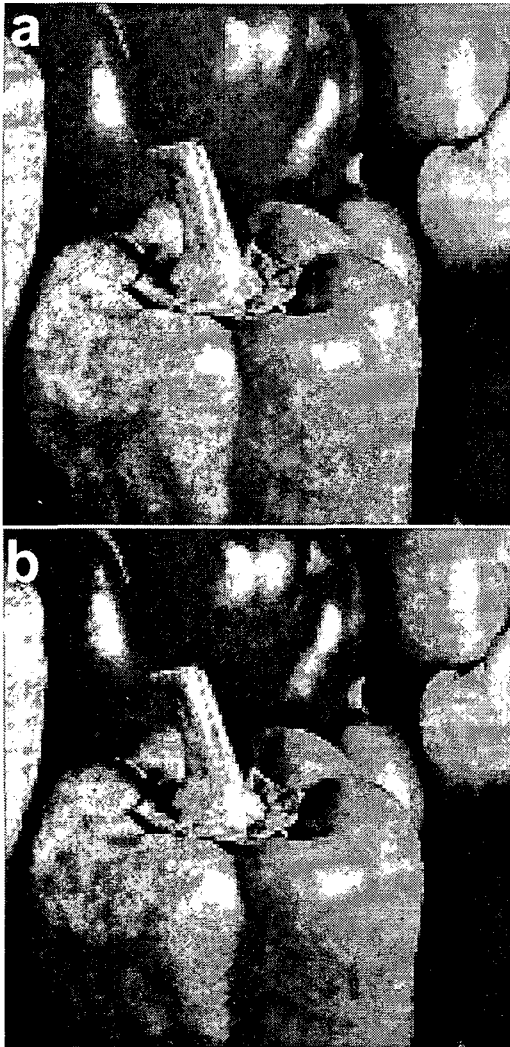


그림 7 필터링된 Pepper 영상을 확대한 영상들:
 (a) 기존의 Wiener filter, (b) PM1
 Fig. 7 Images zoomed in filtered Pepper image:
 (a) The conventional Wiener filter, (b) PM1

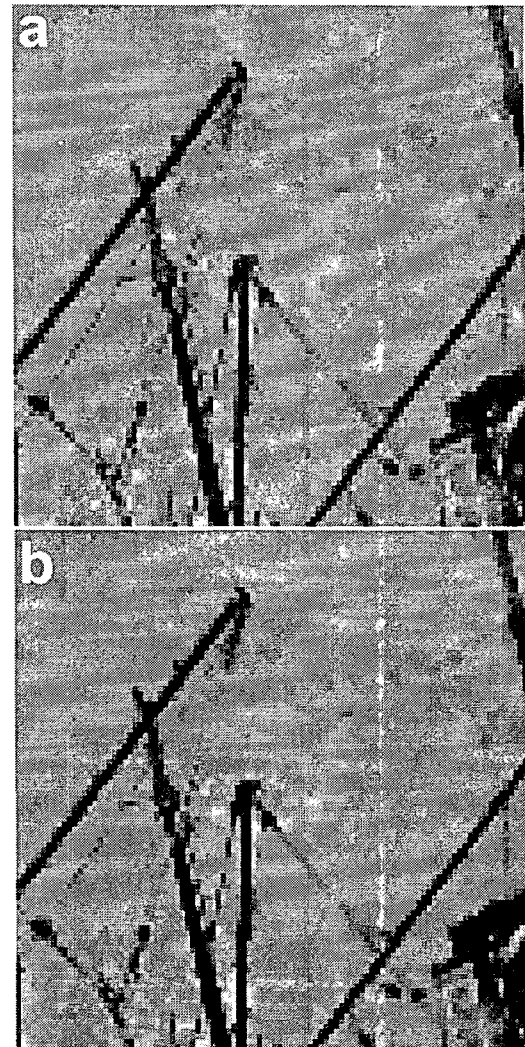


그림 8 필터링된 Boat 영상을 확대한 영상들: (a)
 기존의 Wiener filter, (b) PM1
 Fig. 8 Images zoomed in filtered Boat image: (a)
 The conventional Wiener filter, (b) PM1

방법이 기존의 Wiener 필터보다 주관적인 해상도 측면에서 우수한 성능을 보이고 있다. 특히 기존의 Wiener 필터와 최대신호대잡음비의 성능이 거의 같았던 Boat 영상에서의 시각적 향상은 주목할 만 하다.

6. 결론 및 추후 연구

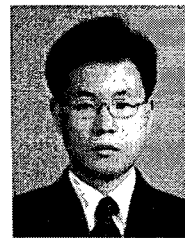
본 논문에서는 기존의 Wiener 필터가 가진 필터링된 영상에서의 강한 에지 보존성이 에지 영역에서의 잡음 제거에 효율적이지 못함을 확인하고 이를 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 기존의 Wiener 필터와 다른 새로운 필터 계수들을 정의하여 사용하였다. 그 결과 제안한 방법에서는 에지 영역에 존재하는 잡음 성분들을 효과적으로 제거함으로써 작은 최대신호대잡음비 향상과 더불어 주관적인

해상도 측면에서 우수한 결과를 보였다. 에지 영역에서의 우수한 잡음제거 성능을 가졌음에도 불구하고 몽롱화 현상은 발생되지 않았으며, 강한 에지 성분을 가지고 있는 픽셀들은 보존함으로써 신뢰성 있는 필터링을 가능케 하였다. 향후 연구 과제로는 평탄 영역에서 기존의 Wiener 필터보다 좀 더 효과적인 잡음 제거 능력을 갖는 알고리즘을 개발하는 것이다.

June 1999.

[4] P. Chan and J.S. Lim, "One-Dimensional Processing for Adaptive Image Restoration," IEEE Trans ASSP, vol. 33, pp. 117-126, February 1985.

저 자 소 개



송 영 철(宋映澈)

1969년 2월 4일생. 2001년 8월 광운대학교 전기공학과 박사. 2002년~현재 경북대학교 전자전기공학부 조교수

Tel : 053-950-7324

Fax : 053-950-6614

E-mail : songyc03@ee.knu.ac.kr



그림 9 필터링된 영상들에 고주파 필터를 적용한 결과 영상들: (a) 기존의 Wiener filter, (b) PM1

Fig. 9 High-pass filtered resulting images in filtered images: (a) The conventional Wiener filter, (b) PM1

참 고 문 헌

[1] K. Rank and R. Unbehauen, "An Adaptive Recursive 2-D Filter for Removal of Gaussian Noise in Images," IEEE Trans. Imag. Proc. vol. 1, pp. 431-436, July 1992.

[2] G. Gerig, O. Kubler, R. Kikinis, and A. Jolesz, "Nonlinear Anisotropic Filtering of MRI Data," IEEE Trans. Med. Imag. vol.11, pp.221-232, 1992.

[3] C. B. Ahn, Y. C. Song, and D. J. Park, "Adaptive Template Filtering for Signal-to-Noise Ration Enhancement in Magnetic mn Resonance Imaging," IEEE Trans. Med. Imag. vol. 18, no. 6, pp. 549-556,