

Region Based Contrast-to-Noise Ratio Enhancement for Medical Images

宋映澈* · 崔斗鉉**
(Young-Chul Song · Doo-Hyun Choi)

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 higher peak signal-to-noise ratio compared to those by the conventional Wiener filtering.

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

1. 서론

의학 영상에서 해상도는 최대신호대잡음비 보다 중요하게 고려된다. 기존의 필터링은 미리 정의된 템플릿과 계수들로 구성되어 있으며, 필터링된 출력은 필터 계수들과 함께 템플릿상의 주위 픽셀들과 현재 픽셀이 가지는 그레이레벨들의 가중치 합에 의해 결정된다. 이러한 비적응(non-adaptive) 필터링은 평탄 영역에서는 최대신호대잡음비의 향상을 가져오나, 에지 영역에서는 에지 열화를 발생시키게 된다. 이러한 비적응 필터의 단점을 해결하기 위하여 다양한 적응 필터링 알고리즘들이 제안되어왔다. 예를 들면, Wiener 필터 [1]와 2-D 적응 재귀 필터(2-D adaptive recursive filter) [2] 그리고 비선형 이방성 필터(nonlinear anisotropic filter) [3] 등과 같은 국부 통계를 기반으로 하는 적응 필터 등이 있다. 국부 통계를 기반으로 하는 이러한 적응 필터 알고리즘은 현재 픽셀 계수의 상대적인 가중치를 미리 정의된 템플릿 상의 주위 픽셀의 계수들과 비교하여 조절할 수 있다. 또한 방향 적응 필터는 네 방향 중 하나의 에지 방향을 추정하며 필터링을 적용함으로써 에지 열화를 줄일 수 있다. 그러나 이러한 알고리즘들은 고정된 템플릿 또는 네 방향 성분 에 따른 극소수의 템플릿을 사용하므로 복잡한 형태의 에지에는 잘 적응되지 못하는 한계점을 가진다. 이러한 알고리즘들은 최대신호대잡음비가 상대적으로 낮고 어느 정도

의 손실을 허용하는 일반 영상에서는 우수한 성능을 보이나, 적절한 최대신호대잡음비를 유지하면서도 높은 해상도를 요구하는 응용에서는 제약을 받게 된다. 일반적인 자기공명영상에서의 필터링은 후자에 속하는 경우로 몇 개의 방향들과 고정된 형태의 템플릿 대신에 임의의 국부 영상의 형태에 적용하기에 적합한 알고리즘의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 가장 광범위하게 사용되는 필터링 방법 중의 하나인 Wiener 필터를 적절히 수정함으로써 자기공명영상의 필터링에 적합하도록 하였다. 이것은 기존의 Wiener 필터가 가지는 두 가지 단점들을 해결함으로써 가능하다. 첫째로 기존의 Wiener 필터는 평탄 성분을 가진 픽셀들을 에지 영역으로 분류할 수 있다. 이것은 Wiener 필터가 평탄 영역과 에지 영역에 대한 분류 기준으로써 단지 잡음 영상에서 추정된 잡음 분산과 극히 제한된 크기의 윈도우 내의 국부 분산을 사용하므로 신뢰성 있는 분류가 어렵기 때문이다. 이렇게 분류된 픽셀들은 Wiener 필터가 가지는 에지 보존성 때문에 효과적인 잡음 제거가 이루어지지 않아 필터링된 영상에서 스파이크 잡음(spike noise)이 나타난다. 이것은 자기공명영상과 같이 평탄 영역의 그레이 레벨이 점진적으로 변화하는 특성을 지닌 영상에서의 해상도의 저하를 일으킨다. 이에 본 논문에서는 이러한 픽셀들에서 발생하는 스파이크 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여 각 픽셀이 가진 국부 분산의 크기에 따라서 필터링 강도를 조절하는 방법을 제안하였다. 둘째로 기존의 Wiener 필터는 고정된 템플릿을 사용하므로 에지 영역에서의 필터링 성능이 떨어지게 된다. 이에 본 논문에서는 자기공명영상내의 에지들에 대한 필터링 성능을 향상시키기 위하여 다양한 에지 방향을 대표할 수 있는 템플릿들을 정의하여 사용하였다. 즉 전자의 방법은 평탄 영역에서의 Wiener 필터의 단점을 극복하기 위한

*正會員 : 慶北大 工大 電子工學科 助教授 · 工博
 **正會員 : 慶北大 工大 電子工學科 助教授 · 工博
 接受日字 : 2003年 8月 6日
 最終完了 : 2004年 1月 20日

것이며, 후자의 방법은 에지 영역에서의 Wiener 필터의 단점을 극복하기 위한 것이다. 이 두 방법은 기존의 Wiener 필터가 자기공명영상에서 우수한 성능을 보이도록 서로 결합되어 사용될 수 있다. 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. 제안된 필터링 방법들에 대한 기술

2.1 수정된 위너 필터 방법 I (Modified Wiener Filter Method I: MWFM I)

MWFM I은 기존의 Wiener 필터가 가지는 평탄 영역에서의 문제점들을 보완하기 위한 방법이다 [4]. 우선 기존의 Wiener 필터(conventional Wiener filter: CWF)는 다음과 같이 간단히 정의될 수 있다.

$$y(l, m) = \frac{\sigma_y^2(l, m)x(l, m) + \sigma_n^2\bar{x}(l, m)}{\sigma_y^2(l, m) + \sigma_n^2} \quad (1)$$

$$\bar{x}(l, m) = \frac{1}{N} \sum_{n,m} x(l, m) \quad (2)$$

$$\sigma_y^2(l, m) = \max\{0, \sigma_x^2(l, m) - \sigma_n^2\} \rightarrow \sigma_x(l, m) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n,m} \{x(l, m) - \bar{x}(l, m)\}^2} \quad (3)$$

여기서, $x(l, m)$ 는 원영상, $\bar{x}(l, m)$ 과 σ_x 는 각각 (l, m) 에서 3×3 크기의 국부 윈도우내의 국부 평균과 국부 표준편차를 나타내며, σ_n 은 영상내의 잡음 분산을 나타낸다. CWF는 에지를 최대한 보존하면서 균일성이 강한 평탄 영역에서의 필터링 효과를 극대화하는 특징을 지닌다. 식 (1)을 통하여 CWF가 평탄 영역과 에지 영역을 분류하는 기준은 다음과 같다.

1 평탄 영역으로의 분류

$$\sigma_n \geq \hat{\sigma}_x^2(l, m) \rightarrow \hat{\sigma}_y^2(l, m) = 0 \rightarrow y(l, m) = \bar{x}(l, m) \quad (4)$$

국부 윈도우내의 분산이 잡음 분산 보다 작거나 같다면 현재 픽셀은 평탄 영역으로 분류되어 국부 윈도우내의 픽셀 값들의 평균으로 대체되므로 평탄 영역에서의 잡음 제거를 극대화시키게 된다. 그러나 CWF는 잡음 영상내의 국부 분산을 추정하는데 있어 제한된 크기의 국부 윈도우를 사용하므로 영역 분류의 신뢰성이 떨어지게 되어 평탄 영역이 에지 영역으로 잘못 분류될 수 있다.

2 에지 영역으로의 분류

$$\hat{\sigma}_y^2(l, m) = \hat{\sigma}_x^2(l, m) - \sigma_n^2 \rightarrow \sigma_x^2(l, m) > \sigma_n^2 \quad (5)$$

식(5)의 $\hat{\sigma}_y^2(l, m)$ 를 식(1)에 대입하여 정리하면,

$$y(l, m) = \left(1 - \frac{\sigma_n^2}{\sigma_x^2(l, m)}\right) \cdot x(l, m) + \frac{\sigma_n^2}{\sigma_x^2(l, m)} \cdot \bar{x}(l, m) \quad (6)$$

$$y(l, m) = (1 - z) \cdot x(l, m) + z \cdot \bar{x}(l, m) = c_1 \cdot x(l, m) + c_2 \cdot \bar{x}(l, m) \quad (7)$$

여기서, $z = \frac{\sigma_n^2}{\sigma_x^2(l, m)}$ 으로 정의되며, c_1, c_2 는 필터 계수를 나타낸다.

에지 성분이 강한 픽셀($\sigma_x^2(l, m) \gg \sigma_n^2$)들 일 경우는 z 가 0으로 수렴하게 되어 필터링이 수행되지 않으며, 그 외의 에지 성분을 지닌 픽셀($\sigma_x^2(l, m) > \sigma_n^2$) 들은 각각의 픽셀들이 지니는 에지 성분의 크기에 따라 z 값이 바뀌게 되어 필터링 강도가 조절된다. z 는 0과 1사이의 값을 가진다. 그림 1은 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해서 제작된 팬텀 영상들과 이것들에 가산 백색 가우시안 잡음을 첨가한 잡음 영상들이다. 그림 1(a)와 그림 1(b)의 왼쪽 영상들은 원영상을 나타내며, 오른쪽 영상들은 MWFM I의 성능

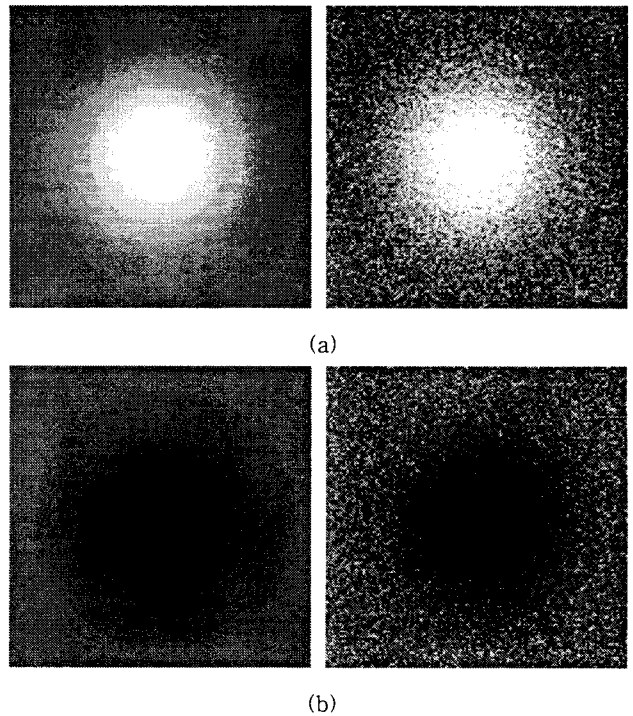


그림 1 평탄 성분을 가지는 픽셀들을 포함하는 제작된 팬텀들과 가산 백색 가우시안 잡음을 가진 24 dB 잡음 영상들(128×128 크기의 8 비트 그레이 레벨): (a) 팬텀I의 원영상(왼쪽)과 잡음 영상(오른쪽), (b) 팬텀II의 원영상과 잡음 영상

Fig. 1 Designed phantoms that include pixels with plain component and 24 dB noise images with additive white Gaussian noise(128×128 matrix with 8-bit gray levels): (a) original image(left) and noise image(right) for the phantom I, (b) original image(left) and noise image(right) for the phantom II

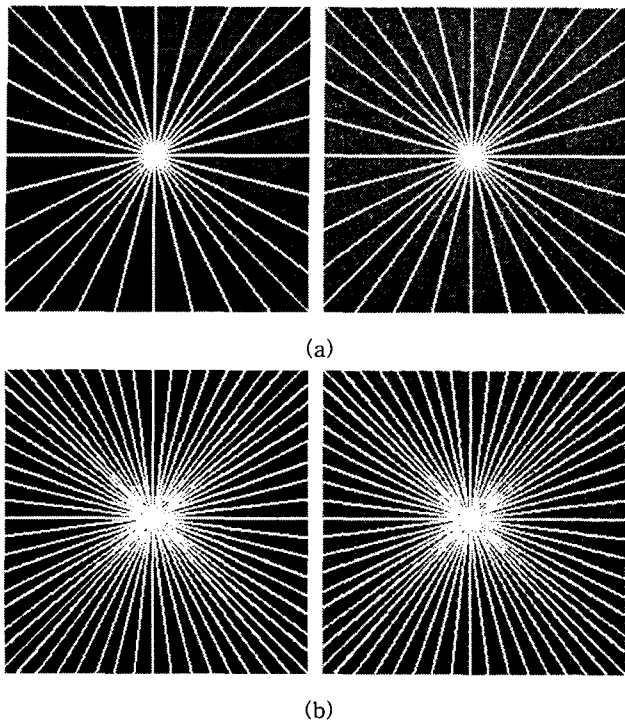


그림 2 에지 성분을 가지는 픽셀들을 포함하는 제작된 팬텀들과 가산 백색 가우시안 잡음을 가진 24 dB 잡음 영상들(256×256 크기의 8 비트 그레이 레벨): (a) 팬텀III의 원영상(왼쪽)과 잡음 영상(오른쪽), (b) 팬텀IV의 원영상과 잡음 영상

Fig. 2 Designed phantoms that include pixels with edge component and 24 dB noise images with additive white Gaussian noise(256×256 matrix with 8-bit gray levels): (a) original image(left) and noise image(right) for the phantom III, (b) original image(left) and noise image(right) for the phantom IV

평가에 사용될 시험 영상(24 dB 잡음 영상)들로써 점차적으로 그레이 레벨 값이 변화하는 즉 평탄 성분이 강조되도록 제작된 것이다. 그림 2(a)와 그림 2(b)의 왼쪽 영상들 또한 원영상을 나타내며, 오른쪽 영상들은 MWFM II의 성능 평가를 위한 시험 영상(24 dB 잡음 영상)들로써 에지 성분이 강조되도록 제작되었다. 이들은 모두 256 그레이 레벨을 갖는 8 비트 영상들로써 각각 팬텀I, 팬텀II, 팬텀III, 그리고 팬텀IV로 정의하였다. 그림 3은 팬텀I과 팬텀II의 24dB 잡음 영상을 CWF를 사용하여 평탄 영역과 에지 영역으로 분류한 결과 영상들로써 평탄 영역으로 분류되어야 할 픽셀들이 에지 영역으로 분류된 것을 볼 수 있다. 이처럼 에지 영역으로 분류된 평탄 성분을 지닌 픽셀들은 CWF의 에지 보존성 때문에 효과적인 필터링이 어렵게 된다. 이를 해결하고자 본 논문에서는 식(7)을 다음과 같이 수정하여 사용하였다.

$$y(l, m) = (1 - f(z)) \cdot x(l, m) + f(z) \cdot \bar{x}(l, m) \tag{8}$$

$$= p_1 \cdot x(l, m) + p_2 \cdot \bar{x}(l, m)$$

여기서, $f(z)$ 는 $\exp(-\frac{1}{zk})$ 로 정의되며, p_1, p_2 는 수정된

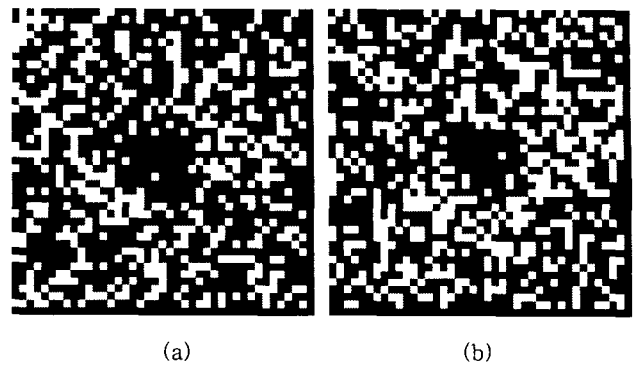


그림 3 그림 1의 잡음 영상들을 평탄 영역과 에지 영역으로 분류한 영상. 검은 부분들은 평탄 영역을, 흰 부분들은 에지 영역을 나타낸다. (a) 팬텀I, (b) 팬텀II

Fig. 3 Classifying noise images in Fig. 1 as a plain region and an edge region. The black parts stand for plain region and the white parts stand for edge region. (a) The phantom I, (b) The phantom II

Wiener 필터의 계수값들이며, k 는 일종의 스케일 값이다. 그림 4는 CWF와 MWFM I의 필터 계수들의 특징을 비교한 것이다(28 dB 잡음 영상과 $k=5$ 인 경우). 그림 4에 보인 것처럼 평탄 영역에서는 c_1, p_1 이 0을 유지하고 c_2, p_2 는 1을 유지하게 되어 식 (7)과 식 (8) 모두에서 $y(l, m) = \bar{x}(l, m)$ 가 되어 평균 필터와 동일한 필터링 강도로 필터링이 수행된다. 만약 $\sigma_x(x, y)$ 가 10.15 보다 커지면 (28 dB 영상의 시험 영상에서 잡음 분산 σ_n 은 10.15) 픽셀들은 에지 영역으로 분류되므로, 그림 3에서 볼 수 있듯이 CWF의 c_1 은 급격히 증가하고 c_2 는 급격히 감소함을 알 수 있다. 즉 에지를 보존하는 방향으로 필터 계수들을 변화시키는 것이다. 이에 반해 MWFM I에서는 p_1 과 p_2 의 증감의 폭을 적절히 조절하여 에지 영역에서의 필터링 강도를 증가시킴으로써 평탄 성분을 가진 에지로 분류된 픽셀들에 대한 필터링이 적절히 이루어지도록 하였다. 모의 실험 결과 k 가 4일 때 식(7)과 식 (8)의 필터링 효과는 같은 것으로 나타났다.

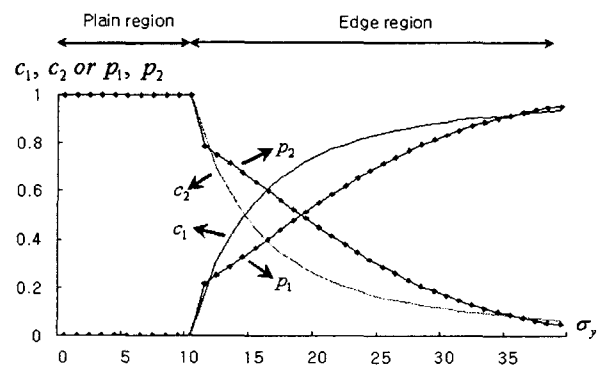


그림 4 CWF와 MWFM I에 대한 필터 계수들의 비교($k=5$)
Fig. 4 Comparison of filter coefficients for the CWF and MWFM I($k=5$)

2.2. 수정된 위너 필터 방법 II (Modified Wiener Filter Method II: MWFM II)

MWFM I의 에지 영역에서의 필터링 성능의 개선에도 불구하고 고정된 3×3 크기의 템플릿을 사용하는 CWF의 특성상 평탄 영역의 성분이 강한 에지 영역에서의 필터링 성능은 개선되었지만 에지 성분이 강한 에지 영역에서의 필터링에는 한계를 보이게 된다. 이에 MWFM II에서는 에지 성분이 강한 픽셀들의 성능 개선을 위한 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서는 고정된 템플릿이 아닌 다양한 에지 방향들을 대표할 수 있는 3×3 크기를 가지는 16개의 템플릿들을 정의하였다(그림 5 참조). 제안한 16개의 패턴들은 모든 방향에서 가능성 있는 에지 패턴들을 대부분 포함하고 있다. 제안된 알고리즘에서는 우선 주어진 픽셀에 대해 최적화된 템플릿을 결정해야 한다. 16개의 템플릿 중에서 주어진 픽셀에 대해 최적화된 템플릿의 선택은 식 (9)를 이용한 템플릿상의 픽셀값들의 표준 편차(standard deviation: SD)에 의해 결정된다.

$$SD_j = \sqrt{\frac{1}{N_j} \sum_{(l,m) \in T_j} \{x(l,m) - \bar{x}(l,m)\}^2}$$

$$\bar{x}(l,m) = \frac{1}{N_j} \sum_{(l,m) \in T_j} x(l,m) \quad (9)$$

여기서 x 는 입력 픽셀 값이며, SD_j 는 j 번째 템플릿상의 픽셀 값들의 표준 편차이며, N_j 는 템플릿 T_j 안에 존재하는 픽셀수를 나타낸다. 주어진 픽셀에 대한 최적화된 템플릿의 선택 과정은 다음과 같다 : (1) 만약 3×3 템플릿에서의 SE가 식 (4)를 만족한다면(즉 평탄 영역) CWF와 같이 3×3 템플릿을 사용하여 영상을 필터링 한다. 이것은 평탄 영역에서의 CWF의 뛰어난 필터링 효과를 이용하기 위한 결정이다. (2) 만약 (1)의 조건이 만족되지 않는다면(즉 에지 영역) 16개의 모든 템플릿들에 대한 SD를 계산한다. 이 경우의 최적화된 템플릿은 최소의 SD를 가지는 템플릿이 된다. 이것은 의학 영상에서 중요한 부분을 차지하는 에지 성분들을 보존함과 동시에 적절한 필터링 효과를 유지할 수 있도록 하기 위한 결정이다. 일단 최적화된 템플릿이 선택되면, 새로운 필터 계수들이 식 (1)을 사용하여 얻어진다.

2.3. MWFM I과 MWFM II의 결합(MWFM I+MWFM II)

MWFM I과 MWFM II는 서로 결합되어 하나의 알고리즘으로 사용될 수 있다. 즉 MWFM I의 평탄 영역에서의 장점과 MWFM II의 에지 영역에서의 장점을 결합한 MWFM I+MWFM II는 자기공명영상의 필터링에 있어서 우수한 성능을 보이게 된다.

3. 모의 실험 결과

제안한 필터링 방법에 대한 성능 평가를 위하여 그림 1과 그림 2의 가산 백색 가우시안 잡음을 첨가한 256×256 크기의 8비트 그레이레벨을 갖는 팬텀 영상들을 시험 영상으로 사용하였다. 식 (10)은 필터링된 영상의 객관적인 성능 평가를 위해서 사용한 최대신호대잡음비를 나타낸 것이다.

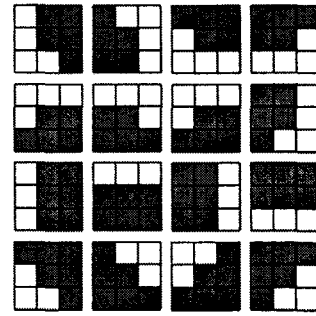


그림 5 에지 영역의 잡음들을 적절히 필터링을 위해 정의된 16개의 템플릿들

Fig. 5 Sixteen templates defined to properly remove the noises of edge region

$$PSNR = 20 \log \frac{255}{\sqrt{\sum_{l,m} \{x(k,l) - \hat{x}(l,m)\}^2}} \quad (10)$$

여기서, $x(l,m)$, $\hat{x}(l,m)$ 은 각각 잡음이 첨가되지 않은 원 영상과 필터링된 영상을 나타내며, K 와 L 은 수평, 수직 방향에 따른 영상의 크기를 나타낸다. 제안한 방법들의 성능 평가를 위하여 첫째로 평탄 영역에서의 MWFM I의 성능을 CWF와 비교 분석하였다. 그림 6은 팬텀I과 팬텀II의 24 dB 잡음 영상을 $k=6$ 에서 CWF와 MWFM I을 사용하여 각각 필터링한 결과 영상들이다.

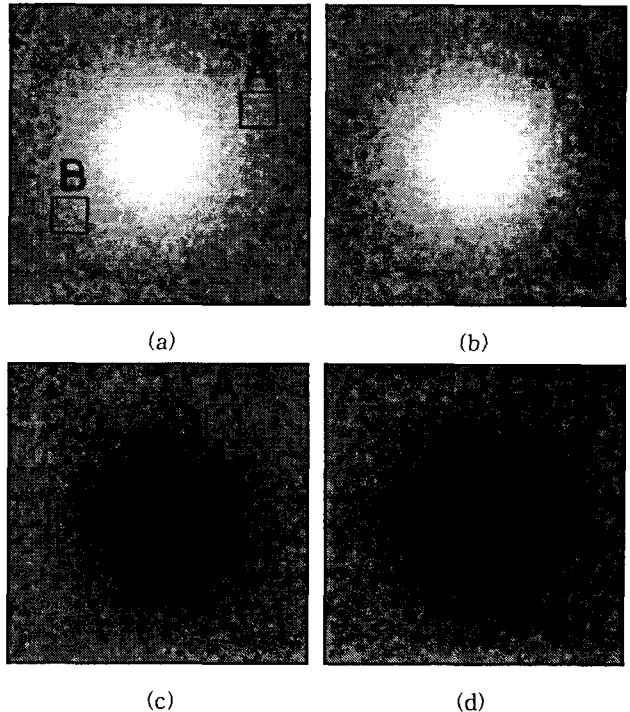


그림 6 그림 1의 팬텀 영상들을 필터링한 영상들. (a), (c)는 CWF에 의해 필터링 되었으며, (b), (d)는 MWFM I에 의해 필터링 되었다.

Fig. 6 Filtered images for phantom images in Figs. 1. (a), (c) are filtered using the CWF and (b), (d) are filtered using the MWFM I.

표 1 MWFM I을 사용하여 필터링시 k의 변화에 따른 팬텀에 대한 최대신호대잡음비

Table 1 PSNR's for Phantom I with various k when filtered using the MWFM I

잡음 레벨과 필터링 방법	24 dB						28 dB					
	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6	7	8
MWFM I	31.3	31.9	32.3	32.5	32.6	32.7	35.3	36.0	36.4	36.6	36.7	37.0
CWF	31.8						35.9					

표 2 스파크 잡음을 가진 두 ROI 영역들에서의 최대신호대잡음비

Table 2 PSNR's in two ROI regions with spike noise

		PSNR	
		CWF	MWFM I
팬텀I	A 영역(15×15)	30.9	32.5
	B 영역(15×15)	31.0	33.0
팬텀II	A 영역(15×15)	29.9	31.3
	B 영역(20×20)	30.1	31.8

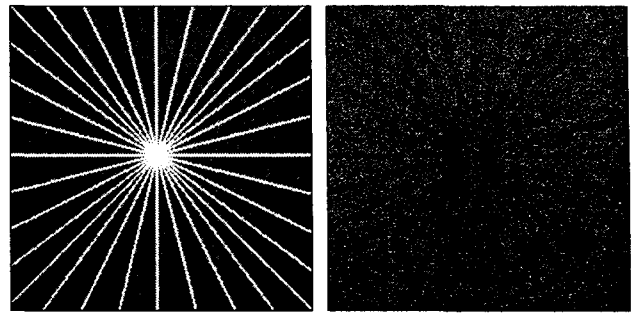
표 3 MWFM I과 CWF를 사용하여 필터링된 영상들의 최대신호대잡음비

Table 3 PSNR's for images filtered using the MWFM I and CWF

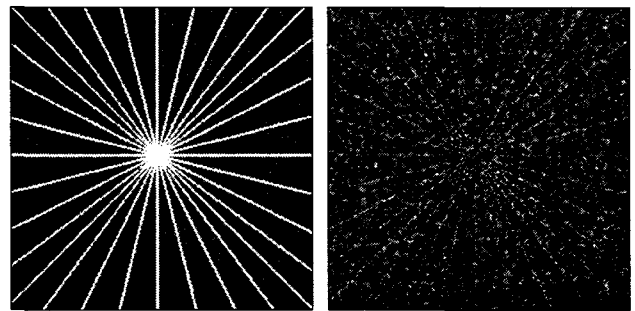
입력영상의 잡음 레벨과 필터링 방법	팬텀I		팬텀II	
	24 dB	28 dB	24 dB	28 dB
CWF	31.8	35.9	31.5	35.5
MWFM I (k=7)	32.7	36.9	32.2	36.4

그림 6에서 볼 수 있듯이 CWF를 사용한 그림 6(a)와 그림 6(c)에는 스파이크 잡음의 출현으로 인해 필터링된 영상들에서의 해상도가 크게 저하되었으나 MWFM I으로 필터링된 그림 6(b)과 그림 6(d)에서는 스파이크 잡음이 거의 제거된 향상된 해상도를 가지는 영상을 출력하게 된다. 이것은 MWFM I이 평탄 성분을 가졌음에도 에지로 분류된 픽셀들의 필터링 강도를 적절히 증가시켰기 때문이다.

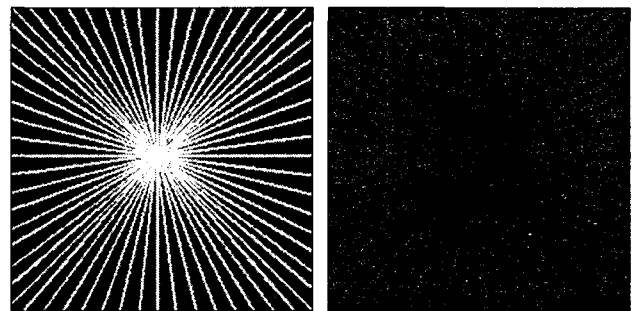
표 1은 두 방법의 성능을 최대신호대잡음비 측면에서 평가한 것이다. 표 1에서 볼 수 있듯이 MWFM I은 k=4에서 CWF와 거의 동일한 성능을 가지며 k가 증가할수록 필터링 강도가 증가되어 k=6-8에서 더욱 높은 성능을 나타낸다 (CWF에 비해 1 dB-1.1 dB 향상). 표 2는 그림 6의 스파이크 잡음이 포함되어 있는 ROI(region of interest) 영역 A, B에 대한 최대신호대잡음비의 성능을 평가한 것이다. 실제



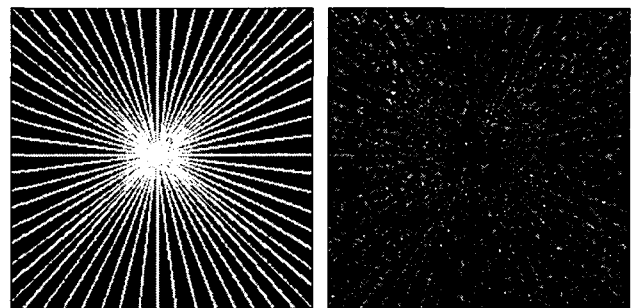
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7 그림 2의 팬텀 영상들을 필터링한 영상들. (a), (c)는 CWF에 의해 필터링 되었으며, (b), (d)는 MWFM I에 의해 필터링 되었다. 에러 영상들은 10배 증폭하였다

Fig. 7 Filtered images for phantom images in Figs. 2. (a), (c) are filtered using the CWF and (b), (d) are filtered using the MWFM I. The error images are amplified by a factor of ten

ROI 영역에서의 MWFM I의 최대신호대잡음비의 향상 정도는 CWF에 비해 1.4 dB-2.0 dB 정도의 향상을 나타내며

로 MWFM I이 스파이크 잡음을 제거하는데 훨씬 효과적이다. 마지막으로 표 3에 24 dB와 28 dB 잡음을 가진 팬텀I과 팬텀II 영상들을 각각 CWF와 MWFM I에 적용하여 최대신호대잡음비의 성능을 비교하여 보았다. 성능 비교 결과 MWFM I이 CWF에 비해서 두 시험 영상 모두에서 우수한 최대신호대잡음비를 보임을 확인하였다. 둘째로 에지 영역에서의 MWFM II의 성능을 CWF와 비교 분석하였다. 그림 7은 그림 2의 24 dB 잡음 영상인 팬텀III와 팬텀IV를 CWF와 MWFM II에 의해 필터링한 결과 영상들을 보여주고 있다. 그림 7의 여러 영상들을 관찰해 보면 CWF를 사용한 그림 7(a)와 그림 7(c)는 에지 부분에 대한 필터링이 전혀 이루어지지 못한 반면에 MWFM II인 그림 7(b)와 그림 7(d)는 에지들을 평탄 영역과 거의 동일한 필터링 강도로 필터링 하고 있다. 이것은 CWF가 고정된 템플릿을 사용하는 반면에 MWFM II는 에지 형태에 따라 적합한 템플릿을 선택하여 에지 영역내에 존재하는 잡음들을 적절히 제거하였기에 가능하다. 이것은 표 4에서도 볼 수 있는데 MWFM II는 CWF와 달리 에지 영역에서의 적절한 필터링 효과로 인하여 팬텀III와 팬텀IV 모두에서 앞선 최대신호대잡음비의 성능을 보인다(CWF에 비해 1.2 dB-2.4 dB 향상). 표 4에서 주목할 만한 MWFM II의 또 다른 특징은 전체 영상에서 에지 영역의 비율이 큰 팬텀IV의 최대신호대잡음비의 향상 폭이 상대적으로 에지 영역이 적은 팬텀III의 경우에 비해 크다는 것이다. 이것으로 MWFM II가 에지를 필터링하는데 적합한 알고리즘임을 재차 확인할 수 있었다. 이러한 평탄과 에지 영역 각각에 최적화된 MWFM I과 MWFM II는 서로 결합하여 사용되면 평탄 영역과 에지 영역을 고루 갖추고 있는 자기공명영상과 같은 의학 영상의 필터링에 응용할 수 있다. 이런 이유로 MWFM I+MWFM II이 가지는 자기공명영상에서의 필터링 성능에 관한 분석이 필요하다. 그림 8(a)와 그림 9(a)는 1.5 Tesla 전신 촬영 자기공명 시스템(1.5 Tesla whole body MR system)에서 획득한 512×512 크기를 가지는 16 비트 무릎 영상과 허벅지 영상이다. 이 영상들을 CWF를 사용하여 필터링한 결과 영상들을 그림 8(b)와 그림 9(b)에, MWFM I을 사용하여 필터링한 결과 영상을 그림 8(c)와 그림 9(c)에, 그리고 MWFM II를 사용한 결과 영상을 그림 8(d)와 그림 9(d)에, 마지막으로 MWFM I+MWFM II를 사용하여 필터링한 결과 영상을 그림 8(e)와 그림 9(e)에 각각 보였다. 그림 8과 그림 9에서 여러 영상들을 살펴보면 CWF를 사용한 경우인 그림 8(b)와 그림 9(b)에서는 에지 영역의 필터링 거의 이루어지지 않은 반면에 MWFM II가 적용된 그림 8(d)와 그림 9(d) 그리고 그림 8(e)와 그림 9(e)에서는 에지 영역에서 적절한 필터링이 이루어졌음을 확인할 수 있다. 이것은 MWFM II의 성능이 자기공명영상에서도 계속 유지되고 있음을 나타낸다. 그리고 MWFM I의 성능을 확인하기 위하여 CWF가 적용된 그림 9(b)와 MWFM I이 적용된 그림 9(c), 9(e)의 필터링된 영상들의 일부분을 확대하여 그림 10에 보였다. 그림 10(a)의 CWF의 경우에 있어서는 심한 스파이크 잡음이 관찰되고 있는 반면에 MWFM I의 경우인 그림 10(b)와 MWFM I+MWFM II의 경우인 그림 10(c)에서는 스파이크 잡음이 적절히 제거되었음을 알 수 있다. 이런 스파이크 잡음은 진단을 주목적으로 사용하는 의학 영상에 있어서는 상당히 심

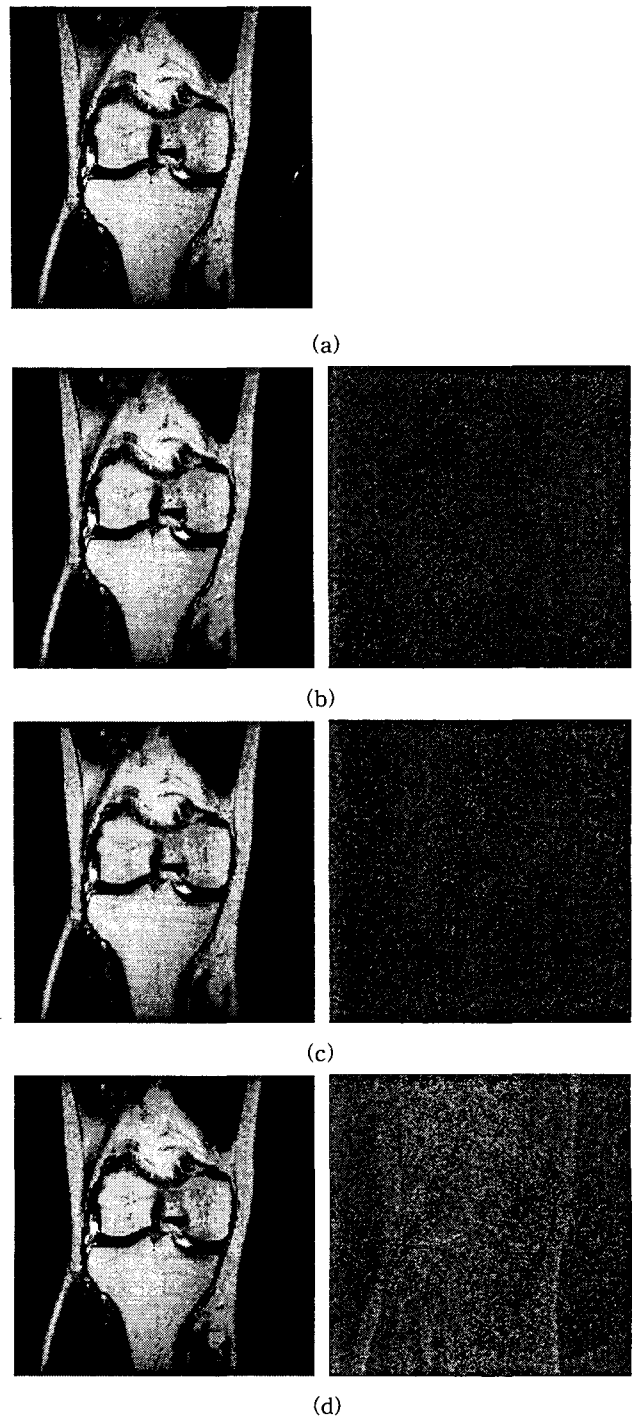
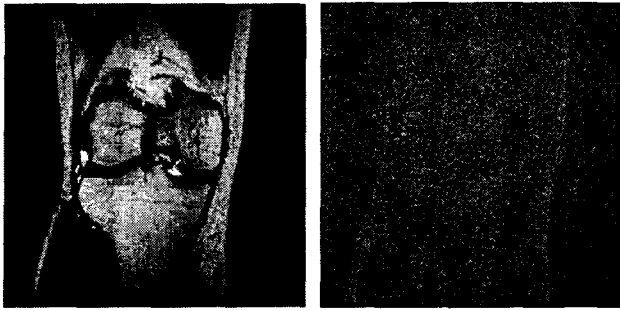


그림 8 필터링된 MR 무릎 영상들. (a) 원영상, (b) CWF에 의해 필터링된 영상, (c) MWFM I에 의해 필터링된 영상, (d) MWFM II에 의해 필터링된 영상, (e) MWFM I+MWFM II에 의해 필터링된 영상. 여러 영상들은 10배 증폭하였다

Fig. 8 Filtered MR knee images. (a) original image, (b) Filtered image using the CWF, (c) Filtered image using the MWFM I, (d) Filtered image using the MWFM II, (e) Filtered image using the MWFM I+MWFM II. The error images are amplified by a factor of ten



(e)
그림 8. (계속)
Fig. 8 (Continued)

각한 아티팩트(artifact)로 작용된다. 위의 결과를 종합해 볼 때 MWFM I과 MWFM II의 결합된 형태인 MWFM I+MWFM II는 평탄과 에지 영역 모두에서 CWF가 가지는 단점들을 적절히 보완하므로 자기공명영상의 필터링에서 적합하다 할 수 있다. 본 논문에서는 제안한 알고리즘들의 성능을 정량적으로 객관화하기 위한 간단한 방법을 제시하였다. 우선 그림 8과 그림 9의 원영상들을 평탄 영역과 에지 영역으로 분할한다. 그때 분할된 두 영역에 대한 필터링 정도를 식 (11)로 정의되는 절대 평균 에러(absolute mean error: AME_R)를 계산하게 된다.

표 4 MWFM II과 CWF를 사용하여 필터링된 영상들의 최대 신호대잡음비

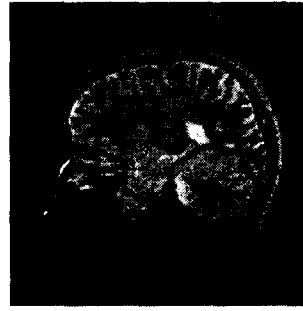
Table 4 PSNR's for images filtered using the MWFM II and CWF

입력영상과 잡음 레벨 필터링 방법	팬텀III		팬텀IV	
	24 dB	28 dB	24 dB	28 dB
CWF	28.7	32.7	27.1	31.0
MWFM II	30.2	33.9	29.3	33.4

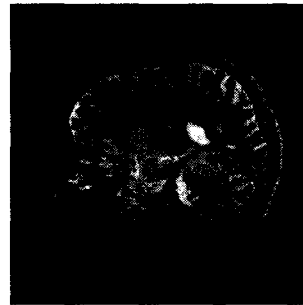
표 5 다양한 방법들에서의 MR 무릎과 MR 헤더 영상에 대한 절대 평균 에러들이 평가되었다. 배경 영역은 이 계산에서 고려하지 않았다

Table 5 The absolute mean errors for MR knee and MR header for various methods are evaluated. Background noise is not considered in this calculation

입력영상과 영역 구분 필터링 방법	무릎 영상		헤더 영상	
	평탄 영역	에지 영역	평탄 영역	에지 영역
CWF	20.9	4.7	25.0	6.8
MWFM I	24.7	5.2	28.5	9.9
MWFM II	30.0	28.8	30.6	29.2
MWFM I+MWFM II	33.1	38.2	33.2	39.3



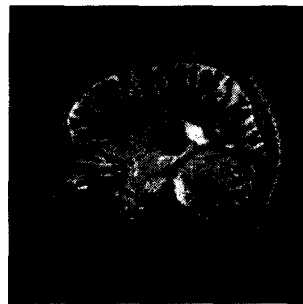
(a)



(b)



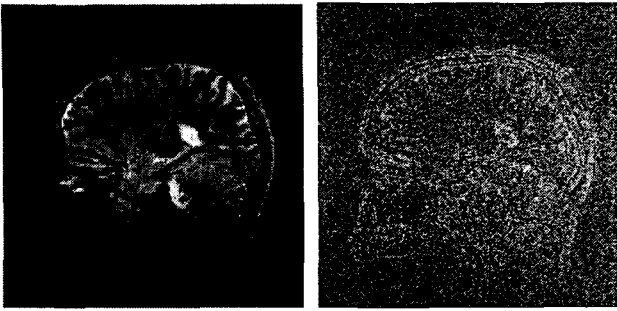
(c)



(d)

그림 9 필터링된 MR 헤더 영상들. (a) 원영상, (b) CWF에 의해 필터링된 영상, (c) MWFM I에 의해 필터링된 영상, (d) MWFM II에 의해 필터링된 영상, (e) MWFM I+MWFM II에 의해 필터링된 영상. 에러 영상들은 10배 증폭하였다

Fig. 9 Filtered MR header images: (a) original image, (b) Filtered image using the CWF, (c) Filtered image using the MWFM I, (d) Filtered image using the MWFM II, (e) Filtered image using the MWFM I+MWFM II. The error images are amplified by a factor of ten



(e)

그림 9. (계속)
Fig. 9 (Continued)

$$AME_R = \frac{1}{N_R} \sum_{(l,m) \in R} |x(l,m) - \hat{x}(l,m)| \quad (11)$$

여기서 $R \in [P, E]$ 는 분할된 영역을 나타내며, P와 H는 각각 평탄 영역과 에지 영역을 의미한다. $x(l, m)$ 은 원영상을, $\hat{x}(l, m)$ 는 필터링된 영상을, (l, m) 은 현재 픽셀의 좌표를, 그리고 N_R 은 R안에 포함되는 픽셀 개수를 의미한다. 식 (11)



(a)



(b)



(c)

그림 10 그림 9를 확대한 영상들. (a) CWF에 의해 필터링 (그림 9(b)), (b) MWFM I에 의해 필터링(그림 9(c)), (c) MWFM I+MWFM II에 의해 필터링(그림 9(e))

Fig. 10 Zoomed images of Fig. 9. (a) Filtered image by the CWF(Fig. 9(b)), (b) Filtered image by the MWFM I(Fig. 9(b)), (c) Filtered image by the MWFM I+MWFM II(Fig. 9(e))

에 따라 AME_P 는 평탄 영역에서의 절대 평균 에러를 나타내며, AME_E 는 에지 영역에서의 절대 평균 에러를 나타낸다. 영역 분할을 위하여 시험 영상들에 소벨 연산자(Sobel operator)를 적용한 후 적당한 문턱값(threshold value)을 설정하여 분할하였다. 본 논문에서는 두 영역 모두에서 동등한 필터링 효과를 이루는 것이 목적이므로 절대 평균 에러 값이 두 영역 모두에서 거의 동등하게 유지되면 바람직한 필터링이 수행된 것으로 판단하였다. 표 5는 CWF, MWFM I, MWFM II, 그리고 MWFM I+MWFM II를 사용하여 필터링된 영상에서의 AME_R 을 계산한 것이다. 이 계산에는 배경 영역은 포함시키지 않았다. 표 5에서 볼 수 있듯이 CWF에서는 에지 영역에 대한 필터링이 거의 이루어지지 않았으나 MWFM I은 스파이크 잡음의 제거로 두 영역 모두에서 증가된 AME_R 을 갖게된다. 그러나 MWFM II의 경우에는 에지 영역의 적절한 필터링으로 인해 에지 영역의 AME_R 이 평탄 영역과 거의 동일하게 나타나고 있다. 마지막으로 MWFM I+MWFM II에 대한 AME_R 은 MWFM I의 평탄 영역에 대한 필터링 성능과 MWFM II의 에지 영역에 대한 필터링 성능이 서로 결합된 결과이다.

4. 결 론

본 논문에서는 CWF를 자기공명영상에 적용시킴에 있어 개선해야 할 문제점들을 제시하였으면 이를 해결하기 위하여 MWFM I과 MWFM II 알고리즘을 제안하였다. 첫째로 MWFM I은 CWF의 평탄 영역에서의 필터링 성능을 개선하기 위한 알고리즘이며, 둘째로 MWFM II는 CWF의 에지 영역에서의 필터링 성능을 개선하기 위한 알고리즘이다. 제안된 두 방법의 성능은 제작된 팬텀 영상들에서 각각 확인되었으며 두 방법들을 결합하여 새로운 MWFM I+MWFM II 알고리즘을 제시하였다. MWFM I+MWFM II는 CWF가 가졌던 평탄 영역에서의 스파이크 잡음과 에지 영역에서의 필터링 성능의 저하 문제를 모두 해결함으로써 인간의 신체를 다루는 자기공명영상과 같은 의학 영상의 필터링에 효과적임이 확인되었다.

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 Resonance Imaging," IEEE Trans. Med. Imag. vol. 18, no. 6, pp. 549-556, 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



최 두 현 (崔 斗 鉉)

1991년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1993년 포항공과대학교 대학원 전자전기공학과 석사. 1996년 포항공과대학교 대학원전자전기공학과 박사. 1996~2003 2월 경북대학교와 서울대학교에서 강의와 연구 수행. 2003년 3월~현재 : 경북대학교 전자전기공학부 조교수

Tel : 053-950-7576, Fax : 053-950-6614

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