

웨이브렛 변환을 이용한 영상개선기법

*박국남, *김선용, **유지상

*한림대학교 전자공학과, **광운대학교 전자공학과

Image enhancement technique using wavelet transform

*Kuknam Park, *Sun Yong Kim, **Jisang Yoo

*Dept. of Electronic Engineering, Hallym University

**Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University

knpark@hee.ee.hallym.ac.kr

요약

웨이브렛 변환은 신호나 영상을 분석하기 위한 다해상도 분해기법으로 사용되어 왔다. 웨이브렛 변환영역에서 신호는 스케일과 위치상의 크기로 표현된다. 이 변환영역에서는 신호나 영상의 주파수 성분들이 각각의 스케일에 따라서 분리되어 나타난다. 또한 각 변환영역은 신호나 영상의 공간적인 특성을 상당부분 포함하고 있다. 이러한 웨이브렛 변환의 특성은 푸리에 변환에 기초한 방법과는 달리, 에지와 잡음성분을 효과적으로 분리할 수 있는 정보를 우리에게 제공해 준다. 본 논문에서는 웨이브렛 변환영역의 각 스케일 특성과 공간적인 특성을 이용하여 영상의 잡음성분을 제거하였다. 잡음제거 기법의 성능평가를 위해 Wiener 필터링 방법과 비교하였다.

I. 서론

영상 잡음은 넓은 의미에서 영상에 포함되어있는 불필요한 성분들을 의미한다. 대부분의 디지털 영상 취득 시스템(digital acquisition system)에서는 시각적인 영상을 연속적인 전기신호로 변환시키며 그것들은 표본화 과정(sampling process)을 거쳐서 디지털영상으로 재생된다. 이러한 각각의 과정에서는 자연환경 자체가 가지고 있는 확률적 성질로 인한 불안정성이 존재한다. 디지털 영상의 임의의 화소에 이러한 불안정한 값이 더해져서 잡음영상을 생성해 내는 것이다.

일반적으로 영상에서 잡음성분은 가우시안 분포로 모델링되며, 그것은 가우시안 분포가 자연계의 잡음과정 중에 가장 많이 나타나기 때문이다. 이러한 가우시안 잡음은 영상 취득 시스템에서 전기적 잡음성분으로부터 발생된다.

잡음제거는 영상복원 및 개선을 위해 필수적인 과정이 되어가고 있으며 날로 그 중요성이 더해가고 있다. 잡음으로 인하여 손상된 영상을 개선시키기 위한 여러 가지 필터링 기술들이 제안되어 왔다. 일반적으로 잡음이 가우시안 분포를 가지는 경우에는 평균(average) 필

터 등 선형필터가 매우 효과적이고 충격성 잡음(impulse-type noise)인 경우에는 중간값(median) 필터 등 비선형 필터가 효과적이라고 알려져 있다.

가우시안 잡음 제거시에 사용하는 평균 필터는 저역 통과(low-pass) 필터로 생각할 수 있다. 이것을 영상에 적용할 경우에는 영상의 에지성분과 같은 중요한 고대역 성분도 함께 제거된다. 따라서 영상에서 흐려짐(blurring) 현상과 같은 문제가 발생한다. 의료영상과 같이 에지 성분의 중요성이 높은 영상의 경우 잡음 제거시에 에지 성분을 보존하는 것은 중요하다. 그러나 푸리에 변환에 기반한 방법들은 그 한계성 때문에 잡음과 에지 성분을 효율적으로 분리할 수 없다.

웨이브렛 변환 영역상에서는 신호가 스케일(scale)과 위치(position)에서의 크기로써 표현된다. 신호를 웨이브렛 변환하면, 각 스케일의 동일위치에서 주요 에지 성분간에 연관성(correlation)이 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 잡음 성분을 먼저 웨이브렛 스케일간 연관성 필터링 방법으로 제거한 후 스케일 자체의 공간적인(spatial) 성질을 이용하여 다시 제거하고자 하였다. 이러한 방법을 통하여 영상에서 가우시안 잡음의 대부분(약 80-90%)을 제거하였다.

II. 웨이브렛 변환

웨이브렛은 원형 웨이브렛 함수를 dilation 과 translation을 취하여 만들어지는 함수의 집합이다. 이러한 방법으로 만들어진 함수들은 신호나 영상을 전개하기 위한 기저함수가 된다. 웨이브렛 변환은 웨이브렛 기저함수 ψ 로 함수 $f(t)$ 를 전개하는 다음식과 같이 표현될 수 있다.

$$a_{j,k} = \int f(t)\psi_{j,k}(t)dt$$

여기서 $a_{j,k}$ 는 웨이브렛 변환 계수이며, $\psi_{j,k}(t)$ 는 원형 웨이브렛 함수를 j 만큼 dilation, k 만큼 translation 한 함수이다. 따라서 웨이브렛 변환 계수 $a_{j,k}$ 는 함수 $f(t)$ 의 특정 위치와 주파수에서의 크기정보가 나타나게 된다.

그러나 실제로 웨이브렛 변환을 이용하는 많은 응용 분야에서 웨이브렛 함수를 직접 사용하지는 않는다. 실제로 사용되는 웨이브렛은 다해상도 분석(multiresolution analysis)에 그 기본적인 생각이 포함되어 있다.

2.1 다해상도 분석

다해상도 분석에서는 다음과 같은 몇 가지 조건들을 공식화하였다. 우선 다음과 같은 함수공간들이 필요하다.

$$\dots V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset L^2$$

즉, 위 함수공간들 사이에는 다음과 같은 관계가 있으며

$$V_j \subset V_{j+1}, \forall j \in Z$$

각각의 V_j 는 다음과 같은 함수를 원소로 가지고 있다.

$$f(t) \in V_j, f(2t) \in V_{j+1}$$

다음식은 dilation equation을 나타낸 것으로 웨이브렛의 다해상도 분석에서 인접한 두 함수공간 사이의 관계를 보여준다.

$$\phi(t) = \sum_n h_0(n) \sqrt{2} \phi(2t - n)$$

$$\psi(t) = \sum_n h_1(n) \sqrt{2} \psi(2t - n)$$

실제로 웨이브렛 변환할 때에는 위에서 보여주는 dilation equation에 정의된 필터 $h_0(n)$, $h_1(n)$ 등을 필터뱅크(filter bank)의 형태로 사용한다.

2.2 Quadratic Spline Wavelet (QSW)

QSW는 S. Mallat가 최초로 제안한 것으로 영상의 에지 성분을 추출하는데 유용한 것으로 알려져 있다. QSW는 다음과 같은 필터들로 실행할 수 있다.

표 1은 사용된 분석 및 합성용 저역통과 필터와 고역통과(high-pass) 필터 H, L, G, K의 인피스 응답을 보여주고 있다.

	H	G	K	L
3			0.0078125	0.0078125
2	0.125		0.054685	0.046875
1	0.375		0.171875	0.1171875
0	0.375	-2.0	-0.171875	0.65625
1	0.125	2.0	-0.054685	0.1171875
2			-0.0078125	0.046875
3				0.0078125

표 1. 필터 H, G, K, L 의 계수

이차원 이산신호 즉, 웨이브렛 변환될 영상 $S^d_1 f$ 는 다음의 DWT 알고리즘을 이용하여 DWT의 계수를 구할 수 있다. 즉 스케일 2^j 에서 영상 $S^d_{2^j} f$ 는 저역 성분 $S^d_{2^{j+1}} f$ 과 고대역 수평성분 $W^{1,d}_{2^{j+1}} f$ 그리고 고

대역 수직성분 $W^{2,d}_{2^{j+1}} f$ 로 분해된다.

$j = 0$

while($j < Jmax$)

$$W^{1,d}_{2^{j+1}} f = \frac{1}{\lambda_j} \cdot S^d_{2^j} f * (G_j, D)$$

$$W^{2,d}_{2^{j+1}} f = \frac{1}{\lambda_j} \cdot S^d_{2^j} f * (D, G_j)$$

$$S^d_{2^{j+1}} f = \frac{1}{\lambda_j} \cdot S^d_{2^j} f * (H_j, H_j)$$

$j = j + 1$

end of while

또한 다음의 역변환(IDWT)을 이용하면 $S^d_{2^j} f$, $W^{1,d}_{2^j} f$ 와 $W^{2,d}_{2^j} f$ 로부터 주어진 신호 $S^d_{2^j} f$ 를 복원할 수 있다.

$j = Jmax$

while($j > 0$)

$$S^d_{2^{j-1}} f = \lambda_j \cdot W^{1,d}_{2^j} f * (K_{j-1}, L_{j-1}) +$$

$$\lambda_j \cdot W^{2,d}_{2^j} f * (L_{j-1}, K_{j-1}) +$$

$$S^d_{2^j} f * (H_j, H_j)$$

$j = j - 1$

end of while

여기서 $Jmax$ 는 최대 스케일 단계를 의미하며 λ_j 는 주어진 신호를 discretization하는 과정에서 생기는 문제를 상쇄하기 위한 상수이다. H_n, G_n, L_n, K_n 는 필터 H, G, L, K 의 계수사이에 2^{p-1} 개의 0을 삽입한 새로운 필터를 의미한다. 또한 D 는 Dirac 필터를 의미하고 $A * (H, L)$ 은 1차원 필터인 H, L 과 신호 A 간의 separable convolution을 의미한다. 위의 DWT 알고리즘을 이용하여 구한 웨이브렛 변환 계수 영상을 그림 1에 보였다.

III. 스케일간 상관도를 이용한 Masking 기법

스케일 상관도를 이용한 기법은 중요한 에지 성분이 웨이브렛 변환 도메인에서 여러 스케일에 걸쳐서 큰 값을 가진다는 성질을 이용한 것이다. 이러한 에지 성분과는 달리 잡음성분은 웨이브렛 도메인에서 특정한 인 스케일에서만 값을 가지며 인접한 스케일에서는 그 특성이 나타나지 않는다. 이러한 정보를 이용하면 에지 성분과 잡음성분의 위치를 구분하여 파악하는 것이 가능하므로 잡음성분만 분리하여 제거할 수 있다.

1차원 신호에 대하여 각 스케일 계수들의 상관도를 구하기 위하여 다음과 같이 상관도 함수를 정의하였다.

$$Corr_l(m, n) = \prod_{i=0}^{l-1} W(m+i, n)$$

한 예로 $l=2$ 라고 가정한다면, $Corr_2(m, n) = W(1, n) \cdot W(2, n)$ 가 되고 여기에서 $W(1, n)$

과 $W(2,n)$ 은 각각 스케일 1과 스케일 2의 웨이브렛 계수를 의미한다.

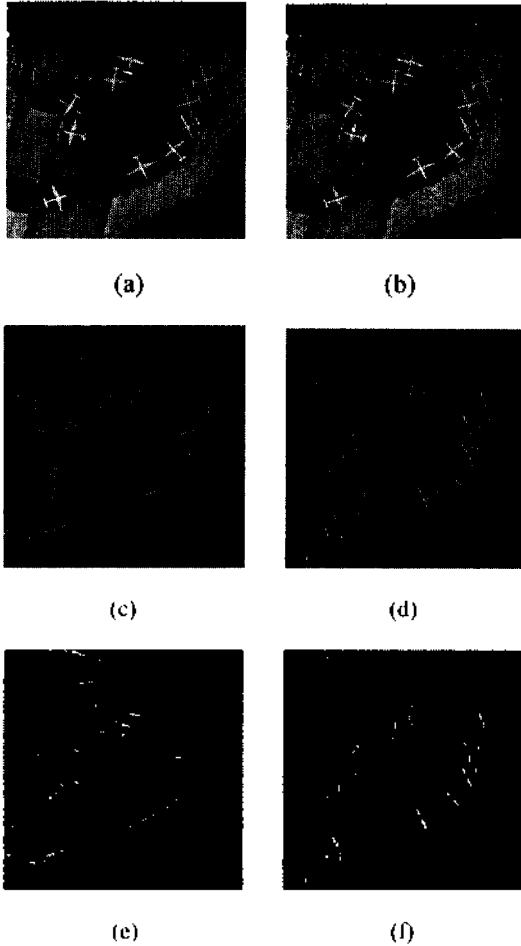


그림 1. 웨이브렛 변환 계수 영상들 (a) Airport 원영상 (b) (a)영상에 잡음이 포함된 영상 (c) 스케일 1의 수평 성분 (d) 스케일 1의 수직성분 (e) 스케일 2의 수평성분 (f) 스케일 2의 수직성분

그림 1 (c), (d), (e), (f) 에서 볼 수 있듯이 에지 성분은 스케일 1과 2에 걸쳐서 그 형태가 남아 있다. 따라서 위에서 정의된 상관도 함수를 계산하면 상관도 함수에 작은 값으로 만들어진다. 잡음성분의 경우에는 스케일 1과 스케일 2에 사이에 아무런 상관성이 없으므로 상관도 함수상에 작은 값으로 나타난다. 따라서 $|W(l,n)| < |Corr_2(l,n)|$ 이면 그 위치 n 에 에지 성분이 있다고 생각할 수 있고, 이것을 기억하기 위해 $Mask(l,n)$ 을 정의하고 이 경우 값을 1로 한다. 만약 $|W(l,n)| > |Corr_2(l,n)|$ 이면 $Mask(l,n)$ 의 값은 0으로 설정된다. 그림 2 (a)는 $Mask(l,n)$ 을 보여준다. 이와 같이 만들어진 Mask는 다음 식을 이용하여 새로운 웨이브렛 변환계수를 만드는데 사용된다.

$$W_{new}(l,n) = W(l,n) \times Mask(l,n)$$

새롭게 만들어진 변환계수 $W_{new}(l,n)$ 을 보였다. 이 새로

운 변환 계수를 역변환하게 되면 잡음성분이 제거된 신호를 복원할 수 있다.

IV. 제안된 기법

앞서 제안된 방법에서는 에지성분과 잡음성분을 분리하기 위하여 스케일간 상관도 함수 개념을 도입하였다. 하지만 위 방법으로 만들어진 마스크는 웨이브렛 계수에 잡음성분을 상당수 통과시키는 등 잡음성분을 완전히 제거할 수 없다. 또한 이러한 문제점을 해결하기 위해 웨이브렛 계수 자체를 감소할 경우, 에지 성분을 손상시키는 부작용이 발생한다. 본 연구에서는 잡음성분을 의미가 있는 영상 내의 에지 성분으로부터 분리, 최대한 그 영향을 줄이기 위해서 위에서 정의한 Mask을 감소하는 방법을 제안하였다.

이차원 영상신호에 대해 Mask을 분석해보면 1과 0의 값을 갖는 이진영상임을 알 수 있고 1의 값을 갖는 영역이 그 위치의 계수를 보존하고 0인 경우는 영상 복원시 계수를 적용하지 않는 부분이 된다. 이 경우 Mask의 값이 1인 영역에 대하여 잡음 성분의 경우 대체로 에지 영역과는 고립(isolate)되어 있고 그 영역의 크기도 매우 작다는 분석 결과를 얻을 수 있다. 즉, 마스크에서 잡음이 통과한 영역으로 판단할 수 있는 두 가지의 특성은 고립되어 있다는 것과 화소수가 작다는 것이다.

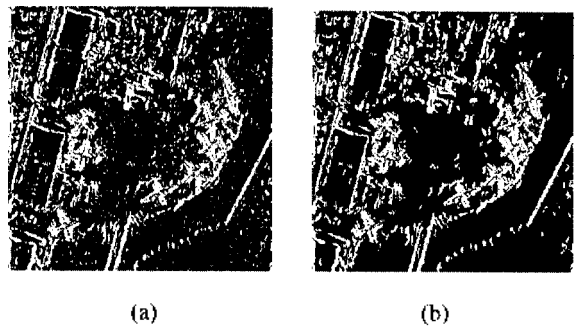


그림 2. 제안된 기법 (a) 상관도를 이용한 마스크 (b) 제안된 기법으로 개조된 마스크

따라서 먼저 앞서 제안한 방법으로 주어진 영상에 대하여 Mask 함수를 구하고 Mask 함수의 영상내의 공간적인 정보를 이용하여 잡음성분을 최소로 줄였다. 이를 위하여 먼저 Mask영상 내에 1이라는 값을 갖는 독립된 영역들을 찾아 labeling하고 화소수가 일정한 값보다 작은 개수를 가지는 영역의 경우에는 잡음에 해당되는 영역으로 간주하여 Mask의 값을 0으로 만들었다.

V. 모의실험결과

본 연구에서 제안한 기법의 성능 평가를 위해 Wiener 필터와 Y. Xu가 제안한 방법을 비교하였다. 정량적인 비교를 위하여 SNR 및 MSE를 구하였고 그 결과를 표 2에 보였다. 표 2에 나타난 바와 같이 본 연구에서 제안한 개조 Mask를 이용한 기법이 실험을 행한 모든 영상에서 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

모의실험에서는 스케일 6까지 웨이블릿 변환하여 변환된 모든 스케일 계수에서 잡음성분을 제거하였으며 스케일 1의 Mask을 개조하여 1의 값을 갖는 영역의 화소수가 10이하인 영역의 화소값을 0으로 만들어 복원시 대응되는 계수를 제외시켰다.

영상종류	Y. Xu 방법		Wiener		제안한 방법	
	SNR	MSE	SNR	MSE	SNR	MSE
Airport	21.7	115.6	21.2	129.	22.1	106.
	9	7	9	24	5	05
Camera man	23.0	88.5	22.4	101.	23.3	82.3
	7	0	6	97	9	5

표 2 제안한 방법과 Wiener필터 및 Y. Xu방법. SNR 및 MSE 비교

VI. 결론

본 논문에서는 가우시안 잡음이 있는 영상에서 잡음을 제거하는 방법을 제안하였다. 모의 실험을 통하여 제안한 방법이 이전의 방법에 비해 영상 개선 성능이 뛰어난 것으로 나타났다. 특히 웨이블릿 변환 영역을 기반으로 제안된 방법은 기존 푸리에 변환 기반방법에 비해 월등한 성능향상을 보여주고 있다.

웨이블릿 변환영역은 푸리에 변환영역에서는 시도하기 어려운 공간적인 영상처리 기법을 도입하는 것이 가능하다. 따라서 웨이블릿 변환 영역에서 에지 성분을 좀더 효율적으로 보존할 수 있는 다양한 공간적인 기법을 적용하는 것이 가능할 것이다.

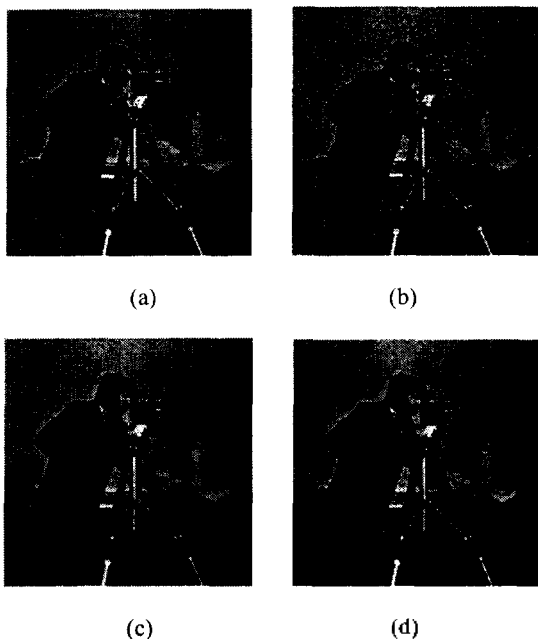


그림 3. 복원된 영상들 (a) Camera man 원영상 (b) (a)에 잡음이 포함된 영상 (c) Wiener 필터기법 (d) 제안한 기법

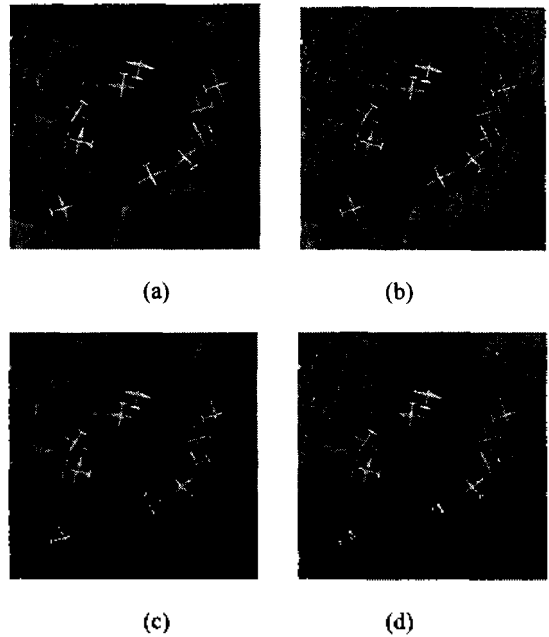


그림 4. 복원된 영상들 (a) Airport 원영상 (b) (a)에 잡음이 포함된 영상 (c) Wiener 필터기법 (d) 제안한 기법

참고 문헌

- [1] S. Mallat and S. Zhong, "Characterization of signals from multiscale edges", *IEEE Trans. pattern anal. machine intel.*, vol. 14, no.7, July 1992.
- [2] Y. Xu, J. B. Weaver, D. M. Healy, Jr., and J. Ju, "Wavelet transform domain filters: A spatially selective noise filtration technique", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 3, no. 6, November 1994.
- [3] S. Mallat and W. L. Hwang, "Singularity detection and processing with wavelets," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 38, pp. 617-643, March 1992.
- [4] J. B. Weaver, Y. Xu, D. M. Healy, Jr., and L. D. Cromwell, "Filtering noise from images with wavelet transform". *Magn. Reson. Imaging*, vol. 9, pp. 611-620, 1991.
- [5] S. E. Umbauch, *Computer Vision and Image Processing*, Prentice-Hall PTR, 1998.
- [6] J. R. Parker, *Practical Computer Vision using C*, John wiley & Sons, inc. 1993.
- [7] M. Vetterli and J. Kovacevic, *Wavelets and Subband Coding*, Prentice-Hall, 1995.
- [8] C. S. Burrus, R. A. Gopinath, H. Guo, *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms*, Prentice-Hall, 1998.