SWT (Stationary Wavelet Transform)을 이용한 영상 잡음 제거

유혜림*, 조현숙*, 이형*, 이인정**
lionhr@nate.com, chojo@dju.ac.kr ,
hlee@dju.ac.kr , leeij@office.hoseo.ac.kr

대전대학교*, 호서대학교**
대전광역시 동구 용운동 96-3 대전대학교
충남 아산시 배방변 세출리 선 29-1 호서대학교

Abstract

키워드 : SWT (Stationary Wavelet Transform), denoising

-Abstract-

It is well known that wavelet transform is a signal processing technique which can display the signals on in both time and frequency domain. In this paper, we proposed a new approach based on stationary wavelet transform to provide an enhanced approach for eliminating noise. A 'stationary wavelet transform', where the coefficient sequences are not decimated at each stage, is described. The testing result on sample iris images has shown an enhanced image quality and also show that it has a superior performance than traditional discrete wavelet transform.

목차

1. 연구목적
2. 웨이블릿 변환 (Wavelet Transform)
3. DWT (Discrete Wavelet Transform)
4. SWT (Stationary Wavelet Transform)
5. Thesholding method
6. 잡음 제거 알고리즘
7. 실험 결과 및 결론

연구 목적

❖ 목적

- 위성 영상이나 의료영상 등에서 영상의 복잡도가 증가하고 있음
- 복잡한 영상으로부터 원하는 정보를 얻기 위한 필터 개발이 필요함
- 잡음 제거 영상을 얻기 위해 SWT와 적당한 임계값을 적용시킨 알고리즘 제안

❖ 관련 연구

- 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)은 시간영역과 주파수영역에서 동시에 분석이 가능하고 불연속적인 자료를 분석하는데 유리하기 때문에 영상 처리, 분석에 이용.
- 영상 압축, 윤곽선 검출, 특징 추출 등에 관련된 문제들을 해결하는데 사용됨.
  여기서 사용되는 기법들은 다중해상도 분석(Multi-resolution Analysis), 시간 주파수 분석(Time-Frequency Analysis), 필터 뱅크 알고리즘(Filter Bank Algorithm) 으로 웨이블릿 변환 특성을 이용하여 진행.
- 잡음제거(또는 잡음감소)에 웨이블릿의 임계값을 이용하는 방법은 그의 효율성과 간결성으로 인하여 폭넓게 연구되고 있으며, 많은 논문들이 최선의 유니폼한 임계값 또는 최적의 기저 함수를 찾는데 초점을 맞추어 왔음.

Wavelet Transform

❖ 퓨리에 변환(Fourier Transform)

- 시간상의 정보를 다른 주파수로 전환하거나 주파수 공간의 정보를 시간정보로 전환.
- 멀티 스케일 특성일 경우 신호의 주파수 정보를 효과적으로 나타내지 못함.

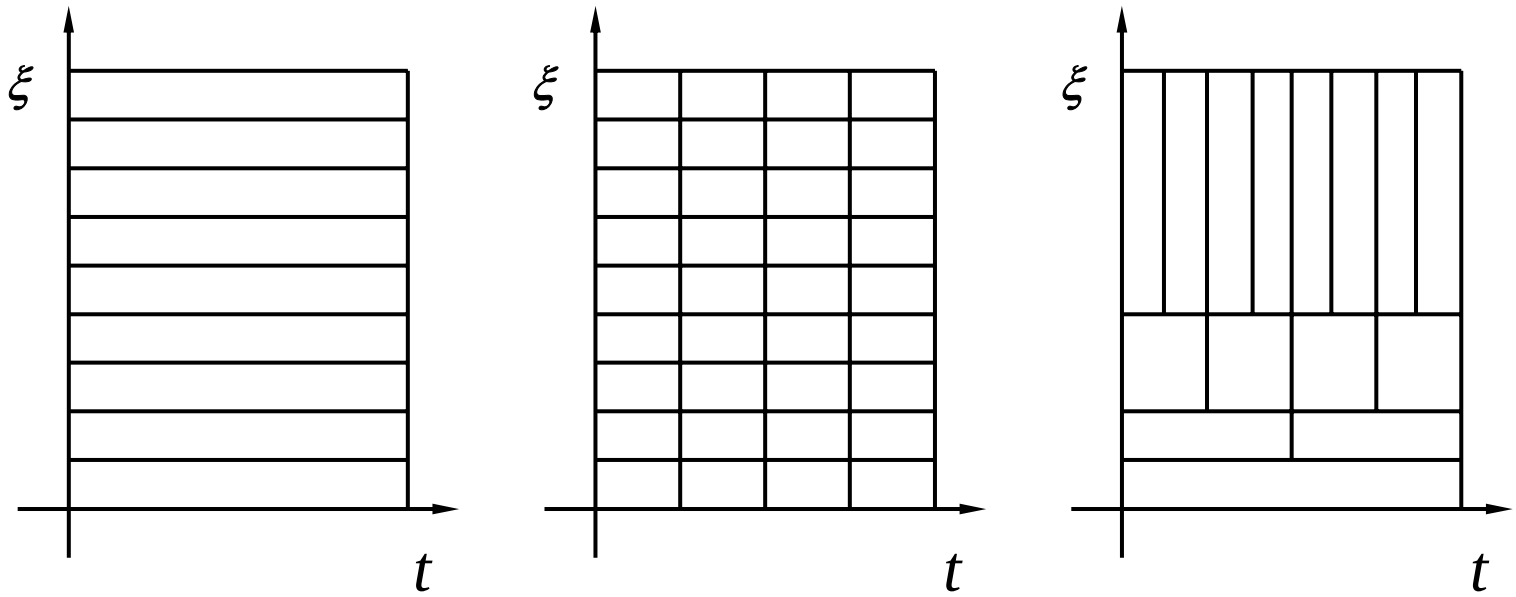
❖ 국소 퓨리에 변환(Short-Time Fourier Transform)

- 퓨리에 변환을 보완한 신호의 시간에 따른 주파수정보 파악을 위한 변환.
- 멀티스케일 특성이 있을 경우 여러 개의 크기가 다른 창함수 필요
  → 창함수 수만큼의 "시간-주파수"공간 요구

❖ 웨이블릿 변환(Wavelet Transfrom)

- 국소 퓨리에 변환의 단점 보완하여 하나의 "시간-주파수"공간에 모든 신호의 성분을 나타냄.
- "시간-주파수" 공간에 크기가 변화하는 함수를 적용하여 신호의 부분적 스케일 성분 추출.

Wavelet Transform



(a)퓨리에 변환 (b)국소 퓨리에 변환 (c)웨이블릿 변환

(그림 1) 시간- 주파수 분석 영역

Wavelet Transform

❖ 연속 웨이블렛 함수(CWT: Continuous Wavelet Transform)

- 기저함수 ψ와 신호$f(x)$와의 내적으로 정의 됨.
- 모 웨이블릿이라고 불리는 함수를 주파수 대역에 대응되는 스케일 인자 a를 통해 확대, 축소
- 시간 축에 대응되는 이동 인자 b를 조절하여 변이시켜 기저함수를 얻음.

$$CWT(a,b) = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)dx$$

$$\psi_{a,b}(x) = a^{-1/2}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

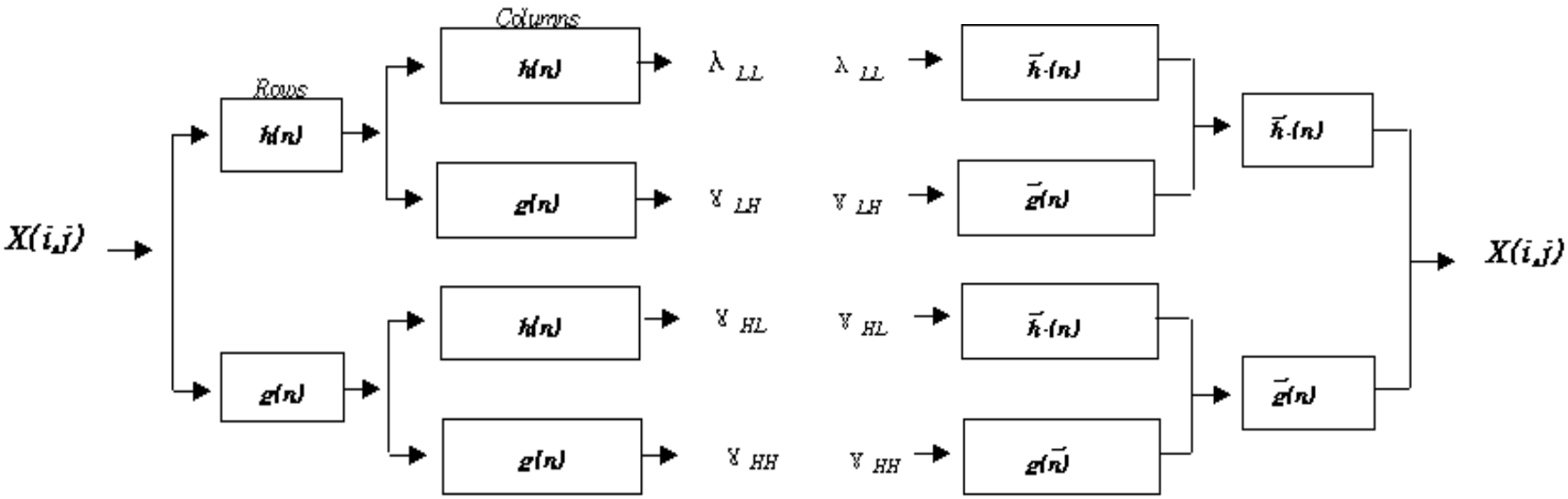
Vertical wavelet : $\psi^{1}(x, y) = \phi(x)\psi(y)$

Horizontal wavelet : $\psi^{2}(x, y) = \psi(y)\phi(x)$

Diagonal wavelet : $\psi^{3}(x, y) = \psi(y)\psi(y)$

(수식 1) 3 개의 부대역

Wavelet Transform



(a)영상의 분해 (b)영상의 복원

(그림 2) 웨이블릿 변환

DWT (Discrete Wavelet Transform)

- 영상에서 특성 정보 유지, 여러 종류의 계수로 분해, 임계값 적용해 고주파 성분 제거시 잡음 제거 됨.
- 고주파 대역에서는 폭이 좁은 윈도우를, 저주파 대역에서는 폭이 넓은 윈도우를 사용 함.
- 이산 웨이블릿은 임의의 신호 $f(t)$를 기저함수 $\Psi j,k(t)$와 웨이블릿 계수 aj,k의 결합된 형태로 표현됨.

$$f(t) = \sum_{j,k} a_{j,k} \psi_{j,k}(t) \qquad \psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k)$$

$$f(t) = \sum_{j,k} c_j(k) \phi_{j,k}(t) + \sum_{j,k} d_j(k) \psi_{j,k}(t)$$

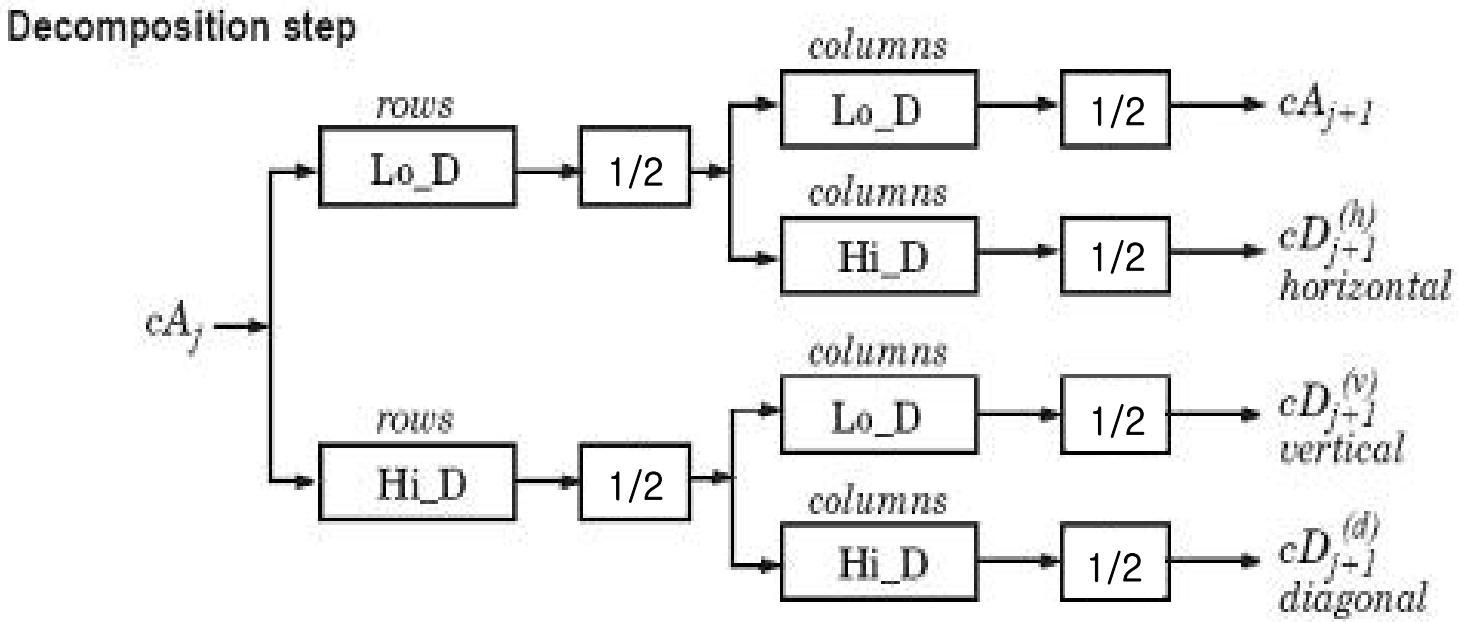
$$c_{j+1,k} = \sum_n h(n-2k) c_{j,n} \quad : \text{근사 계수(approximation coefficient)}$$

$$\omega_{j+1,k} = \sum_n g(n-2k) c_{j,n} \quad : \text{세부 계수(discrete coefficient)}$$

(수식 2) 1차원 DWT 공식

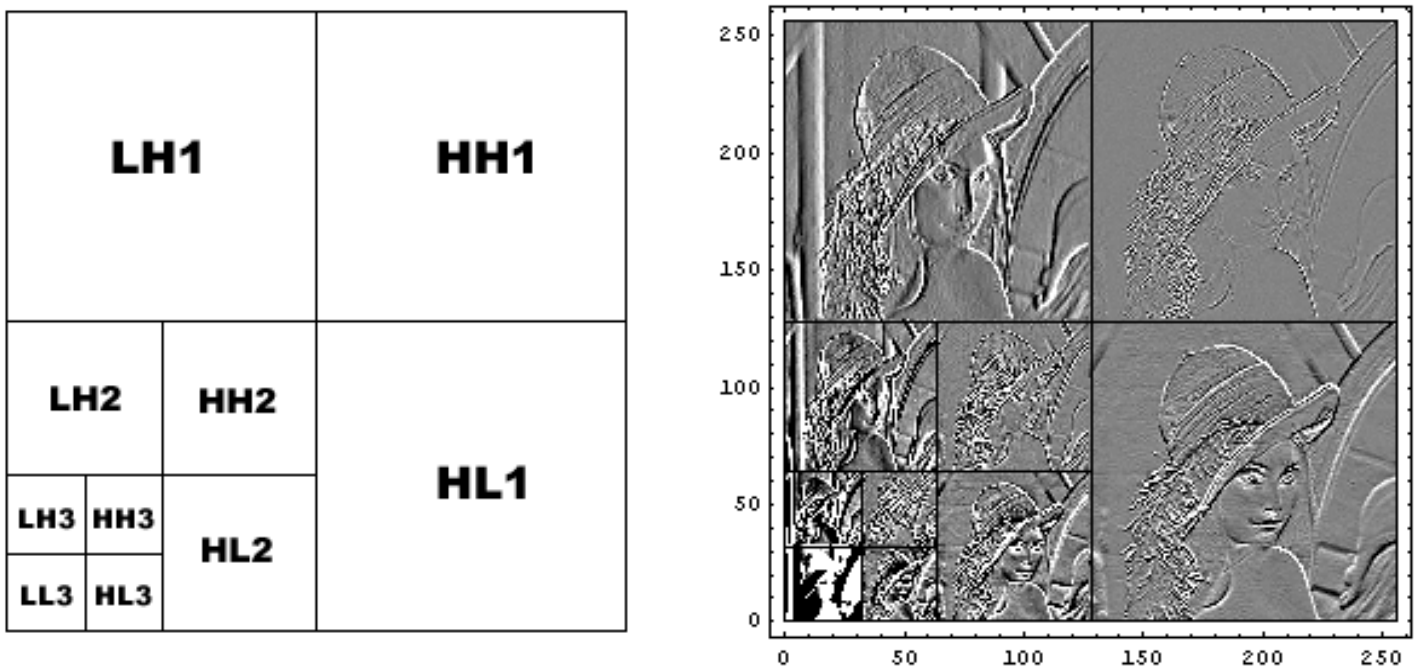
- 이산 여현 변환(DCT, Discrete Cosine Transform)과 달리 블록 효과가 없고, 압축률 또한 높으므로 저속의 비트 레이트에서 뛰어난 품질의 영상을 제공.
  - 공학에서 이미지 압축과 음성 분석, 패턴 인식, 그리고 컴퓨터 비전 등 다양한 분야에서 응용
  - JPEG2000의 표준으로 채택 됨.

DWT (Discrete Wavelet Transform)



(그림 3)DWT 분해과정

DWT (Discrete Wavelet Transform)



(그림 4) 3단계 웨이블릿 변환 모델

SWT (Stationary Wavelet Transform)

- 1996년 시불변 웨이블릿 분해로 소개 됨.
- 1차 SWT 변환
  - 고주파 필터와 저주파 필터를 통과하여 원 영상과 크기가 같은 LL 대역 생성.

$$c_{j+1,k} = \sum_{l} h(l)\, c_{j+1,k+2^{j}l}$$: 근사 계수(approximation coefficient)

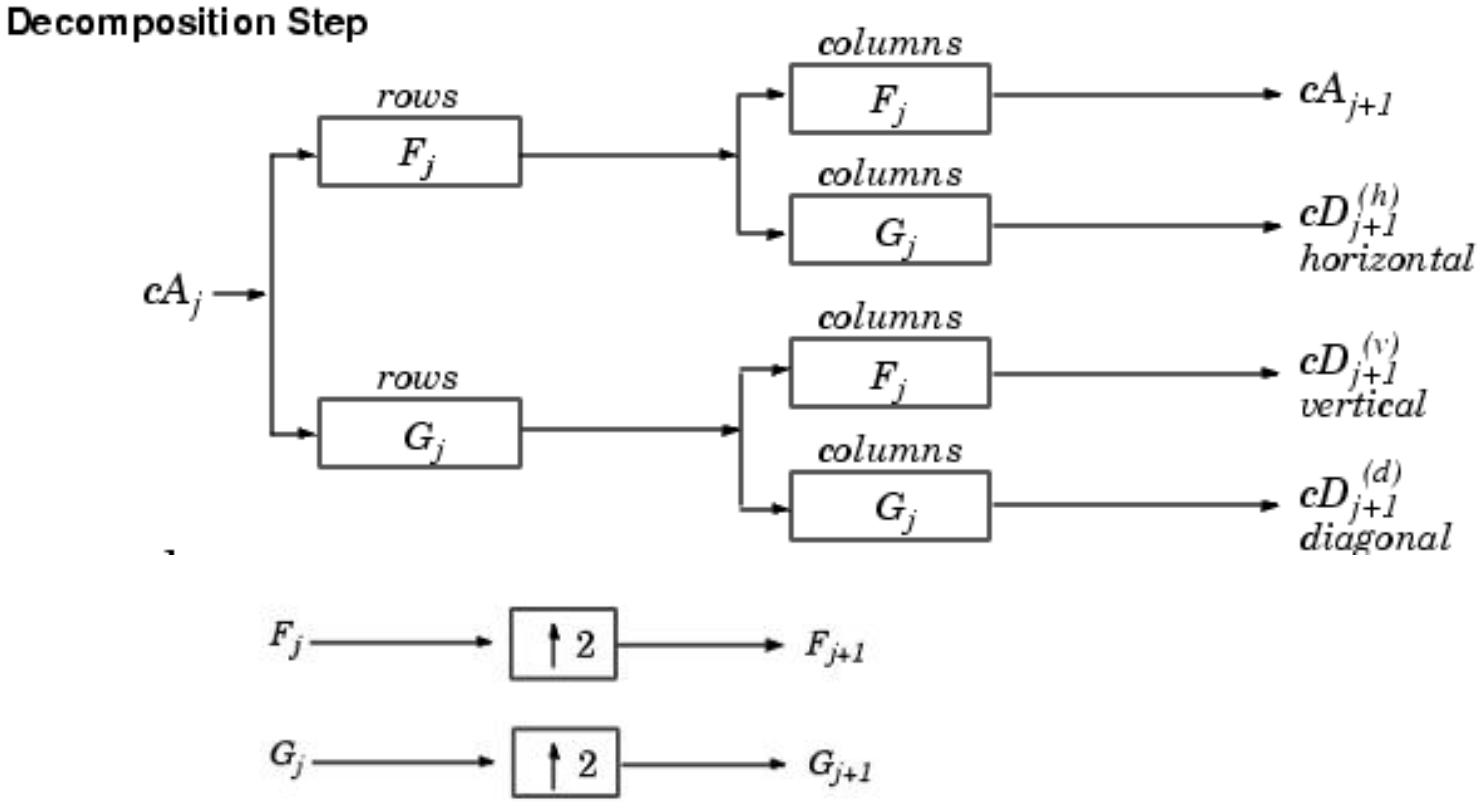
$$\omega_{j+1,k} = \sum_{l} g(l)\, c_{j+1,k+2^{j}l}$$: 세부 계수(discrete coefficient)

(수식 3) 1차원 SWT 공식

- 2차 SWT 변환 :
  - 1차 SWT에서 생성된 LL대역에 고주파 필터와 저주파 필터 값 사이에 “0”을 넣는 방법을 사용해 축소(decimated)를 막음.

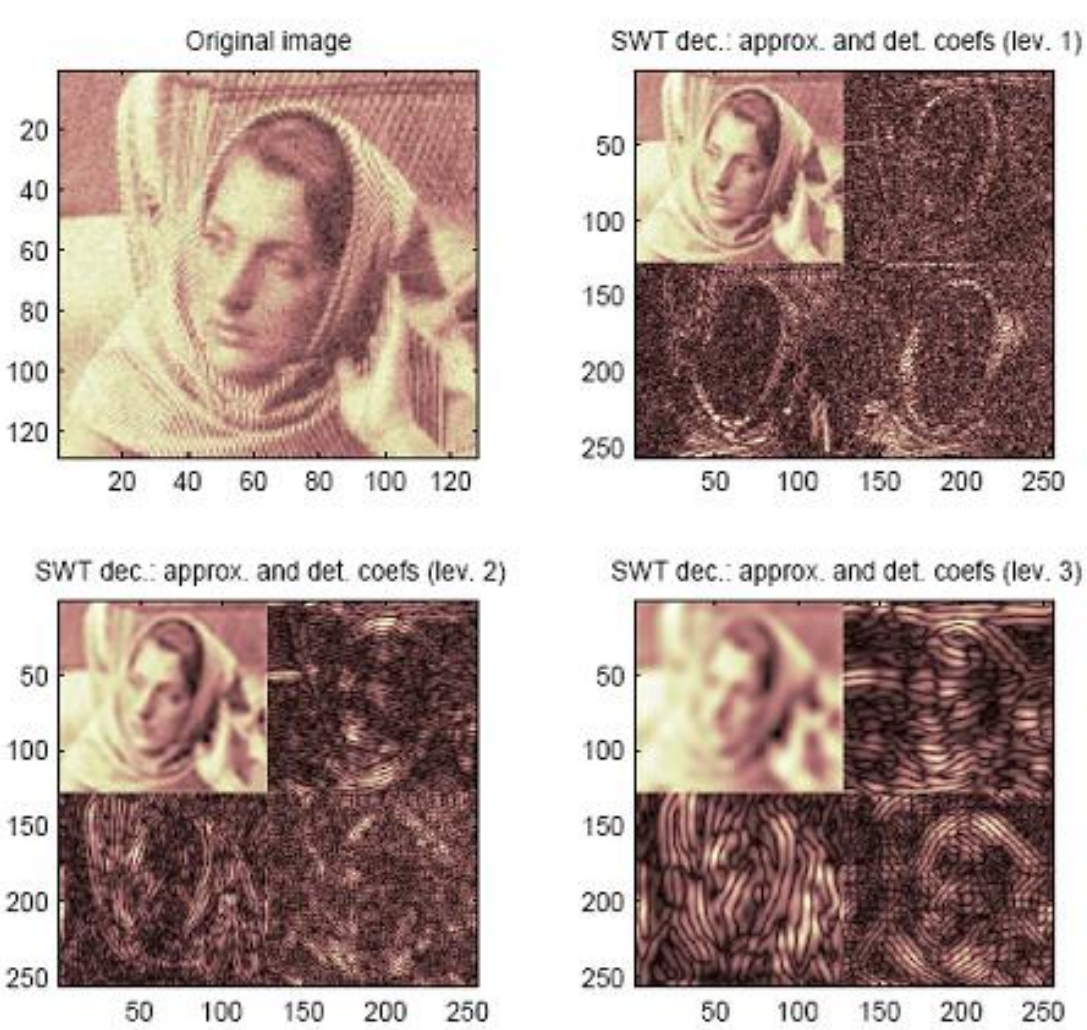
- 잡음 제거에서 DWT의 다운샘플링의 문제점 해결.

SWT (Stationary Wavelet Transform)



(그림 5) SWT 분해과정

SWT (Stationary Wavelet Transform)



(그림 6)SWT 분해 영상

Thresholding Method

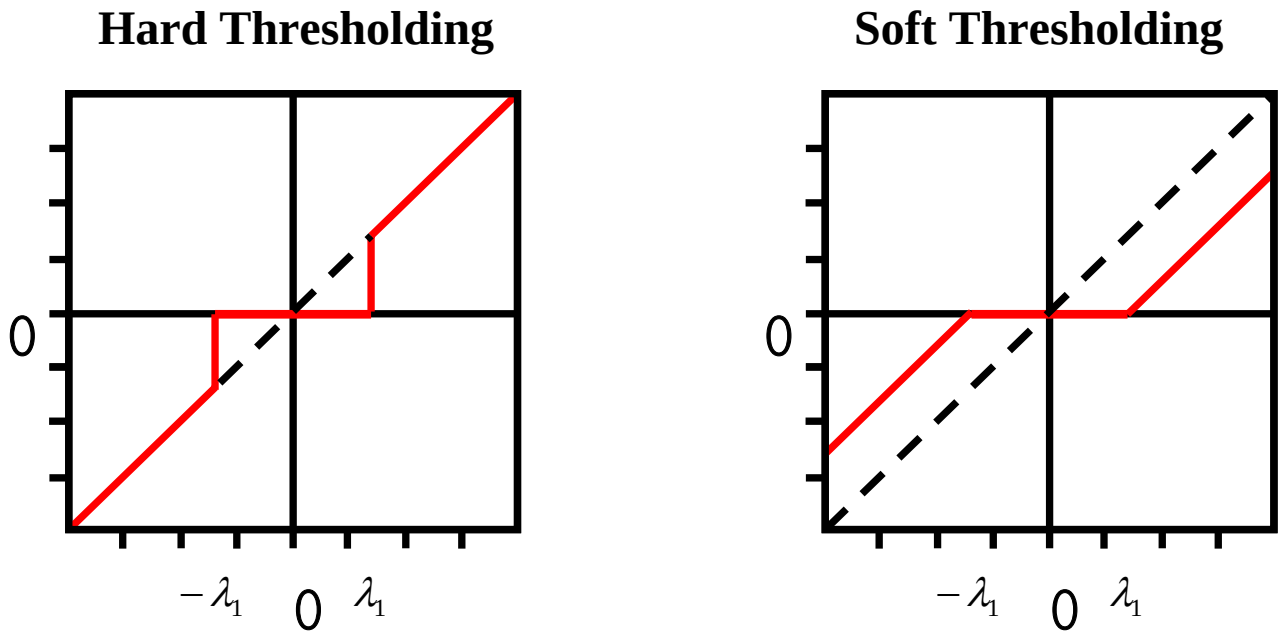
❖ Hard thresholding

- 임계값의 절대값보다 작은 계수들은 “0”으로, 임계값보다 절대값이 큰 계수들은 원래 값을 그대로 갖도록 함.
- 오차의 기대값을 최소화한다는 측면에서 좋은 잡음제거 알고리즘을 제공.
- 인위적인 깁스현상(Gibbs phenomenon)이 발생하여 원하는 매끄러움(smoothness)을 갖지 못함.

❖ Soft threshloding

- 임계값보다 작은 절대값을 가지는 웨이블릿 계수들은 “0”으로, 임계값보다 더 큰 절대값을 가진 웨이블릿 계수들은 임계값과의 차이 값으로 수축(Shrinkage) .
- 이상적인 축소법(ideal shrinkage method)에 보다 근사한 형태인 연속적인 축소법으로서 매끄러운 조건을 따름.
- 연속적이며, 다루기가 더욱 용이하며 영상의 손상없이 잡음이 제거되는 효과적인 기법

Thresholding Method



(그림 7) 함수(점선)에 적용된 축소함수의 결과(붉은 실선)

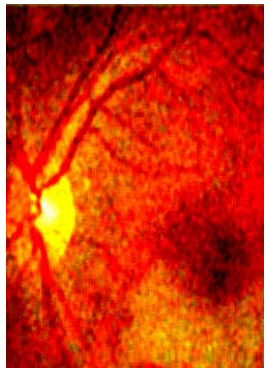
$$T^{hard}(x,\lambda) := \begin{cases} x & if\ |x| \geq \lambda \\ 0 & if\ |x| < \lambda \end{cases}, \qquad T^{soft}(x,\lambda) := \begin{cases} x - \mathrm{sgn}(x)\,\lambda & if\ |x| \geq \lambda \\ 0 & if\ |x| < \lambda \end{cases},$$

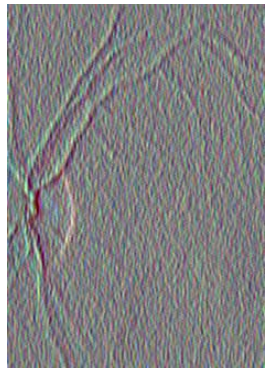
(수식 4) Hard Thresholding과 Soft Thresholding 수식

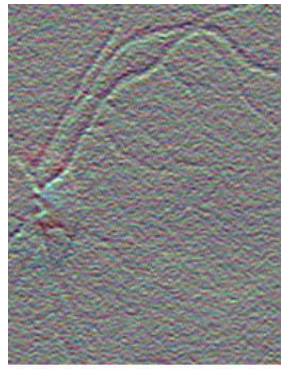
제안 알고리즘

잡음 영상

SWT







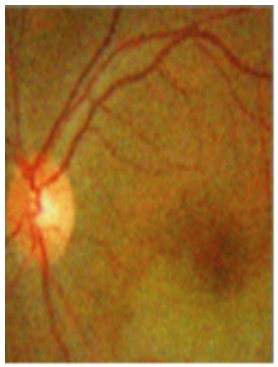
HL LH HH

각 Sub-Band 임계값(θ) 결정

$$\frac{HL + LH}{2}$$

Soft Threshold

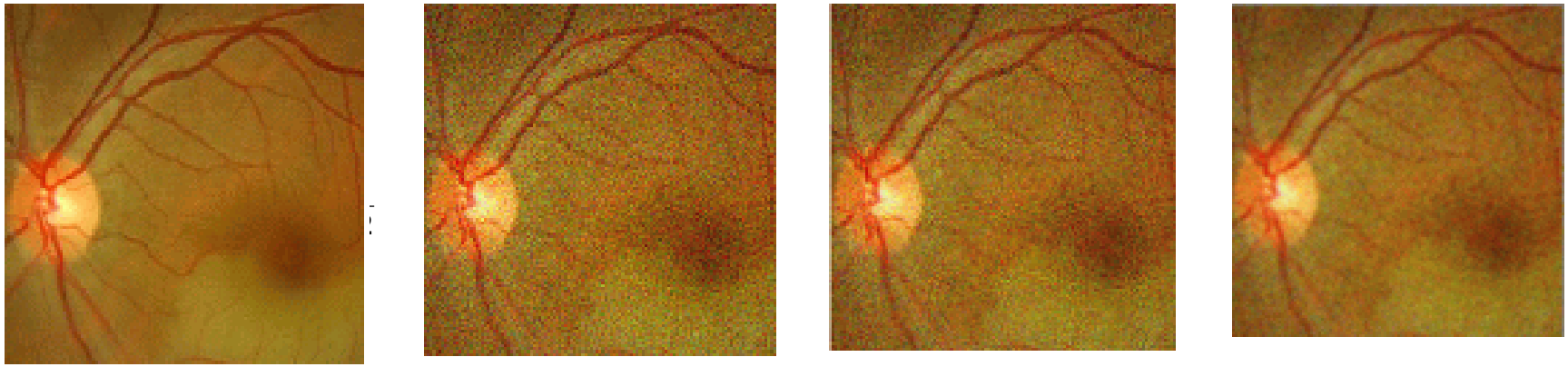
ISWT



잡음 제거 영상

실험 결과 및 결론

실험 조건
- 입력 영상 : 24bit의 가우시안 잡음(10%)이 들어간 영상
- SWT에 Haar 필터($[1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2}]$ $[-1/\sqrt{2}, 1/\sqrt{2}]$)



(a) 원영상 (b) 가우시안 잡음(10) (c) DWT한 영상 (d) SWT한 영상

(그림 8) 실험을 통한 영상 비교

실험 결과 및 결론

❖ 결론

- 잡음 영상에 DWT를 이용한 필터와 SWT를 이용한 필터를 적용시키고 성능평가 함.
  - ❖ 특히 SWT는 잡음을 제거할 때 해상도를 유지하여 원본 영상의 특성을 잘 보존함.

- 웨이블릿 변환은 경계는 보존하면서 잡음을 효과적으로 제거함.

- 의료영상과 같이 잡음에 민감한 영상처리에 SWT를 활용한 잡음제거가 효과적일 것으로 기대함.

참고문헌

[1] H. Choi and R. G. Baraniuk, “Multiple basis wavelet denoising using Besov projections,” Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, ICIP'99, Kobe, Japen, October 1999

[2] C. S. Burrus, R. A. Gopinath, H. Guo, “Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms,” Prentice Hall, 1998, pp.31-40

[3] S. Mallat, “A Theory for multi-resolution Signal Decomposition : The Wavelet Representation,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 11, July 1989, pp.674-693

[4] S. Pittner, J. Schneid, and C. W. Ueberhuber, “Wavelet Literature Survey,” Technical University of Vienna, Austria, 1993

[5] D. L. Donoho and I. M. Johnstone, “Ideal Spatial Adaptation via wavelet Shrinkage,” Biometrica, Vol.81, 1994

[6] D. L. Donoho and I. M. Johnstone, G. Kerkyacharian, and D. Picard. “Wavelet Shrinkage: Asymptopia” J. Roy. Statistic. Soc. Series B, 1995, pp.57(2):301-369

[7] David L. Donoho and Iain M. Johnstone, 1993, “Ideal Spatial Adaptationn via Wavelet Shrinkage,” Stanford University.

[8] David L. Donoho, 1995, “Denoising by soft thresholding,” IEEE Tans. Inform. Theory, vol.41, pp.613~627.

[9] J.C.Perquet, H, Kim, and H.Carfantan, "ime-invariant orthonormal wavelet representations." IEEE Trans. Signal Processing, vol.44, pp.1964-1970, Aug.1996

[10]Nason, G. and Siverman, B.(1995) "The stationary wavelet transform and some statistical applications", Wavelet and statistics, Springer Lecture Notes in Statistics 103, Springer-Verlag, New York, pp.281-300

[11] X.H.Wang, Robert S.H.istepanisn, "Microarray Image Enhancement by Denoising Using Stationary Wavelet Transform",IEEE Transctions on Nanobioscience, vol.2, no.4, December 2003

[12]조현숙, 이형. ” 잡음 제거를 위한 웨이블릿 임계값 결정”. 정보처리학회논문지B, 2001년12월 8-B권 6호