

웨이브렛 상세 영역 변환을 이용한 임펄스 잡음 제거

차 성 원* · 신 재 호**

A study on removing the impulse noise using wavelet transformation in detail areas

Cha, Seong-Won · Shin, Jae-Ho

〈Abstract〉

The impulse noise is very common and typical noise in the digital image. Many methods are invented in order to remove the impulse noise since the development of Digital Image Processing. For example, the median filter has been used for removing the impulse noise. In this paper, we try to remove the impulse noise using wavelet transformation in the wavelet-transformed detail areas. We also compare the algorithm with median filter with the visual and numerical methods. The result using the algorithm in this paper was much better than the median filter in both removing the noise and keeping the edges. The proposed algorithm needs more calculating time but has more advantages than the median filter has.

Key Words : Computer Technology, Image Processing, Wavelet Transform

I. 서론

디지털 영상에서 여러 가지 종류의 잡음 형태가 있으나 임펄스 잡음(impulse noise)은 디지털 영상에서 대표적이고 가장 흔한 잡음이다. 임펄스 잡음은 카메라 센서 불량, 영상 전송의 통신로의 노화 또는 조명의 불량 등에 의해 발생한다.

임펄스 잡음은 크게 두 종류로 나뉘어 질수 있다. 하나는 가장 흔히 볼 수 있는 것으로 소금 잡음(salt noise)이라 불리는 것으로 마치 영상에 소금이 뿌려져 있는 것처럼 보이는데 잡음은 모두 고명도이다. 다른 하나는 소

금과 후추 잡음(salt and pepper noise)이라 불리는 것으로 영상에 소금과 후추가 뿌려져 있는 것처럼 보여 이런 이름으로 불려진다. 이 잡음은 고명도와 저명도의 두 가지 형태를 가지고 있다.

또한 임펄스 잡음은 포화 임펄스 잡음과 비포화 임펄스 잡음으로 나누어진다. 포화 임펄스 잡음은 주로 카메라의 플래시(Flash)에서 발생하는데 이름에서 알수 있는 바와 같이 대부분의 잡음들이 영상이 가질 수 있는 가장 밝은 값에 근접한 값을 가지고 있다. 예를 들면 한 픽셀이 8 비트인 영상에서 픽셀들이 가질 수 있는 값은 0에서 255까지인데 이런 잡음들은 대부분 255에 가까운 값을 가지고 있다. 이런 유형의 임펄스 잡음은 제거가 비교적 쉽다. 조명이 비정상적으로 밝지 않으면 정상 영상의 픽

* 동국대학교 신호처리연구소

** 동국대학교 전자공학과 교수

셀 값은 이렇게 높지가 않다. 그러므로 포화 임펄스 잡음은 쉽게 구별할 수 있다.

비포화 잡음은 영상의 픽셀 값과 비슷한 값을 가지는 유형이다. 이 잡음은 정상 영상의 픽셀들과 구별하기가 힘들어 제거하기가 더 어려운 유형이다.

본 논문에서는 비포화 임펄스 잡음을 임펄스 잡음이라고 칭하고 앞으로 이 용어를 사용하겠다.

II. 임펄스 잡음

<그림 2>는 원 영상 <그림 1>에 5%의 임펄스 잡음이 포함되어 있는 영상이다. 5%의 임펄스 잡음이 포함되어 있다는 의미는 본 영상에서 5%의 정보 손실이 있고 이 정보를 복구 할 수 있는 방법이 없다는 뜻이다. 게다가 픽셀이 정보인지 잡음인지 알 수 있는 방법도 없다. 단지 임펄스 잡음은 고주파란 사실만 알고 있을 뿐이다.

임펄스 잡음 제거 알고리즘에는 여러 가지가 있으나 일반적으로 평균값 필터(mean filter)와 중간값 필터(median filter)[1]를 가장 많이 사용한다. 이들 필터는 영상을 분할하여 이들의 평균값이나 중간값을 구하는 방법이다. 즉 영상에서 3x3 또는 5x5 등의 픽셀(pixel)로 나누어 이들의 평균값 또는 중간값을 구해 한 픽셀로 대체한다.

중간값 필터는 포화 임펄스 잡음 제거에 탁월한 효과가 있고 비교적 계산량이 적은 이유로 임펄스 잡음 제거

필터로 많이 활용되고 있다.

그러나 중간값 필터뿐만 아니라 거의 모든 임펄스 잡음 제거 필터들이 고역을 차단하는 저역 통과 필터(lowpass filter) 효과가 있어 고주파인 윤곽선(edge)이 제거되어 영상이 흐려지는 단점이 있다.

임펄스 잡음의 제거에 대한 궁극적인 목표는 되도록 윤곽선을 남겨놓고 임펄스 잡음만 제거하는 것이다.

III. 웨이브렛 변환

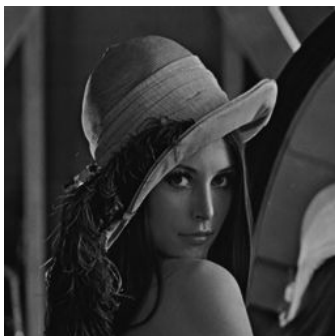
웨이브렛 변환(Wavelet Transform)이 알려지기 시작한지가 오래 되지 않아서 비교적 새로운 기술이라고 생각하기 쉬우나 웨이브렛의 역사는 사실 100년 이상이다. 별로 큰 이용을 못 느끼고 있었던 이 기술은 단시간 푸리에 변환(Short-Time Fourier Transform)의 단점인 불확정성 원리(Uncertainty Principle)가 알려지면서 그 대안으로 발전되어 왔다. 오늘날 웨이브렛 변환은 여러 분야에서 광범위하게 응용되고 있다.

신호 $s(t)$ 의 연속 웨이브렛 변환(Continuous Wavelet Transform)의 정의는 다음과 같다.

$$CWT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt$$

여기서 $\psi(t)$ 는 기초 웨이브렛(Basic Wavelet) 또는 모 웨이브렛(Mother Wavelet)이라 불린다.

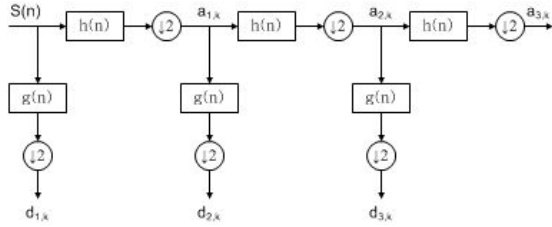
이산 웨이브렛 변환(DWT: Discrete Wavelet Transform)을 위해 신호를 고주파 성분과 저주파 성분으로 나누는 단순하고 직관적인 알고리즘이 개발 되었다^[2]. 도식으로 다음과 같다.



<그림 1> 원 영상



<그림 2> 5% 임펄스 잡음이 포함된 영상



<그림 3> 웨이브렛 분해 도식

<그림 3>에서 보는 바와 같이 신호를 고주파와 저주파 성분으로 분해한다. 여기서 a_k 를 근사(approximation)라고 하고 d_k 를 상세(detail)이라 한다. 근사 영역은 고주파 영역이고 상세 영역은 저주파 영역이다. 일반적으로 웨이브렛 변환에 의한 신호 처리에서 상세 영역을 적절히 분해 시킨다.

아래는 lena 영상을 1 단계 변환한 그림이다.



<그림 4> 2 차원 1 단계 이상 웨이브렛 변환

그림에서 'L'과 'H'는 각각 저주파와 고주파를 나타낸다. 영상의 저주파 성분과 고주파 성분이 나누어진 것을 볼 수 있다. LL은 근사 영역이고 나머지는 모두 상세 영역에 속한다.

IV. 본 논문에서 제안하는 알고리즘

본 논문의 알고리즘은 다음과 같은 2가지 가정을 한다.

- 가정 1) 임펄스 잡음과 윤곽선은 모두 고주파다.
- 가정 2) 윤곽선은 임펄스 잡음보다 더 고주파다.

<가정 1>에 대해서는 반론이 없을 것이라고 생각하고 문제는 <가정 2>이다. 앞서 언급했던바와 같이 비포화 임펄스 잡음의 명도는 그다지 높지 않다. <그림 2>에서 보는 것처럼 윤곽선이 더 뚜렷하고 이 의미는 윤곽선이 더 고주파라는 것을 의미한다. 조금 무리가 있어 보이는 주장이지만 이에 대해서 <그림 5>를 보면서 다시 언급할 것이다.

더 고주파인 윤곽선을 얻기 위해 상세 영역을 다시 웨이브렛 변환을 한다. 상세 영역의 웨이브렛 변환은 비정상적인 방법이며 웨이브렛 팩킷(wavelet packet)을 제외하고 일반적으로 사용되고 있지 않다.

<그림 5>는 <그림 2>를 1 단계 웨이브렛 변환한 것을 상세 영역만 다시 웨이브렛 변환한 영상이다. 즉 고주파 세 영역을 다시 1 단계 웨이브렛 변환을 한 것이다.



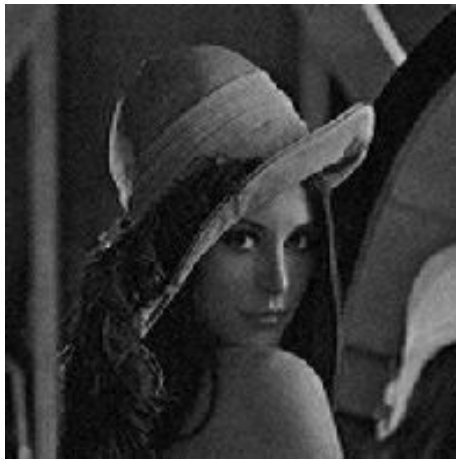
<그림 5> 상세 영역의 웨이브렛 변환

<그림 5>에서 보듯이 상세 영역에서 LH 영역에서는 아래 2 영역, HL 영역에서는 오른쪽 2 영역 그리고 HH 영역에서는 오른쪽 아래 단 하나의 영역에서 윤곽선을 볼 수 있다. 그 외의 영역에서는 윤곽선이 거의 없으며 단지 임펄스 잡음만이 보일 뿐이다. LH 영역에서는 윤곽선이 아래 영역에 HL 영역에서는 윤곽선이 오른쪽 두 영역에서 보이는 이유는 영상을 먼저 왼쪽에서 오른쪽으로 1차원 웨이브렛 변환을 한 후 다시 위에서 아래로 1차원 웨이브렛 변환을 하기 때문에 발생하는 것으로 당연한 결과이다.

<그림 5>는 <가정 2>가 옳음을 보여준다.

윤곽선을 가능한 보존하면서 임펄스 잡음을 제거하기 위해 앞서 언급한 5개의 영역만 남겨 놓고 상세 영역의 모든 영역을 '0'으로 대치하여 역 웨이브렛 변환을 한다.

<그림 6>은 이 알고리즘으로 임펄스 잡음을 제거한 영상이다.



<그림 6> 본 논문의 알고리즘을 사용하여 임펄스 잡음을 감소한 영상

<그림 7>에 임펄스 잡음이 포함된 영상, 3x3 중간값 필터로 임펄스 잡음을 제거한 영상 및 본 논문의 알고리즘으로 잡음을 제거한 영상의 확대한 영상을 비교하였다.



a) 임펄스 잡음 영상



b) 3x3 중간값으로 제거된 잡음



c) 본 논문의 알고리즘으로 잡음을 제거한 영상

<그림 7> 확대한 영상

<그림 7>의 b)와 c)를 비교해 보면 중간값 필터보다 본 논문의 알고리즘이 비교적 윤곽선을 잘 보존하고 있는 것을 알 수 있다.

V. 알고리즘의 평가

잡음 제거 알고리즘의 평가로 시각적과 수치적인 방법이 있다. 시각적인 평가는 이미 언급했다.

수치적인 방법으로 자주 쓰이는 것은 NMSE (Normalized Mean Square Error) 이다.^[9] 이 방법은 원본 영상 즉 잡음이 전혀 포함되어 있지 않은 영상과 픽셀의 1 대 1 비교를 하는 상당히 직관적이고 설득력이 있는 방법이다.

NMSE는 다음과 같이 정의된다.

$$NMSE = \frac{\sum_{i=0}^{N-1M-1} \sum_{j=0}^{N-1M-1} [O_{i,j} - F_{i,j}]^2}{\sum_{i=0}^{N-1M-1} \sum_{j=0}^{N-1M-1} [O_{i,j}]^2} \quad (\text{식 1})$$

$O_{i,j}$: Original Image

$F_{i,j}$: Filtered Image

여기서 N과 M은 각각 영상의 세로 및 가로 픽셀수이다.

NMSE 값은 작을수록 더 원본 영상에 유사한, 즉 잡음을 잘 제거했다는 의미이다.

NMSE는 잡음의 종류와 잡음이 첨가된 정도에 따라 같은 알고리즘이라도 차이가 있고 잡음이 제거되지 않은 정도에 따라 NMSE 값이 급격히 올라감을 NMSE 정의식으로 예상 할 수 있다. 일반적으로 NMSE 값이 좋으면 시각적으로도 좋지만 꼭 그렇다는 보장은 없다. 시각적으로 좋아도 NMSE 값은 나쁠 경우도 있고 그 반대의 경우도 있을 수 있다.

<그림 1>의 원본 영상을 임펄스 잡음이 포함된 영상 <그림 2>, 3x3 중간값 필터 및 본 논문에서 제안한 알고리즘의 NMSE 값을 <표 1>에서 비교하였다.

<표 1> 각 영상의 NMSE 값

알고리즘	NMSE 값
잡음 영상	0.5927319480
중간값 필터	0.3603837053
제안한 알고리즘	0.3121604351

중간값 필터나 본 논문의 알고리즘이나 모두 잡음이 포함된 영상보다 NMSE 값이 좋았다. 놀랍게도 시각적으로 크게 좋았던 본 논문의 알고리즘의 NMSE 값이 중간값 필터보다 많이 좋지는 않았다.

VI. 결론

임펄스 잡음은 가장 흔한 잡음 중에 하나지만 비포화 임펄스 잡음은 제거하기가 쉽지 않은데 가장 큰 이유는 임펄스 잡음이 픽셀을 덮어 쓰고 그 픽셀에 대한 정보를 조금도 얻을 수 없기 때문이다.

중간값 필터는 계산 시간이 비교적 적게 걸리고 영상의 거의 모든 잡음 종류에 관계없이 적용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 중간값 필터는 일종의 저주파 통과 필터로 고주파를 차단하여 영상이 흐려지는 단점이 있다. 그리고 중간값 필터는 포화 임펄스 잡음에는 상당히 좋은 결과를 보이거나 본 논문에서와 같은 비포화 잡음에서는 그 성능이 떨어진다.

논문의 알고리즘은 윤곽선을 잘 보존하고 있고 비교적 잡음을 잘 제거한다. 물론 본 논문의 알고리즘으로도 임펄스 잡음을 모두 제거하지는 못하지만 5%의 임펄스 잡음이라는 비교적 잡음이 많이 포함된 영상을 윤곽선을 살리고 잡음을 제거하여 만족할 만한 결과를 보여 주었다.

참고 문헌

- [1] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins, "Digital Image Processing using MATLAB", Prentice-Hall, 2003, pp 101~140.
- [2] S. Mallat, "A theory of multi-resolution signal decomposition: The wavelet representation", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989.
- [3] S. Mallet, "A wavelet tour of signal processing", Academic Press, 1999, pp 220~277.
- [4] M. Jansen, P. Onincx, "Second generation wavelets and applications", Springer, 2005.
- [5] R. Gonzales, R. Woods, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992.
- [6] R. Crane, "Simplified approach to Image Processing", Prentice Hall.
- [7] A. K. Louis, "Wavelets", Teubner, 1998.
- [8] 김상희, 문영식, "에지 정보를 이용한 잡음 제거용 적응적 모폴로지 알고리즘", 1996년 제 9회 신호처리 합동 학술 대회 논문집.
- [9] I. Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets", SIAM, 1992.
- [10] Mary Beth Ruskai, "Wavelests and their application", Jones and Barlett Publishers, 1992.
- [11] Nelson H. C. Yung, Andrew H. S. Lai, "Modified CPI Filter Algorithm for Removing Salt-and-Pepper Noise in Digital Image", SPIE Vol. 2727/1439.

■ 저자소개 ■



차성원
Cha, Seong Won

현재 동국대학교 신호처리연구실
1995년 독일 지겐대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 독일 지겐대학교 전자공학과 (공학사)

관심분야 : 신호처리, 영상처리
E-mail : massac51@gmail.com



신재호
Shin, Jae Ho

현재 동국대학교 전자공학과 교수
1987년 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1982년 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1979년 서울대학교 전자공학과 (공학사)

관심분야 : 신호처리
E-mail : jhshin@dongguk.edu

논문접수일 : 2008년 1월 20일,
수정일 : 2008년 3월 1일(1차), 2008년 4월 5일(2차)
게재확정일 : 2008년 4월 15일