
임펄스 잡음 환경에서 영상 복원에 관한 연구

김국승* · 김남호**

A Study on Image Restoration in Impulse Noise Environments

Kuk-Seung Kim* · Nam-Ho Kim**

이 논문은 2008학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(PK-2008-032)

요 약

영상신호 처리 시스템의 전송 과정에서 여러 가지 원인으로 영상의 열화가 발생하고 있으며 열화의 주된 원인은 노이즈에 의한 것으로 알려져 있다. 임펄스 잡음환경에 의해 훼손된 영상의 잡음을 제거하는 대표적인 방법은 SM 필터가 많이 사용되고 있으며 이 필터는 영상의 에지영역에서 특성이 저하되는 경향이 있다. 따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음 환경에서 에지 특성을 고려한 영상을 복원하기 위해 마스크의 형태 및 임펄스 잡음 확률을 이용한 비선형 필터를 제안하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다.

ABSTRACT

In the transmitting process of image signal processing system, there are several different causes of degradation that have been occurring. The main cause of degradation is attributed to the noise. The most representative method of removing noise of image, which is caused by impulse noise environment, is using the SM filter. At edge, the filter has a special feature which has a tendency to decrease. As a result, we proposed a nonlinear filter using the form of mask and the probability of the impulse noise to restore the image considering edge quality in the impulse noise environment. And through the simulation, we compared with the existings and capabilities.

키워드

비선형 필터, 임펄스 노이즈, 열화, 마스크

Key word

Nonlinear Filter, Impulse Noise, Degradation, Mask

* 부경대학교 제어계측공학과

** 부경대학교 제어계측공학과(교신저자, nhk@pknu.ac.kr)

접수일자 : 2009. 12. 29

심사완료일자 : 2010. 02. 16

I. 서 론

영상신호처리 시스템의 신호는 전송과정에서 여러 가지 원인으로 열화가 발생된다. 열화는 영상신호에 잡음이 부가되는 것이며 열화를 발생시키는 대표적인 잡음에는 AWGN(additive white gaussian noise)와 임펄스 잡음(impulse noise) 등이 있다.

임펄스 잡음은 스위칭과 같이 빠른 응답이 있는 상황에서 발견되고 있으며 영상획득 과정에서 발생 한다. 임펄스 잡음은 예리하고 급작스런 교란으로 영상 전반에 걸쳐 무작위로 분포하는 salt and pepper 입자와 비슷하다. 임펄스 잡음에 의해 훼손된 영상의 잡음을 제거하기 위해 간단한 알고리즘으로 우수한 잡음제거 성능을 나타내는 SM(standard median) 필터가 많이 사용되고 있으며, 이를 응용한 WM(weight median) 필터, CWM(center weighted median) 필터, AMF(adaptive switching median filter) 필터와 Min-max 필터 등이 고안되었다. 이러한 필터들은 임펄스 노이즈를 효과적으로 제거하지만, 영상의 에지영역에서 특성이 다소 저하되는 경향이 있다.

따라서 본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여, 처리 마스크의 형태 변화와 방향성분의 잡음밀도에 따라 처리 마스크를 달리 하고 재귀형태를 갖는 비선형 필터를 제안하였다. 그리고 잡음 제거 성능을 확인하기 위해, PSNR(peak signal to noise ratio)를 이용하여 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다.

II. 기존의 방법들

1. Standard median filter

SM 필터는 noisy 영상으로부터 임펄스 잡음 제거에 가장 대표적인 비선형 필터로서, 간단한 알고리즘으로 우수한 잡음제거 성능을 가지며 처리화소와 주변 화소로부터 추정된 화소값을 선택하며 잡음제거를 위한 처리 마스크 M은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$M = \{(s,t) | -N \leq s \leq N, -N \leq t \leq N\} \quad (1)$$

식 (1)에서와 같이 마스크의 크기는 $(2N+1) \times (2N+1)$ 이고, (s,t) 는 처리 마스크 내부의 좌표이며, 이때 SM 필터는 화소의 중간값을 선택한다.

$$Y(i,j) = med\{X(i-s,j-t) | (s,t) \in M\} \quad (2)$$

식 (2)에서 $X(i,j)$ 는 입력영상의 화소값이며, $Y(i,j)$ 는 출력 화소값이다. 또한 $med\{\cdot\}$ 중간값 선택 연산자를 나타낸다[1].

2. Center weighted median filter

WM(weight median) 필터는 다음의 식 (3)과 같이 표현된다.

$$Y(i,j) = med\{M(s,t) \vee X(i-s,j-t) | (s,t) \in M\} \quad (3)$$

식 (3)에서 $M(s,t)$ 는 좌표 (s,t) 의 화소에 대한 가중치를 나타내며, \vee 는 반복 연산자를 의미한다. 식 (3)은 윈도우의 각 위치에 해당하는 화소값 $X(i-s,j-t)$ 를 가중치 $M(s,t)$ 만큼 각각 생성한 후, 화소의 총 개수에 대하여 SM 필터를 적용한 값이다.

그리고 이러한 WM 필터의 특수한 경우로서, 다음의 식 (4)와 같이, 중앙화소에 대해서만 가중치를 적용하고, 주변 화소에 대해서는 $w(s,t) = 1$ 을 적용한 필터를 CWM 필터라 한다[2].

$$Y(i,j) = med\{X(i-s,j-t), 2K \vee X(i,j) | (s,t) \in M\} \quad (4)$$

3. Aaptive switching median filter

SM 필터들은 잡음화소와 비 잡음 화소에서 모두 동작하므로 잡음 제거 시 원 영상에 대한 훼손을 가져온다. AMF는 잡음화소와 비 잡음 화소를 판별하여 비 잡음 화소에서 원 영상을 보존하며 잡음 화소에서 동작하는 필터이며 식 (5)와 같이 정의된다.

$$F_{i,j} = med\{X(i,j)\}, \quad 0 \text{ or } 255 \notin X(i,j)$$

$$Y(i,j) = \begin{cases} F_{x,y}, & X(i,j) = 0 \text{ or } 255 \\ X(i,j), & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)의 $X(i,j)$ 는 마스크 내의 잡음화소를 제외한 요소들을 나타내며, $F_{i,j}$ 은 $X(i,j)$ 의 메디안 값을 나타낸다.

하지만, AMF필터는 비교적 많은 양의 연산과 복잡한 알고리즘을 필요로 하기 때문에 긴 처리 시간을 갖는 단점을 가지고 있다[3].

4. Min-max filter

임펄스 노이즈를 제거함과 동시에 에지 보존과 처리 시간의 관점에서 비교적 개선된 성능을 나타내는 Min-max 연산에 기반한 peak and valley 필터는 이웃화소의 최대값과 최소값을 이용하여 중앙화소의 임계값을 제한하는 형태로서 다음 식 (6)과 같이 표현된다

$$y(i,j) = \begin{cases} \max\{X(i-s, j-t)\}, & \text{if } X(i,j) > \max\{X(i-s, j-t)\} \\ \min\{X(i-s, j-t)\}, & \text{if } X(i,j) < \min\{X(i-s, j-t)\} \\ X(i-s, j-t), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)과 같은 peak and valley 필터는 일반적으로 $N=1$ 을 적용한 $-1 \leq s \leq 1, -1 \leq t \leq 1$ 범위의 (3×3) 윈도우 내의 이웃화소를 사용하며, 노이즈의 제거과정과 처리화소의 훼손여부를 판단하는 과정을 동시에 수행하는 필터이다.

III. 제안한 방법

본 논문에서 제안한 방법은 임펄스 잡음으로 훼손된 영상의 임펄스 잡음을 제거하기 위해 처리 마스크의 화소에 최대값의 크기에 따라 적용 마스크를 결정하며 방향 성분의 최대값과 최소값을 이용하여 처리된 화소값

의 크기를 제한하도록 하였으며, 처리된 화소는 다음 화소의 처리과정에서 이웃 화소로 사용되어지는 재귀형태를 갖도록 하였다. 훼손된 영상의 임의의 좌표 (i,j) 에 변형된 마스크를 그림 1에서 나타내었으며, 마스크내의 잡음 검출하는 과정과 잡음을 제거하는 단계의 과정을 거치게 된다.

p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
p_{11}	p_{12}	p_0	p_{13}	p_{14}
p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}
p_{20}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}

그림 1. 노이즈 검색 마스크 (5×5)
Fig. 1. Noise detection mask (5×5)

원 영상의 훼손여부를 판별하고 훼손된 화소에 대하여 잡음제거 과정을 적용하기 위해서 (5×5) 의 마스크의 p_0 을 임펄스 잡음에 의해 훼손된 화소로 가정할 때 p_0 의 주변 화소를 이용하여 다음 식 (7), (8)과 같이 최대값 μ_{max} 와 최소값 μ_{min} 을 구한다.

$$\mu_{max} = \max\{p_i | 1 \leq i \leq 24\} \quad (7)$$

$$\mu_{min} = \min\{p_i | 1 \leq i \leq 24\} \quad (8)$$

원영상의 훼손 여부는 아래 식 (9)에서 α 가 1인 경우는 p_0 가 임펄스 잡음으로 인해 훼손된 화소로 간주하며 그렇지 않은 경우는 원화소로 간주한다.

$$\alpha = \begin{cases} 1, & p_0 \leq \mu_{min} \text{ or } p_0 \geq \mu_{max} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (9)$$

식 (9)를 통해서 임펄스 잡음으로 훼손된 화소와 훼손되지 않은 화소로 구분되며 훼손된 화소에 대한 위치 정보를 얻는다. 훼손된 화소 주변 화소의 임펄스 잡음분포 비율에 따라 처리 마스크 형태가 달리 적용하며, $P_0 \leq \mu_{min}$ 인 경우 Square mask가 적용되고 $P_0 > \mu_{max}$ 인 경우 제안된 mask가 적용된다.

잡음 검출 마스크를 통해 잡음을 검출하고 제안한 마스크와 사각 마스크내의 임펄스 잡음 분포비율을 검사하기 위해 4가지 방향 성분에 따라 잡음 밀도를 검사하

는 영역을 나누었으며 그림 2와 그림 3을 통해 나타내었으며, Square mask와 제안된 mask의 방향 성분을 식 (10)과 (11)을 통해 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 M_{s1} &= \{P_7 \sim 9, P_{12}, P_{13}\} \\
 M_{s2} &= \{P_{12}, P_{13}, P_{16} \sim 18\} \\
 M_{s3} &= \{P_7, P_8, P_{12}, P_{16}, P_{17}\} \\
 M_{s4} &= \{P_8, P_9, P_{13}, P_{17}, P_{18}\}
 \end{aligned} \tag{10}$$

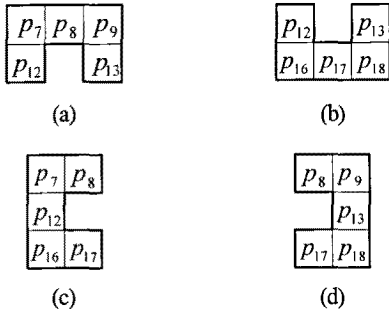


그림 2. 사각마스크에 의한 잡음검색
 (a) M_{S1} (b) M_{S2} (c) M_{S3} (d) M_{S4}
 Fig.2. Noise detection for Square mask
 (a) M_{S1} (b) M_{S2} (c) M_{S3} (d) M_{S4}

$$\begin{aligned}
 M_{p1} &= \{P_1, P_3, P_5, P_7 \sim 9, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}\} \\
 M_{p2} &= \{P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{16} \sim 18, P_{20}, P_{22}, P_{24}\} \\
 M_{p3} &= \{P_1, P_3, P_7, P_8, P_{11}, P_{12}, P_{16}, P_{17}, P_{20}, P_{22}\} \\
 M_{p4} &= \{P_3, P_5, P_8, P_9, P_{13}, P_{14}, P_{17}, P_{18}, P_{22}, P_{24}\}
 \end{aligned} \tag{11}$$

임펄스 잡음 밀도 검사 영역에 따라 $M_{S1} \sim S4$ 와 $M_{P1} \sim P4$ 까지의 최대값을 식 (10), (11)을 이용하여 각 마스크의 형태에 따른 임펄스 잡음 비율을 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 MAX_s &= \max\{I_{s1}, I_{s2}, I_{s3}, I_{s4}\}/5 \\
 MAX_p &= \max\{I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{p4}\}/10
 \end{aligned} \tag{12}$$

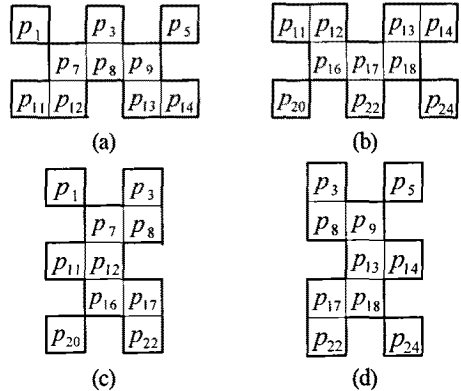


그림 3. 제안된 마스크에 의한 잡음검색
 (a) M_{P1} (b) M_{P2} (c) M_{P3} (d) M_{P4}
 Fig.3. Noise detection for Proposed mask
 (a) M_{P1} (b) M_{P2} (c) M_{P3} (d) M_{P4}

$$\begin{aligned}
 MAX_s &= \max\{I_{s1}, I_{s2}, I_{s3}, I_{s4}\}/5 \\
 MAX_p &= \max\{I_{p1}, I_{p2}, I_{p3}, I_{p4}\}/10
 \end{aligned} \tag{12}$$

여기서 $I_{S1}, I_{S2}, I_{S3}, I_{S4}$ 는 $M_{S1}, M_{S2}, M_{S3}, M_{S4}$ 의 임펄스 잡음 밀도이고, $I_{P1}, I_{P2}, I_{P3}, I_{P4}$ 는 $M_{P1}, M_{P2}, M_{P3}, M_{P4}$ 의 임펄스 밀도이다.

식 (12)에 표현된 MAX_s 와 MAX_p 의 크기에 따라 $MAX_s \leq MAX_p$ 일 경우에는 Square mask가 적용되며, $MAX_s > MAX_p$ 일 경우에는 제안된 mask가 적용된다. 임펄스 잡음 제거시 마스크내에 분포된, 임펄스 잡음 분포 밀도가 낮은 경우 잡음제거 성능이 용이하기 때문이다. 식 (12)에 모든 경우에 대해서 임펄스 잡음을 제거하기 위해, Square mask와 제안된 mask는 방향성분에 따라 그림 4와 같이 4부분으로 분할된다. Square mask의 방향성분은 식 (13)과 같이 표현된다.

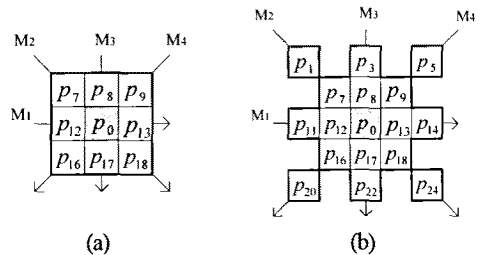


그림 4. 방향 성분 (a) 사각 마스크 (b) 제안된 마스크
 Fig. 4. Directional components (a) Square mask
 (b) Proposed mask

$$\begin{aligned} M_1 &= \{p_{12}, p_{13}\}, & M_2 &= \{p_7, p_{18}\} \\ M_3 &= \{p_8, p_{17}\}, & M_4 &= \{p_9, p_{16}\} \end{aligned} \quad (13)$$

Proposed mask의 경우 식 (14)와 같다.

$$\begin{aligned} M_1 &= \{p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}\}, & M_2 &= \{p_1, p_7, p_{18}, p_{24}\} \\ M_3 &= \{p_3, p_8, p_{17}, p_{22}\}, & M_4 &= \{p_5, p_9, p_{16}, p_{20}\} \end{aligned} \quad (14)$$

위의 식 (13), (14)에서 각 방향성분으로부터 잡음밀도의 최대값 w_{M}^i 과 최소값 w_{m}^i 을 얻을 수 있으며 다음 식 (15)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \omega_{M}^i &= \max\{M_i\} \quad 1 \leq i \leq 4 \\ \omega_{m}^i &= \min\{M_i\} \quad 1 \leq i \leq 4 \end{aligned} \quad (15)$$

또한 입력화소에 대한 gray level을 제한하기 위해 식 (16)에서 최대값 w_{M}^i 과 최소값 w_{m}^i 을 이용하여 임계값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda_{M} &= \min\{\omega_{M}^i | 1 \leq i \leq 4\} \\ \lambda_{m} &= \max\{\omega_{m}^i | 1 \leq i \leq 4\} \end{aligned} \quad (16)$$

그리고 식 (17)에서 임펄스 잡음에 의해 훼손된 화소를 원 화소에 대한 추정값으로 처리하며, 처리된 화소는 다음 화소의 처리과정에서 이웃 화소로 사용 되어지는 재귀형태를 갖도록 하였다.

$$X(i, j) \leftarrow \begin{cases} \lambda_{M}, & \text{if } X(i, j) > \lambda_{M} \\ \lambda_{m}, & \text{if } X(i, j) < \lambda_{m} \\ X(i, j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 제안된 필터의 잡음제거 성능을 평가하기 위해, (512×512)크기의 lena 영상을 이용하였으며, PSNR 값을 이용하여 기존의 방법과 성능을 비교하였다. 그림 5는 lena(512×512)에 중첩된 임펄스 노이즈(40%)

를 제거한 기존의 필터와 제안한 필터의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 훼손되지 않은 원영상이며 (b)는 임펄스 잡음(40%)에서 훼손된 영상이고, (c)~(e)는 각 기존의 CWM, AMF, Min-max 필터의 처리 결과이며, (f)는 제안한 필터로 처리한 결과이다. 그리고 그림 5(c)에서 CWM 필터는 임펄스 잡음제거 특성이 미흡하며, (d)에서 AMF는 임펄스 잡음이 제거 특성 및 에지 영역에서 보존 성능이 우수하지만 시각적 영상오류를 나타내고 있다. (e)에서 Min-max 필터는 에지 영역의 보존은 우수하지만 임펄스 잡음제거 부분이 미흡함을 특성을 나타내고 있다. (f)에서 제안된 필터는 임펄스 잡음 제거 및 에지 영역에서의 영상이 복원 특성이 우수함을 나타내고 있다.

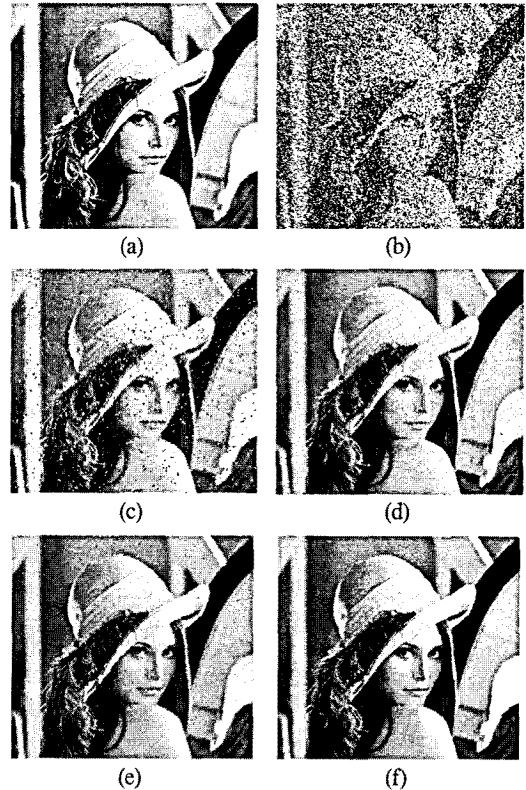
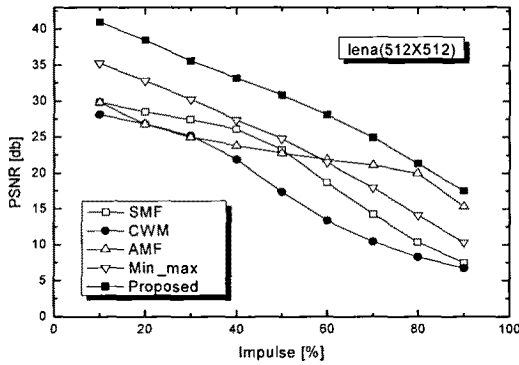


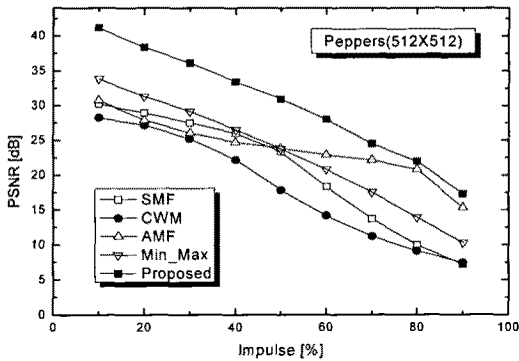
그림 5. 시뮬레이션 결과
 (a) 테스트 이미지 (b) 노이즈 이미지(40%) (c) CWM
 (d) AMF (e) 민-맥스 (f) 제안된 필터
 Fig. 5. Simulation result.
 (a) Test image (b) Noisy image(40%) (c) CWM
 (d) AMF (e) Min-max (f) Proposed filter

그림 6은 임펄스 잡음의 변화에 따라 훼손된 영상의 잡음 제거과정에 따른 PSNR 특성을 나타낸 것이다. 그림의 결과를 통해서 임펄스 노이즈 70% 보다 적은 영역에서는 제안한 방법이 기존의 방법들 보다 우수하다는 것을 나타내고, 특히 잡음 밀도가 낮은 영역에서 잡음 제거 성능이 우수하였다.

터를 제안 하였으며, 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 알고리즘이 다소 복잡한 단점은 있으나, 영상의 에지영역을 보존하며, 잡음 밀도가 낮은 영역에서 잡음제거 특성이 우수하였다. 따라서 제안한 방법은 임펄스 잡음환경에서 운용되고 있는 영상처리 시스템에서 유용하게 적용될 것으로 사료된다.



(a)



(b)

그림 6. 임펄스 잡음변화에 따른 PSNR
 (a) lena(512×512) (b) peppers(512×512)
 Fig. 6. PSNR with variation of Impulse Noise.
 (a) lena(512×512) (b) peppers(512×512)

V. 결 론

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위하여, 처리 마스크의 형태 변화와 방향성분의 잡음밀도에 따라 처리 마스크를 달리 하는 비선형 필

참고문헌

[1] P. Ng and K. Ma, "Switching Median Filter with Boundary Discriminative noise detection", IEEE Trans. Image Process., vol. 15, no. 6, pp. 1506-1516, June 2006.
 [2] Hwang H., Haddad R. A., "Adaptive median filters new algorithms and results" Image Processing, IEEE Trans. Vol. 4, Issue 4, pp. 499 - 502, April 1995.
 [3] R. Garnett, T. Huegerich, C. Chui and W. He, "A universal noise removal algorithm with an impulse detector", IEEE Transt. Image Process., vol. 14, pp. 1747-1754, Nov. 2005.

저자소개

김국승(Kuk-Seung kim)



2008년 2월 부경대학교
 전기제어공학부 졸업
 2008년 9월~현재 부경대학교 대학원
 제어계측공학과 석사과정

※ 관심분야: 영상처리

김남호(Nam-Ho Kim)



제11권 제1호 참조
 1992년 3월~현재 부경대학교
 공과대학 제어계측공학과
 교수

※관심분야: 영상처리, 통신시스템, 적응필터와 웨이브렛을 이용한 잡음제거 및 신호 복원