

# Salt & Pepper 잡음 환경에서 인접 픽셀 기반 잡음 완화 필터

## ( Adjacent Pixels based Noise Mitigation Filter in Salt & Pepper Noise Environments )

성 치 혁\*, 신 수 용\*\*

( Chi Hyuk Seong<sup>Ⓒ</sup> and Soo Young Shin )

### 요 약

디지털 이미지나 비디오는 저장, 전송을 하는 과정에서 여러 가지 종류의 잡음이 발생하게 된다. 이러한 잡음 중 Salt & Pepper 잡음은 원본 데이터를 훼손하여 압축 효율을 저하시키고 영상 처리 방법으로 이용하는 Edge Detection이나 Segmentation에서의 성능저하를 일으키는 요인이 된다. 이 잡음을 완화하기 위한 방법으로 Median Filter, Weighted Median Filter, Center Weighted Median Filter, Switching Weighted Median Filter, Adaptive Median Filter 등이 있다. 하지만 이러한 방법들은 높은 잡음의 밀도에서 성능이 다소 미흡하다. 따라서 본 논문에서는 Salt & Pepper 잡음이 발생하는 무선 통신 환경에서 잡음 완화를 위한 새로운 형태의 필터를 제안한다. 제안한 필터는 Salt & Pepper 잡음 감지를 통해 훼손된 픽셀의 위치를 확인하고 일정 영역의 훼손되지 않은 인접 픽셀 값들을 이용하여 잡음을 완화한다. 제안하는 필터 중 3x3 크기의 에러 마스크를 이용하는 필터의 성능을 기존의 방법들과 비교하여 PSNR을 통해 평가하였을 때, 이미지에서 잡음의 밀도가 95%일 때, MF와 비교하여 13.24 dB, AMF와 비교하여 13.09 dB의 성능을 향상시키는 것을 확인하였다.

### Abstract

Digital images and videos are subject to various types of noise during storage and transmission. Among these noises, Salt & Pepper noise degrades the compression efficiency of the original data and causing deterioration of performance in edge detection or segmentation used in an image processing method. In order to mitigate this noise, there are many filters such as Median Filter, Weighted Median Filter, Center Weighted Median Filter, Switching Weighted Median Filter and Adaptive Median Filter. However these methods are inferior in performance at high noise density. In this paper we propose a new type of filter for noise mitigation in wireless communication environment where Salt & Pepper noise occurs. The proposed filter detects the location of the damaged pixel by Salt & Pepper noise detection and mitigates the noise by using adjacent pixel values which are not damaged in a certain area. Among the proposed filters, the performance of the filter using the 3×3 error mask is compared with that of the conventional methods and it is confirmed that when density of noise in the image is 95%, their performances are improved as 13.24 dB compared to MF and 13.09 dB compared to AMF.

**Keywords :** Salt & Pepper Noise, Noise Mitigation, Adjacent Pixels, Median Filter, Image Processing

### I. 서 론

휴대용 미디어 어플리케이션들이 카메라를 기본적으로 탑재하면서 다양한 분야에서 이미지를 이용한 영상

\* 학생회원, \*\* 평생회원-교신저자, 국립금오공과대학교 IT융복합공학과 (Kumoh National Institute of Technology, Department of IT Convergence Engineering)

Ⓒ Corresponding Author(E-mail : wdragon@kumoh.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2017-2014-0-00639)

Received : January 16, 2017 Revised : March 12, 2017

Accepted : May 31, 2017

처리의 필요성이 증가하고 있다<sup>[1~2]</sup>. 이러한 영상처리에서 불가피하게 여러 가지 잡음이 발생하게 되는데, 아날로그 신호 측정, Analog To Digital 변환, 신호 전송 과정 등이 요인이 된다<sup>[3]</sup>. 이러한 잡음들은 크게 Gaussian 잡음과 Impulse 잡음으로 분류되며 Impulse 잡음 중 하나인 Salt & Pepper 잡음이 있다<sup>[4]</sup>. 이 Salt & Pepper 잡음은 원본 데이터를 훼손하여 압축 효율을 저하시키고 Edge Detection이나 Segmentation 같은 영상 처리 기술의 성능저하를 일으키는 원인이 된다. 따라서 이를 완화하기 위한 연구가 국내외로 활발히 진행되고 있다<sup>[5~6]</sup>. 영상 데이터를 이용할 때 이 Salt & Pepper잡음이

시각적인 영향을 미치는데, 이미지에서 임의의 픽셀의 값을 최솟값(0) 혹은 최댓값(255)으로 변화시킨다<sup>[7-8]</sup>.

잡음을 완화하기 위하여 Median Filter (MF)<sup>[9]</sup>, Weighted Median Filter (WMF)<sup>[10-11]</sup>, Center Weighted Median Filter (CWMF)<sup>[12]</sup>, Switching Weighted Median Filter (SWMF)<sup>[13]</sup>, Adaptive Median Filter (AMF)<sup>[14]</sup> 등과 같은 다양한 필터들이 사용하고 있다.

MF는 특정한 크기의 마스크를 이용하여 훼손된 픽셀과 인접 픽셀을 이용하여 평균화시킴으로써 잡음을 완화한다. 형성한 마스크의 영역에서 중앙 픽셀 값과 인접 픽셀 값들을 크기순으로 정렬한 후 중앙값을 선택한다<sup>[1,10]</sup>. 낮은 복잡도를 가지기 때문에 MF를 기반으로 하는 여러 가지 필터들이 제안되었다. WMF, CWMF는 가중치를 이용하여 예지보존 특성이 좋다는 특성이 있지만 이미지 전체에 필터를 적용시켜서 훼손되지 않은 픽셀까지 영향을 미치는 단점이 있다<sup>[9, 11-12]</sup>. 이러한 점을 보완하기 위해 SWMF, AMF가 제안되었는데, SWMF는 MF를 적용하여 생성한 픽셀의 중앙값과 평균 픽셀 값을 비교하여 차이가 난만큼을 특정한 값으로 선정하고 이를 판별하기 위한 Threshold 값을 정한다. 이를 기준으로 Threshold 값보다 픽셀 값의 차이가 클 경우 잡음으로 판단하고 작을 경우 정상으로 판단하여 중앙 픽셀 값을 사용한다<sup>[13]</sup>.

AMF는 모든 픽셀들의 값을 확인하여 Salt & Pepper 잡음의 영향으로 변형된 픽셀이 0 또는 255 값을 가진 것으로 판단하여 MF를 적용한다<sup>[14, 16-17]</sup>. 그러나 MF를 기반으로 하는 필터들은 수신한 이미지에서 훼손되지 않은 부분까지 필터가 적용되어 전체적인 데이터에 영향을 미치고, 인접 픽셀들의 절반 이상이 훼손된 경우에는 잡음 완화 성능이 떨어진다. 또한 이미지의 외각에서는 필터를 적용시킬 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 무선 환경에서 이미지나 영상을 전송하고 수신할 때 발생하는 Salt & Pepper 잡음을 완화하기 위하여 인접 픽셀을 기반으로 하는 Adjacent Pixels based Noise Mitigation Filter (APNMF)를 제안한다. 이미지의 외각 부분에서부터 적용할 수 있도록 확장된 에러 마스크를 적용하고, 인접 픽셀의 잡음 유무를 확인하고 훼손되었다고 판단되는 픽셀의 값만 보정한다. 이를 통해 제안하는 필터는 기존의 기법들보다 전체적으로 높은 성능을 가진다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 제안된 필터의 알고리즘을 설명한다. III장에서는 Lena 이미지와 Crew 영상을 이용하여 모의실험을 바탕으로 성능을

평가한다. 마지막으로 IV장에서는 결론과 이후 연구에 대해 설명한다.

## II. Adjacent Pixels based Noise Mitigation Filter (APNMF)

논문에서 제안한 잡음 완화 필터는 그림 1과 같이 일정한 크기의 마스크를 생성하고, 인접 픽셀을 이용하여 잡음을 완화하고자 한다.

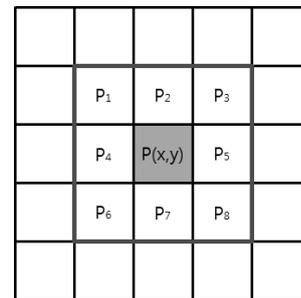


그림 1. 제안한 잡음 완화 필터 기법

Fig. 1. Proposed Noise Mitigation Filter Method.

### 1. Salt&Pepper 잡음 감지

$i \times j$  사이즈를 갖는 이미지에 Salt & Pepper 잡음으로 손상되었다고 가정하고, 훼손된 픽셀을 감지하기 위하여 모든 픽셀 값을 확인한다. 전송된 이미지에서 임의의 픽셀을  $D_{RGB}(x,y)$ , 에러가 있다고 판정되는 픽셀의 값을 0으로 바꾸는 에러 마스크를  $E_{RGB}(x,y)$ 라고 정의한다. 기존의 MF에서는 Grayscale값만을 기준으로 한 영역에서만 에러 마스크를 생성하는 반면 제안하는 방법에서는 식 (1)을 통해 하나의 이미지를 Red, Green, Blue 세 개의 영역으로 나누고 각각의 영역에서 에러 마스크를 생성한다. 그리고 생성한 에러 마스크를 기준으로 각 색영역에 필터를 개별적으로 적용하도록 함으로써 극단적인 에러값을 가진 픽셀만을 감지한다.

$$E_{RGB}(x,y) = \begin{cases} 0 & D_{RGB}(x,y) = 0 \text{ or } 255 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

### 2. 확장된 에러 마스크

이미지의 외각 부분에서 인접 픽셀이 없는 경우가 있어서 MF를 적용할 수 없기 때문에 이를 해결하기 위해 확장된 에러 마스크를 만든다. 이 마스크를 이미지의 Red, Green, Blue 세 개의 영역에 각각 생성한다. 그림 2처럼  $3 \times 3$  크기의 인접 픽셀 영역을 사용하는 픽셀

마스크가 있을 때,  $i \times j$  크기의 이미지의 외각 부분에 0의 값을 가지도록 하여 확장된 에러 마스크를 형성한다. 마스크의 크기에 따라 확장시키는 영역의 크기가 변화한다. 이러한 과정을 통해 이미지의 외각 부분에서도 필터를 적용이 가능하다. 필터 적용하기 전에 확장된 에러 마스크를 기준으로 각 픽셀의 훼손 여부를 확인한다.

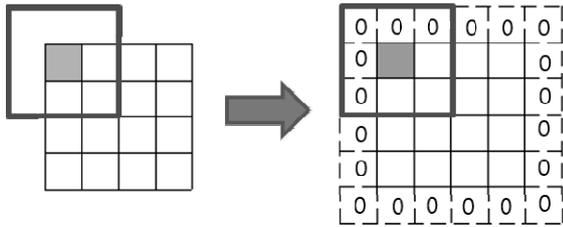


그림 2. 확장된 에러 마스크  
Fig. 2. Extended Error Mask.

### 3. 잡음의 완화 알고리즘

APNMF는 확장된 에러 마스크가 적용된  $i \times j$  크기의 이미지에서 에러 마스크의 크기를 지정하고 그림 3의 알고리즘을 통해 단계적으로 요약 정리한다.  $i \times j$  크기의 이미지에서 행부터 열까지 순번을 매겨  $k$ 으로 표기하고, 그림 1에서처럼  $P_n$ 은 중앙 픽셀을 기준으로 인접 픽셀들을 1에서  $n$ 번까지 번호를 지정한 픽셀값으로 정의하고  $N$ 은 에러 마스크의 크기를 말한다. 그림 3의 이 알고리즘을 각각의 RGB 영역에 개별적으로 적용하여 에러 마스크를 생성하고 이에 따라 필터를 적용한다.

#### Algorithm 1 Noise Mitigation

```

1:  $E_{RGB}(k)$  : error mask at the  $k$ th
2:  $C(k)$  : the number of undamaged pixel at the  $k$ th
3:  $S(k)$  : summation of undamaged adjacent pixels at the  $k$ th
4:  $F(k)$  : value of recovered pixel at the  $k$ th through filter
5: for  $k = 1 : i \times j$  do
6:   if  $E_{RGB}(k) = 1$  then
7:     if  $P_n == 1$  then
8:       count  $C(k)$ 
9:     end if
10:     $S(k) = \sum_{y=1}^j \sum_{x=1}^i \sum_{n=1}^{4N-1} P_n E_{RGB}(k)$ 
11:  end if
12:  if  $C(k) == 0$  then
13:     $F(k) = 127$ 
14:  else
15:     $F(k) = \frac{S(k)}{C(k)}$ 
16:  end if
17: end for
    
```

그림 3. 잡음 완화 알고리즘  
Fig. 3. Noise Mitigation Algorithm.

알고리즘의 도식적인 이해를 위한 APNMF의 순서도는 그림 4과 같다.

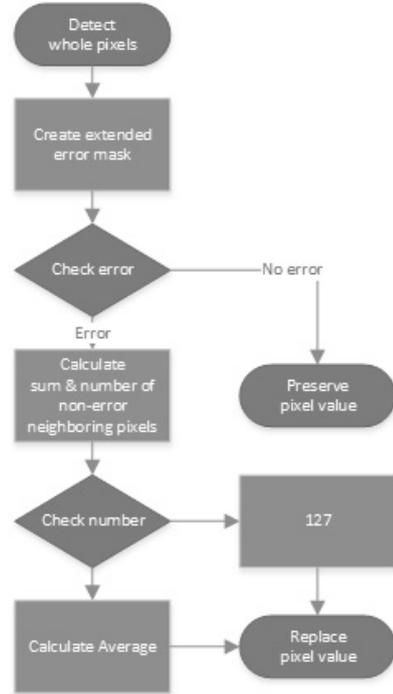


그림 4. 제안한 잡음 완화 필터의 순서도  
Fig. 4. Flow Chart of the Proposed Noise Mitigation Filter.

### 4. 표준 에러

RGB영역에서 픽셀의 값이 극단적으로 0이나 255의 값을 가질 경우에 이를 Salt & Pepper 잡음을 정의하고 훼손되었다고 할 수 있다. 각 영역에서 에러 마스크를 형성하기 때문에 Grayscale영역에서만 적용한 것에 비해 색보정 효과가 좋다. 그리고 에러 마스크 안에 훼손된 픽셀은 평균값에 반영하지 않기 때문에 에러 마스크가 커질수록 평균값으로 반영할 수 있는 인접 픽셀의 수가 증가한다. 이에 따라 식 2에서 표준에러(SE) 값을 정의하는데<sup>[15]</sup>, 여기서  $n$ 은 훼손된 픽셀의 수를 의미하고  $\sigma$ 은 훼손된 에러가 발생할 표준 편차를 의미한다. 표준 편차가 일정하다고 가정할 때, 에러 마스크의 사이즈인  $N$ 의 값이 커질수록 인접 픽셀의 수가 증가하고 표준에러가 감소함을 알 수 있다.

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{N-1-n}} \quad (2)$$

### 5. 복잡도

제안하는 필터와 MF의 복잡도 비율을 식 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $\alpha$ 는 훼손된 픽셀의 평균 수,  $\beta$

는 전체 픽셀의 수,  $N_{prop}$ 는 제안하는 필터의 에러 마스크 크기,  $N_{MF}$ 는 MF의 에러 마스크 크기를 의미한다.

$$R_{comp} = \frac{\alpha N_{prop}}{\beta N_{MF}} \quad (3)$$

기존의 MF에서는 픽셀 전체에 적용되고 제안하는 필터는 훼손된 픽셀이라고 판정된 픽셀에서만 적용되기 때문에 이를 복잡도의 영향을 미치고 마스크의 크기 또한 인접 픽셀을 이용하는 필터의 특성상 프로세싱 시간에 영향을 준다. 이에 따라  $N_{prop}$ 가  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ 로 변화함에 따른 복잡도 변화를 그림 5에서 비교하였다. 이때,  $\alpha/\beta = 1/4$ 로 가정하였다. 이에 따라  $3 \times 3$ 의 마스크 크기를 사용하였을 때만 복잡도 감소하는 것을 확인하였다.

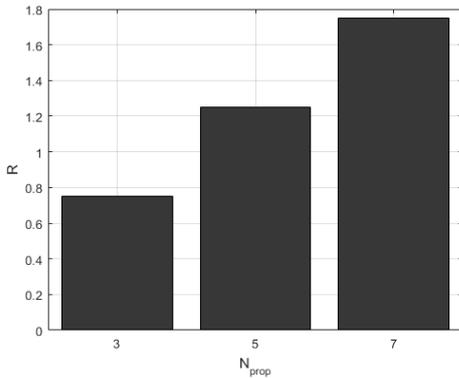


그림 5. 복잡도 비율  
Fig. 5. Ratio of Complexity.

### III. 모의실험 결과

본 논문에서는 제안하는 APNMF의 성능을 검증하기 위하여 그림 6(a)  $512 \times 512$  크기의 Lena 이미지와 그림 6(b)  $480 \times 640$  화소의 Crew 영상을 기준으로 Peak Signal-to-noise ratio (PSNR)<sup>[16]</sup>을 측정하였다. Salt & Pepper 잡음을 10%에서 95%까지 밀도를 높여서 MF, AMF, APNMF 세 가지의 필터의 성능을 비교하였다.

또한 그림 7와 같이 에러 마스크의 크기를  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ 로 변화시키고 잡음의 밀도에 따라 성능을 평가하였다.

그림 8의 Lena 이미지에서는 잡음 밀도 80%를 적용하여 MF, AMF, APNMF를 통해 잡음을 완화시킨 이미지들 확인할 수 있다. 그림 8(a)에서 훼손 이미지의 경우 거의 사진을 시각적으로 확인하기 힘들다. 그리고 그림 8(b)의 MF와 그림 8(c)의 AMF를 이용한 이미지

에서도 잡음으로 인해 손상된 픽셀이 눈에 띈다. 그러나 그림 8(d),(e),(f)는 APNMF를 적용한 이미지들로써 에러 마스크의 크기가 커짐에 따라 성능이 향상됨을 확인하였다.



그림 6. (a) Lena 이미지 (b) Crew 영상  
Fig. 6. (a) Lena Image (b) Crew Video.

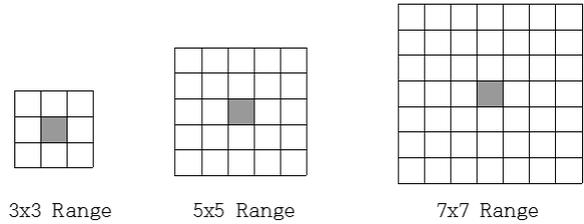


그림 7. 잡음 완화에 대한 인접한 픽셀의 영역들  
Fig. 7. Range of Adjacent Pixels for Noise Mitigation.

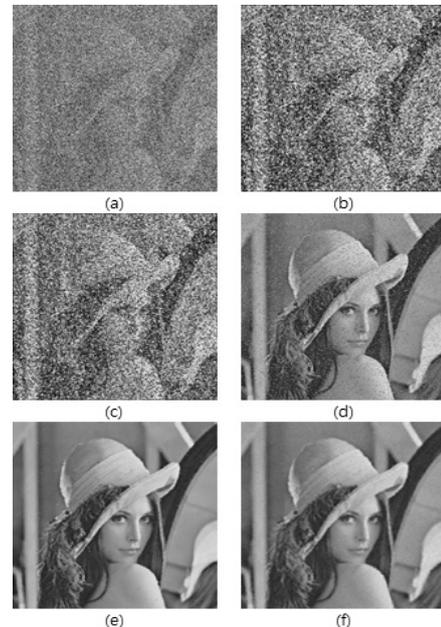


그림 8. Lena 이미지의 시뮬레이션 결과 (a) 훼손된 이미지 (b) MF 결과 (c) AMF 결과 (d)  $3 \times 3$  APNMF 결과 (e)  $5 \times 5$  APNMF 결과 (f)  $7 \times 7$  APNMF 결과  
Fig. 8. Simulation Result for Lena Image (a) Error Image (b) MF Result (c) AMF Result (d)  $3 \times 3$  APNMF Result (e)  $5 \times 5$  APNMF Result (f)  $7 \times 7$  APNMF Result.

그림 9의 Crew 영상의 첫 프레임부터 잡음 밀도 80%를 적용하여 MF, AMF, APNMF를 통해 잡음을 완화시킨 영상들 확인할 수 있다. 그림 9(a)에서 훼손 영상의 경우 이미지보다 잡음 밀도의 영향이 더 크게 작용한다. 그리고 그림 9(b)의 MF와 그림 9(c)의 AMF를 이용한 영상에서도 잡음의 영향을 거의 벗어나지 못하였다. 그러나 그림 9(d),(e),(f)는 APNMF를 적용한 영상들로서 에러 마스크의 크기의 영향을 받아 성능이 향상되었다.

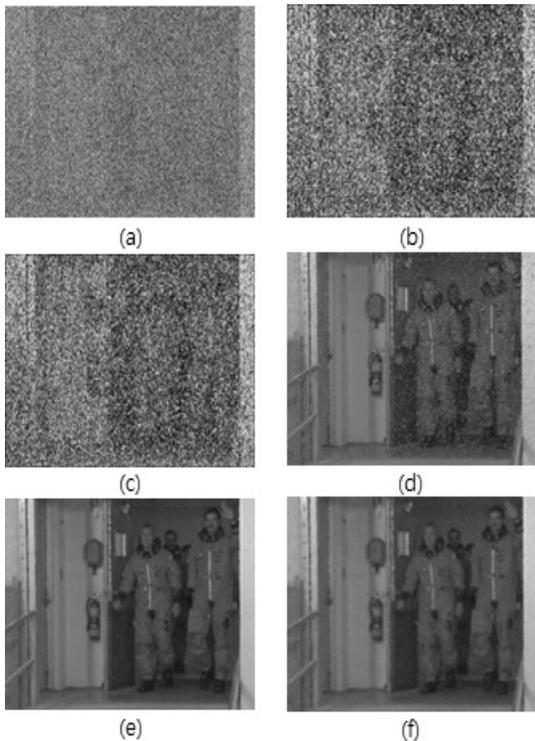


그림 9. Crew 영상의 시뮬레이션 결과 (a) 훼손된 이미지 (b) MF 결과 (c) AMF 결과 (d) 3x3 APNMF 결과 (e) 5x5 APNMF 결과 (f) 7x7 APNMF 결과

Fig. 9. Simulation Result for Crew Video (a) Error Image (b) MF Result (c) AMF Result (d) 3x3 APNMF Result (e) 5x5 APNMF Result (f) 7x7 APNMF Result.

에러 마스크의 크기가 커질수록 표준에러가 낮아지고 이에 따른 정상 픽셀만을 반영하여 필터를 이용하기 때문에 향상된 성능을 보여준다.

그림 10은 Lena 이미지에서 Salt & Pepper 잡음 밀도의 변화에 따른 PSNR을 그래프로 확인할 수 있다. 10%의 잡음 밀도에서는 3x3 APNMF, AMF, 5x5 APNMF, 7x7 APNMF, MF 순으로 AMF가 비교적 좋은 성능을 가지나 잡음 밀도가 높아질수록 성능이 급격하게 감소한다. 그러나 3x3 APNMF는 50% 잡음 밀도

까지는 우수한 PSNR 결과를 나타내었다. 5x5 APNMF와 7x7 APNMF는 에러 마스크의 크기가 넓기 때문에 3x3 APNMF의 비해 낮은 성능을 보여준다. 그러나 60% 잡음 밀도부터는 향상된 성능을 보여주면서 잡음의 밀도가 최고치인 95%일 때는 7x7 APNMF가 가장 좋은 성능을 가진다.

그림 11은 Crew 영상에서 Salt & Pepper 잡음 밀도의 변화에 따른 PSNR을 그래프로 보여준다. 10%의 잡음 밀도에서는 3x3 APNMF, AMF, 5x5 APNMF, 7x7 APNMF, MF 순으로 성능을 평가하지만 PSNR의 수치를 비교하면 이미지보다 전체적으로 좋은 성능을 나타낸다. 영상에서도 AMF가 비교적 좋은 성능을 가지나 잡음 밀도가 높아질수록 성능이 급격하게 감소하는 것과 다른 필터들의 성능 비교가 이미지에서와 동일하다.

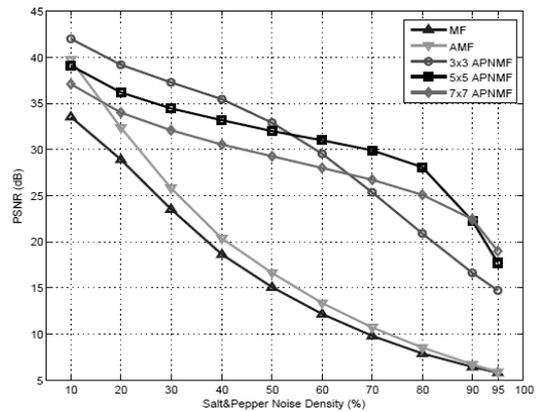


그림 10. Lena 이미지에서 Salt & Pepper 잡음 밀도에 따른 PSNR 그래프

Fig. 10. PSNR Graph based on Salt & Pepper Noise Density for Lena Image.

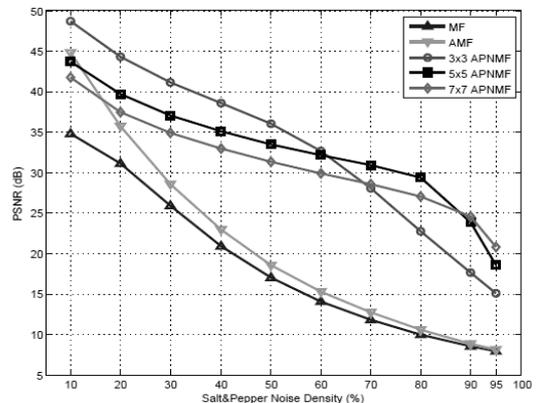


그림 11. Crew 영상에서 Salt & Pepper 잡음 밀도에 따른 PSNR 그래프

Fig. 11. PSNR Graph based on Salt & Pepper Noise Density for Crew Video.

표 1. Lena 이미지의 각 PSNR 비교표

Table1. SNR Comparison table for Lena Image.

Noise Density [%]	PSNR[dB]				
	MF	AMF	3x3PM	5x5PM	7x7PM
10	33.49	39.72	41.96	39.03	37.05
20	28.87	32.33	39.12	36.11	34.00
30	23.50	25.75	37.21	34.41	32.06
40	18.61	20.33	35.38	33.10	30.51
50	15.09	16.57	32.85	31.98	29.19
60	12.10	13.28	29.48	30.95	28.00
70	9.78	10.68	25.32	29.83	26.65
80	7.87	8.48	20.89	28.02	25.07
90	6.38	6.69	16.63	22.27	22.39
95	5.74	5.89	14.65	17.71	18.98

표 1에서는 Lena 이미지를 대상으로 측정된 PSNR을 평균적으로 계산하여 나타내어 기존의 방법과 명확하게 비교하였다. 잡음 밀도 50%까지는 3x3 APNMF가 가장 좋은 성능을 보여주는 기존의 필터인 MF와 비교하여 13.39 dB의 이득이 있고 AMF와 비교하여 10.36 dB의 이득이 있다. 그러나 잡음 밀도 60-80%까지는 5x5 APNMF가 뛰어난 성능을 가지고 MF에 비해 19.68 dB의 이득이 있고 AMF와 비교하여 18.79 dB 이득이 있다. 마지막으로 잡음 밀도 90-95%에서는 7x7 APNMF가 MF에 비해 14.63 dB 그리고 AMF에 비해 14.4 dB 이득이 있다.

표 2는 Crew 영상에서 측정된 평균 PSNR을 계산하여 보여준다. 영상에서는 잡음 밀도 60%까지 3x3 APNMF가 가장 좋은 성능을 가진다. 그리고 잡음 밀도 70-90%까지는 5x5 APNMF가 뛰어나며, 잡음 밀도 95%에서는 7x7 APNMF가 가장 뛰어나다. 이미지와 비교하여 각각 MF는 18.65 dB, AMF는 26.88 dB, 3x3 APNMF는 19.41 dB, 5x5 APNMF는 13.41 dB, 7x7 APNMF는 6.2 dB 성능 차이가 발생한다. 평균적으로 16.91 dB의 전체적으로 성능 향상이 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 무선 환경에서 이미지나 영상을 전송하고 수신할 때 발생하는 Salt & Pepper 잡음을 완화하기 위하여 인접 픽셀을 기반으로 하는 필터 APNMF를 제안한다. 기존의 필터에서는 이미지 외각 부분에서는 에러 마스크를 적용하지 않고 훼손되지 않은 부분까지 필터가 적용되어 전체적인 이미지에 영향을 줌으로써

표 2. Crew 영상의 각 PSNR 비교표

Table2. PSNR Comparison table for Crew 영상.

Noise Density [%]	PSNR[dB]				
	MF	AMF	3x3PM	5x5PM	7x7PM
10	34.79	44.85	48.76	43.75	41.72
20	31.18	35.74	44.28	39.68	37.52
30	25.89	28.59	41.18	37.06	34.88
40	20.91	22.97	38.64	35.08	32.93
50	17.00	18.59	36.03	33.46	31.32
60	14.08	15.32	32.67	32.16	29.91
70	11.78	12.75	28.05	30.97	28.54
80	9.96	10.62	22.76	29.35	27.03
90	8.54	8.88	17.59	23.85	24.55
95	7.96	8.13	15.08	18.58	20.76

이미지가 흐려지는 현상이 발생하였다. 또한 인접 픽셀들의 절반 이상이 훼손된 경우에는 잡음이 완화되지 않고 오히려 성능이 떨어지는 현상이 있다.

제안하는 APNMF는 이미지의 외각 부분에서부터 모든 픽셀의 값을 확인하여 잡음의 유무를 확인하는 에러 마스크를 적용할 수 있도록 확장된 에러 마스크를 구성한다. 이 때문에 훼손된 픽셀의 수와 에러 마스크의 크기에 따라 기존의 MF에 비해 복잡도가 증가할 수 있다. 그러나 훼손된 픽셀에만 적용되고 표본에러가 낮은 크기의 에러 마스크를 이용함으로써 필터의 특성상 기존의 MF, AMF에 비해 향상된 성능을 가진다. 모의실험을 통해서 성능지표를 PSNR로 지정하고 잡음 밀도를 높이면서 APNMF의 성능을 분석하였다. 이미지와 영상에 조금 다른 필터가 우수한 성능을 보였는데, 이미지에서는 잡음 밀도 50%까지는 3x3 APNMF가 37.3 dB의 성능으로 우수하였고, 잡음 밀도 60-80%까지는 5x5 APNMF가 29.6 dB, 잡음 밀도 90-95%에서는 7x7 APNMF가 22.39 dB로 가장 좋은 성능을 보여주었다. 영상에서는 잡음 밀도 60%까지는 3x3 APNMF가 48.76 dB, 잡음 밀도 70-90%까지는 5x5 APNMF가 30.97 dB, 잡음 밀도 90-95%에서는 7x7 APNMF가 20.76 dB의 성능을 측정하였다.

잡음의 밀도에 따라 적용하는 필터를 스위칭하여 적절하게 영상이나 이미지에서 잡음을 완화시키는 것이 가능하다. 이후 연구에서는 잡음 밀도에 따라 필터를 스위칭할 수 있는 Threshold 값을 찾는 연구를 통해 상황에 따른 필터 스위칭 기법을 연구할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] T. Nguyen, D. Kim, M. Hong. "Adaptive Non-Local Means Denoising Algorithm Using Down-Scaled Images," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, vol. 40, no. 1, pp. 55-57, January 2015.
- [2] S. Hong and N. Kim. "A Study on Median Filter using Directional Mask in Salt & Pepper Noise Environments," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 19, no. 1, pp. 230-236, January 2015.
- [3] T. Nguyen, B. Kim, M. Hong. "Adaptive Noise Detection and Removal Algorithm Using Local Statistics and Noise Estimation," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, vol. 38, no. 2, pp. 183-190, February 2013.
- [4] X. Long and N. Kim. "An Improved Adaptive Median Filter for Impulse Noise Removal," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 17, no. 4, pp. 989-995, April 2013.
- [5] Meher, Saroj K., and B. Singhawat. "An improved recursive and adaptive median filter for high density impulse noise," AEU-International Journal of Electronics and Communications, vol. 68, no. 12, pp. 1173-1179, December 2014.
- [6] Esakkirajan, S., et al. "Removal of high density salt and pepper noise through modified decision based unsymmetric trimmed median filter," IEEE Signal processing letters, vol. 18, no. 5, pp. 287-290, May 2011.
- [7] Button, Mark D., John G. Gardiner, and Ian A. Glover. "Measurement of the impulsive noise environment for satellite-mobile radio systems at 1.5 GHz," IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 51, no. 3, pp. 551-560, May 2002.
- [8] Ramadan, Zayed M. "Salt-and-Pepper Noise Removal and Detail Preservation Using Convolution Kernels and Pixel Neighborhood," American Journal of Signal Processing, vol. 4, no. 1, pp. 16-23, 2014.
- [9] Chen, Tao, Kai-Kuang Ma, and Li-Hui Chen. "Tri-state median filter for image denoising," IEEE Transactions on Image processing, vol. 8, no. 12 pp. 1834-1838, December 1999.
- [10] T. Bae. "High-Density Impulse Noise Removal Using Recursive Tri-lateral Weighted Median Filter," Journal of Korean Institute of Information Technology, vol. 13, no. 12, pp. 61-67, December 2015.
- [11] Brownrigg, D. R. K. "The weighted median filter," Communications of the ACM, vol. 27, no. 8, pp. 807-818, August 1984 .
- [12] Chen, Tao, and Hong Ren Wu. "Adaptive impulse detection using center-weighted median filters." IEEE Signal Processing Letters, vol. 8, no. 1, pp. 1-3, January 2001.
- [13] Eng, How-Lung, and Kai-Kuang Ma. "Noise adaptive soft-switching median filter," IEEE Transactions on image processin, vol. 10, no. 2, pp. 242-251, February 2001.
- [14] H. Hwang and R. A. Haddad, "Adaptive median filter: New algorithms and results," IEEE Trans. Image Process., vol. 4, no. 4, pp. 499-502, April 1995.
- [15] Z. Daniel, "CRC standard mathematical tables and formulae," CRC press, July 2011.
- [16] M. Usman, S. Shin, M. Shahid, and B. Löfvström, "A no reference video quality metric based on jerkiness estimation focusing on multiple frame freezing in video streaming", IETE Technical Review, pp. 1-12, June 2016.
- [17] Gupta, Vikas, and M. Shandilya. "Image de-noising by dual threshold median filtering for random valued impulse noise," Nirma University International Conference on Engineering, pp. 1-5, December 2012.

---

### 저 자 소 개

---



성 치 혁(학생회원)  
2015년 국립금오공과대학교 전자공학부 학사 졸업.  
2017년 국립금오공과대학교 IT융복합공학과 석사 졸업.  
<주관심분야: Image Signal Processing, Wireless Communication>



신 수 용(평생회원)  
1999년 서울대학교 전기공학부 학사 졸업.  
2001년 서울대학교 전기공학부 석사 졸업.  
2006년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사 졸업.

2010년 현재 국립금오공과대학교 전자공학부 교수  
<주관심분야: 5G and FRA, Wireless Communication/Network, Internet of Things, signal processing, etc.>