

# 심하게 손상된 칼라 영상의 잡음 검출 방식을 이용한 임펄스 잡음 제거 기술

정회원 이규철\*, 최윤정\*, 손광훈\*

## Impulsive noise filtering in severely corrupted color images using detection-estimation based approaches

Kyu Chul Lee\*, Yoon Jung Choi\*, Kwanghoon Sohn\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 심하게 손상된 칼라 영상의 임펄스 잡음을 효율적으로 제거할 수 있는 두 가지 전처리 기술을 제안한다. 손상된 칼라 영상을 개선하기 위한 기존 방식들은 영상 전체에 일률적으로 행하는 과정이기 때문에 계산량이 지나치게 많고 경계 정보를 보존하지 못하는 단점이 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 방식은 각 채널별로 혹은 각 화소의 벡터별로 잡음만을 분류하여 각각 여분 메디안 필터나 벡터 메디안 필터를 적용한다. 이 방식은 잡음만을 분류하여 수행하기 때문에 계산량이 적고 경계선을 효율적으로 보존할 수 있다. 그리고 본 논문에서는 칼라 영상의 임펄스 잡음을 검출하는 성능을 비교할 적절한 척도가 없기 때문에 객관적인 성능 비교가 어려운 점을 감안하여 새로운 척도를 제시하여 그 효율을 비교한다. 모의 실험 결과에서 제안한 잡음 검출 기반의 임펄스 잡음 제거 방식은 객관적/주관적인 성능 평가에서 기존 방식보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose two new detection-estimation based algorithms that effectively remove impulsive noises in severely corrupted color images. The existing methods for enhancing corrupted color images with impulsive noises commonly possess the inherent problems of excessive computing time and smoothing out edges. However, since our proposed algorithms classify corrupted pixels first in each channel or in each pixel and then perform marginal or vector median filtering only for them, they are computationally efficient and preserve edges well. In addition, since there are no appropriate criteria to evaluate the performance of impulsive noise detectors for color images, the objective comparison of noise detectors is difficult. Thus, we introduce a new efficiency factor to compare the performance of noise detectors in digital color images. Simulation results show that the proposed algorithms perform better than the existing methods in terms of both objective and subjective evaluations.

### I. 서론

영상정보는 일반적인 정보의 특성과는 달리 이차원적인 상호유사성을 지니고 있는 마르코프 신호원

형태의 정보이며, 그 정보의 양이 방대하여 기존의 대역폭을 이용하여 실시간에 정보를 전송하기 위해서는 정보의 양을 줄이는 높은 압축 기술을 요구하게 된다. 그리고 신호원이나 시스템 내에서 발생할 수 있는 정보의 변형 및 손실이 통신상에서 심각한

\* 연세대학교 전기컴퓨터공학과(khsohn@mail.yonsei.ac.kr)

논문번호: 99448-1110, 접수일자: 1999년 11월 10일

※본 논문은 한국과학재단 핵심전문연구 #981-0912-057-2에 의해 지원되었음

화질 열화를 일으킬 수 있기 때문에 영상의 전처리 과정이 필요하다. 영상을 전송하기 이전에 발생할 수 있는 잡음은 압축과정과 수신단에서의 복호화 과정 등에서 심각한 화질 열화를 일으키는 원인이 될 수 있기 때문이다. 송신단에서 영상 정보에 발생할 수 있는 잡음의 종류는 다음과 같이 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 신호에 독립적인 잡음이고, 둘째는 신호에 의존적인 잡음이다. 영상 신호에 독립적인 잡음의 대표적인 예로는 영상의 화소가 가지는 그레이 값과 관계없이 임의의 화소 위치에 원래의 그레이 값과 다른 임의의 값으로 대치되는 임펄스 잡음이 있다. 즉, 각 채널별로 8-bit의 해상도를 갖는 디지털 칼라 영상의 화소값을 0 또는 255로 변화시켜 원래의 정보를 완전하게 소멸시키는 일종의 배수성(multiplicative) 형태의 잡음으로 그 화소에 이웃하는 화소들의 값에 비하여 시각적으로 두각되게 나타나는 잡음을 의미한다.

임펄스 잡음으로 심하게 손상된 칼라 영상을 개선하기 위한 기존의 방법들은 주로 벡터 메디안(vector median) 필터<sup>[1-2]</sup>, 벡터 방향성(vector directional) 필터<sup>[3-6]</sup>등을 이용한 벡터 처리 과정에 의존하고 있다. 그러나 이 방법들은 손상된 화소뿐 아니라 손상되지 않은 화소도 함께 처리하기 때문에 계산량이 지나치게 많고 세부적인 경계를 잘 보존하지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 잡음을 검출한 뒤 잡음을 제거하는 방식<sup>[7-9]</sup>들이 소개되었으나 계산량이나 잡음 검출 성능면에서 많은 문제점을 갖고 있으며 이 성능을 비교하기 위한 적절한 척도가 요구된다.

본 논문에서는 칼라 영상에서 발생한 임펄스 잡음의 검출, 추정과정을 이용한 전처리 기법을 제안한다. 제안 기법은 각 칼라 채널 별로 또는 각 화소 별로 중심 화소와 주변 이웃 화소간의 유사성을 측정하여 임의의 임계값과 비교하여 임펄스 잡음을 검출한 후 여분 또는 벡터 메디안 필터를 적용한다. 또한 칼라 영상에서 임펄스 잡음 검출 효율성은 새로운 성능 척도를 제안하여 비교하였다.

본 논문의 전체적인 구성은 다음과 같다. II장에서는 임펄스 잡음과 경계선의 특징에 대해서 설명하고 이를 이용한 잡음 검출 및 제거 방식에 대해서 설명한다. III 장에서는 임펄스 잡음으로 손상된 칼라 영상에 적용된 잡음 검출기의 성능을 측정할 수 있는 효율적인 척도를 소개하며, IV장에서는 제안한 잡음 검출 및 제거 기술에 대해 모의 실험을 통하여 기존의 방법들과 그 성능을 비교 평가한다.

마지막으로 V장에서는 본 논문에 대한 결론을 서술한다.

## II. 효율적인 임펄스 잡음 제거 기술

임펄스 잡음은 이웃 화소와 뚜렷하게 다른 값을 갖는 화소로 정의되고 경계선은 상대적으로 다른 화소 값을 갖는 두 영역에서 변화하는 변두리에 위치하는 화소들로 정의된다.<sup>[11]</sup> 그림 1과 그림 2에서 보듯이 임펄스 잡음과 경계선은 주위 화소와는 뚜렷하게 구분되는 화소 값을 갖는다는 공통점을 갖는다. 따라서 임펄스 잡음만 제거하고 경계선을 보존할 수 있는 필터를 설계하는 것은 전처리 과정에서 매우 중요하다. 그림 2에서 보듯이 디지털 칼라 영상의 3×3 영역에서 경계선은 일반적으로 3개 이상의 유사 화소를 갖는다. 즉, 임펄스 잡음이 3×3 영역에서 고립된 화소라는 특징을 이용하면 경계 성분과 임펄스 잡음 성분을 분리할 수 있다.

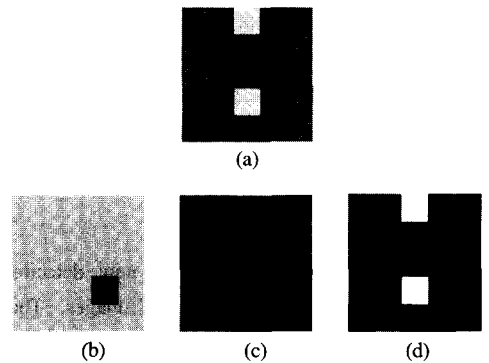


그림 1. 칼라 영상에서 임펄스 잡음의 특징 :  
(a)'Lena'영상에서 임펄스 잡음의 예(거울 부분)  
(b)R채널 (c)G채널 (d)B채널

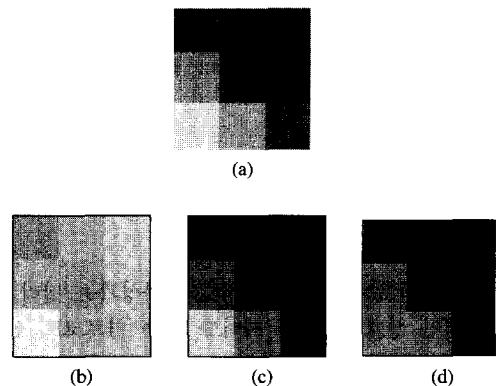


그림 2. 칼라 영상에서 경계선 특징 :  
(a)경계영역의 예 (b)R채널 (c)G채널 (d)B채널

1. 임펄스 잡음 검출 및 제거 기술

(제안방식 1)

첫 번째 제안 방식에서는 각 채널별로 화소의 손상 여부를 판단한다.  $x(i, j, k)$ 가  $k$ 번째 채널의  $(i, j)$  색채 값이라고 하고,  $x_m(i, j, k)$ 을  $x(i, j, k)$ 에 이웃하는 8개의 화소라고 한다. 여기서  $m$ 은 1에서 8까지의 정수이다. 중심 화소와 이웃하는 화소가 갖는 색채 값의 유사도를 측정하기 위하여 다음과 같은 두 개의 식을 정의한다. 식 (1)은  $m$ -Neighbor Local Difference( $NLD(m)$ )으로 중심화소와 이웃하는 화소들간의 색채 값의 차이를 절대값으로 표현한 것이다.

$$NLD(m) = |x(i, j, k) - x_m(i, j, k)| \quad (1)$$

여기서  $m$ 은 1에서 8까지의 정수이며 색채 값이 중심화소와의 유사한 정도에 따라 순차적으로 배열한 값을 얻기 위해 식 (2)과 같은  $n$ th-Rank of Local Difference( $RLD(n)$ )을 정의한다.

$$RLD(n) = x_n(i, j, k) = \{s_n(i, j, k) \mid |x(i, j, k) - x_n(i, j, k)| = n_{th} - Rank\{Sort\{NLD(m)\}\}\} \quad (2)$$

여기서  $n$ 은 1에서 8까지의 정수이며,  $n$ 이 작을수록 중심화소와 그레이 값의 차이가 작은, 즉, 유사도가 높은 화소를 의미하며, 반대로  $n$ 이 클수록 중심화소와 그레이 값의 차이가 큰, 즉, 유사도가 낮은 화소를 의미하게 된다.

이와 같이 정의되어진 두 식을 이용하여 최종적으로 잡음여부를 판단할 기준인 임계값과 비교하는 식으로 Mean of  $n$ -Truncated Pixel( $MTP(n)$ )을 다음과 같이 정의한다.

$$MTP(n) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RLD(k) \quad (3)$$

이 식은 임펄스 잡음의 여부를 판단하기 위하여 중심화소와 색채 값의 측면에서 가장 유사한 순서로 정렬된  $RLD(n)$ 의 평균이며, 본 논문에서는 5개의 화소만을 사용한 식 (4)를 사용한다.

$$MTP(5) = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 RLD(k) \quad (4)$$

이는 앞에서 설명한 바와 같이 임펄스성 잡음의 특성과  $3 \times 3$  블록 내에서의 경계가 갖는 특성을 고려한 것이다. 즉, 임펄스성 잡음의 독립적인 발생

특성과 경계가 갖는 이차원적인 상호의존성을 고려함과 동시에 중심화소가 임펄스성 잡음일 경우에 이웃하는 화소에 존재할 수 있는 같은 종류의 임펄스성 잡음이 존재하는 경우까지 고려하여 잡음을 검출할 수 있도록 고려되어진 것이다.

임펄스 잡음을 검출하는 마지막 단계로 다음의 식 (5)와 같은 임계값을 정의한다.

$$I_{th, k} = \alpha - \omega_k + \log_2(MTP(5)) \quad (5)$$

여기서  $\alpha$ 는 시각적으로 임펄스 잡음이라고 판단되어질 수 있는 최소의 색채 값 차이를 말하며 경험적으로 다양한 모의 실험 결과 실험적으로  $\alpha$ 의 값은 결정되었다. 이는 인간의 시각이 빛에 대하여 로그스케일(log-scale)로 반응하기 때문에 밝은 부분에서의 그레이 값의 변화보다 어두운 부분에서의 그레이 값의 변화에 더욱 민감하게 반응한다는 Weber의 법칙<sup>[10]</sup>을 적용한 것이다. 그리고  $\omega_k$ 는  $M \times N$  영상에서 다음과 같이 정의되는 가중치이다.

$$\omega_k = \log_2 \left[ \frac{1}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} x(k, i, j) \right] \quad (6)$$

$\omega_k$ 는 칼라영상 각 채널의 평균 색채 값에 따라서 적응적으로 변화하는 값이기 때문에 제안한 임펄스 잡음 검출기는 영상에 적응적인 민감도를 갖는다.

2. 임펄스 잡음 검출 및 제거 기술

(제안방식 II)

두 번째 제안 방식은 화소의 손상도를 다음과 같은 방식으로 측정하여 임펄스 잡음을 검출한다.  $V_x(i, j)$ 는  $(i, j)$ 에서의 칼라 벡터를 표현한다.

$$V_x(i, j) = [R(i, j), G(i, j), B(i, j)] \quad (7)$$

여기서  $R(i, j)$ ,  $G(i, j)$ ,  $B(i, j)$ 는 각각 R, G, B 채널에서  $(i, j)$ 에서의 색채 값을 표현한다. 식 (8)은 두 번째 제안 방식에서 임펄스 잡음 검출을 위한 참고 벡터이다.

$$V_r(i, j) = [MTP_R(5), MTP_G(5), MTP_B(5)] \quad (8)$$

$MTP_R(5)$ ,  $MTP_G(5)$ ,  $MTP_B(5)$ 는 각 채널에서 식 (4)에 의해 구해진 값으로 최종적으로 이 방식에서는 각 채널에서 구해진  $MTP$ 값으로 이루어진 벡터를 이용하여  $\|V_x - V_r\|$ 와 임계값을 비교하게 된다.

임계값은 첫 번째로 제안한 방식에서와 비슷하게 다음과 같이 정의된다.

$$I_{th} = \alpha + \log_2[|V_r(i, j)|] \quad (9)$$

$\alpha$ 는 시각적으로 임펄스 잡음이라고 판단되어질 수 있는 최소의 색채 값 차이를 말하며 제안 방식 (I)에서 결정된 임계값과 같다.

그림 3은 제안 방식(I)과 제안 방식(II)의 흐름도이다.

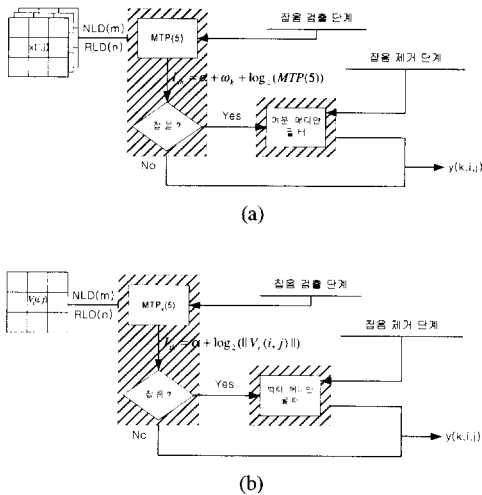


그림 3. 제안한 잡음 제거 방식 : (a) 제안 방식 I (b) 제안 방식 II

### III. 효율적인 잡음 검출 성능 척도

본 논문에서는 칼라 영상에서 잡음 검출 성능을 평가하기 위한 새로운 척도를 제안하였다. 잡음 검출의 효율성을 측정하기 위한 척도는 두 가지 요소로 구성된다. 이 두 가지 잡음 제거 비율( $\eta_r$ )과 경계 보존 비율( $\eta_b$ )은 다음과 같이 정의한다.

$$\eta_r = \frac{\text{정확하게 검출된 임펄스 잡음의 수}}{\text{임펄스 잡음의 총수}} \quad (10-1)$$

$$\begin{aligned} \eta_b &= 1 - \frac{\text{잘못 검출된 임펄스 잡음의 수}}{\text{검출된 총 임펄스 잡음의 수}} \\ &= \frac{\text{정확하게 검출된 임펄스 잡음의 수}}{\text{검출된 임펄스 잡음의 수}} \end{aligned} \quad (10-2)$$

잡음 제거 비율( $\eta_r$ )은 임펄스성 잡음을 제거할 수 있도록 실제적인 임펄스성 잡음을 검출하는 능력을 나타내는 값으로,  $\eta_r$ 이 1이면 임펄스 잡음을

100% 모두 검출한 것이다. 경계 보존 비율( $\eta_b$ )은 임펄스성 잡음이라고 판단된 화소에 대하여 그 정확도에 나타내는 비율로, 임펄스성 잡음과 유사한 특성을 갖고 있는 경계면의 화소를 얼마나 잘 보존하는가를 나타내는 수치이다.  $\eta_b$ 가 1이면 손상되지 않은 경계정보를 완전하게 보존한 것이다. 이 두 요소에 의해서 잡음 제거기의 성능을 식 (11)과 같이 정의한다.

$$\eta_d = \eta_r \times \eta_b \quad (11)$$

식 (11)에서 만일  $\eta_d=1$ 일 경우 이 잡음 제거기는 완벽하게 잡음만을 검출하게 되어 100%의 효율을 갖는다.

### IV. 실험 결과

본 논문에서는 두 가지 관점에서 제안 방식의 효율성을 확인하기 위해서 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 결과에서는 임펄스 잡음으로 심하게 손상된 칼라 영상에서 잡음 제거의 효율성과 잡음 검출기의 효율성을 고려하였다. 본 실험에서는 512×512 크기의 각 채널에서 8-bits의 해상도를 갖는 'Lena' 칼라 영상을 사용하였으며 그림 4에서 보듯이 채널에서 Salt/Pepper 잡음으로 손상된 영상으로 실험을 수행하였다. 제안된 방식의 결과를 잡음 검출 방식을 사용하지 않은 벡터 매디안 필터(VMF)<sup>[1]</sup>, directional /distance 매디안 필터(DDF)<sup>[5]</sup>, 여분 매디안 필터(MMF)와 Cheikh<sup>[8]</sup>에 의해 제안된 잡음 검출 방식과 비교하였다.

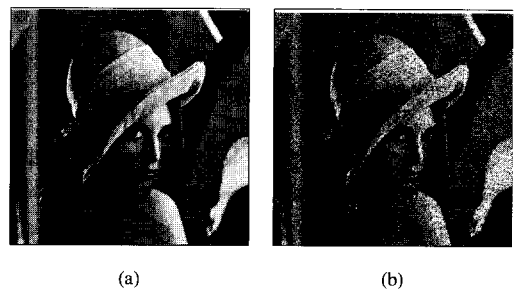


그림 4. 실험 영상(Lena) (a)원영상 (b)임펄스 잡음으로 손상된 영상(10%)

잡음 제거의 객관적인 비교를 위해서 평균 절대 오차(MAE), PSNR, 평균 색도 오차(MCRE)가 사용되었다.

$$MAE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \|y(i, j) - x(i, j)\| \quad (13)$$

$$PSNR = 20 \log \left( \frac{255}{RMSE} \right) \quad (14)$$

여기서,  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \|y(i, j) - x(i, j)\|^2}$ 이다.

$$MCRE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} C[x(i, j), y(i, j)] \quad (15)$$

여기서,  $C[x(i, j), y(i, j)]$ 는 벡터  $x(i, j)$ 와  $y(i, j)$  사이의 색도 오차이다.

기존 방식들과 본 논문에서 제안한 방식들의 잡음 제거 성능이 표-1에 나타나있다. 표-1을 통해 잡음 검출 방식을 사용한 제안 방식과 Cheikh 방식<sup>[8]</sup>이 잡음 검출 방식을 사용하지 않은 나머지 기존 방식들보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 잡음 검출 방식이 보다 우수한 성능을 보인 것은 잡음으로 손상되지 않은 경계 화소들을 보존하였기 때문이다. 그리고, 벡터 메디안 필터방식은 한 요소만 손상이 되어도 그 전체 벡터 값이 변하기 때문에 여분 메디안 필터 방식이 임펄스 잡음을 제거하는 데에는 보다 효율적이다.

표 1에서 효율적인 잡음 검출 방식을 사용한 제안 방식-I이 객관적으로 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

표 1. 컬러 영상의 잡음 제거 성능 비교(Lena)

Noise level (%)	왜곡 영상	VHF <sup>(1)</sup>	DDF <sup>(5)</sup>	MMF	By Cheikh (a)	제안 방식 I	제안 방식 II	성능 척도	
6		12.62	27.62	27.59	32.25	32.25	34.67	31.41	PSNR
		36.44	0.34	0.33	0.09	0.09	0.04	0.09	MCRE ( $10^{-3}$ )
15		8.63	26.21	25.31	27.64	27.64	30.54	27.51	PSNR
		90.93	0.39	0.69	0.68	0.68	0.09	0.22	MCRE ( $10^{-3}$ )

그림 5는 각 채널에서 15%의 임펄스 잡음으로 손상된 'Lena'영상을 각각 기존 방식과 제안 방식으로 잡음 제거를 수행했을 경우의 차영상들이다. 그림 5에서는 잡음 검출과정을 거치지 않은 방식들

보다. 잡음 검출과정을 거친 경우가 잡음 제거에서 주관적으로도 보다 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

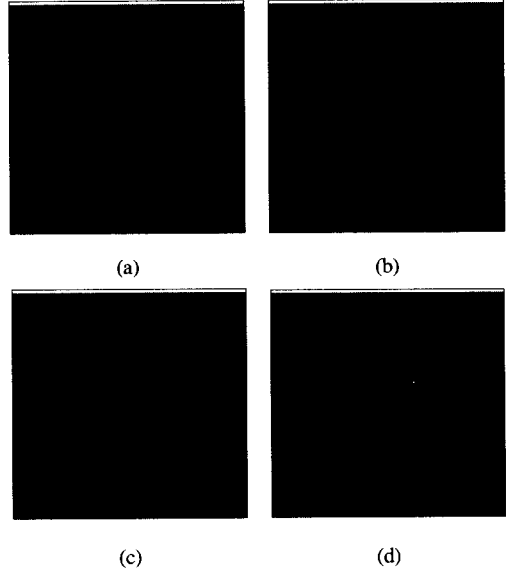


그림 5. 차영상(Lena) :

- (a) MMF. (b) Cheikh 제안방식
- (c) 첫 번째 제안방식 (d) 두 번째 제안방식

표-2는 각 채널에서의 잡음 비율을 달리 했을 때 잡음 검출 성능을 비교한 것으로 제안 방식이 기존 방식보다 향상된 성능을 보임을 나타낸다. 제안 방식-II는 표-1에서 Cheikh의 방식과 비슷한 성능을 보였으나 표-2의 잡음 검출 면에서는 Cheikh의 방식보다 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 이것은 제안 방식이 경계선의 보존도를 측정하는 보존 비율( $\eta_p$ )에서 Cheikh의 방식보다 우수한 성능을 보였기 때문이다. 결과적으로 제안 방식-I은 표-1의 잡음 제거 성능과 표-2의 잡음 검출 성능 모두 기존 방식들보다 우수한 결과를 보였으며 제안 방식-II는 잡음 제거 성능면에서 Cheikh의 방식과 비슷한 결

표 2. 임펄스 잡음 검출기 성능 비교(Lena)

Noise level (%)	by Cheikh[4]			제안 방식 I/제안 방식 II		
	$\eta_r$	$\eta_f$	$\eta_a$	$\eta_r$	$\eta_f$	$\eta_a$
3	0.997	0.196	0.196	0.954/0.926	0.953/0.960	0.910/0.889
6	0.995	0.370	0.369	0.956/0.929	0.974/0.978	0.930/0.908
10	0.992	0.555	0.551	0.954/0.933	0.976/0.978	0.932/0.913
15	0.979	0.720	0.705	0.955/0.935	0.965/0.975	0.921/0.911

과를 보였으나 잡음 검출 성능은 보다 우수함을 확인할 수 있다.

표-3, 4는 256×256 크기의 각 채널에서 8-bits의 해상도를 갖는 'Sailing' 영상에 기존 방식들과 제안 기법을 적용한 결과이다. 이 경우에는 잡음 제거 성능과 잡음 검출기 성능 모두 기존 방식보다 우수한 결과를 보인 제안 방식 I의 결과를 MAE의 측면에서 비교를 하였다. 'Sailing' 영상의 경우 'Lena'보다 임펄스 잡음으로 판단될 수 있는 고주파 성분을 많이 포함하고 있기 때문에 잡음 검출 및 제거 효율이 전반적으로 낮다. 하지만 제안 방식을 기존 방식의 결과와 비교해 볼 때 보다 효율적임을 표-3, 4에서 확인할 수 있다.

표 3. MAE에 의한 칼라 영상의 잡음 제거 성능 비교 (Sailing)

Noise level(%)	왜곡 영상	Noisy image	VMF	MMF	by Cheikh [4]	제안 방식 I
3	8.7387	11.34	19.64	12.05	4.000	1.794
6	16.951	22.26	21.08	12.74	4.648	2.774
10	27.152	36.39	22.76	13.68	5.588	4.103
15	38.609	53.05	25.14	14.97	7.215	6.053

표 4. 임펄스 잡음 검출기 성능 비교(Sailing)

Noise level (%)	by Cheikh[4]			제안 방식 I		
	$\eta_r$	$\eta_b$	$\eta_a$	$\eta_r$	$\eta_b$	$\eta_a$
3	0.9981	0.1922	0.3071	0.9995	0.8127	0.8123
6	0.9978	0.4898	0.4887	0.9992	0.8855	0.8848
10	0.9931	0.6382	0.6338	0.9976	0.9108	0.9086
15	0.9807	0.7541	0.7395	0.9992	0.9041	0.9035

### V. 결론

본 논문에서는 효율적인 영상 통신을 위한 전처리 과정으로 임펄스 잡음으로 심하게 손상된 칼라 영상의 잡음 검출 방식을 이용한 임펄스 잡음 제거 기술을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 전처리 기술은 기존의 전처리 기술보다 우수한 성능을 보임을 모의실험을 통하여 확인하였다.

본 논문에서 제안한 잡음 검출 과정을 통한 필터링 기술은 임펄스성 잡음과 경계가 갖는 특성을 분

석하여, 각각을 구분할 수 있도록 하는 방식으로 임펄스 잡음만을 검출하여 필터링 할 수 있다. 제안 방식은 단지 잡음만을 선택하여 필터링 하므로 계산량 면에서도 비용을 절감하였고 간단한 메디안 필터링만으로 효율적인 잡음 제거 성능을 얻을 수 있다. 이 방식은 객관적인 면에서는 물론, 주관적인 면에서도 기존 방식보다 우수한 성능을 보였다. 또한 본 논문에서 제안한 잡음 검출 척도를 이용하여 각 방식별로 잡음 검출 성능을 효율적으로 비교할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] J. Astola, P. Haavisto and Y. Neuvo, Vector median filters, IEEE Proceeding, vol.78, no.4, pp.678-689, 1990.
- [2] I. Pitas and P. Tsakalides, Multivariate ordering color image filtering, IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology, vol.1, no.3, pp.247-296, 1991.
- [3] P. E. Trahanias and A. N. Venetsanopoulos, Vector directional filters-A new class of multichannel image processing filters, IEEE Trans. Image Proc., vol.2, no.4, pp. 528-534, 1993.
- [4] P. E. Trahanias, D. Karakos and N. Venetsanopoulos, Directional processing of color images : Theory and experimental results, IEEE Trans. on Image Processing, vol.5, no.6, pp.868 -880, 1996.
- [5] D. G. Karakos and P. E. Trahanias, Generalized multichannel image-filtering structures, IEEE Trans. Image Processing., vol.6, no.7, pp. 1038-1045, 1997.
- [6] K. N. Plataniotis, D. Androustos, S. Vinaya gamoorthy and A. N. Venetsanopoulos, Color Image processing using adaptive multichannel filters, IEEE Trans. on Image Processing, vol.6, no.7, pp.933-949, 1997.
- [7] N. H. C. Yong, A. H. S. Lai and K. M. Poon, Modified CPI filter algorithm for removing salt-and-papper noise in digital images, SPIE, vol.2727, pp.1439-1449, 1996.
- [8] F. A. Cheikh, R. Hamila, M. Gabbouj and J. Astola, Impulse noise removal in highly

corrupted color images, Proc. ICIP-96, vol.1,  
pp.997-1000, 1996.

- [9] K. C. Lee, H. J. Song and K. H. Sohn,  
Detection-estimation based approach for  
impulsive noise removal, Electronics Letters,  
vol.34, no.5, pp. 449-450, 1998.

이 규 철(Kyu Chul Lee)

1997년 2월 : 연세대학교 전파공학과 졸업(공학사)

1999년 2월 : 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과  
졸업(석사)

<주관심 분야> 영상부호화, 영상 전·후 처리

최 윤 정(Yoon Jung Choi)

1999년 2월 : 연세대학교 전파공학과 졸업(공학사)

현재 : 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과 석사과정

<주관심 분야> 3차원 영상 처리 및 압축

손 광 훈(Kwanghoon Sohn)

정회원

한국통신학회 논문지 제 24권 7B호 참조

현 재 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과 교수