



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

영상복원을 위한 비선형 필터에
관한 연구



2008年 2月

釜慶大學校大學院

制御計測工學科

金 郁

工學碩士 學位論文

영상복원을 위한 비선형 필터에 관한 연구

指導教授 金南虎

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2008年 2月

釜慶大學校 大學院

制御計測工學科

金 郁

金 郁의 工學碩士 學位論文을 認准함

2008年 2月 26日



主 審 工學博士 李 炯 基 (印)

委 員 工學博士 金 萬 高 (印)

委 員 工學博士 金 南 虎 (印)

목 차

Abstract	ii
제1장 서 론	1
제2장 공간 필터	
2.1 선형 공간 필터	3
2.2 비선형 공간 필터	4
제3장 임펄스 노이즈 제거	
3.1 영상 복원과 노이즈 모델	5
3.2 메디안 기반 필터	7
3.2.1 SM(standard median)필터	7
3.2.1 CWM(center weighted median)필터	8
3.3 Min-max 기반 필터	9
제4장 제안한 필터	11
제5장 시뮬레이션 및 결과	17
제6장 결 론	26
참고문헌	27

A Study on a Nonlinear Filter for Image Restoration

Uk Kim

Department of Control and Instrumentation Engineering,
The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

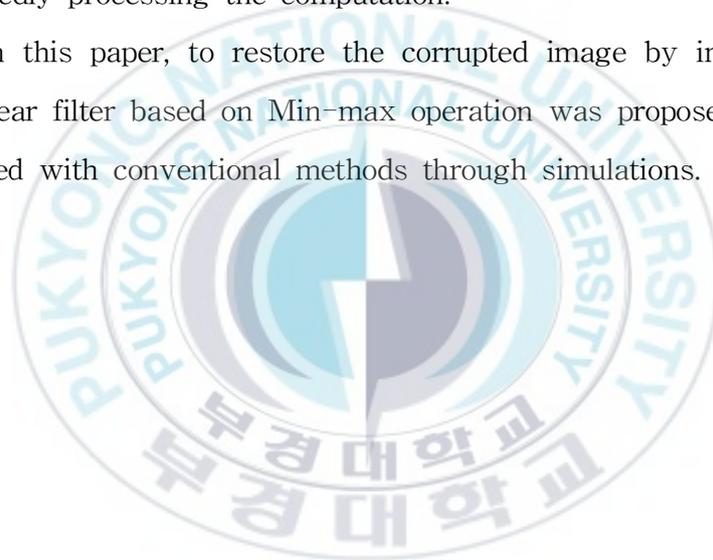
According to the various mass media and development of the communication technology, modern society go into an advanced digital information age. So image become an important mean to store or express the data. Especially in digital image processing including image compression, image restoration, and image recognition, a lot of researches have progressed and noise removal skills of image restoration are essentially needed for getting a high quality image. These noise removal skills target the algorithm development to remove the variable noises efficiently which happen in the procedures of the data transmission.

Generally, impulse noise and AWGN(additive white gaussian noise) are considered as representative noises which contaminate the digital image, and many considerable solutions are developed for the various types of noise caused by various factors. In the impulse noise environment, SM(standard median) filter is simple and it shows a

great performance. Also, WM(weighed median) filter putting the weight in each pixel value and its modified CWM(center-weighted median) filter were proposed to enhance the image details. And various filters which applicate the SM filter and many modified median filters were proposed, so there has been a lot of progress in the impulse noise removal and the improvement of preserving performance.

Although SM filter represents a good performance in the noise removal of image, it is insufficient at the edge preserving that is the other factor of image qualities. So, it can not be applied to the field that importantly considers the image details. Accordingly, modified median filter algorithms have been proposed to complement the defect, however they show the limit of increasing the image processing time a lot as repeatedly processing the computation.

Therefore, in this paper, to restore the corrupted image by impulse noise, a nonlinear filter based on Min-max operation was proposed and it was compared with conventional methods through simulations.



제1장 서론

현대 사회는 다양한 미디어와 통신기술의 급속한 발달로 고도의 디지털 정보화 시대를 맞이하게 되었으며, 이에 따라 영상은 정보를 저장하거나 표현하기 위한 중요한 수단이 되고 있다.

그러나 영상은 실제의 대상으로부터 획득 및 저장되는 과정에서 노이즈에 의해 훼손되어 정보의 손실을 가져오며, 이러한 열화로 인해 실제와 많은 차이를 나타내게 된다.

일반적으로 열화의 주된 원인은 노이즈에 의한 것으로 알려져 있다. 대표적인 노이즈로는 AWGN(additive white gaussian noise)과 임펄스 노이즈가 있으며 이들 노이즈를 해결하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었다. 이러한 임펄스 노이즈 제거 방법으로 알고리즘이 간단하면서 우수한 노이즈 제거 성능을 나타낸 SM(standard median) 필터가 많이 사용되며, 이를 응용한 다양한 방법들이 연구되고 있다.

이러한 SM 필터는 영상의 에지영역에서 오류를 나타내어 전체 영상의 품질을 저하한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 WM(weighted median) 필터, CWM(center weighted median) 필터와 같이 비교적 간단한 변형으로 영상을 개선할 수 있다. WM 필터는 입력영상을 보존하면서, 윈도우의 각 화소에 가중치를 적용하여 노이즈를 제거하며, CWM 필터는 WM 필터의 변형된 형태로서 윈도우의 중심 화소에만 가중치를 인가하여 처리한다. 그러나 이러한 필터들 역시 노이즈 밀도가 높은 경우에는 여전히 성능의 한계가 있다. 이에 따라 메디안 연산을 기반으로 하며, 노이즈 제거와 에지 보존 성능을 동시에 만족시키는 많은 방법들이 소개되었다. 그러나 이러한 방법들은 메디안 연산이 비교적 많은 양의 연산을 필요로 하는 것과 복잡해진 알고리즘으로 인해 전체적인 연산량이 더욱 증가하여 긴 처리 시간을

필요로 하는 단점이 있다. 임펄스 노이즈를 제거하기 위한 또 다른 방법으로 비선형 필터가 제안되었으며, 이러한 방법은 데이터에 대한 정렬을 필요로 하지 않으므로, 적은 연산에 의해 구현이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 임펄스 노이즈 환경에서 영상을 복원하기 위한 비선형 필터를 제안하였으며, 노이즈를 제거함과 동시에 방향성을 이용하여 영상의 에지성분을 보존하도록 하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 기존의 방법들과 그 성능을 비교하였다.



제2장 공간 필터

2.1 선형 공간 필터

일반적으로 선형 공간 필터는 윈도우에 의해 표현된 영역 내에 대응되는 화소와 필터계수의 곱들의 합으로 표현된다. $N=1$ 의 (3×3) 윈도우가 주로 사용되며, 아래 식 (1)과 같이 정의된다.

$$y(i, j) = \sum_{-N \leq s, t \leq N} w(i+s, j+t) x(i+s, j+t) \quad (1)$$

식 (1)에서, $w(i+s, j+t)$ 는 윈도우 내부의 각 위치에 대한 계수이고, $x(i+s, j+t)$ 는 필터 윈도우 내에 위치하는 영상의 화소값이다. 여기서 s, t 는 정수이며, N 은 양의 정수이다. 따라서 임의의 화소 (i, j) 에서의 새로운 명암값 $y(i, j)$ 에 대한 연산이 선형적이게 되며, 계수값의 형태에 따라서 여러 가지 특성을 나타낸다.

노이즈를 감소시키고 영상을 개선하기 위해 사용되는 대표적인 선형 공간 필터로는 평균 필터가 있으며, 이러한 평균 필터는 윈도우의 모든 계수가 1이며, 계산된 명암값 $y(i, j)$ 를 윈도우의 총 화소 수로 나누어 처리한다. 이러한 선형 공간 필터는 영상의 선명화와 윤곽선 추출 등의 목적으로 영상처리 분야에 폭 넓게 사용되고 있다.

2.2 비선형 공간 필터

일반적으로 비선형 공간 필터는 입력영상으로부터 새로운 출력영상을 얻는 과정에서 비선형적인 연산을 이용하며, 주로 사용되는 방법은 필터 윈도우에 의해 정의되는 이웃화소 값들을 크기 순서로 정렬한 후 처리하는, 순서-통계 형태의 필터들을 이용한다. 이와 같은 비선형 공간 필터에 있어서 윈도우에 대한 개념은 선형 공간 필터에서와 같이 동일하게 적용되지만 윈도우의 계수값을 이용하지는 않고, 이웃화소로부터 직접 화소값을 선택하여 처리한다. 대표적인 비선형 공간 필터로는 윈도우 내부의 화소들을 화소값의 크기순으로 정렬한 후, 중간값을 출력화소로 결정하는 메디안 필터가 있으며, 또한 윈도우 내부의 화소 중 명암값이 가장 큰 화소를 선택하는 최대값 필터와 가장 작은 화소값을 출력화소로 결정하는 최소값 필터가 있다. 각각의 필터는 아래의 식 (2), (3), (4)와 같이 표현된다.

$$y(i,j) = \text{med}\{x(i-s, j-t) \mid -N \leq s, t \leq N\}, \quad N=1,2,\dots,n \quad (2)$$

$$y(i,j) = \max\{x(i-s, j-t) \mid -N \leq s, t \leq N\}, \quad N=1,2,\dots,n \quad (3)$$

$$y(i,j) = \min\{x(i-s, j-t) \mid -N \leq s, t \leq N\}, \quad N=1,2,\dots,n \quad (4)$$

이와 같은 필터에서 데이터를 크기 순서로 정렬하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 주로 버블 소트(bubble sorting) 알고리즘이 많이 사용된다.

제3장 임펄스 노이즈 제거

3.1 영상복원과 노이즈 모델

영상복원은 열화현상을 모델링한 지식을 이용해서, 영상을 재구성하거나 복원하기 위한 과정이며, 열화된 영상 $d(i, j)$ 는 식 (5)와 같다.

$$d(i, j) = H[x(i, j)] + n(i, j) \quad (5)$$

식 (5)에서, H 는 열화함수이고, $x(i, j)$ 는 입력영상이며, $n(i, j)$ 는 부가 노이즈 항이다. 영상복원의 목표는 부가 노이즈 항을 제거하고, 열화함수에 의해 열화된 영상에서 원 영상에 가까운 영상으로 복원하는 것이다. 그리고 공간영역에서는 H 가 선형적이고, 공간 불변적이라는 가정 하에서 열화된 영상 $d(i, j)$ 는 식 (6)과 같다.

$$d(i, j) = h(i, j) * x(i, j) + n(i, j) \quad (6)$$

식 (6)에서, 입력영상 $x(i, j)$ 와의 컨볼루션 연산으로 열화영상을 표현할 수 있으며, $h(i, j)$ 는 열화함수에 대한 공간영역을 표현한 것이다.

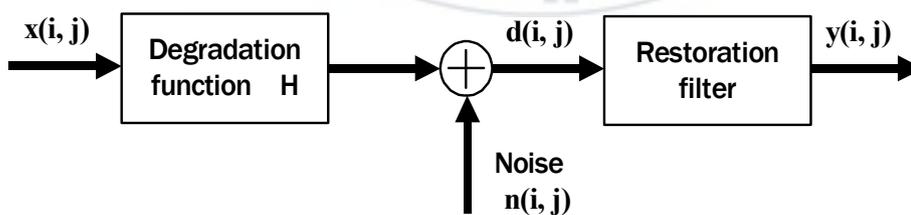


Fig. 1. Model of the image degradation/restoration process.

이러한 열화된 영상을 복원하기 위한 과정은 그림 1과 같다. 이 그림에서 열화함수 H 를 항등 연산자로 가정하여 부가 노이즈에 의해서 열화된 영상만을 고려하고, 영상의 급격한 열화를 초래하는 임펄스 노이즈 환경에서의 영상복원에 대해 살펴본다.

일반적으로 열화된 영상으로부터 영상을 복원하기 위해서는 노이즈의 특성과 효과를 모델링하는 것이 매우 중요하다. 이러한 공간영역에서는 노이즈의 특성을 확률밀도함수(probability density function, PDF)의 형태로 나타낼 수 있으며, 균등 분포 랜덤 수와 가우스 분포 랜덤 수의 생성기에 의해 노이즈에 대한 확률밀도함수 표현이 가능하다. 대표적인 확률밀도함수에는 가우시안 확률밀도함수와 레일리, 감마, 지수, 균등 분포 확률밀도함수, 그리고 임펄스 확률밀도함수 등이 있다. 그 중 임펄스 확률밀도함수는 식 (7)과 같다.

$$\rho(z) = \begin{cases} P_a, & \text{for } z = a \\ P_b, & \text{for } z = b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서, z 는 랜덤 수 생성기에 의해 생성된 확률변수 값이며, a, b 는 임의의 값으로 밝고 어두운 명암값을 나타내고, P_a, P_b 는 이에 대한 확률을 각각 나타낸다. a, b 중 한 쪽의 확률이 0일 경우 생성된 임펄스 노이즈는 단극성 임펄스 노이즈가 되며, 특히 두 확률 모두 0이 아니며 거의 비슷한 값인 경우에는 salt & pepper 노이즈이다. 이러한 임펄스 노이즈는 영상 신호에 비해 큰 값으로 표현되며, 8-bit 분해능에서 두 개의 극단적인 0과 255의 값을 사용하여 표현한다.

3.2 메디안 기반 필터

3.2.1 SM(standard median)필터

SM 필터는 임펄스 노이즈를 제거하기 위한 가장 간단한 형태의 비선형 필터로서, 식 (8)과 같이 표현되며, 영상에 중첩된 임펄스 노이즈 성분 제거를 위해, 임의의 윈도우를 사용하여 그 내부 화소에 대한 중간값을 찾는 형태이다.

$$y(i, j) = \text{med}\{x(i-s, j-t) | (s, t) \in W\} \quad (8)$$

식 (8)에서, $x(i, j)$ 는 입력 화소값이고, $y(i, j)$ 는 출력 화소값이며, (s, t) 는 처리 윈도우 내부의 좌표를 나타낸다. 그리고 $\text{med}\{\cdot\}$ 는 중간값 선택 연산자로서 윈도우 내부의 화소 값을 크기 순으로 정렬한 다음, 그 중간값을 찾는다. 또한 W 는 크기가 $(2N+1) \times (2N+1)$ 인 필터링 윈도우를 나타내며, 식 (9)와 같이 표현된다.

$$W = \{(s, t) | -N \leq s \leq N, -N \leq t \leq N\} \quad (9)$$

그림 2는 SM 필터의 처리과정을 그레이 레벨로 정렬하여 나타내고 있다.

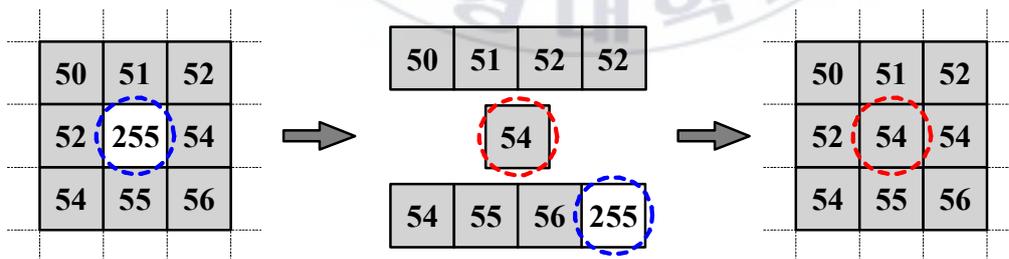


Fig. 2. A Course of Standard Median Filter.

3.2.2 CWM(center weighted median) 필터

필터링 윈도우 W 의 중앙 화소값에 가중치를 인가하여 처리하는 CWM 필터는 식 (10)으로 표현되는 WM(weighted median) 필터로 부터 유도된다.

$$y(i, j) = \text{med} \{ h(s, t) \text{ copies of } x(i-s, j-t) \mid (s, t) \in W \} \quad (10)$$

식 (10)에서 $x(i-s, j-t)$ 는 각 화소값이며, $h(i, j)$ 만큼 가중치를 생성한 후, 중간값을 선택한다. 즉, 필터링 윈도우를 $W = \{(0, 0), (0, 1), (1, 0)\}$ 으로 하며, $\{h(-1, 0), h(0, 0), h(1, 0)\} = \{2, 3, 2\}$ 와 같이 가중치를 인가하였을 경우, 출력 $y(i, j)$ 는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$y(i, j) = \text{med} \{ x(i-1, j), x(i-1, j), x(i, j), x(i, j), x(i, j), x(i+1, j), x(i+1, j) \} \quad (11)$$

$h(0,0) = 2K+1$ 는 중앙 화소의 가중치이며, $(s, t) \neq (0, 0)$ 일때, $h(s, t) = 1$ 인 WM 필터를 CWM 필터라 정의하고, 식 (12)와 같이 표현된다.

$$y(i, j) = \text{med} \{ x(i-s, j-t) \text{ } 2K \text{ copies of } x(i, j) \mid (s, t) \in W \} \quad (12)$$

식 (12)에서, K 는 양의 정수이며, 만약 $K=0$ 일 경우 CWM 필터는 SM 필터가 되고, 윈도우 내의 총 화소 수 보다 가중치 $2K+1$ 이 크거나 같게

되면, 필터링은 수행되지 않으며, 중앙화소의 가중치가 클 경우는 노이즈 제거에는 한계가 있는 반면, 영상의 보존 성능은 우수해진다.

아래의 그림 3은 CWM 필터의 처리과정을 표현한 그림으로 입력값에 가중치를 인가하여, 윈도우내의 그레이레벨을 정렬한 결과 값을 보여주고 있다.

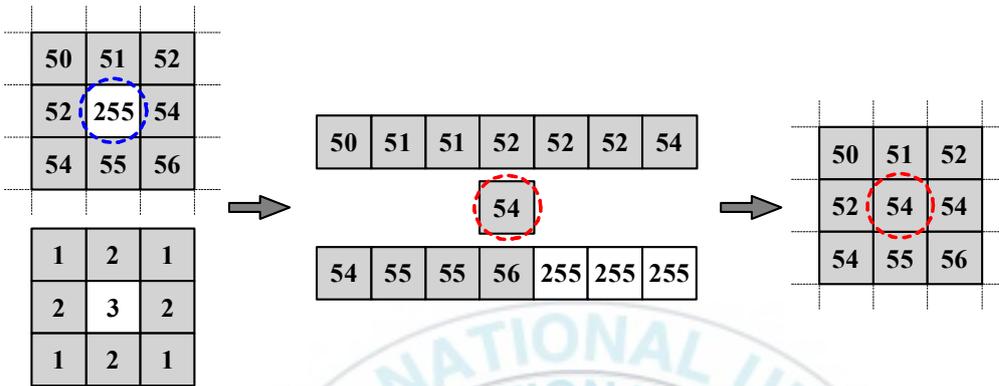


Fig. 3. A Course of Center Weighted Median Filter.

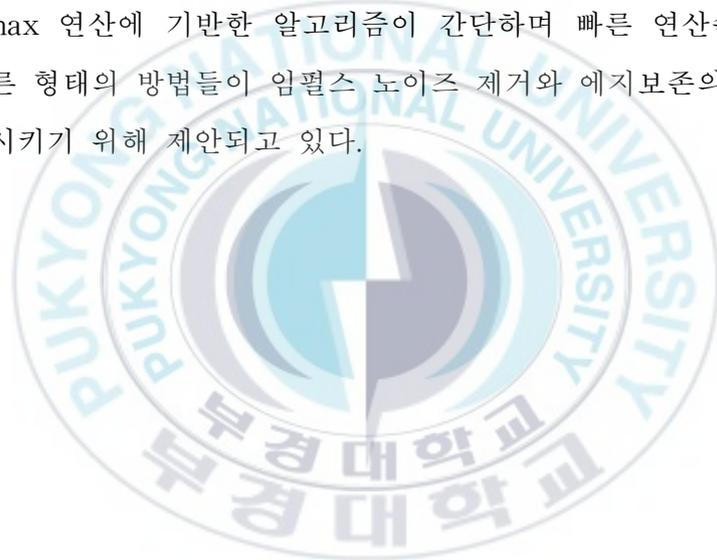
3.3 Min-max 기반 필터

임펄스 노이즈를 제거함과 동시에 에지 보존과 처리시간의 관점에서 비교적 개선된 성능을 나타내는 Min-max 연산에 기반한 peak-and-valley 필터는 이웃화소의 최대값과 최소값을 이용하여 중앙화소의 명암값을 제한하는 형태로서 다음 식 (13)과 같이 표현된다.

$$y(i, j) = \begin{cases} \max \{X(i-s, j-t)\}, & \\ \quad \text{if } X(i, j) > \max \{X(i-s, j-t)\} & \\ \min \{X(i-s, j-t)\}, & \\ \quad \text{if } X(i, j) < \min \{X(i-s, j-t)\} & \\ X(i-s, j-t), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

식 (13)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.

이러한 min-max 연산에 기반한 알고리즘이 간단하며 빠른 연산속도를 나타내는 또 다른 형태의 방법들이 임펄스 노이즈 제거와 에지보존의 문제를 동시에 만족시키기 위해 제안되고 있다.



제4장 제안한 필터

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 훼손된 영상을 복원하기 위해, 처리 윈도우의 형태 변화와 각 방향성분에 대한 최대값과 최소값을 이용하여, 처리화소의 크기를 제한하도록 하였다.

임의의 좌표 (i, j) 에서의 입력화소값 $X(i, j)$ 를 포함하는 (5×5) , $\{(2N+1) \times (2N+1), N=2\}$ 크기의 윈도우를 그림 4에 나타내었으며, 임펄스 잡음의 처리과정은 크게 잡음 검출과 제거의 두 단계로 구분하였다.

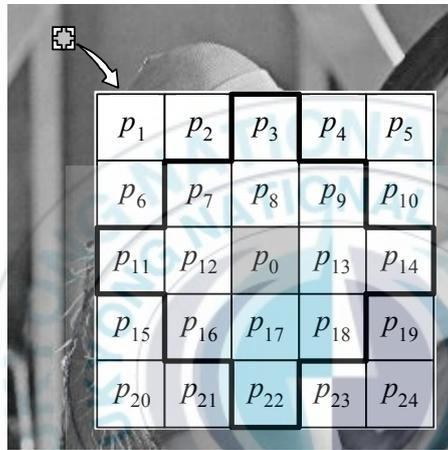


Fig. 4. Impulse noise detection window (5×5) .

먼저, 잡음에 의해 훼손된 화소에 대해서만 잡음제거 과정을 적용하기 위해, 잡음 검출과정을 거치게 되며, (5×5) 크기의 윈도우에 대해, 주변화소를 이용하여 아래 식 (14), (15)와 같이 최대값 S_M 과 최소값 S_m 을 구한다.

$$S_M = \max \{p_i \mid 1 \leq i \leq 24\} \quad (14)$$

$$S_m = \min \{p_i \mid 1 \leq i \leq 24\} \quad (15)$$

(6)

일반적으로, 임펄스 잡음은 dynamic range의 최대 또는 최소값과 동등한 크기로 발생된다. 따라서 식 (16)으로부터, n 이 1인 경우는 현재화소가 임펄스 잡음에 의해 훼손된 것으로 간주하며, 그렇지 않은 경우는 원화소로 판단한다.

$$n = \begin{cases} 1, & p_0 \leq S_m \text{ or } p_0 \geq S_M \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

위의 과정으로부터 임펄스 잡음으로 판단된 화소의 위치정보를 나타내는 IMG_{index} 영상을 얻는다. 그리고 이러한 IMG_{index} 정보를 이용하여, 잡음으로 판단된 화소에 대해서만 아래의 임펄스 잡음 제거과정을 수행한다. 잡음제거 과정은 처리화소에 대한 주변화소의 임펄스 잡음 분포비율에 따라, 처리 윈도우의 모양을 아래의 그림 5와 같이 상이하게 적용한다.

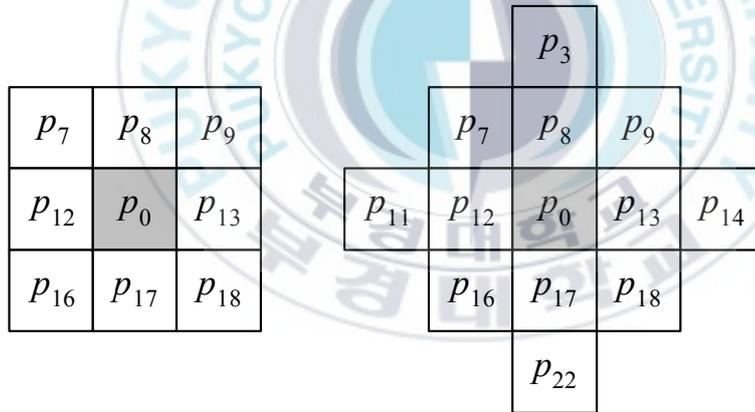


Fig. 5. Processing window.

잡음제거를 위해서, IMG_{index} 영상을 이용하여 두 가지 윈도우의 각 방향 성분에서 임펄스 잡음에 대한 분포 비율을 검사한다. Square 윈도우에 대한 각 방향성분은 아래 식 (17)과 같으며 그림 6과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 D_{S1} &= \{p_{7 \sim 9}, p_{12}, p_{13}\} \\
 D_{S2} &= \{p_{12}, p_{13}, p_{16 \sim 18}\} \\
 D_{S3} &= \{p_{7 \sim 8}, p_{12}, p_{16 \sim 17}\} \\
 D_{S4} &= \{p_{8 \sim 9}, p_{13}, p_{17 \sim 18}\}
 \end{aligned} \tag{17}$$

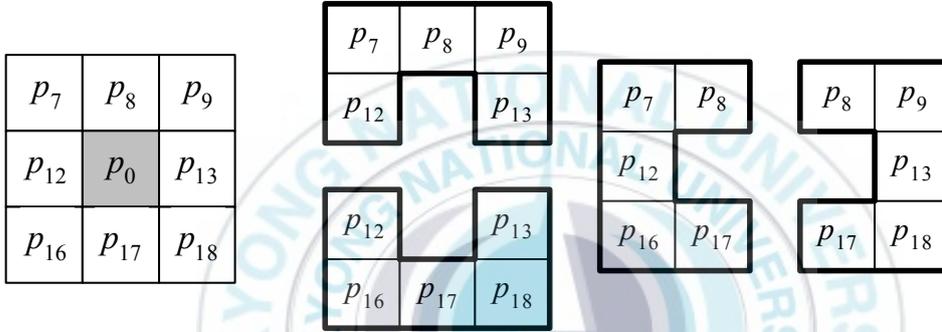


Fig. 6. Square window.

또한 Diamond 윈도우에 대한 각 방향성분은 식 (18)과 같으며 그림 7과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 D_{D1} &= \{p_3, p_{7 \sim 9}, p_{13 \sim 14}, p_{18}\} \\
 D_{D2} &= \{p_7, p_{11 \sim 12}, p_{16 \sim 18}, p_{22}\} \\
 D_{D3} &= \{p_3, p_{7 \sim 9}, p_{11 \sim 12}, p_{16}\} \\
 D_{D4} &= \{p_9, p_{13 \sim 14}, p_{16 \sim 18}, p_{22}\}
 \end{aligned} \tag{18}$$

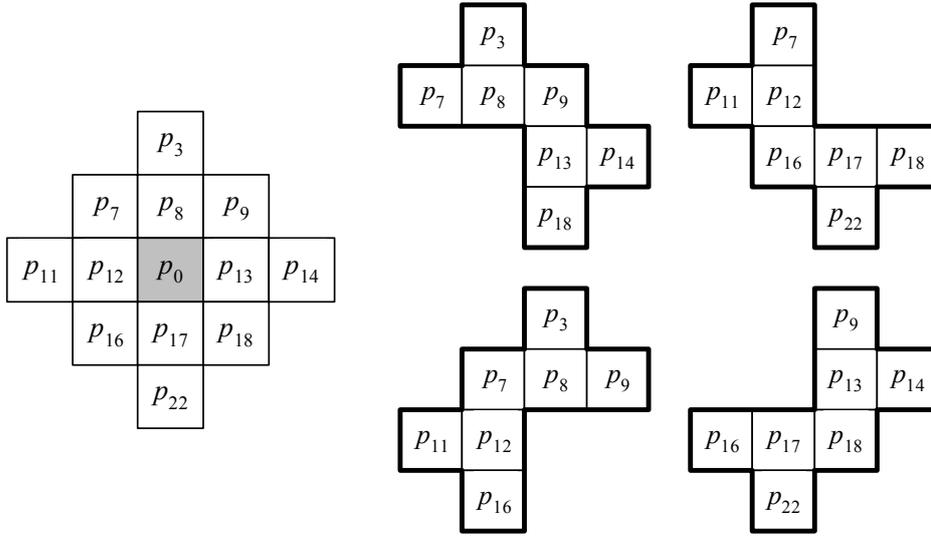


Fig. 7. Diamond window.

그리고 각 방향성분 영역 내에 포함된 임펄스 잡음의 수를 각각 I_{S1} , I_{S2} , I_{S3} , I_{S4} , I_{D1} , I_{D2} , I_{D3} , I_{D4} 로 나타낼 때, Square 윈도우와 Diamond 윈도우 영역 내의 방향성분에 대한 임펄스 잡음의 최대 분포 비율을 식 (19)로 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 MAX_S &= \max \{I_{S1}/5, I_{S2}/5, I_{S3}/5, I_{S4}/5\} \\
 MAX_D &= \max \{I_{D1}/7, I_{D2}/7, I_{D3}/7, I_{D4}/7\}
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

위의 식 (19)에서 표현된 MAX_S 와 MAX_D 에 대한 관계로부터, $MAX_S \leq MAX_D$ 일 경우에는 임펄스 잡음을 제거하기 위해 Square 윈도우를 적용하며, 그렇지 않은 경우에는 Diamond 윈도우를 적용한다. 이것은 상대적으로 임펄스 잡음이 적게 분포된 윈도우를 사용할 경우, 좀 더 우수

한 잡음제거 성능을 나타내기 때문이다.

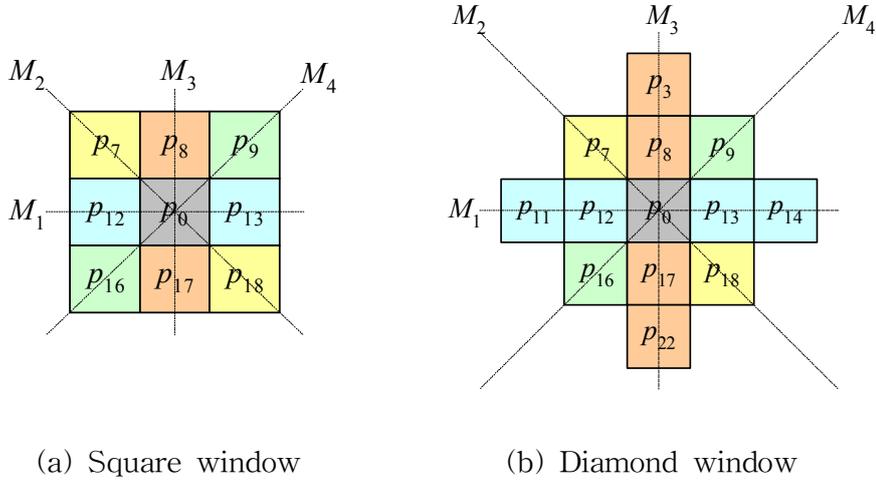


Fig. 8. Directional components.

식 (19)에 의한 모든 경우에 대해서, 임펄스 잡음을 제거하기 위해, Square 윈도우와 Diamond 윈도우는 각 방향에 대해 위의 그림 8과 같이 4 부분으로 분할된다. Square 윈도우의 경우, 각 방향 성분은 식 (20)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \{p_{12}, p_{13}\}, & M_2 &= \{p_7, p_{18}\} \\
 M_3 &= \{p_8, p_{17}\}, & M_4 &= \{p_9, p_{16}\}
 \end{aligned} \tag{20}$$

Diamond 윈도우일 경우, 각 방향 성분은 식 (21)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \{p_{11}, p_{12}, p_{13}, p_{14}\}, & M_2 &= \{p_7, p_{18}\} \\
 M_3 &= \{p_3, p_8, p_{17}, p_{22}\}, & M_4 &= \{p_9, p_{16}\}
 \end{aligned} \tag{21}$$

식 (20)또는 식 (21)로부터 얻어지는 각 방향성분에 대한 subset으로 부터, 식 (22)와 같이 각 subset의 최대값 φ_M^i 와 최소값 φ_m^i 를 구한다.

$$\begin{aligned}\varphi_M^i &= \max \{M_i\}, & 1 \leq i \leq 4 \\ \varphi_m^i &= \min \{M_i\}, & 1 \leq i \leq 4\end{aligned}\tag{22}$$

그리고 입력화소의 그레이레벨을 제한하기 위해, 식 (22)로 부터 얻어지는 subset의 최대값 φ_M^i 와 최소값 φ_m^i 을 이용하여, 식 (23)과 같은 임계값을 구한다.

$$\begin{aligned}\lambda_M &= \min \{\varphi_M^i \mid 1 \leq i \leq 4\} \\ \lambda_m &= \max \{\varphi_m^i \mid 1 \leq i \leq 4\}\end{aligned}\tag{23}$$

최종적으로 식 (24)를 이용하여, 임펄스 잡음에 의해 훼손된 화소를 원 화소에 대한 추정값으로 대체하며, 이때 현재 화소에 대한 추정값이 다음 화소를 처리하기 위한 이웃화소로 사용되는 재귀형태를 갖도록 하였다.

$$X(i, j) \Leftarrow \begin{cases} \lambda_M, & \text{if } X(i, j) > \lambda_M \\ \lambda_m, & \text{if } X(i, j) < \lambda_m \\ X(i, j), & \text{otherwise} \end{cases}\tag{24}$$

제5장 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 임펄스 잡음환경에서 영상을 복원하기 위해, 처리 윈도우의 형태와 방향성 정보를 이용한 비선형 필터를 제안하였다. 그리고 제안한 필터의 성능을 평가하기 위해, (512×512) 와 (128×128) 크기의 Lena 영상과 Baboon 영상에 임펄스 잡음을 중첩하여 시뮬레이션 하였으며, MSE를 사용하여 기존의 방법과 비교하였다.

그림 9에서 그림 16까지는 Lena 영상과 Baboon 영상에 대한 임펄스 잡음 제거 결과를 나타내었다. 그림 9(b)와 그림 13(b)는 각각 테스트를 위해 사용된 Lena 영상과 Baboon 영상에서 잡음 제거 특성과 에지 영역 보존에 대한 처리 결과를 더욱 명확하게 보이기 위한, (128×128) 크기의 부분 영상이며, 그림 10(b)와 그림 14(b)는 20%의 salt & pepper 잡음이 중첩된 (128×128) 크기의 noisy 영상이다. 그리고 그림 12와 그림 16의 (a), (b), (c), (d)는 각각 SM 필터 (5×5), CWM 필터 (5×5 $K=2$), Min-max 필터 (3×3), 그리고 본 논문에서 제안한 필터 (5×5)에 의한 (128×128) 크기의 결과 영상이다.

또한, 그림 17은 Lena 영상과 Baboon 영상에 대해서, 테스트 영상에 중첩되는 salt & pepper 노이즈의 밀도에 따른 MSE를 그래프로 나타낸 것이다. 결과로부터, Lena 영상과 Baboon 영상에서 기존의 방법들은 20%의 노이즈가 중첩된 salt & pepper 잡음환경 하에서, 각각 약 60, 350이상의 MSE 특성을 나타내었으나, 제안한 방법은 각각 약 22, 121의 MSE 특성을 나타내었다.

이와 같이 제안한 방법은 다양한 salt & pepper 노이즈 밀도와 여러 가지 형태의 테스트 영상에 대해서 노이즈 제거 성능이 우수하였다.



(a) Original image (512 X 512)



(b) Original image (128 X 128)

Fig. 9. Test image (Lena).



(a) Noisy image (512 X 512)



(b) Noisy image (128 X 128)

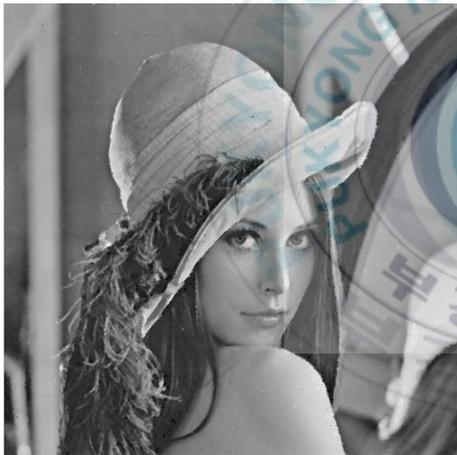
Fig. 10. Noisy image (Lena, p=20%).



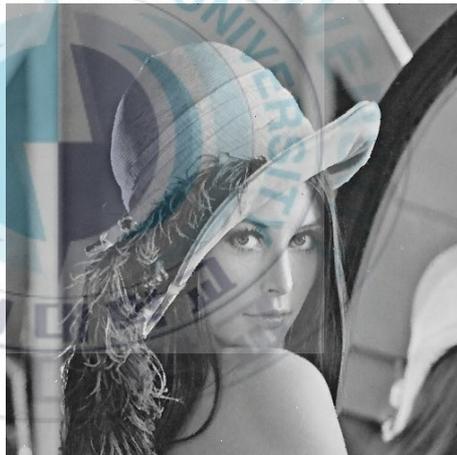
(a) SM filter (MSE=86.62)



(b) CWM filter (K=2, MSE=60.22)



(c) Min-max filter (MSE=59.17)



(d) Proposed filter (MSE=22.01)

Fig. 11. Denoising results (Lena, 512 X 512).

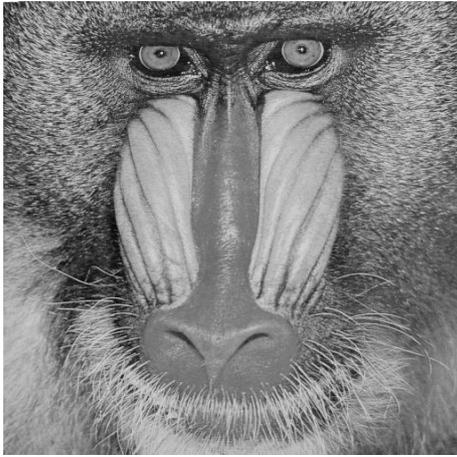


(a) SM filter (MSE=86.62) (b) CWM filter (K=2, MSE=60.22)

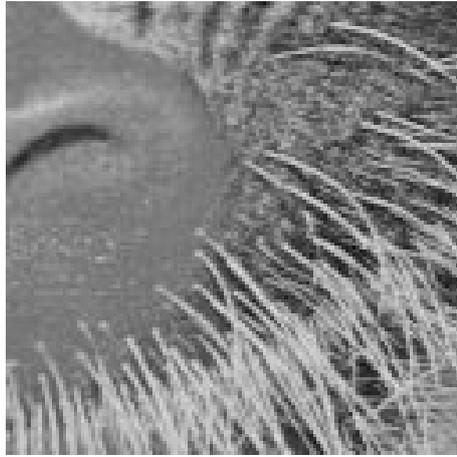


(c) Min-max filter (MSE=59.17) (d) Proposed filter (MSE=22.01)

Fig. 12. Denoising results (Lena, 128 X 128).



(a) Original image (512 X 512)

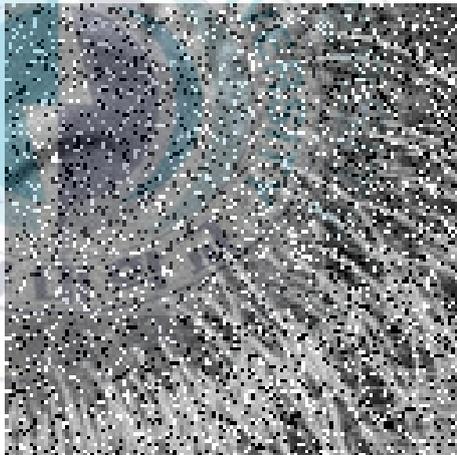


(b) Original image (128 X 128)

Fig. 13. Test image (Baboon).

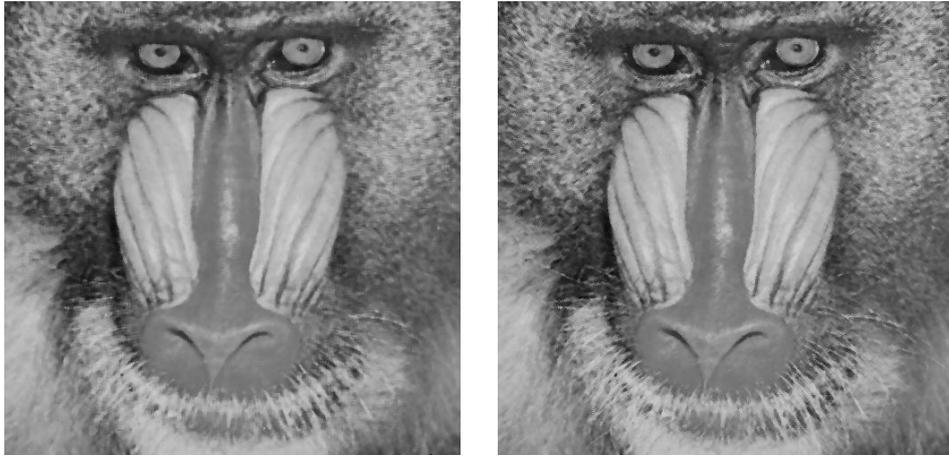


(a) Noisy image (512 X 512)



(b) Noisy image (128 X 128)

Fig. 14. Noisy image (Baboon, $p=20\%$).



(a) SM filter (MSE=503.17) (b) CWM filter (K=2, MSE=351.39)



(c) Min-max filter (MSE=331.88) (d) Proposed filter (MSE=121.54)

Fig. 15. Denoising results (Baboon, 512 X 512).

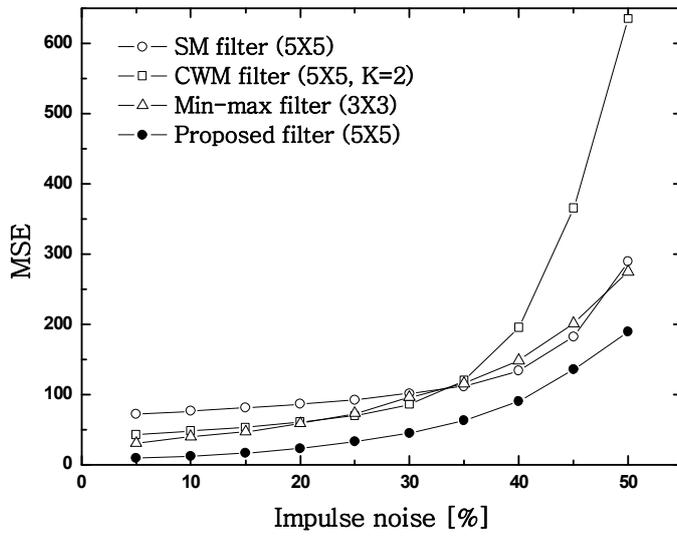


(a) SM filter (MSE=503.17) (b) CWM filter (K=2, MSE=351.39)

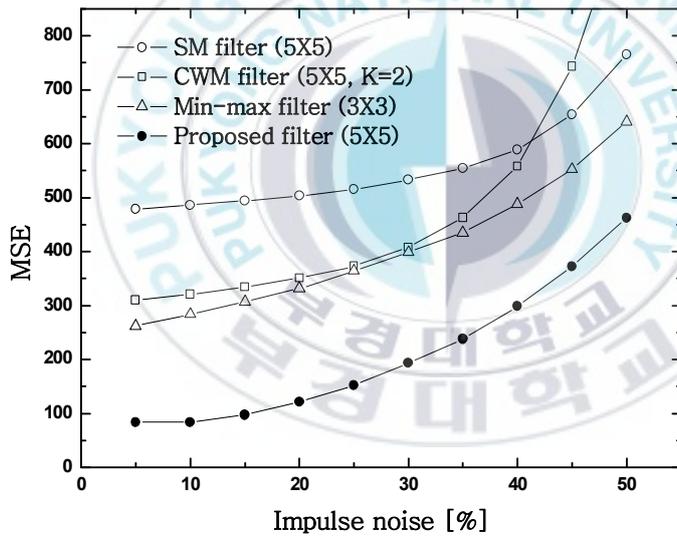


(c) Min-max filter (MSE=331.88) (d) Proposed filter (MSE=121.54)

Fig. 16. Denoising results (Baboon, 128 X 128).



(a) Lena image



(b) Baboon image

Fig. 17. MSE with variation of noise densities.

Table 1. MSE comparison by each method (Lena).

density	SM filter	CWM filter	Min-max filter	Proposed filter
5%	71.74	42.57	30.37	9.61
10%	76.20	46.65	38.38	10.85
15%	80.37	52.23	46.76	15.89
20%	86.62	60.22	59.17	22.01
25%	94.63	72.01	76.85	34.47
30%	100.30	86.47	93.91	45.48
35%	116.88	129.34	120.15	68.81
40%	141.44	214.59	153.45	91.98
45%	178.11	348.71	197.14	140.05
50%	267.00	622.61	259.68	187.77

Table 2. MSE comparison by each method (Baboon).

density	SM filter	CWM filter	Min-max filter	Proposed filter
5%	478.97	310.27	262.09	84.27
10%	486.28	321.10	283.97	84.12
15%	494.44	334.96	306.72	97.68
20%	503.17	351.39	331.88	121.54
25%	515.03	372.93	364.62	152.54
30%	532.99	408.23	398.95	193.56
35%	554.74	462.68	434.99	238.29
40%	588.86	557.88	488.17	298.99
45%	654.77	743.62	552.49	372.62
50%	765.35	1044.23	641.09	462.13

제6장 결 론

본 논문에서는 임펄스 잡음 환경에서 영상을 복원하기 위해, 처리 윈도우의 형태와 방향성 정보를 이용한 비선형 필터를 제안하였으며, 시뮬레이션에서 MSE를 사용하여 기존의 방법들과 비교하였다.

제안한 필터의 특성을 확인하기 위해, salt & pepper 노이즈의 밀도를 20%로 변화시켜 시뮬레이션 하였다. 또한 제안한 방법의 타당성을 입증하기 위해, (512×512) 크기의 Lena 영상과 Baboon 영상을 (128×128) 크기의 확대 영상으로 나타내어, 노이즈 제거와 에지성분에 대한 보존 특성을 보다 명확히 표현하였다.

시뮬레이션 결과로부터, Lena 영상과 Baboon 영상에 대하여 비선형 필터로 처리한 경우, 기존의 방법들은 임펄스 잡음을 제거함에 있어서, 에지 영역에 대한 큰 열화현상을 나타내었으나, 본 논문에서 제안한 방법은 영상의 에지영역을 보존함과 동시에 임펄스 잡음을 효과적으로 제거하여, 기존의 방법들보다 우수한 MSE 특성을 나타내었다.

따라서 본 논문에서 제안한 영상복원 방법은 임펄스 잡음 환경하에서 사용되는 다양한 영상처리 시스템분야 등에 유용하게 적용되리라 사료된다.

참고 문헌

- [1] S. J. Ko and Y. H. Lee, "Center weighted median filters and their application to image enhancement", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 38, pp. 984-993, Sept. 1991.
- [2] P. S. Windyga, "Fast impulsive noise removal", IEEE Trans. Image Processing, vol. 10, pp. 173-179, Jan. 2001.
- [3] M. Werman and S. Peleg, "Min-max operators in texture analysis", IEEE Trans. PAMI, vol. 7, pp. 730-733, Nov. 1985.
- [4] L. Yin, R. Yang, M. Gabbouj and Y. Neuvo, "Weighted median filters: a tutorial", IEEE Trans. Circuits Syst., vol. 43, pp. 157-192, 1996.
- [5] T. Chen and Hong Ren Wu, "Adaptive Impulse Detection Using Center-Weighted Median Filters", IEEE Trans. Signal Processing Lett., vol. 8, pp. 1-3, 2001.
- [6] Xin Wang, "Generalized Multistage Median Filter", IEEE Trans. Image Processing, vol. 1, pp. 1834-1838, 1992.
- [7] Y. Xu and E. M. Lai, "Restoration of images contaminated by mixed Gaussian and impulse noise using a recursive minimum-maximum method", IEE Proc., Vis. Image Signal Process., vol. 145, pp. 264-270, 1998.
- [8] S. H. Saeid, and J. K. Gautam, "Performance Comparison of Window Functions Used for FIR Digital Filter Design", Proceedings of International Conference on Computer Applications in Electrical Engineering Recent Advances(CERA'97) Roorkee, India, pp. 141-147, 8-11 Sep. 1997.

- [9] J. S. Lee, "Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics", IEEE Trans. Signal Process., Vol. 39, pp. 1146-1163, May 1991.
- [10] 서현수, 김 옥, 노현용, 배상범, 김남호, "음성신호의 피치 주기 검출을 위한 새로운 AMDF에 관한 연구", 한국통신학회·대한전자공학회·제어자동화시스템공학회 부산·경남지부 추계합동학술논문발표회 논문집, 제14권 2호, pp. 73-74, 2005. 6. 4.
- [11] 노현용, 김 옥, 최귀홍, 배상범, 김남호, "임펄스 노이즈 환경에서의 영상복원을 위한 공간 필터 알고리즘에 관한 연구", 2005년도 한국통신학회·대한전자공학회·제어자동화시스템공학회 부산·경남지부 추계합동학술논문발표회 논문집, 제14권 2호, pp. 9-12, 2005. 12. 3.
- [12] 서현수, 김 옥, 김남호, "적응적인 임계값 설정을 이용한 가우시안 잡음 제거 알고리즘", 2007년도 한국통신학회·대한전자공학회·제어자동화시스템공학회 부산·경남지부 추계합동학술논문발표회 논문집, 제16권 1호, pp. 39-42, 2007. 6. 2.
- [13] 서현수, 김 옥, 김남호, "A Gaussian Noise Removal Algorithm using Histogram", 한국 신호처리·시스템 학회 2007 추계 학술대회 논문집, 제8권 1호, pp. 34-37, 2007. 6. 23.
- [14] 김 옥, 배상범, 김남호, "영상의 방향성 정보를 이용한 비선형 공간 필터에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 2007 추계종합학술대회 논문집, 제11권 2호, pp. 359-362, 2007. 10. 26.
- [15] 김 옥, 배상범, 김남호, "영상의 국부 방향성 정보를 이용한 공간 필터링 알고리즘에 관한 연구", 2007년도 한국통신학회·대한전자공학회·제어자동화시스템공학회 부산·경남지부 추계합동학술논문발표회 논문집, 제16권 2호, pp. 47-50, 2007. 12. 1.

감사의 글

미흡한 저의 논문이 완성되기까지 애정 어린 격려와 따끔한 충고로 지도해 주시며, 늘 세심하게 챙겨주시고 제가 올바른 길을 갈 수 있도록 이끌어주신 지도교수님이신 김남호 교수님께 진심으로 고개 숙여 감사드립니다. 아울러, 바쁘신 와중에도 부족한 저의 논문에 많은 지도와 조언을 해주신 이형기 교수님, 김만고 교수님께 다시 한 번 감사드립니다. 학부때부터 지금까지 늘 한결같은 모습으로 저를 이끌어 주시며, 큰 안목을 길러주신 최연욱 교수님, 변기식 교수님, 황용연 교수님, 안영주 교수님, 이경창 교수님께 감사드립니다.

저에게 끈기와 목표의식이 뭔지 일깨워 주신 배상범 선배님께 진심으로 감사드리며, 큰 형님 같으신 강경덕 선배님을 비롯한 구분석 선배님, 최귀홍님께도 감사드립니다. 그리고 아끼는 동생 노현용에게 감사의 마음을 전하며, 대학원 생활동안 큰 힘이 되어준 북경에서 온 후배 Jin Bo와 착실한 후배 이경효에게 고마움을 전합니다. 또한 시스템제어 연구실의 이창원, 이덕, 류나이 후배에게도 감사의 맘을 전하며, 학과사무실에서 수고해주신 박명규, 신혜숙 조교에게 고마움을 전합니다. 늘 한결같은 친구 양호민, 윤석일, 심재민과 동생 고두영에게도 감사의 맘을 전합니다.

세상의 그 무엇보다도 소중한 사랑하는 아버지, 어머니께 정말 감사드립니다. 그리고 늘 저를 아껴주시며 사랑해주는 사랑하는 외할머니와 못난 동생에게 늘 큰 힘이 되어준 큰누나, 작은누나께 감사드리며, 이름을 밝히지 못한 저를 아는 많은 분들께도 감사의 말씀 드립니다. 모든 분들의 기대에 어긋남 없이 꾸준히 정진하는 모습 보여드리겠습니다. 감사합니다.

2008년 2월

김 욱 올림