

碩士學位論文

複合필터에 依한 디지탈 影像 復元

(Digital Image Restoration using Combined Filter)

指導教授 李 泰 鴻

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함

1996年 2月

嶺南大學校 產業技術大學院

電氣電子工學科 電子工學專攻

張 正 東

張 正東의 碩士學位 論文을 認准함

審查委員 印

審查委員 印

審查委員 印

1996年 2月

嶺南大學校 產業技術大學院

## 感謝의 글

子息을 위해서라면 어떠한 犧牲도 마다 하지 않으며 子息의 結實을 自身의 일과 같이 기뻐하시고 現在의 健康한 삶이 있게 해주신 年老하신 어머님께 子息의 道理를 못 다하고 있음을 깊이 뉘우치면서 조그마하나마 이 結實을 드립니다.

恒常 곁에서 따뜻한 마음으로 助言하며, 언제나 밝은 微笑로 어려움을 잊게 해주며 앞으로 逆境을 함께 해쳐 나갈 아내에게 그 동안의 뒷바라지를 感謝하는 意味에서 이 論文을 바칩니다.

高等學校 3學年으로 入試準備에 여념이 없지만 이 늦은 時間에도 愛嬌를 부리며 워드 作業을 도와주는 우리 귀여운 딸 志映이와 中學校 3學年이지만 머리만 믿고 努力이 不足하다고 엄마한테 매번 혼나는 무뚝뚝한 우리 玖赫이의 앞날에 榮光이 있기를 祈願하면서 이 글을 씁니다.

論文의 作成過程에서 너무나도 큰 도움을 주시고, 始終一貫 자상하시며 너그러운 指導와 激勵를 아끼지 않으신 李 泰鴻교수님께 머리 숙여 感謝 올리며 내내 健康하시길 祈願합니다. 또 審查過程에서 많은 助言과 指導를 해주신 이 무영 교수님, 그리고 정 현열教授님께 感謝 드립니다.

大學院 生活 동안 함께 同苦同樂하며 어려운 環境에서도 恒常 배움의 姿勢를 잃지 않고 열심히 살아가며 힘이 되어준 同僚들의 고마움을 잊지 않겠습니다. 그리고 論文의 實驗을 함께하며 많은 問題를 解決해 준 後輩 조 영창씨에게도 고마운 마음을 간직하겠습니다. 그리고 바쁜 業務 중에서도 勉學의 雾圍氣를 이끌어 준 職場 先後輩 同僚들에게도 感謝 드립니다.

오늘도 생각하며, 깨어 있는 姿勢로 나에게 주어진 일에 最善을 다 할 것이며, 謙遜하며, 貪慾스럽지 않은 삶을 살아 가도록 努力하겠습니다.

1996년 2월

張 正 東

## 目 次

I . 序 論	2
II . 雜音處理 필터	4
II-1. 平均值 필터	5
II-2. 메디안 필터	9
II-3. Nagao 필터	10
III . 視覺體系函數	11
III-1. 遮蔽函數	11
III-2. 視覺函數	12
IV . 複合필터	13
V . 實驗 및 檢討	16
V-1. 平均值 필터에 依한 處理	19
V-2. Median 필터에 依한 處理	22
V-3. Nagao 필터에 依한 處理	25
V-4. 提案한 複合필터에 依한 影像處理	28
V-4-1. 影像分析 및 輪廓抽出	28
V-4-2. 複合필터에 依한 影像處理	32
V-5. 處理된 影像에 對한 檢討	35
VI . 結 論	42
參考文獻	43
英文抄錄	44

## I . 序 論

影像은 情報를 貯藏하거나 表現하는 手段으로서 이의 形成, 感知, 記錄 및 傳送 等의 過程을 거치는 동안 影像 處理裝置의 不完全함으로 인해 흐려지고 雜音이 加算된다. 이러한 影像의 毀損은 시스템의 特性에 起因하는 흐려짐(blur)과 加算雜音에 依한 雜音毀損으로 나눌 수가 있다.

線形的인 흐려짐에는 카메라와 物體간의 움직임에 의해 發生하는 動的 흐려짐, 초점이 맞지 않음(defocusing), 大氣散亂 등에 의한 흐려짐 등이 있고, 加算雜音은 量子化 誤差와 傳送過程(transmission)에서 發生할 수 있는 白色 가우시안 雜音과 임펄스 雜音이 있다.

影像의 貯藏이나 傳送 時 發生하는 白色 가우시안 雜音에 依해 毀損된 影像은 影像의 品質이 低下될 뿐 아니라 컴퓨터로 處理하여 認識하려 할 때 誤動作 및 誤謬를 일으킬 수 있으며, 影像을 遠距離로 傳送하거나, 貯藏할 때 雜音이 增幅되어 더 큰 毀損을 招來하게 된다. 따라서 大部分의 影像處理 過程에서 가장 基礎的인 作業의 하나는 雜音을 除去하는 것이다.

그러나 이러한 加算雜音에 依해 毀損된 影像은 原影象과 近接하게 復元하는 것이 매우 어려워지므로, 이를 復元하기 爲한 여러 가지 雜音處理에 關한 方法이 研究되고 있다. 이러한 方法에는 影像의 定常모델(stationary model)을 基礎한 線型필터와 非定常모델(nonstationary model)에 基礎한 非線型필터로 나눌 수 있다.

線型필터에는 空間平均(spatial average)필터가 있으며, 이는 數學的으로 매우 單純하여 適行이 簡單한 이점이 있으므로 雜音除去, 특히 平坦한 領域을 平滑化하는데 效果的이어서 MSE(Mean Square Error)의 改善度가 크며, 視覺的으로 매끄러운 影像을 얻을 수 있다. 그러나 大部分 定常的인 影像모델을 假定한 平滑化 필터를 使用하므로 影像의 급격한 變化를 나타내는 非定常的인 領域인 輪廓에서는 흐려짐(blurring) 現象이 나타난다.

특히, 우리의 視覺認識은 輪廓情報에 크게 依存하기 때문에 모든 平滑化 過程은 輪廓이 保存되도록 設計하여야 한다. 最近에는 線型필터들의 이러한 흐려짐 現象을 克服하기 爲하여 非定常 모델링에 基礎를 둔 여러 가지 處理方法들이 提示되고 있다.

이러한 處理方法들을 例로들면, 畫素周圍에서 가장 分散이 적은 等質領域을 찾아서 이 領域의 平均值를 中心畫素의 欲으로 代置하는 方法, 中心畫素와 周圍畫素間의 差가 작은 곳에는 加重值를 크게 주고 큰 곳에는 작게 주어 中心畫素와 類似한 畫素에 加重值를 많이 주는 方法, 近接畫素間의 濃度差分值를 利用하는 方法, 局部的 信號 對 雜音 比(Local Signal To Noise Ratio)를 利用하여 適應的으로 處理하는 方法 등이 提示되고 있으나, 雜音이 심하게 混入된 影像을 復元할 時 雜音은 除去되고 輪廓部分도 比較的 잘 保存되나, 纖細한 部分이 平滑化되는 短點이 있다.

본 論文에서는 가우스 白色雜音으로 毀損된 影像을 復元함에 있어서 視覺體系에 符合하는 視覺函數를 利用하여 線型과 非線型필터를 組合한 複合필터를 使用하므로서 雜音 平滑化에 따른 輪廓損失을 最大限 防止하는 方法을 研究하여 輪廓을 保存하면서 雜音을 處理하는 알고리즘을 開發하여 提示하고자 한다.

이 論文에서는 Ⅱ장에 一般的인 雜音處理 方法인 平均值 필터와 Median필터 및 Nagao필터에 대하여 論하고 Ⅲ장에서는 視覺體系函數를 說明하며, Ⅳ장에서는 複合필터를 使用한 影像復元 알고리즘을 提案하며, Ⅴ장의 實驗結果를 通하여 본 論文에서 提案된 알고리즘의 妥當性을 立證한다.

## II. 雜音處理 필터

一般的인 影像復元은 Fig. 1. 에서 처럼 原影象에 雜音이 섞인 毀損된 影像으로부터 원래의 影像을 推定하는 것이다. Fig.1.에서  $f(i,j)$ 는 원래의 影像,  $n(i,j)$ 는 加算雜音,  $g(i,j)$ 는 毀損된 影像을 나타낸다.

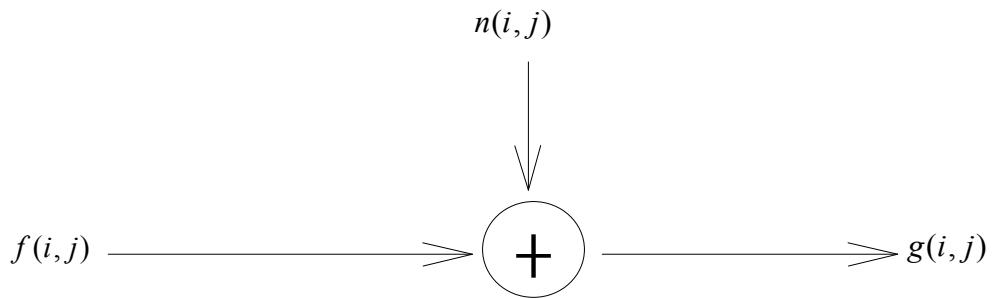


Fig.1. A model of degraded image

원래의 影像  $f(i,j)$ 에 白色 가우스 잡음  $n(i,j)$ 가 섞인 影像是 다음과 같이 表現된다.

$$g(i,j) = f(i,j) + n(i,j) \quad (1)$$

여기서  $i$ : 影像의 水平方向의 座標 ( $i = 1, 2, 3, \dots, M$ )

$j$ : 影像의 垂直方向의 座標 ( $j = 1, 2, 3, \dots, N$ )이다.

雜音處理 필터는 影像이 가지는 不必要한 周波數 成分을 除去한다든지 對象影像을 컴퓨터로 處理하기 爲해 디지털화 할 때 混入되는 雜音이나 傳送 時 同伴되는 雜音을 輕減시키기 爲하여 一般的으로 널리 利用되고 있다.

### II-1. 平均值 필터

加算雜音으로 毀損된 影像의 毀損모델이 式(1)과 같을 때, 雜音을 處理하는 알고리즘의 形態로 다음의 두 가지가 있다.

첫째는, 양상을 平均(ensemble average)을 利用하는 方法과

둘째는, 影像의 局部的, 空間的 平均을 利用하는 方法이 있다.

위의 두 가지 方法은 모두 低域필터의 周波數特性을 利用한다는 共通點이 있다.

첫 번째 方法은, 加算雜音의 統計的 特性을 考慮한 것으로 이의 處理모델로 使用된 雜音은 平均이 0인 白色 가우스 雜音으로 假定할 수 있고, 雜音 對 信號間 및 雜音 相互間의 相關性은 없는 것으로 假定하면,

$$E[n(i,j)] = n_m = 0 \quad (2)$$

$$E[(n - n_m)(n - n_m)^T] = \sigma^2_n I \quad (3)$$

이 된다. 이때  $n_m$ 은 雜音平均이므로 0이 되고,  $I$ 는 主 對角線이 1인 單位 매트릭스이다.

그리고  $M$ 개의 毀損影像의 平均을 취하면 다음과 같다.

$$\bar{g}(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M g_i(x,y) \quad (4)$$

이 된다. 여기서  $\bar{g}(x,y)$ 는  $(x,y)$  位置의  $g_i (i=1, \dots, M)$ 의 양상을 平均이므로,  $\bar{g}(x,y)$ 의 平均과 分散은 각각

$$E\{\bar{g}(x,y)\} = f(x,y) \quad (5)$$

$$\sigma_{\bar{g}(x,y)}^2 = \frac{1}{M} \sigma_{n(x,y)}^2 \quad (6)$$

이 된다.  $E\{\bar{g}(x,y)\}$ 는  $\bar{g}$ 의 平均값이며,  $\sigma_{\bar{g}(x,y)}^2$  와  $\sigma_{n(x,y)}^2$ 는任意의  $(x,y)$ 에서 각각  $\bar{g}$ 와  $n$ 의 分散 값이다. 이때 標準偏差는 다음과 같다.

$$\sigma_{\bar{g}(x,y)} = \frac{1}{\sqrt{M}} \sigma_{n(x,y)} \quad (7)$$

(5), (6)식에서  $M$ 을 增加시키면, 雜音의 分散 값을 減少한다. 이는 雜音의 性質이 白色雜音이므로 雜音의 샘플 수가 많으면, 많을수록 平均이 0이 되는 雜音의 統計的 性質과 잘 符合하므로,  $M \rightarrow \infty$  이면, (6)式에서  $\sigma_{\bar{g}(x,y)}^2 \rightarrow 0$  가 되므로 影像信號의 分散은 雜音分散의 影響을 받지 않음을 알 수 있다.

두 번째 方法은 局部的, 空間的 平均을 利用한 雜音의 周波數性質을 考慮한 것으로서 毀損

影像信號의 周波數 性分 중에서 比較的 낮은 周波數의 影像信號 帶域 밖의 信號를 低域필터로 雜音을 除去하는 方法이다.

白色雜音의 周波數特性은 全 帶域에 걸쳐 있으므로 이의 影響을 周波數 領域별로 考慮해 보면, 信號 對 雜音 比는 高周波領域이 低周波領域 보다 더 작게 된다. 즉, 高周波 領域에서 雜音의 影響이 크므로, 高周波 部分의 雜音을 除去하는 것이 重要하다.

低域필터는 空間領域에서 球形波 形態를 가지며, 體積은 “1”로써 Fig. 2. 와 같으며,

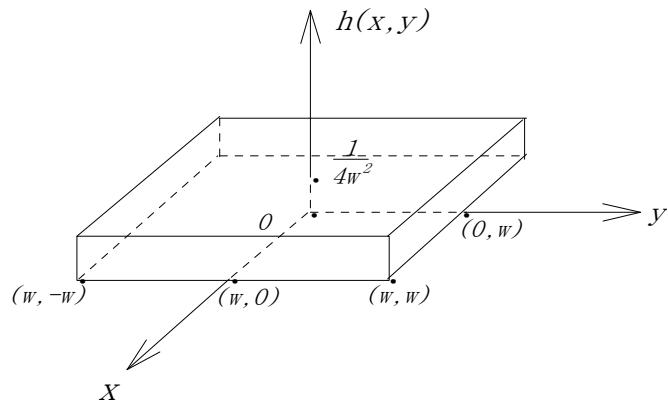


Fig.2. Lowpass filter in spatial domain

低域필터를 利用한 雜音除去 모델은 Fig.3과 같이 나타낼 수 있다.

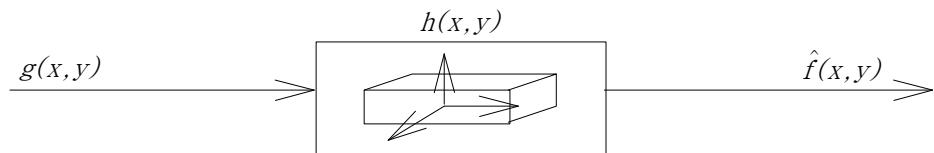


Fig.3. Block diagram of lowpass filter

위 블록다이어그램은 線型시스템의 信號處理 모델로서, 다음 數式으로 나타낸다.

$$\hat{f}(x, y) = h(x, y) * * g(x, y) \quad (8)$$

여기서  $h(x, y)$ 를 Fourier 變換하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
H(\omega_1, \omega_2) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \exp[-j(x\omega_1 + y\omega_2)] dx dy \\
&= \int_{-w-w}^{w+w} \int_{-w-w}^{w+w} \frac{1}{4w^2} \exp[-j(x\omega_1 + y\omega_2)] dx dy \\
&= \frac{\sin(jw\omega_1)}{(jw\omega_1)} \cdot \frac{\sin(jw\omega_2)}{(jw\omega_2)} \tag{9}
\end{aligned}$$

그리고 이 函數를 3次元 그레프로 表示하면 Fig. 4. 와 같다.

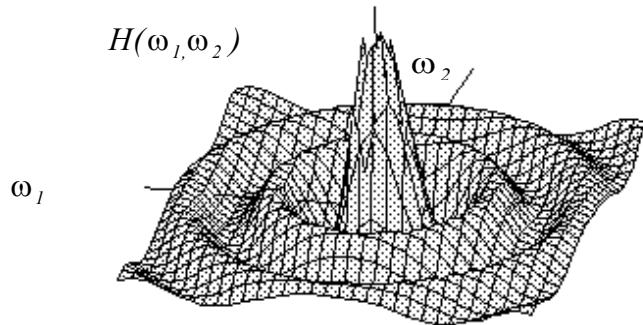


Fig.4. Fourier spectrum of lowpass filter

여기서  $H(\omega_1, \omega_2)$  는 低域필터  $h(x, y)$ 의 周波數變換이며, (8)식을 周波數 領域으로 表現하면,

$$\hat{F}(\omega_1, \omega_2) = H(\omega_1, \omega_2)G(\omega_1, \omega_2) \tag{10}$$

이 된다.

$\hat{F}(\omega_1, \omega_2)$  는  $\hat{f}(x, y)$  的 Fourier 周波數變換이고,  $G(\omega_1, \omega_2)$  는  $g(x, y)$ 의 Fourier 周波數變換이다. 그러므로 (9)式과 (10)式에서  $\hat{F}(\omega_1, \omega_2)$  는  $G(\omega_1, \omega_2)$  의 高周波 部分 즉, 雜音의 高周波 性分이 除去된 것으로서, 低周波 필터의 雜音 除去過程을 나타낸다.

이 過程에서 低周波 帶域에 있는 雜音은 除去되지 않은 채로 있지만, 低周波 帶域에는 信號 對 雜音比가 크므로 相對的으로 雜音의 影響은 큰 問題가 되지 않는다.

위에서 言及한 平均值 필터를 利用한 컴퓨터 處理는  $5 \times 5$  원도우에서 25개의 2次元 畫素를

가진 毀損된 影像信號  $g$  의 어떤 点  $(i, j)$  를 中心으로 畫素의 平均값을 구하여 그 값을 点  $(i, j)$  값으로 代置하는 方法으로 (11)式과 같이 구할 수 있다.

$$f(i, j) = g(i, j) * M(i, j) \quad (11)$$

여기서  $M(i, j) = \frac{1}{25} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$  (12)

이다.

위 식에서\*는 行列  $M(i, j)$  的 要素 값에 따라  $g(i, j)$  를 中心으로 周圍의 24개 畫素의 値을 均等하게 加算하고 25로 나누어 平均을 구하는 것으로 컨벌루션을 意味한다. 그러나, 이 필터는 원도우내의 畫素값을 平均하는 低周波 通過型의 필터로 動作하여 高周波性分을 除去하므로, 輪廓이 무너지는 短點이 있다.

## II-2. Median 필터

平均值 필터는 雜音處理에는 效果가 있으나 輪廓이 무너지는 短點이 있으므로 이를 補完한 方法이 Median 필터이다.

式(11)에서는  $5 \times 5$  원도우內의 畫素의 平均값을 計算하여 해당 원도우 内 中央의 畫素값으로 代置하는데 反해, 이 필터는 원도우내의 25個의 畫素를 밝기 順으로 整列하여, 그 中 中央에 위치한 13番째의 畫素값을 現 位置의 畫素값으로 代置하는 方法을 使用한다.

이 필터는 임펄스적인 雜音除去와 同時에 平均值 필터와는 달리 화소값이 급격히 變化하는 輪廓情報가 保存되는 特徵을 가지고 있다.

## II-3. Nagao 필터

平均值 필터에서는 輪廓을 무너뜨리는 短點이 있고, 이것을 补完한 Median필터는 輪廓保存能力은 있으나 雜音處理는 平均值 필터보다 못하다.

Nagao 필터는 이 두 필터의 長點만을 취한 것으로서 畫素  $g(i,j)$ 를 中心으로 한  $5 \times 5$  윈도우를 Fig.5.와 같이 4개의 Pentagonal 領域, 4개의 Hexagonal 領域과  $3 \times 3$  square 領域으로 나눈다.

이러한 9개의 領域중에서 分散이 제일 적은 等質領域을 찾아, 이 領域의 畫素欲의 平균을 計算하여  $g(i,j)$ 의 值으로 代置하는 方法으로, 輪廓의 保存能力이 매우 優秀한 필터이다.

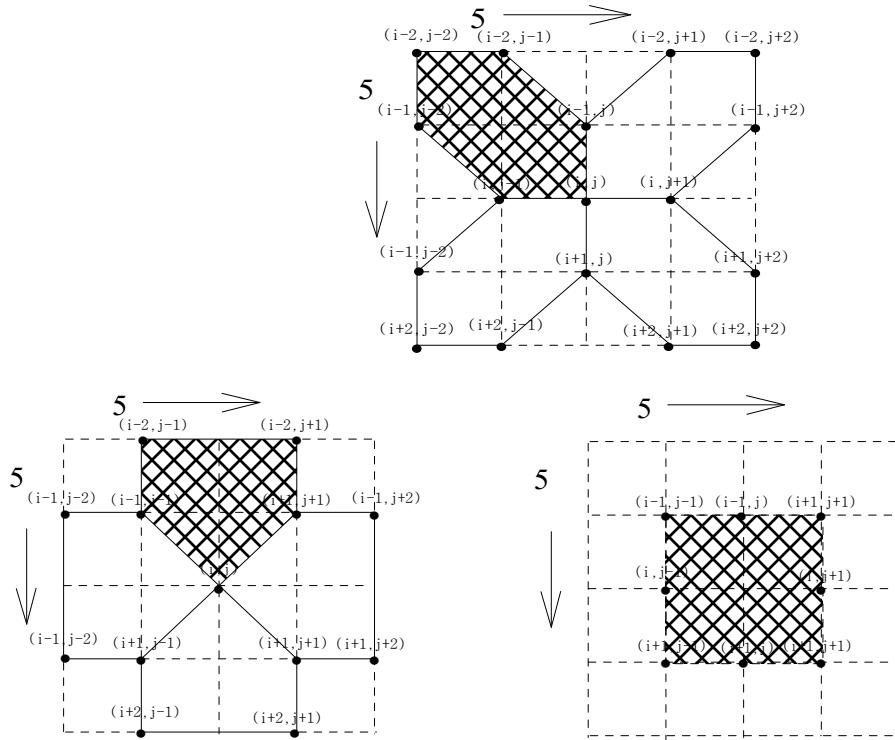


Fig.5. Nagao filter  
 (a) Four pentagonal region  
 (b) Four hexagonal region  
 (c)  $3 \times 3$  square region

### III. 視覺體系函數

人間의 視覺體系는 影像의 平面部分에 存在하는 雜音에는 敏感하게 反應하지만 輪廓部分에 서 느끼는 雜音의 敏感度는 輪廓線의 예리함(Sharpness)에 따라서 減少한다. 이러한 輪廓에서 雜音의 可視度가 낮게 나타나는 現象을 遮蔽效果(masking effect)라 부른다.

이러한 現象을 利用하여 輪廓部分의 雜音은 抑制하지 않아도 鮮明度를 增加시킴과 同時에 輪廓을 保存하는 效果를 얻을 수 있다. 그리하여 影像의 平面部分과 輪廓部分의 雜音處理를 適應性 있게 함으로서 復元되는 影像의 質을 改善할 수 있다.

### III-1. 遮蔽函數(Masking Function)

遮蔽函數는 映像의 局部的 性質에 따른 雜音의 遮蔽程度를 나타내는 函數로서, 이를 表現하면,

$$M(i, j) = \sum_{p=i-k}^{i+k} \sum_{q=j-l}^{j+l} C^{\|(i,j)-(p,q)\|} [m_{pq}^H + m_{pq}^V] \quad (13)$$

이 된다. 여기서  $C^{\|(i,j)-(p,q)\|}$  는 두 点  $(i, j)$ 와  $(p, q)$  사이의 유클리안(Euclidean)距離이고,  $m_{pq}^H$  와  $m_{pq}^V$  는 각각  $(p, q)$ 에서 水平, 垂直方向으로의 기울기이며,  $C$ 는 常數로서 任意의 影像 畫素의 變化가 이웃 畫素에 미치는 影響의 指數函數의인 減少率을 나타내며 通常  $C$ 는 0.35로 한다.

### III-2. 可視函數(Visibility Function)

可視函數는

$$V(i, j) = \frac{1}{\theta \cdot M(i, j) + 0.5} \quad (14)$$

와 같이 遮蔽函數의 逆으로 表現된다. 여기서  $\theta$ 는 調整變數(tuning parameter)로서 影像에 따라 實驗的으로 調整된다.

式(14)에서 雜音의 可視度를 나타내는 可視函數  $V(i, j)$ 는  $M(i, j)$ 가 큰 値을 가지는 輪廓部分에서는 “0”에 近似하게 되고  $M(i, j)$ 가 적은 値을 가지는 平面部分에서는 “2”에 近似한 値을 가지므로 0~2의 値이 된다.

實際影像에서 雜音의 視覺에 대한 敏感度(visibility)는 分散값이 큰 輪廓部分에서는 雜音의 遮蔽效果가 커서 可視度가 低下되며, 分散값이 적은 平面 領域에서는 雜音에 대한 視覺의 敏感度는 매우 銳敏하여 影像의 認識을 크게 減少시킨다.

#### IV. 複合필터

앞에서 言及한 세가지 필터들은 제각기 短點을 지니고 있어서 毀損된 影像을 復元할 경우 輪廓과 雜音處理 能力이 不足하므로 이를 補完할 必要性이 있다.

본 論文에서 提案한 複合필터는 毀損된 影像이 가지는 周波數特性을 考慮하여, 周波數에 따라 處理課程을 달리 함으로서 平面部分과 윤곽部分을 適應性 있게 處理할 수 있도록 하는 既存 필터의 短點을 補完한 필터이다.

周波數 別로 處理課程을 달리하기 위해 使用되는 畫素의 周波數에 의한 區分은 分散값을 利用하게 된다. 이러한 分散값은 別途의 分散分布 算定過程을 거쳐야 할 必要性이 있으나, 本論文에서는 實驗에 의한 分散값을 使用하며 다음과 같이 세가지 領域으로 區分하여 處理한다.

첫째, 分散이 가장 낮은 領域으로, 雜音이 視覺的으로 가장 두드러지게 나타나는 均質領域 이므로 平均值 필터의 長點을 최대한 利用하여 平面部分의 雜音處理를 하며,

두 번째, 分散程度가 中間인 領域으로, 원도우 内에서 Fig.6.과 같이 "4" 方向으로 分散값을 計算하여 分散이 제일 적은 部分을 選擇하여 이 部分의 畫素들의 平均값을 現在의 畫素로 代置한다.

分散이 제일 적은 部分을 平均하는 理由는, 원도우內의 畫素값의 變化量이 적은 部分을 選擇하여 平均을 취하므로서, 輪廓部分이 平面部分과 함께 平均處理되는 것을 防止하여 輪廓의 保存과 雜音處理를並行하도록 한다.

세 번째는 分散의 程度가 가장 높은 領域으로, 視覺體系에 依한 認識의 鈍感性을 考慮하여 雜音處理를 하지 않고 그대로 둔다.

이를 表現하면 式(15)와 같다.

$$g(i,j) = \begin{cases} 0 \leq g_1 < \alpha \\ \alpha \leq g_2 < \beta \\ \beta \leq g_3 \end{cases} \quad (15)$$

(15)式에서 毀損된 影像의 分散값이  $g_1$  部分은 平均值 필터,  $g_2$ 는 方向性 필터,  $g_3$ 는 雜音의 遮蔽效果를 根據로 輪廓을 保存하기 為해 處理하지 않고 그대로 두는 複合필터 方式을 採擇한다.

複合필터 中 方向性 필터  $g_2$  部分은 Fig.6.과 같은 方法을 使用한다. 즉, 垂直, 水平 및 對角線의 각각 4方向으로 分散값을 計算한 後, 이 값이 제일 적은 方向을 平均하여 그 값을 中

央의 畫素値으로 代置하는 方法이다.

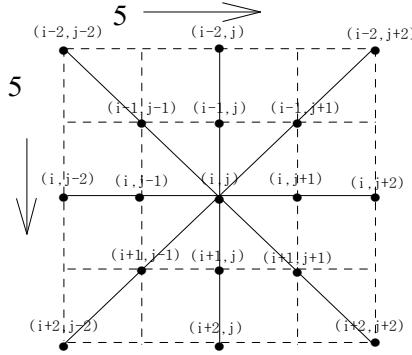


Fig.6. directional filter in  $5 \times 5$  window

提案된 複合필터는 式(15)의  $\alpha, \beta$ 의 值을 實驗에 의해 구했으며, 信號 對 雜音 比에 따라 다음과 같은 分散値으로 處理領域을 區分한다.

$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & 0 \leq g_1 < 100 \\ 1 & 100 \leq g_2 < 500 \\ 2 & 500 \leq g_3 \end{cases} \quad (SNR 20dB)$$

$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & 0 \leq g_1 < 400 \\ 1 & 400 \leq g_2 < 800 \\ 2 & 800 < g_3 \end{cases} \quad (SNR 10dB)$$

여기서  $g_1$  部分은 "0",  $g_2$  는 "1",  $g_3$  는 "2"로 masking하여 그 值에 따라 平均值 필터, 提案한 필터, 나머지는 그대로 두는 複合필터 方式을 採擇한다.

위와 같이 複合필터는 分散値에 따른 別途의 處理過程을 거침으로서

分散이 큰 輪廓領域에서는 雜音을 處理하지 않으므로 인해, 計算에 所要되는 時間을 短縮 할 뿐 아니라, 雜音의 遮蔽效果로 인한 輪廓保存 效果를 얻게 되며,

分散이 中間인 領域을 方向性 필터로 處理하므로서 輪廓의 保存과 雜音처리를 並行하도록 하며,

分散이 낮은 나머지 領域은 平均值필터의 特性을 最大限 利用하여 平面의 雜音處理를 하

게 하므로 結果的으로 毀損된 影像의 復元效率을 높이게 된다.

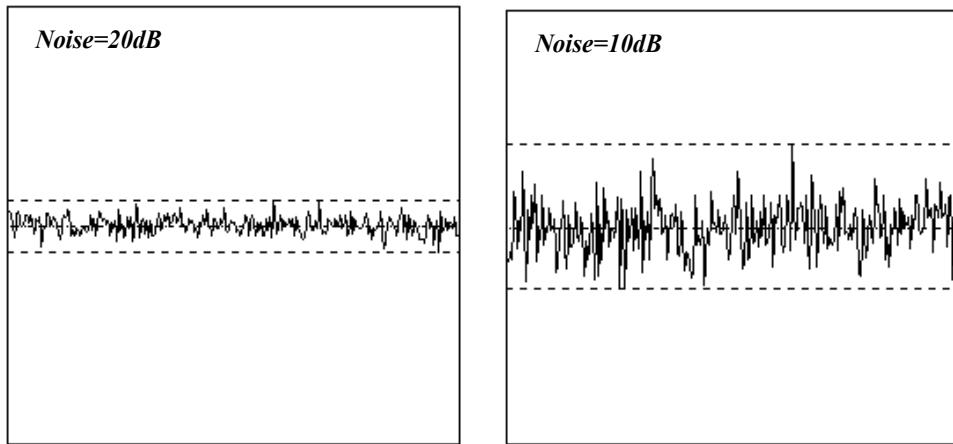
## V. 實驗 및 檢討

본 論文에서 使用된 影像은 LENA 影像으로서  $256 \times 256$  해상도 및 256의 계조도를 갖는 標準影像을 使用하였다. 이러한 標準影像에 平均이 0인 Gauss 分布를 갖는 雜音을 發生하여 毀損影像을 만들었다.

본 實驗에서는 이러한 SNR 20dB 및 10dB의 加算雜音으로 毀損된 影像을 復元하였으며, 毀損된 影像의 信號 對 雜音 比는 다음과 같이 구하였다.

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N \left( \frac{(x(i,j) - \hat{x}(i,j))^2}{(n(i,j))^2} \right) \quad (17)$$

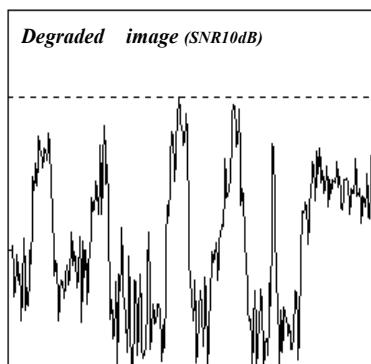
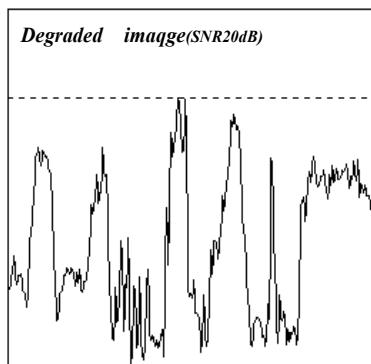
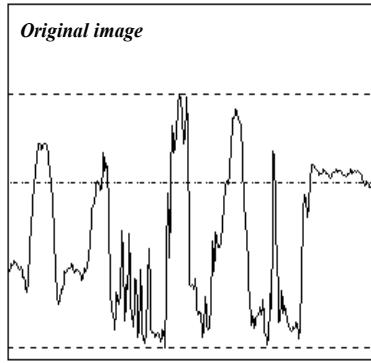
여기서  $M \cdot N = 256 \times 256$  이며,  $(x(i,j) - \hat{x}(i,j))^2$ 는 原影象의 分散値이고,  $(n(i,j))^2$ 는 雜音의 크기를 나타낸다. 그리고 128line의 添加된 雜音은 Fig. 7. 과 같다.



a	b
---	---

Fig.7. Additive white Gaussian noise  
 (a) SNR20dB  
 (b) SNR10dB

實驗에 使用된 標準影像과 毀損影像을 프로파일과 함께 Fig. 8. 에 나타내었다.



a	b
c	d
e	f

Fig.8. (a)(b) Original (c)(d) degraded with SNR20dB  
(e)(f) Degraded with SNR10dB

處理效果의 客觀的인 評價尺度로 使用되는 MSE는 다음과 같이 定義한다.

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left( X(i,j) - \hat{X}(i,j) \right)^2 \quad (18)$$

誤差影像은 觀察을 容易하게 하도록 휘도를 10배 強調하여 反轉시켜서 MSE가 클수록 뚜렷한 影像이 나타나도록 하였으며, 處理된 影像은 視覺的인 分析을 하도록 Y축의 128번째 line의

水平畫素들의 크기를 그래프로 表示하였다.

본 論文에서는 각 殞損影像에 대해 윈도우가  $5 \times 5$ 인 平均值, 메디안 및 Nagao필터 각각에 대하여 處理過程에 대한 플로우 차트를 밝히고, 각 方法에 의하여 處理된 影像과 그에 대한 誤差影像을 나란히 表示하였다.

또 각 方法으로 處理된 影像을 比較 檢討가 容易하도록 하기 위하여 處理된 影像과 그에 대한 誤差影像을 한 개의 圖表상에 整理하고 그에 대한 프로파일도 綜合하여 表示하였다. 마지막으로 客觀的인 評價基準에 의한 比較를 위하여 MSE를 計算하여 表를 作成하였으며, 각 方法에 依한 處理時間도 比較하여 提案된 複合필터의 알고리즘의 妥當性을 立證하였다.

## V-1. 平均值 필터에 依한 處理

$5 \times 5$  윈도우를 가진 平均值 필터의 處理루틴은 Fig. 9와 같고, 이의 處理結果를 Fig. 10. 에서 Fig. 13. 사이에 나타내었다.

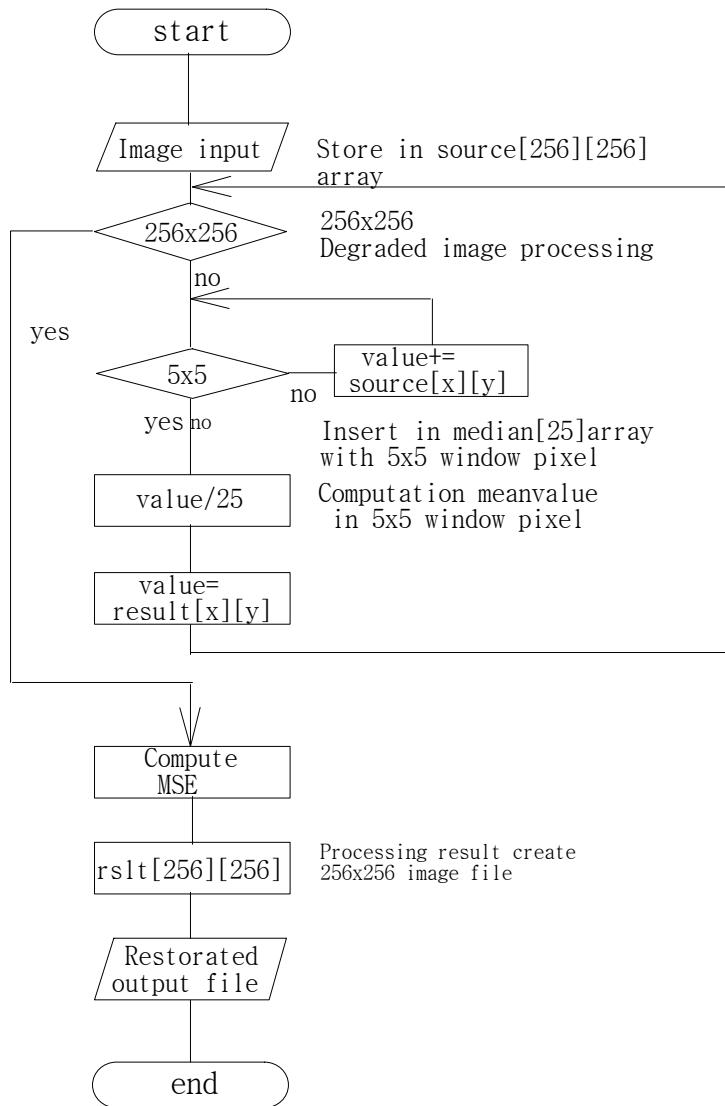


Fig.9. Flowchart of Mean filter

### 가. SNR 20dB 毀損影像의 處理

誤差影像에서 보아 알 수 있듯이 平面部分의 雜音이 거의 除去 되었으나, 輪廓이 흐려지는 效果가 있었다. 輪廓, 모자술, 머리카락 등에 대해서는 誤差가 심하다. MSE는 176.02, 處理時間은 3.4秒 걸렸으며 處理한 影像是 Fig. 10. 에 나타내었고, 該當 影像에 대한 프로파일은

Fig.11.에 나타내었다.

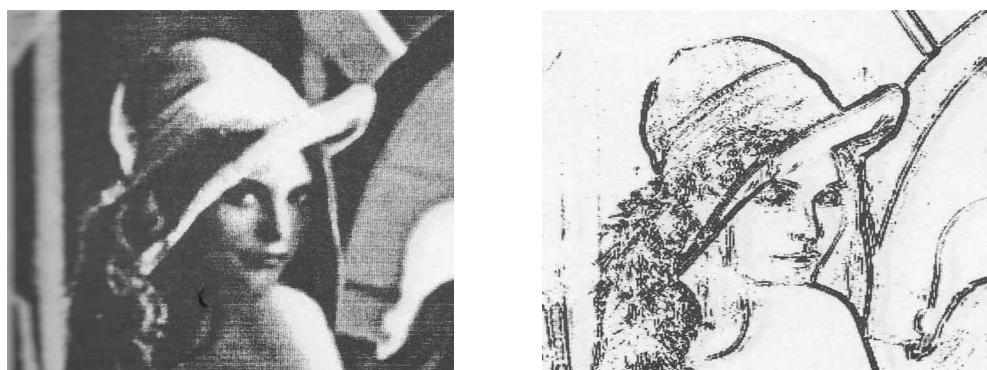
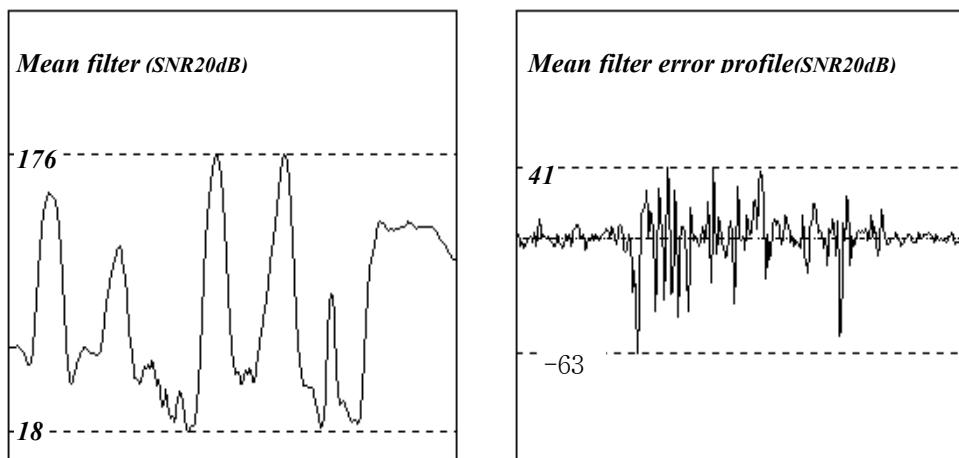


Fig.10. Processed image using Mean filter at SNR20dB  
(a)result (b)error image



a	b
c	d

Fig.11. Profiles of Mean filter output at SNR20dB  
(c) Result (d)error

나. SNR 10dB 毀損影像의 處理

雜音이 심하여 信號對 雜音比가 높을 때 보다 雜音除去가 圓滿하지 못하며, 輪廓部分의 誤差는 SNR 20dB보다 더 심하게 나타났다. MSE는 188.57이며 處理時間은 3.41秒 걸렸다.

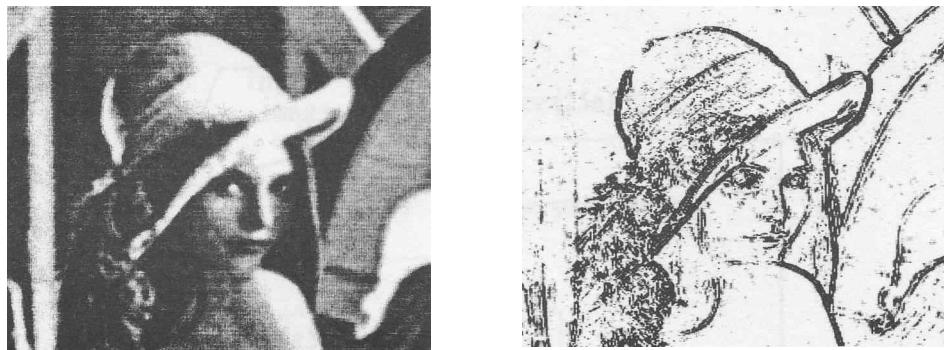
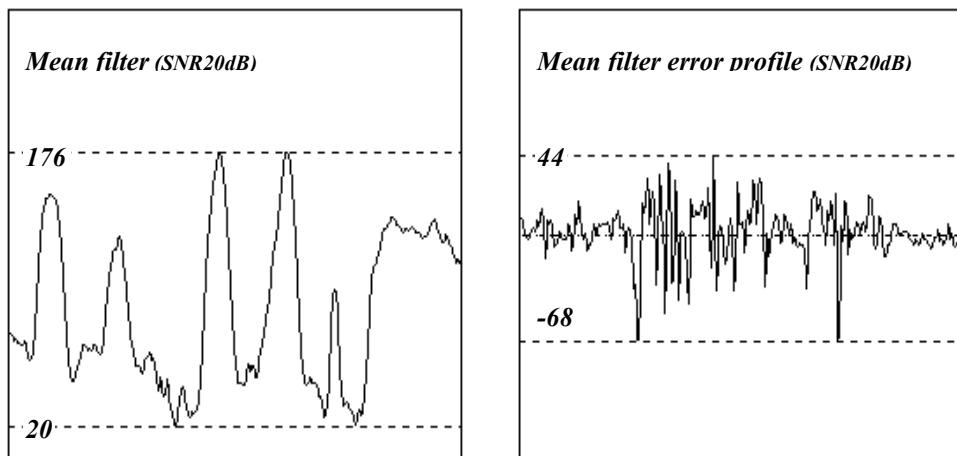


Fig.12. Processed image using Mean filter at SNR10dB  
 (a) Result (b) Error image



a	b
c	d

Fig.13. Profiles of Mean filter output at SNR10dB  
 (c) Result (d) error

V-2. Median 필터에 依한 處理

5×5 원도우를 가진 Median 필터의 處理루틴은 Fig. 14. 과 같고, 이의 處理結果는 Fig.15.에서 Fig.18.사이에 나타내었다.

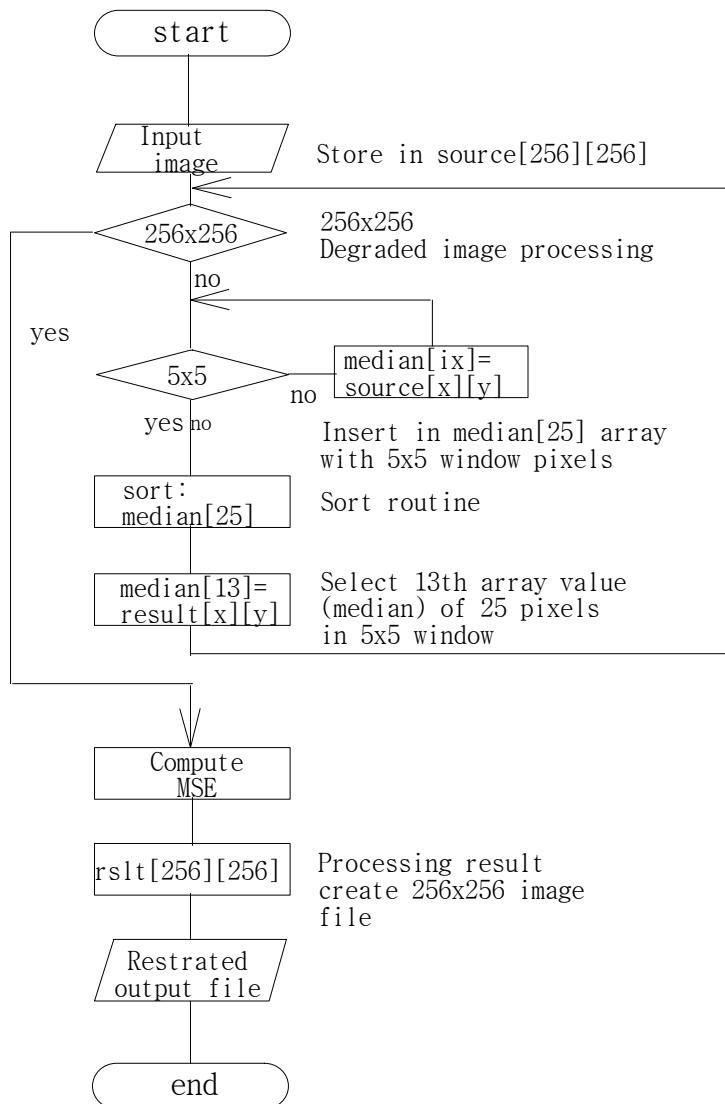


Fig.14. Flowchart of Median filter

### 가. SNR 20dB 毀損影像의 處理

SNR이 比較的 높은 影像으로 輪廓의 處理는 平均值 필터보다 多少 性能이 나아졌음을 알 수 있으며, 平面部分의 雜音處理도 平均值 필터보다 優秀하며, MSE改善度가 좋은 結果로 나타났다. MSE는 118.32이며 處理時間은 27.13秒 걸렸다.

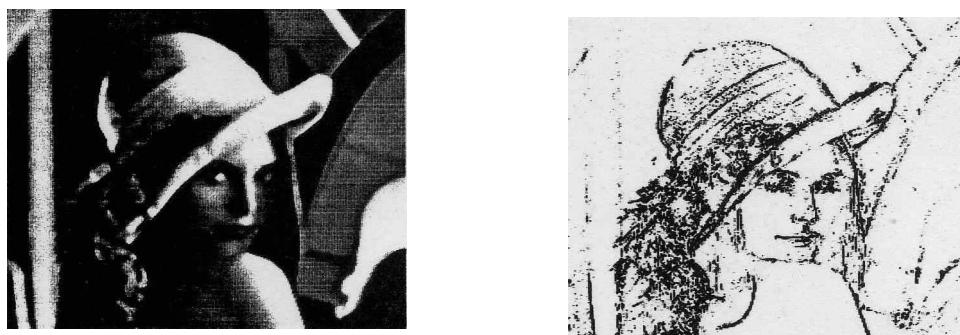
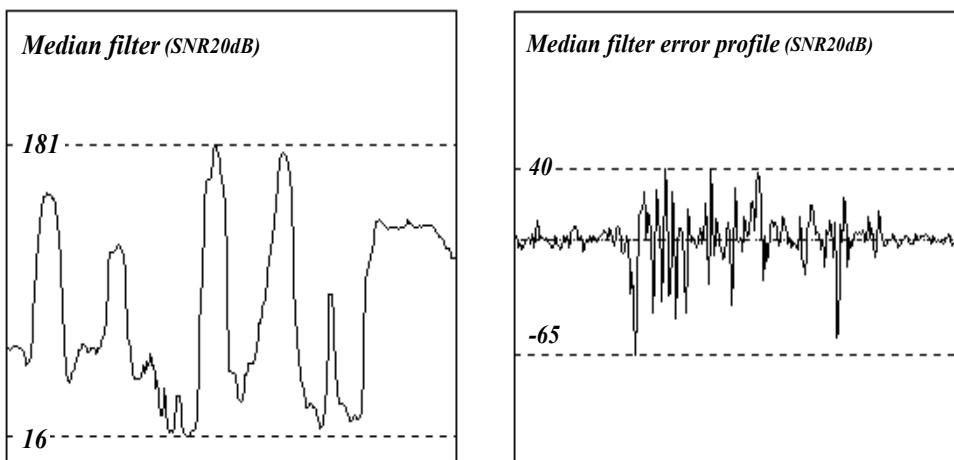


Fig.15. Processed results using Median filter at SNR20dB

(a) Result (b) Error image



a	b
c	d

Fig.16. Profiles of Median filter output at SNR20dB  
(c) Result (d) error

### 나. SNR 10dB 毀損影像의 處理

雜音이 심하여 SNR이 높은 경우 보다 雜音除去가 圓滿하지 못하며 輪廓部分의 誤差도 繖細한 部分이 除去되고 誤差의 擴散이 심하여 全體的으로 부드럽지 못한 影像이 됨을 알 수 있었으나, 平均值 필터보다는 處理結果가 多少 나아 졌음을 알 수 있었다. MSE는 145.58이며 處理時間

은 29.50秒 걸렸다.

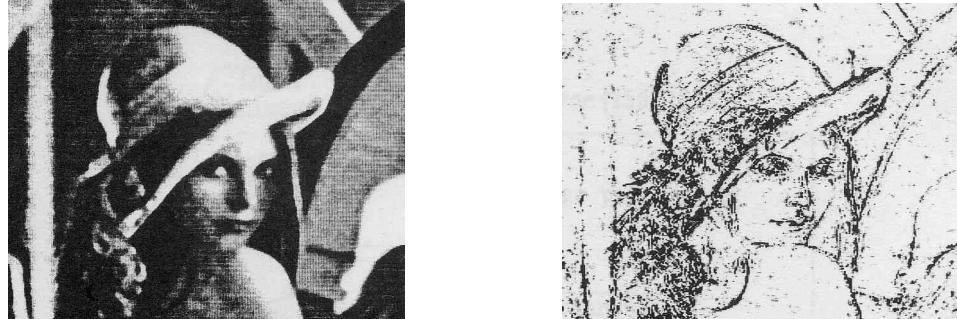
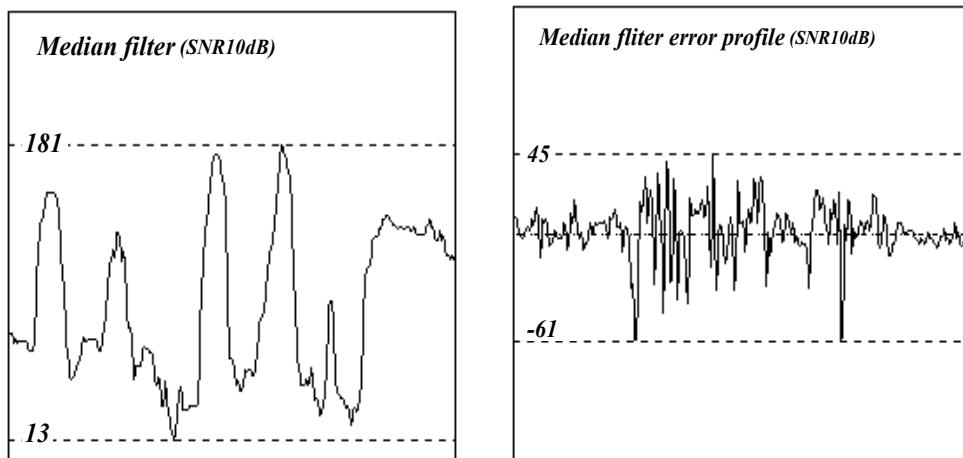


Fig.17. Processed results using Median filter at SNR10dB  
(a) Result (b) Error image



a	b
c	d

Fig.18. Profiles of Median filter output at SNR10dB  
(c) Result (d)error

V-3. Nagao 필터에 依한 處理

5×5 윈도우를 가진 Nagao 필터의 處理루틴은 Fig. 19. 와 같고, 이의 處理結果는 Fig.20.에서 Fig.23. 사이에 나타내었다.

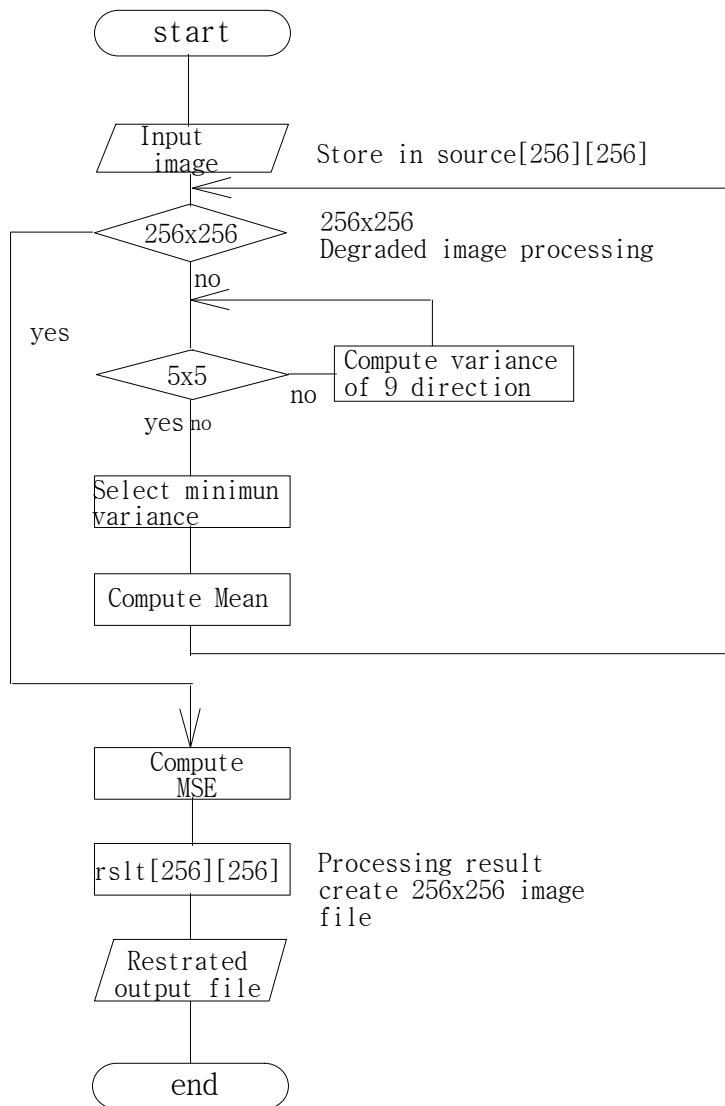


Fig.19. Flowchart of Nagao filter

### 가. SNR 20dB 毀損影像의 處理

平均值필터 및 Median필터보다 優秀한 性能을 나타내었으며, 輪廓保存 및 MSE의 改善度도相當히 좋아졌으나 處理時間이 많이 걸렸다. MSE는 102.11이며 處理時間은 76.02秒 걸렸다.

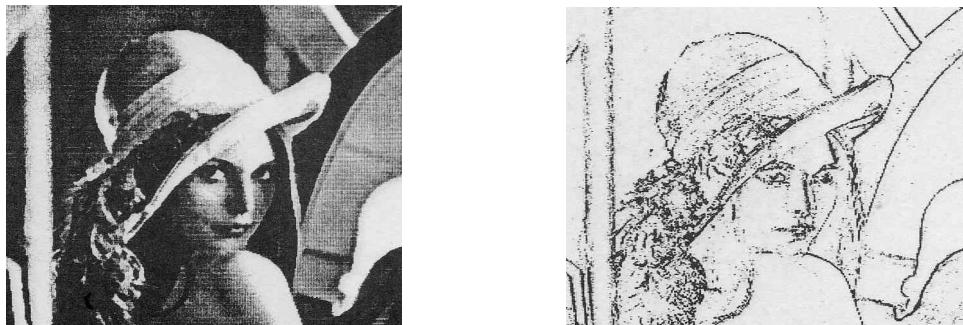
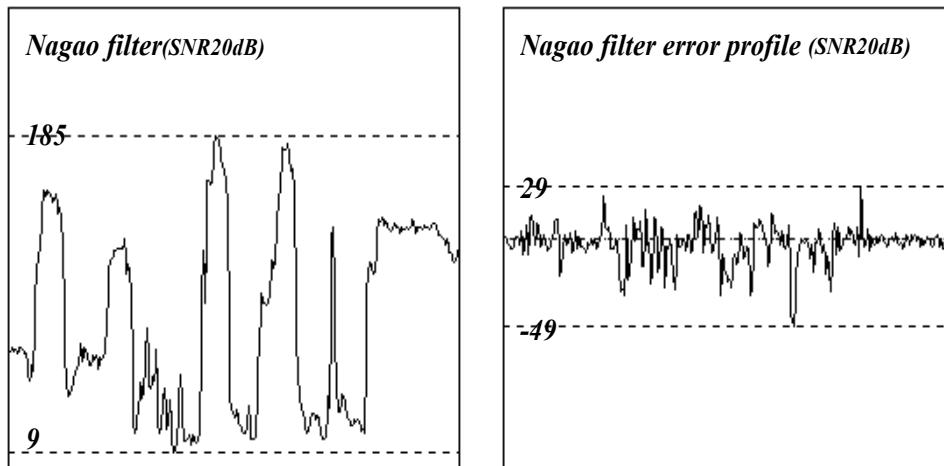


Fig.20. Processed results using Nagao filter at SNR20dB  
(a) Result (b) Error image



a	b
c	d

Fig.21. Profiles of Nagao filter results at SNR20dB  
(c) Result (d) error

### 나. SNR 10dB 毀損影像의 處理

SNR이 높은 경우와 같이 平均值 및 Median필터보다 雜音除去가 優秀하며, 여전히 輪廓部分의 保存效果가 改善되었다. MSE는 164.04이며 處理時間은 77.06秒 걸렸다.

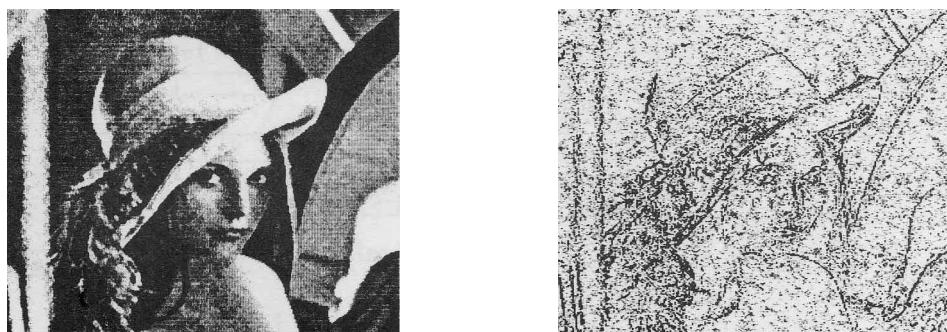
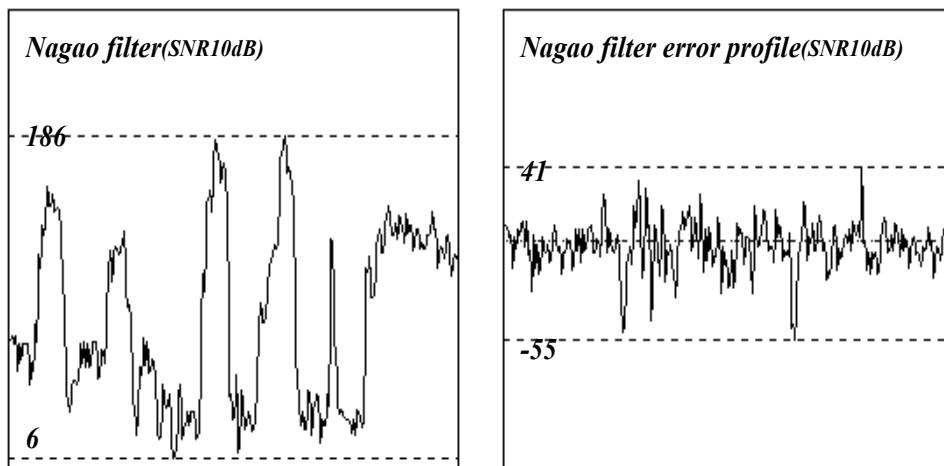


Fig.22. Processed results using Nagao filter at SNR10dB  
 (a) Result (b) Error image



a	b
c	d

Fig.23. Profiles of Nagao filter results at SNR10dB  
 (c) Result (d) error

V-4. 提案한 複合필터에 依한 影像處理

#### V-4-1. 影像分析 및 윤곽抽出

白色 가우시안 雜音에 의해 毀損된 SNR 20dB 및 10dB 影像의 平面上 雜音分布를 把握하고 輪廓部分의 復元을 效率的으로 處理하기 為하여 分散値을 각 範圍에 따라 分類, 抽出하였으며, 輪廓抽出 알고리즘은 다음 그림과 같다.

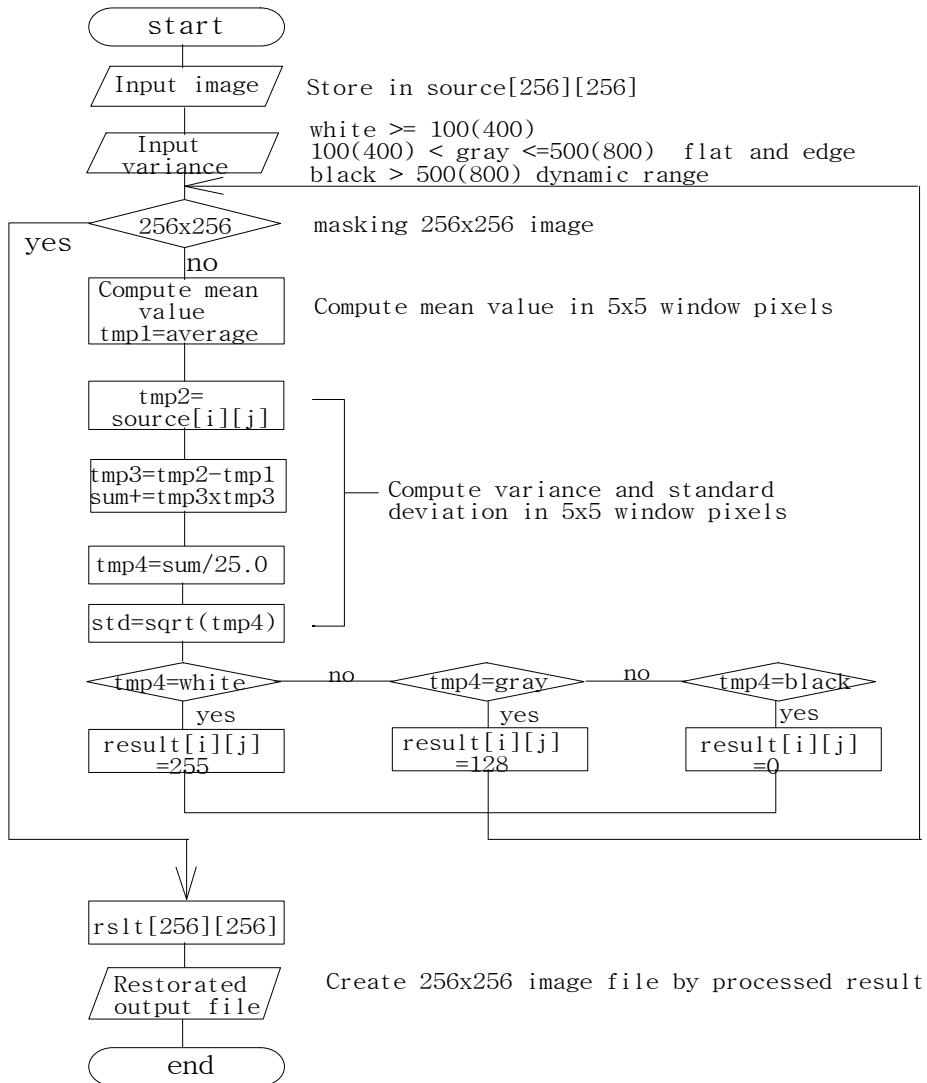


Fig.24. Flowchart of edge detection

毀損影像의 平面과 윤곽상태를 把握하기 위해 分散 痠의 範圍에 따라 抽出한 結果를 SNR 20dB 일 境遇 Fig. 25. 에 나타내었다. 影像을 構成하는 方法은 指定된 分散값에서는 黑色 (black)으로 하고, 나머지 部分은 褐色(white)으로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 輪廓 및 平面部分이 實驗에 使用된 分散값에 따라 잘 區分되고 있음을 알 수 있었다.



a	
b	
c	

Fig.25. Classification by the variance at SNR 20dB

- (a) 0~100's
- (b) 100~500's
- (c) 500~

毀損影像을 分散값에 따라 分析한 結果 SNR 20dB 일때 最大分散 痠이 8801.29, 最小는 9.81이며, 10dB 일 境遇 最大 9270.66, 最小는 63.79 로서 信號 對 雜音比가 낮은 境遇에는 輪廓抽出을 위한 分散값이 上向 調整되어야 함을 알 수 있었다.

그리하여 20dB 에서는 分散값을 0~100, 100~500, 500 以上의 3 領域으로 區分하였고, 信號 대 雜音비가 낮은 10dB 에서는 雜音의 分散값이 커서, 같은 値을 利用할 境遇 輪廓 및 平面部分의 區分이 곤란하였다. 즉, 10dB 에서는 分散값을 각각 400, 800 으로 上向調整하였다. 이의 影像을 Fig. 26. 에 나타내었다.

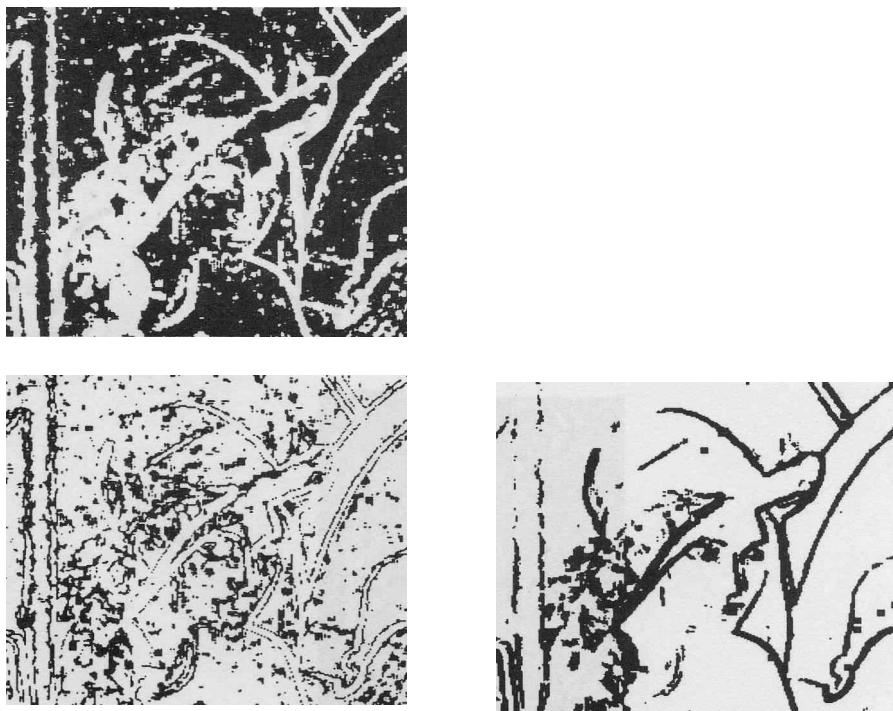
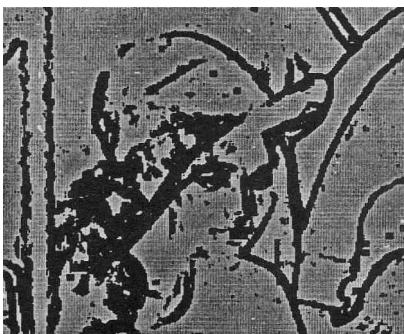


Fig.26. Classification by the variance at SNR10dB

a	
b	c

- (a) 0~400's
- (b) 400~800's
- (c) 800~'s

앞서 實驗한 結果를 토대로 SNR 20dB에서는 100과 500, 10dB에서는 400과 800의 分散값으로 하였다. 이러한 結果를 影像으로 나타내기 위해 3領域의 畫素값을 각각 255, 128, 0로 masking하여 生成한 影像是 Fig. 27. 과 같다. Fig. 10(c) 는 10db에서 分散 値 100, 500으로는輪廓抽出이 어려움을 보여 준다.



a	b
c	

Fig.27. Detected edge image by the variance value  
(a) 100, 500 (SNR20dB)  
(b) 400, 500 (SNR10dB)  
(c) 100, 500 ("")

## V-5-2. 複合필터에 依한 影像處理

본 論文에서 提案한 複合필터에 依한 處理 節次圖는 Fig. 28. 에 表示하였다. 그리고 影像 處理結果는 Fig. 29. 에서 Fig.32. 사이에 나타내었다.

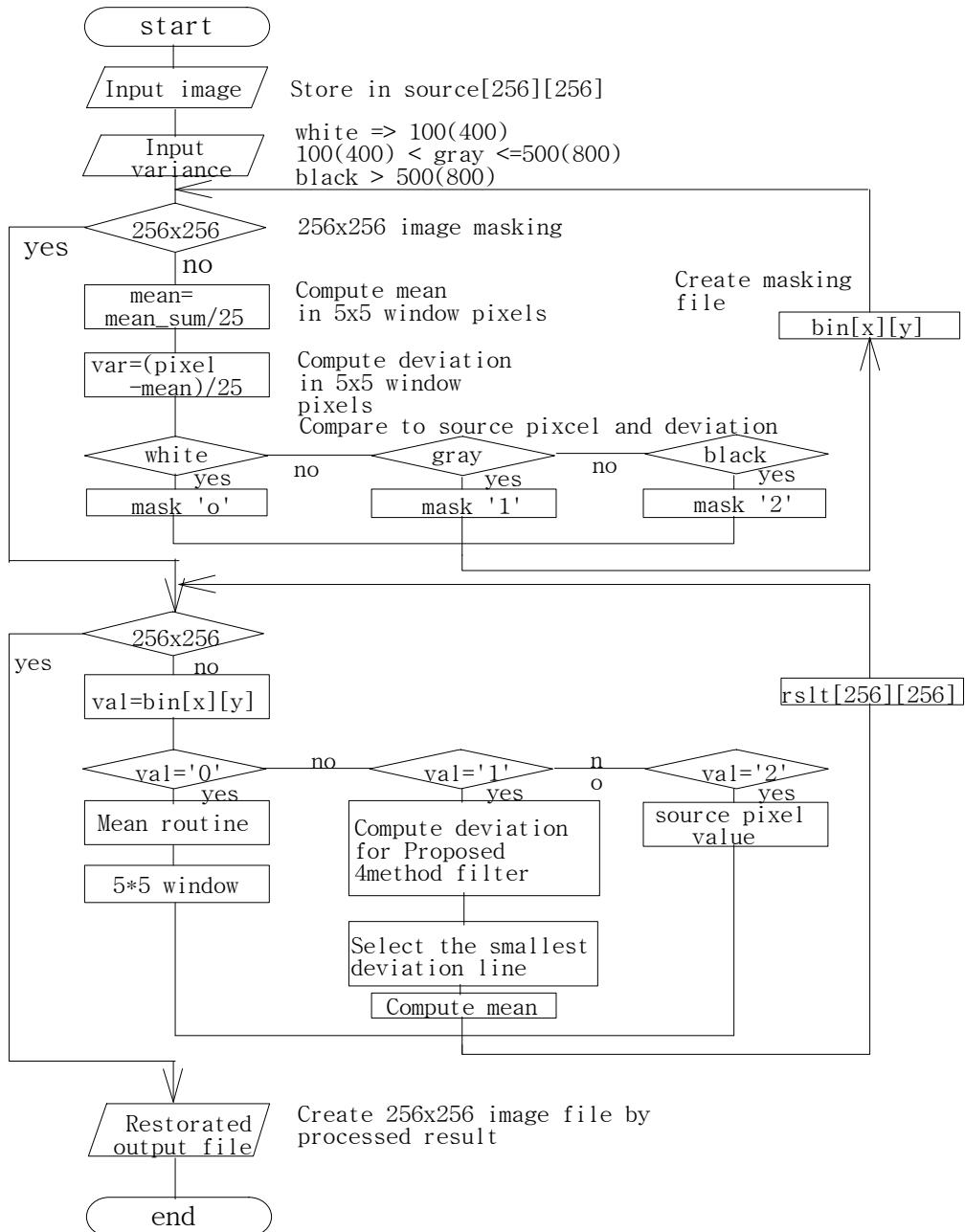


Fig.28. Flowchart of proposed filter

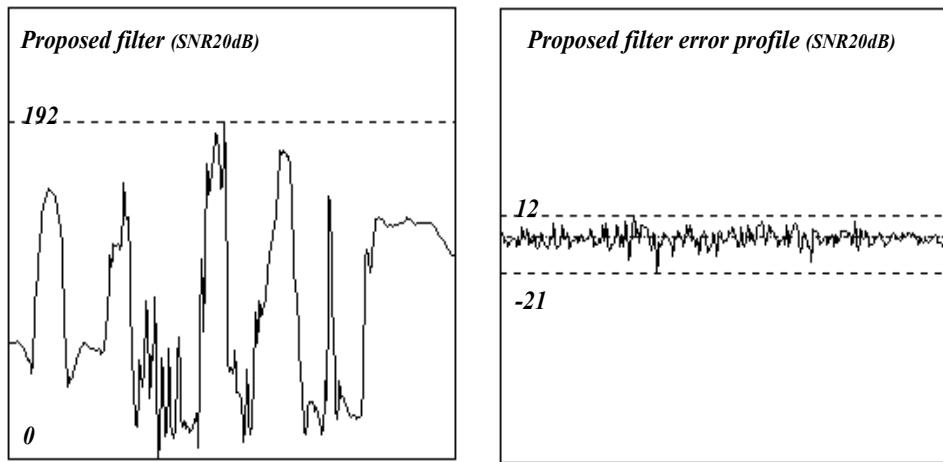
### 가. SNR 20dB 毀損影像의 處理

平均值 필터를 包含한 他 필터보다 輪廓保存과 雜音處理 能力이 優秀한 性能을 나타내었으며, MSE의 改善度가 매우 좋아졌으며 處理時間도 많이 短縮되었다. 處理된 影像의 MSE는 21.64이며 處理時間은 17.85杪 걸렸다.



Fig.29. Processed results using Proposed filter at SNR20dB

(a) Result (b) Error image



a	b
c	d

Fig.30. Profiles of Proposed filter results at SNR20dB  
(c)result (d)error

#### 나. SNR 10dB 毀損影像의 處理

雜音이 심한 境遇로서 平均值필터, Median필터 및 Nagao필터보다 優秀한 性能을 나타내었으며, 輪廓保存 및 MSE의 改善度도 相當히 좋아졌으며, 處理時間이 많이 短縮되었다. 處理된 影像의 MSE는 106.63이며 處理時間은 17.24秒 걸렸다.

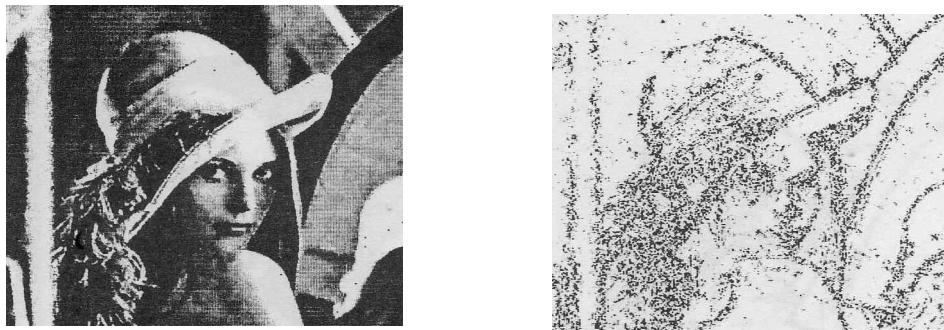
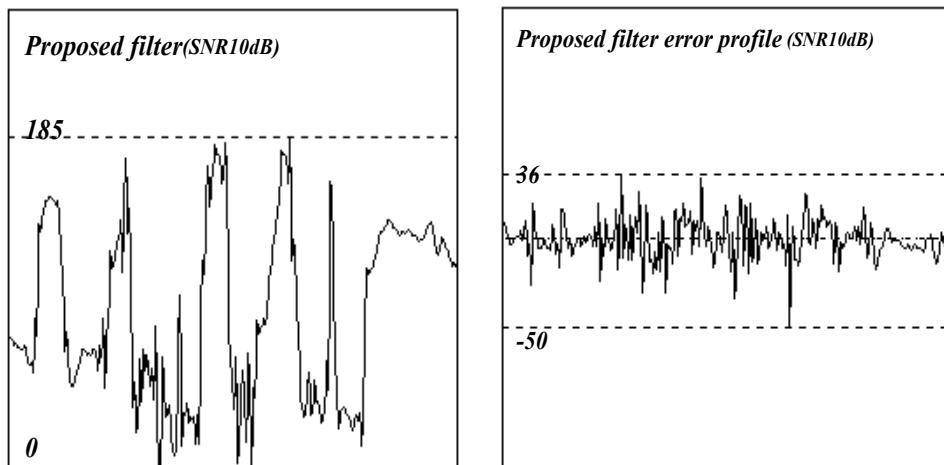


Fig.31. Processed results using Proposed filter at SNR10dB  
(a) Result (b) Error image



a	b
c	d

Fig.32. Profiles of Proposed filter results at SNR10dB  
(c) Result (d)error

## V-5. 處理된 影像에 對한 檢討

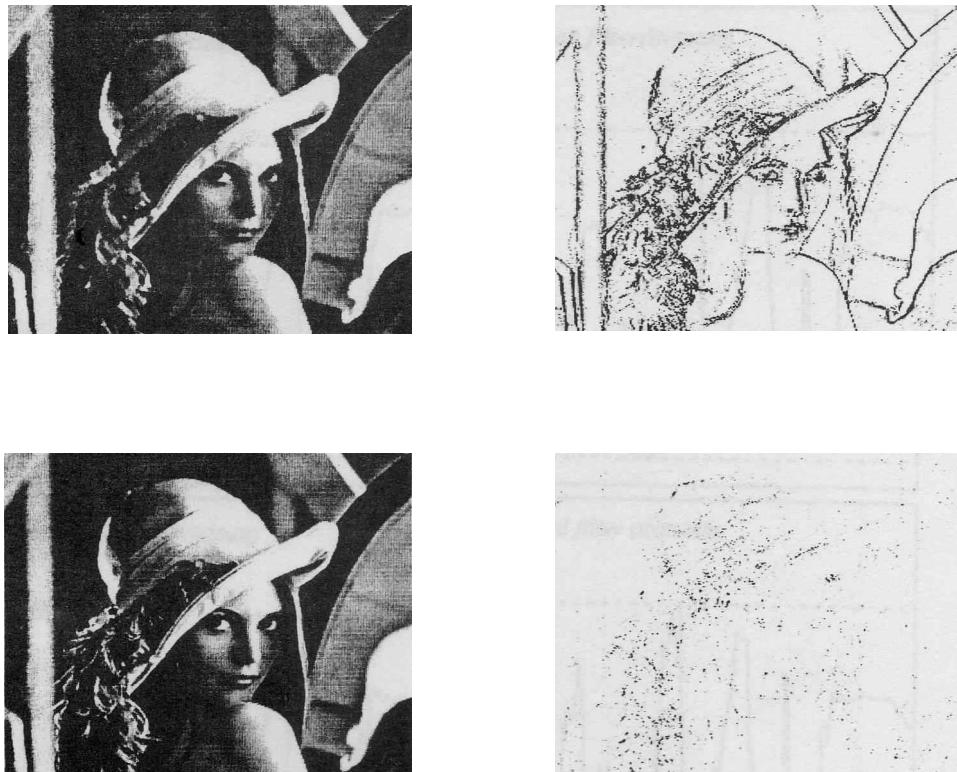
앞 장의 平均值, Median, Nagao 및 提案된 필터에 의해 處理된 影像의 比較 檢討를 容易하게 하기 為하여 信號 대 雜音 比 別로 Fig.33에서 Fig.36. 사이에서 處理影像과 誤差影象 및 프로파일을 綜合的으로 나타내었다.



a	b
c	d

Fig.33-1. Processed results/error (next continued)  
(a),(b) Mean filter at 20dB  
(c),(d) Median filter at 20dB

먼저 20dB의 처리 결과를 본 論文에서 提案한 필터와 比較할 境遇 處理影像에서 보는 바와 같이 他 필터보다 雜音處理가 良好할 뿐 아니라, 全體的으로 부드러운 影像을 보여주고 있었으며, 誤差影象을 比較할 境遇 輪廓의 保存效果가 優秀함을 뚜렷이 보여 주고 있었다. 또한 128行의 프로파일을 比較하여 보면 提案된 필터의 輪廓保存 能力이 他 필터보다 매우 優秀함이 立證될 수 있었다.



e	f
g	h

Fig.33-2. Processed results/error  
(e),(f) Nagao filter at 20dB  
(g),(h) proposed filter at 20dB

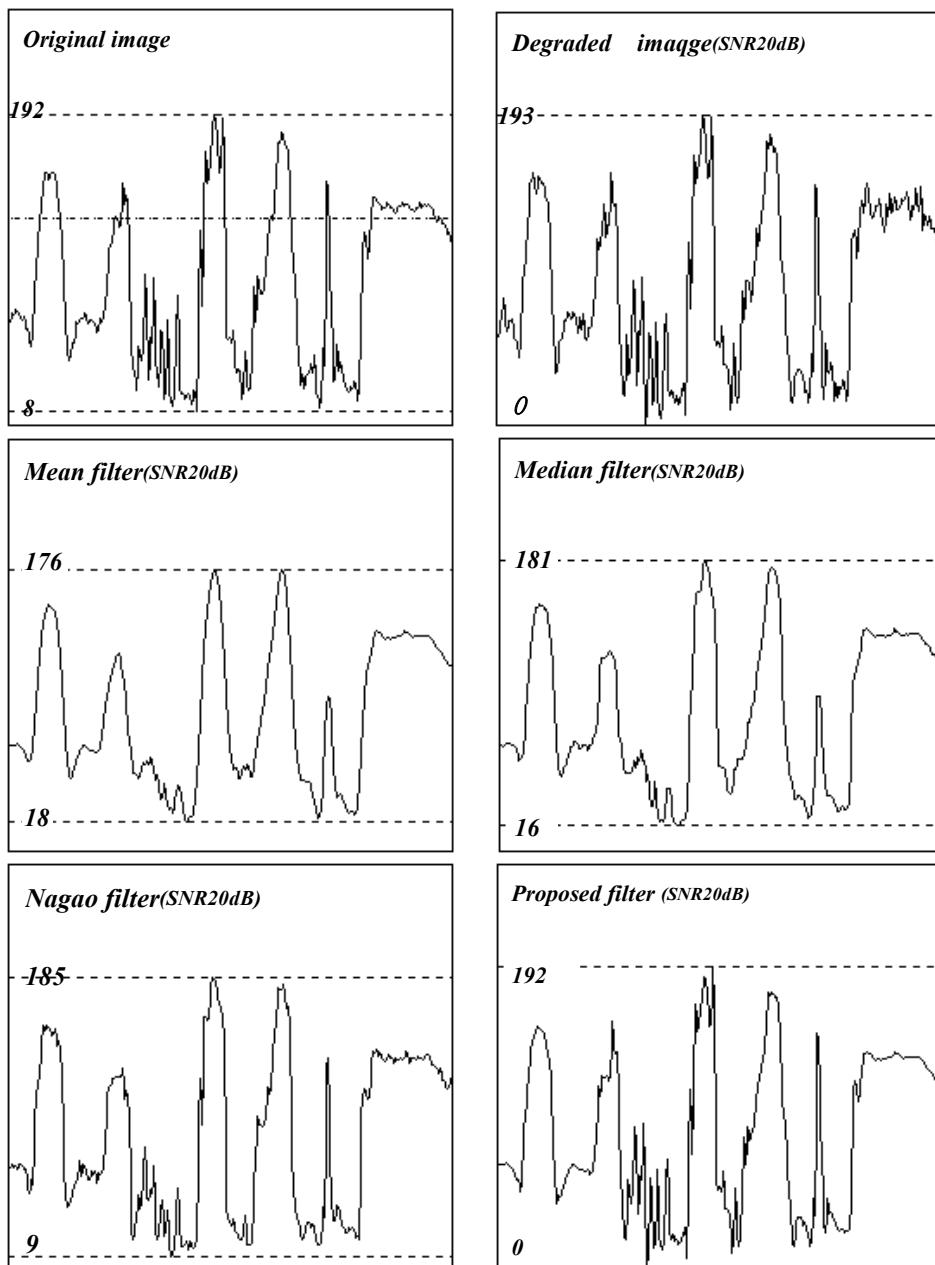


Fig.34. Profiles of each filter at SNR20dB  
 (a) Original      (b) degraded  
 (c) Mean filter    (d) Median filter  
 (e) Nagao filter   (f) Proposed combined filter

a	b
c	d
e	f

雜音이 심한 10dB 의 處理 結果를 比較 分析하여 보면 全體的으로 雜音處理가 圓滿하지는 않으나 提案된 필터가 他 필터보다 雜音處理가 良好하며, 全體的으로 부드러운 影像을 보여주고 있었으며, 誤差影象에서 보는 바와 같이 輪廓의 保存效果가 뚜렷이 改善되었음을 알 수 있었고, 128 行의 프로파일에서도 提案된 필터의 輪廓保存 能力이 他 필터보다 優秀함을 立證할 수 있었다.



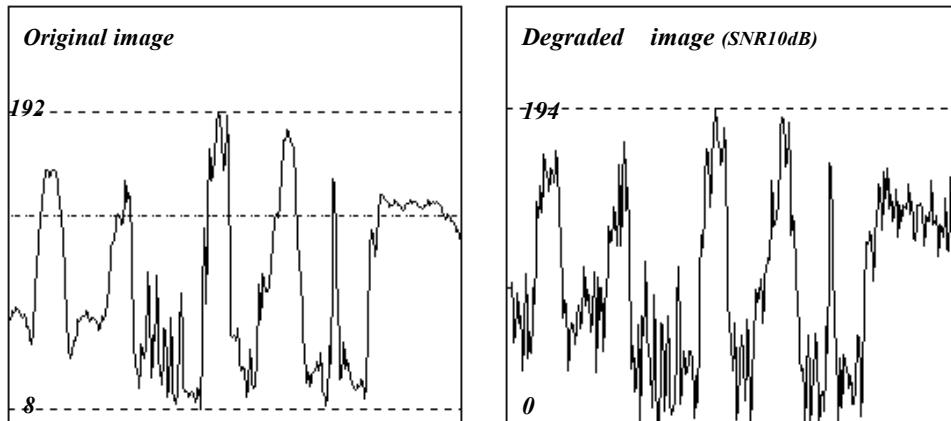
a	b
c	d

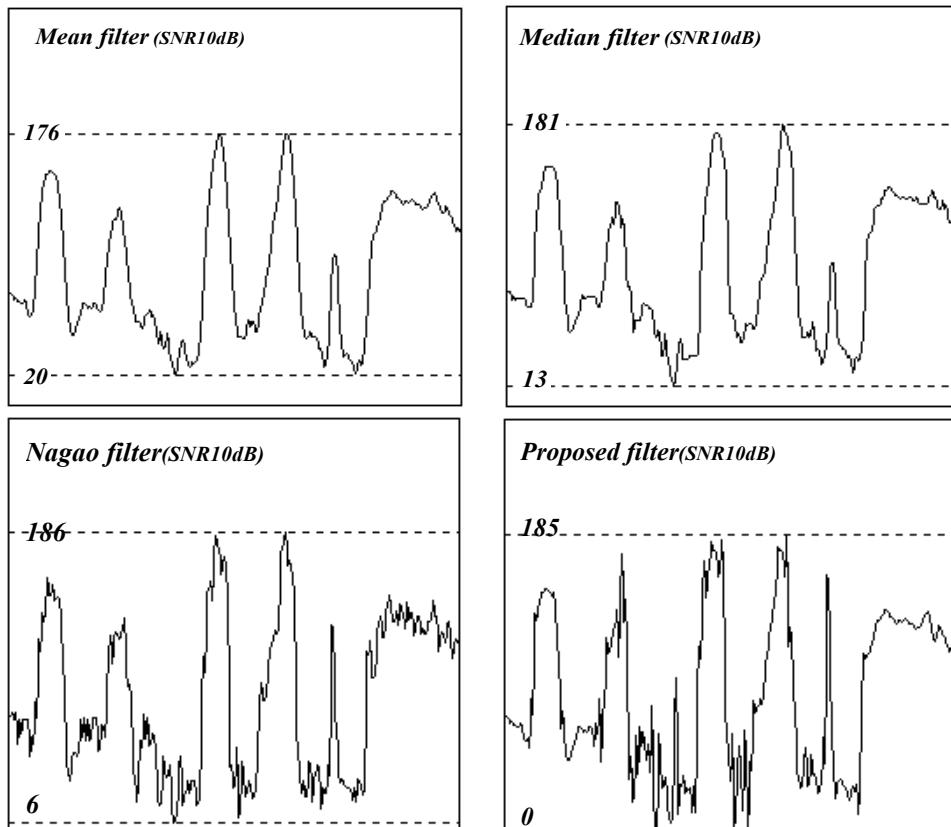
Fig.35-1. Processed results/error(next continued)  
(a),(b) Mean filter at 10dB  
(c),(d) Median filter at 10dB



e	f
g	h

Fig.35-2. Processed results/error  
(e),(f) Nagao filter at 10dB  
(g),(h) proposed filter at 10dB





a	b
c	d
e	f

Fig.36. Profiles of each filter at SNR10dB

- (a) Original (b) degraded
- (c) Mean filter (d) Median filter
- (e) Nagao filter (f) Proposed combined filter

앞의 影像 및 프로파일에서 比較한 바와 같이 平均值 필터와 Median 필터는 雜音處理에서 是 良好하나, 全般的으로 輪廓의 保存이 不良하여 全體的으로 復元結果가 나쁨을 알 수 있으며, Nagao 필터는 雜音 및 輪廓의 保存이 改善되었으나 纖細한 部分의 輪廓이 제대로 保存되지 않았다.

그러나 提案한 複合필터에 依해 處理된 結果를 比較, 分析하여 보면 視覺的인 面에서 두드러진 差異를 보이고 있었을 뿐 아니라, 輪廓의 保存效果가 優秀하며, 平面에서의 雜音處理도 매우 뛰어난 結果를 가져 왔다.

특히 視覺體系에 依한 雜音遮蔽 effect를 立證할 수 있는 輪廓 部分의 保存 effect가 優秀하였으며, 이러한 結果를 客觀的인 數值로 證明할 수 있는 MSE의 改善度도 既存의 필터보다 매우 優秀한 結果를 가져 왔다. 그리고 處理時間도豫想한 바와 같이 平均值 필터를 除外한 나머지 필터보다 短縮되는 結果를 가져 왔다.

각 필터에서 處理한 影像의 MSE를 比較하기 위한 表를 Table 3.에 나타내었다.

Table 3. Mean Square Error

Type	Image	Mean	Median	Nagao	Proposed
20dB		176.02	118.31	102.11	21.64
10dB		198.44	141.51	164.04	106.63

그리고 각 필터에서 所要되는 處理時間은 Table 4.에서 表示하였다.

Table 4. Processed interval time (second)

Type	Image	Mean	Median	Nagao	Proposed
20dB		3.4	27.13	76.02	17.85
10dB		3.41	29.50	77.06	17.24

## VI. 結論

본論文은複合필터를利用한 디지털影像復元에관하여敍述하였다.本文에서 提案한複合필터는人間의視覺體系에依한雜音의遮蔽效果를利用하여輪廓을最大限保存하면서雜音을效果的으로處理하기爲한것으로서既存의線型空間필터와의復元效率關係를實驗하였고, 이를比較分析하였다.

256×256의標準影像을加算雜音으로毀損하여만든實驗影像을復元함에있어,分散값에따라別途의雜音處理를하는複合필터를使用하였다.즉,分散값이낮은領域은平均值필터로處理하며,分散값이中間部分은提案된方向性필터를use하고,分散값이높은雜音의認識度가낮은領域은處理를하지않고그냥通過시키므로,平面部分의雜音處理를원활히하면서輪廓을保存하는效果를가져왔다.

그리하여人間의視覺認識體系에依한遮蔽效果를證明하였으며,複合필터에依한雜音處理能力을向上시킬수있음을立證하였다.그리고處理上必要한計算을줄이므로인해既存의Median및Nagao필터보다處理時間이大幅의으로줄어드는effect도함께거둘수있었다.

또한既存의線型필터및非線型필터는信號對雜音比가낮은影像에서의復元結果가極히不良함을認識하고,提案된視覺函數體系를利用한複合필터로서의效能을檢證하기爲한實驗을한結果MSE의改善度도優秀하였을뿐아니라,視覺的으로雜音은遮蔽되고輪廓은保存되는,良好하게復元된畫面을얻을수있었다.

## 參 考 文 獻

- [1] R.C.Gonzalez and R.E.Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [2] B.R.Hunt, Digital image processing, *Proc.IEEE 63(4)*, pp.693-707, 1975.
- [3] H.C.Andrews, B.R.Hunt, Digital Image Restoration, *Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ*, 1977.
- [4] JAE.S.LIM, Two Dimensional signal and Image Processing, Prentice Hall, 1990.
- [5] W.K.Pratt, digital Image Processing, *Wiley, New York, Chap.14*, pp.378-425, 1978.
- [6] G.LAnderson and A.N.Netravali, Image restoration based on a subjective criterion, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. SMC-6*, pp.845-853, 1976.
- [7] A.N. Netravali and B. Brasada, Adoptive quantization of picture signals based on spatial masking, *Proc. IEEE 65*, pp.536-548, 1977.
- [8] Y. Ichioka and N. Nakajima, Iterative image restoration considering visibility, *J. Opt. Soc. Amer.*, Vol.71, PP.983-988, Aug. 1981.
- [9] Tae-Hong Lee, Image Restoration by the Linear and Nonlinear Filters Combination, *Journal of the Institute of Industrial Technology*, Vol.14 no.1, Yeungnam University, PP.121-126, June 1896.
- [10] Sang-Sik Lee, Tae-Hong Lee, Image Smoothing Algorithm Using Nonlinear Direction Filter, *Proceedings of KICS [The Korean Institute of Communication Sciences] Conference*, Vol.7, no.3, KICS, pp.262-265, Nov. 1988.
- [11] Tae-Hong Lee, Image Restoration by the Mean and Median Combinaion filter, *Journal of the Institute of Industrial Technology*, Vol.15 no.1, Yeungnam University, pp.85-91, June 1987.

M.S., Thesis

# Digital Image Restoration using Combined Filter

Chung-Dong Chang

Department of Electrical and Electronic Engineering

Graduate School of Industrial Technology

YeungNam University

(Directed by professor Tae-Hong Lee)

## Abstract

We proposed the combined filtering method considering the noise visibility function to restore degraded digital image with additive white Gaussian noise.

The conventional method by Mean, Median and Nagao filtering smoothed additive noise with dynamic edge area blurred results.

We classified the degraded image into 3 kinds of area by variance values whose thresholds differing according to its SNR.

The combined filters which we proposed have three component filters, the first one is the Mean filter that cleans up low variance valued area and the second one is the line filter which processes in 4 directional lines.

We compute the variance of 4 directions in the  $5 \times 5$  window, and then select the direction which has the smallest variance value and compute the average of the 5 pixels in that selected line. The computed value substitutes the center pixel in the  $5 \times 5$  window.

The high variance area of degraded image was not processed in order to preserve

dynamic range according to the noise visibility function. This is called the 3rd component of the filter.

Through the experimental results, we showed that proposed method had better results compared with those by a conventional method which are Mean, Median and Nagao filtering methods, our filter showed very short process time too.

Proposed method, based on the human visibility function, showed better results not only in a MSE but also in the visual appearances as well.