論文94-31B-12-10

# 형태론적 고속 복원성 여파기

# (On the Morphological Fast Reconstructive Filter)

朴 德 洪*, 金 翰 均*, 鄭 昊 烈**, 吳 胄 煥***, 金 會 珍****, 羅 相 臣*,
鮮宇 明勳*, 鄭 己 鉉*, 金 容 得*, 崔 太 永*

(Duk Hong Park, Han Gyoon Kim, Ho Youl Jung, Ju Hwan Oh, Heo Jin Kim, Sang Sin Na, Myung Hoon Sunwoo, Ki Hyun Chung, Yong Deak Kim and Tae Young Choi)

**要約**

본 논문에서는 축소/확장 기법을 이용한 형태론적 고속 복원성 열림 및 붙힘 방법과 고속 영상 분해를 위한 형태론적 병렬 다단 분해 방식을 제안하였다. 컴퓨터 모의 실험에 의하면 이 고속 복원 방식은, 직접 복원 방식에 비하여, 복원 성능은 비슷하며 처리 시간은 1/8정도까지 줄일 수 있었다. 고속 복원성 여파기와 병렬화 구조를 조합하면 분해 속도를 보다 더 줄일 수 있다. 이러한 조합된 방식은 결함 검출, 영상 분해, 형태 인식, 등의 분야에 유용할 것이다.

**Abstract**

This paper proposes a morphological fast reconstructive filter (FRF) using up/down sampling techniques for reconstructive opening and closing, and a parallel structure for fast multiresolution decomposition. Computer simulation shows that, compared with the conventional RF, the proposed FRF can reduce the processing time up to 8 times while it maintains a similar performance in reconstructed shapes. Further reduction in the decomposition time is achieved by the paralellized algorithm combined with the FRF, which can be applied in areas such as defect detection, image segmentation, pattern recognition, etc.

* 正會員, 亞州大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Ajou Univ.)
** 正會員, 斗源工業專門大學 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Doowon Tech. Junior College)
*** 正會員, 大邱專門大學 電算科
(Dept. of Comp. Science, Daegu Junior College)
**** 正會員, 東明專門大學 電子科
(Dept. of Elec., Dongmyung Junior College)
※ 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 대학부설 연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음
接受日字 : 1994年 2月 25日

## Ⅰ. 서 론

수리 형태론은 집합론에 근거하여 영상을 하나의 집합체로 간주하고 영상의 기하학적 구조 및 형태를 영상분석의 기본으로 한다. 수리 형태론을 이용한 형태론적 여파기는 형태소(structuring element)를 적절히 선택함에 따라 대상물의 기본적인 구조와 형태를 잘 보존하면서 해당하는 영상처리를 수행할 수 있다. 이 때문에 영상 분할, 결함 검출, 형태 분석, 영상 인식등의 다양한 영상처리 분야에 이용되고 있다.[1-13]

기본적인 형태론적 연산으로는 녹임(erosion), 불림(dilation), 열림(opening), 닫힘(closing)연산이 있고 임의의 기준값과 비교해서 녹이고 불리는 작용을 하는 측지적 녹임/불림(geodesic erosion/dilation)도 있다. 특히 측지적 연산개념을 바탕으로 한 복원성 여파기(RF: Reconstructive Filter)는 대상영상의 구조와 형태를 잘 보존하기때문에 영상분해에 효과적이다.[11-12] 그런데 RF는 측지적 연산을 멱등항이 나올때까지 반복수행하므로 처리시간이 긴 문제점이 있다.[10-12]

이에 본 논문에서는 RF의 처리시간을 줄이기위한 방법의 하나로 표본기법을 응용한 고속 복원성 여파기(FRF: Fast Reconstructive Filter)를 제시하고자 한다. 또한 형태소의 크기에 따라 영상을 분해하는 기존의 직렬식 분해방식을 병렬화하는 과정을 보였다.

본 논문의 구성은 2장 형태론적 연산의 특성, 3장 표본 기법을 응용한 FRF, 4장 직병렬 영상분해방법, 마지막 실험결과순으로 되어 있다.

## Ⅱ. 형태론적 연산의 특성

M차원 입력신호집합 X에 속하는 원소를 $x_i$로, M차원 창 또는 평탄형태소(flat structuring element)를 $W_n$으로 정의했을 때, 이 X를 $W_n$으로 녹임했을 경우 식(1)의 좌측에 표시한 기호 $E(X, W_n)$으로 나타내고 이 집합의 원소$En(x_i)$를 식(1)의 우측수식으로 정의한다. 마찬가지로 불림(식(2)), 열림(식(3)), 닫힘(식(4)), 측지적 녹임/불림(식(5)/(6)), 복원성 열림/닫힘(식(7)/(8))의 경우에도 각각 해당하는 수식 좌우측에 기호 및 원소를 나타냈다. 한편 본 논문에서는 평탄형태소 $W_n$을 원점대칭형으로 보고 1차원(M=1) 및 2차원(M=2)인 경우에 Wn의 크기를 각각 (2n+1) 및 (2n+1)×(2n+1)이라고 정의한다.

기본적인 형태론적 연산 :

$$E(X,W_n):E_n(x_i)=\mathrm{Min}\{x_{i+k},k\in W_n\} \tag{1}$$

$$D(X,W_n):D_n(x_i)=\mathrm{Max}\{x_{i-k},k\in W_n\} \tag{2}$$

$$O(X,W_n):O_n(x_i)=D_n(E_n(x_i)) \tag{3}$$

$$C(X,W_n):C_n(x_i)=E_n(D_n(x_i)) \tag{4}$$

측지적 연산 :

$$\varepsilon(X,r_i):\varepsilon(x_i,r_i)=\mathrm{Max}\{E_1(x_i),r_i\} \tag{5}$$

$$\delta(X,r_i):\delta(x_i,r_i)=\mathrm{Min}\{D_1(x_i),r_i\} \tag{6}$$

복원성 연산 :

$$\begin{aligned}Ro(X,W_n):Ro(x_i)&=\delta^{(p)}(E_n(x_i),x_i)\\&=\delta(\cdots\delta(E_n(x_i),x_i)\cdots,x_i)\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}Rc(X,W_n):Rc(x_i)&=\varepsilon^{(p)}(D_n(x_i),x_i)\\&=\varepsilon(\cdots\varepsilon(D_n(x_i),x_i)\cdots,x_i)\end{aligned} \tag{8}$$

위 식(5)와 (6)의 ri는 비교하기 위한 기준신호이고 식(7), (8)의 $\delta^{(p)}$ 및 $\varepsilon^{(p)}$ 의 p는 측지적 연산의 반복 수행횟수를 뜻하는 것으로 복원성 열림/닫힘의 경우에 이 p는 더이상 측지적 연산을 반복하여도 변화하지 않는 멱등항이 나오기까지의 반복횟수를 뜻한다. 이러한 복원성 연산의 구성도를 나타낸 것이 그림 1이다(m은 1이상의 정수로서 측지적 연산의 반복횟수를 뜻함). 여기서 $y_i$를 처음으로 측지적 불림 연산할때(m = 1)와 그 이후 반복적으로 측지적 불림 연산할때(m > 1)에 스위치의 상태가 그림과 같이 변한다. 마찬가지로 zi를 m번 측지적 녹임 연산을 할 경우에도 위의 불림의 경우와 같다. 그리고 $\delta^{(p)}(y_i, x_i) = \varepsilon^{(p)}(z_i, x_i) = 0$ 으로 정의한다.

한편, 식(7)에서 $E_n(x_i) = y_i$ 라 놓으면(n > 1), 다음 식(9)가 성립됨을 쉽게 알 수 있다.

$$\begin{aligned}&y_i\le\delta(y_i,x_i)\le\delta^{(2)}(y_i,x_i)\le\cdots\le\delta^{(m)}(y_i,x_i)=O_n(x_i)\\&O_n(x_i)\le\delta^{(m+1)}(y_i,x_i)\le\cdots\le\delta^{(p)}(y_i,x_i)=Ro(x_i)\le x_i\end{aligned} \tag{9}$$

마찬가지로 식(8)의 복원성 닫힘연산은 식(10)과 같은 관계가 성립됨을 알 수 있다. 여기서 $z_i = D_n(x_i)$이다.

$$z_i \geq \varepsilon(z_i, x_i) \geq \varepsilon^{(2)}(z_i, x_i) \geq \cdots \geq \varepsilon^{(n)}(z_i, x_i) = C_n(x_i)$$
$$C_n(x_i) \geq \varepsilon^{(n+1)}(z_i, x_i) \geq \cdots \geq \varepsilon^{(p)}(z_i, x_i) = Rc(x_i) \geq x_i \quad (10)$$

위 식(9), (10)에서 식(7), (8)의 복원성 열림과 붙힘은 식(11), (12)와 같이 열림/붙힘 연산결과를 (p-n)번 측지적 불림/녹임한 것과 같음을 알 수 있다. 물론, 멱등항이 나오기까지의 반복횟수 p는 n이상이다.

$$Ro(x_i) = \delta^{(p-n)}(O_n(x_i), x_i) \quad (11)$$

$$Rc(x_i) = \delta^{(p-n)}(C_n(x_i), x_i) \quad (12)$$

위 식(11)의 복원성 열림은 형태소보다 크기가 작고 밝은 부분이 제거되는(어두워지는) 열림작용의 결과에 대하여 원영상과 비교하는 측지적 불림작용을 반복 수행하는 것이기 때문에 형태소보다 작고 밝은 고립물체는 그대로 제거되는(어두워지는) 반면 형태소보다 크고 밝은 대상물에 인접했던 그보다 작고 밝은 부분의 모양이 되살아나 복원성 열림이라고 한다. 예를 들어 어떤 영상이 배경보다 밝고 형태소보다 큰 톱니바퀴(단, 하나하나의 톱니는 형태소보다 작다고 하자)와 형태소보다 작은 물체가 서로 떨어져 있을 경우에 이 영상을 열림했을 경우, 작은 물체는 제거되고 톱니바퀴는 이빨이 뭉드러진 원형으로 나타난다. 반면에 이 영상을 복원성 열림연산을 했을 경우, 작은 물체는 마찬가지로 제거되고 뭉드러졌던 이빨이 대략적으로 되살아 난다. 또한, 식(12)의 복원성 붙힘은 형태소보다 작고 어두운 부분이 제거되는( 밝아지는 ) 붙힘작용의 결과에 대하여 원영상과 비교하는 측지적 녹임작용을 하기때문에 형태소보다 작고 어두운 고립물체는 마찬가지로 제거되고( 밝아지는 ) 형태소보다 크고 밝은 대상물에 인접했던 형태소보다 작고 어두운 부분이 되살아나 복원성 붙힘이라 한다.

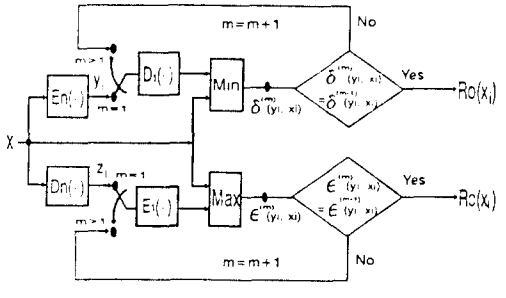



그림 1. 복원성 열림 및 붙힘도

Fig. 1. Block diagram of reconstructive opening and closing.

앞서 예를 든 영상을 붙힘했을 경우, 형태소보다 작고 밝았던 고립물체는 모양을 그대로 유지하고 톱니바퀴의 이빨 부분이 뭉드러지는 것이 아니라 이빨 사이사이가 밝게 채워진 둥근모양으로 나타난다. 이 결과를 반복적으로 측지적 녹임을 하는 복원성 붙힘을 하면 작은 물체는 모양을 그대로 유지하고 밝게 채워졌던 톱니바퀴의 사이사이가 어둡게 바뀌어진다. 즉, 톱니바퀴가 대략적으로 되살아 난다. 이상의 복원성 열림/붙힘연산은 경계정보의 보존특성때문에 영상분해에 사용되고 있으나 멱등항까지 이르는데 시간이 길어지는 것이 단점이다.

## Ⅲ. 표본기법을 응용한 복원성 여파기

그림 1의 복원성 열림 및 붙힘 구성도에서 n이 큰 수인 경우에 녹임, 불림한 $y_i$, $z_i$ 영상은 원영상에 비해서 일반적으로 단순화된다. 이러한 단순한 영상을 3×3 크기의 $W_1$으로 불림/녹임 연산한 결과는 십자형창(3×3 형태소에서 중심점과 중심점을 지나는 수직 수평선상의 4점을 포함하여 총 5점으로 구성된 창)이나 X자형창(십자형창에서 제외된 대각선상의 4점과 중심점으로 이루어진 창)으로 연산하는 것과 크게 차이가 없을 것이다. 또한 이 대신에 $W_1$ 창을 그대로 사용하고 그림 2에서 처럼 축소한 영상(down sample image)을 $W_1$으로 연산한 것과도 비슷할 것이다. 본 논문에서는 이러한 개념을 이용하여 축소/확장법을 응용한 고속 복원성 연산방법을 제안하고자 한다. 우선 여기서 사용하는 축소/확장함수를 정의한다.

### 1. 축소/ 확장 함수(down/ up sampling)

직교 좌표계로 점 $(n_1, n_2)$의 신호 $x(n_1, n_2)$를 $x_i$라고 정의하면 축소/확장 함수, $d[x_i]/u[x_i]$는 각각 다음과 같이 정의 된다.

$$d[x_i] = x(2n_1, 2n_2)$$
$$u[x_i] = \begin{cases} x\left(\frac{n_1}{2}, \frac{n_2}{2}\right) & : n_1 \text{과 } n_2 \text{가 모두 짝수.} \\ c & : \text{그외의 정수인 } n_1 \text{과 } n_2. \end{cases}$$

여기서 축소함수는 $R = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$인 직각표본행렬로 축소한 경우와 동일하고 확장함수의 경우에는 표본격자, LAT(R)에 속하지 않는 좌표의 값을 0이 아닌 특정 상수 c로 하는 것이 기존의 확장함수와 다르다.[12]

### 2. 고속 복원성 여파기의 설계

앞서 언급한 것과 같이 축소/확장 표본기법을 사용한 고속 복원성 여파기의 구성도는 그림 2와 같다.

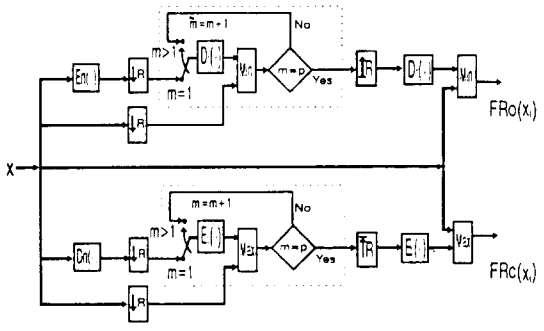



그림 2. 고속 복원성 열림 및 붙힘도
Fig. 2. Block diagram of fast reconstructive opening and closing.

그림 2에서 ↓R은 앞서 언급한 직각표본행렬, R행렬로 축소함을 뜻하고 ↑R 은 기존의 확장방법과 동일하게 R로 확장하여 LAT(R)이 아닌 점에서는 영상 밝기의 최소값으로 하고 (예를 들어 c = 0 ), 이와 달리 ↑R 은 R행렬로 확장한 것으로 c = 255 (영상의 최대값)으로 한 것을 뜻한다. 축소한 영상을 복원하는데 필요한 측지적 연산의 반복횟수는 원영상을 바로 측지적 연산을 반복하는 횟수보다 절반정도로 줄어 들게 된다. 이것은 복원성 연산시 소요되는 반복수는 면적이 아니라 길이에 의존하기 때문이다. 즉, 2장에서 예를 든 톱니바퀴 영상의 경우 만약에 톱니의 폭은 일정하나 톱니의 길이가 길고 짧은 것이 있더라도 열림작용에 의해서 다 같이 문드러지지만 이 열림 결과의 영상을 측지적 불림할 때마다 한 화소의 폭만큼에 해당하는 톱니가 복원되기 때문에 톱니의 복원 시간은 톱니의 길이에 비례하게 된다. 본 논문에서 제안한 축소/확장법을 이용한 고속 복원성 연산방법(그림 2)은 처리해야할 면적이 1/4정도로 축소되었기 때문에 복원하는데 소요되는 반복횟수는 축소/확장 방법을 사용하지 않는 방법에 비하여 대략 1/8로 줄어들 것이다(1/4×1/2). 일반적으로 축소된 영상을 확장한 후에 그 사이값(LAT(R)에 속하지 않는 점)을 여러가지방법으로 보간할 수 있는데(예를 들어 $W_1$ 창내의 평균값), 여기서는 형태론에 주안점을 두므로 그림 2처럼 확장한 다음 $W_1$ 창으로 불림 또는 녹임작용으로 $W_1$ 창내의 최대 또는 최소값으로 보간하는 방법을 사용하겠다(이를 위해 확장함수 ↑R 과 ↑R 은 c의 값을 0과 255로 달리 사용하였다). 그리고 이와같이 보간된 신호를 원신호와 비교하여 최대, 최소값을 취함으로써 근사적인 복원성 열림/붙힘의 결과를 얻을 수 있다.

## Ⅳ. 영상 분해

일반적으로 영상분해의 목적은 영상내의 상관성이 상당히 큰 부분 또는 동질성을 갖는 부분을 분리하는데 있다. 이를 위해 전체적이나 부분적인 히스토그램 분포를 이용하든지 에지(edge)나 영역을 기반으로 분해하곤 한다. 그러나 형태론적 영상분해방법은 여러가지의 크기나 모양(길이, 면적)을 갖는 형태소를 사용함으로서 영상내에서 그 형태소와 개략적으로 크기나 모양이 비슷한 부분을 분해하는 것이다. 특히 자동시각검사분야에서 대상물의 결함유무를 판단하는데 형태론적 영상분해방법은 매우 효과적이라 판단된다. 왜냐하면 결함이란 영상에서의 이질성분을 말하는 것으로 바라는 영상 또는 일정한 패턴을 깨뜨리는 것이어서 처리과정중에서 이러한 이질적인 형태를 보존하면서 이질성을 추출할 수 있기 때문이다.

영상분해를 위한 기존의 형태론적 직렬다단분해방식은 그림 3과 같은 구조를 갖는다. 여기서 k번째단은 형태소 $\omega_k$ 를 사용하는 형태론적 여파기($F_k$)로 구성되어 있고 차영상 $d_k$ 는 k번째단의 입출력의 차신호로서 사실상 k번째 분해된 영상이다(k = 1, 2, … , f). 그리고 맨 마지막단, $F_f$ 의 출력신호와 모든 차영상(분해영상)으로 부터 그림 3의 우측부분처럼 원영상을 합성( $\bar{X} = X$ )할 수도 있다.

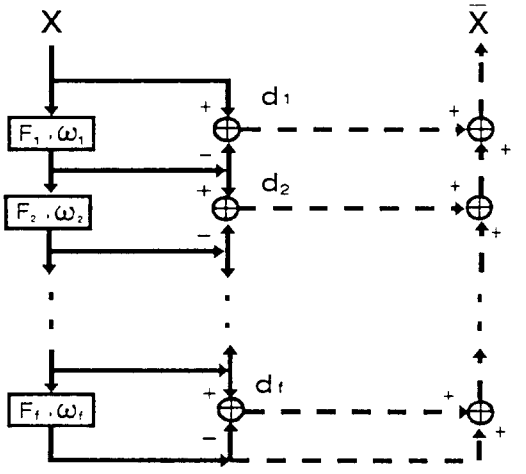



그림 3. 형태론적 직렬다단분해방식
Fig. 3. Block diagram of serial morphological multiresolution decomposition.

그러면 형태론적 직렬다단분해방식의 특성을 분석하여 병렬화하는 과정을 살펴 보기로 하겠다.

1. 녹임 또는 불림 여파기를 사용한 직/병렬 시스템

그림 3의 모든 여파기들($F_k$, k = 1, 2, … , f)이 녹임 여파기인 경우에( $\omega_k$ 는 식(1)에서 정의한 $W_k$ 와는 다름에 유의 : 즉, $\omega_k$ 는 임의의 크기를 갖음) k번째 여파기의 출력은 입력 X를 형태소 1, 2, … k에 의해서 계속적으로 녹임한 것과 같기때문에 형태소분해법[4,5]에 의하면 원영상을 바로 식(13)에 나타낸 $\omega_{ck}$ 로 녹임한 결과와 같음을 알 수 있다.

$$\omega_{ck} = \omega_1 \oplus \omega_2 \oplus \cdots \oplus \omega_k \tag{13}$$

여기서 $\omega_i \oplus \omega_j$ 는 $\omega_j$ 에 의한 $\omega_i$ 의 불림을 뜻하고 식(2)의 정의로 나타내면 $D(\omega_i, \omega_j)$와 같다. 따라서 이 경우에 직렬분해방식을 병렬화하려면 그림 4의 k번째 여파기($PF_k$)는 식(13)에서 정의한 형태소 $\omega_{ck}$ 를 사용하는 녹임 여파기가 되어야 한다(즉, $\omega_{pk} = \omega_{ck}$ ). 이와 유사하게 모든 k에 대해서 $F_k$ 가 불림 여파기인 경우에 $PF_k$ 는 식(13)에서 정의한 형태소 $\omega_{ck}$ 를 사용하는 불림 여파기가 됨을 쉽게 알수 있다.

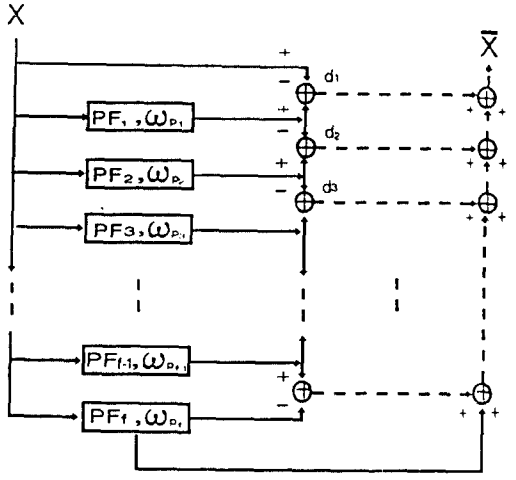



그림 4. 형태론적 병렬다단분해방식

Fig. 4. Block diagram of parallel morphological multiresolution decomposition.

2. 열림 또는 붙힘 여파기를 사용한 직/병렬 시스템

그림 3의 모든 k에 대해서 $F_k$ 가 $\omega_k$ 를 사용하는 열림 여파기이고 $\omega_k$ 가 식(14)와 같은 관계를 만족하는 경우 ($\omega_k$ 가 $\omega_{k-1}$ 에 대해 열렸다라고 말한다.[4,5] k번째단의 출력신호는 $O[X, \omega_k]$와 같다. 왜냐하면 $O[O[X, \omega_{k-1}]\ \omega_k] = O[X, \omega_{k-1}]$의 관계가 성립되기 때문이다.[4,5]

$$O[\omega_k, \omega_{k-1}] = \omega_k \tag{14}$$

따라서 그림 3을 그림 4처럼 병렬화하는 경우 $\omega_{pk} = \omega_k$ 가 된다. 즉 직/병렬 시스템에서 사용하는 각단에서의 형태소들은 동일하다. 마찬가지로 $F_k$ 가 $\omega_k$ 를 사용하는 붙힘 여파기이고 $\omega_k$ 가 $\omega_{k-1}$ 에 대해 열렸을 경우에, 그림 4에 $PF_k$ 는 $\omega_k$ 를 사용하는 ( $\omega_{pk} = \omega_k$ ) 붙힘 여파기를 사용하면 된다.

왜냐하면 $C[C[X, \omega_{k-1}]\ \omega_k] = C[X, \omega_k]$의 관계가 성립되기 때문이다.[4,5] 본 논문의 2장에서 정의한 형태소 $W_k$ 는 $W_j$ 에 대해서 열렸다고 할 수 있는 특별한 형태소이기에( $k \geq j$ ) 위 열림/붙힘 여파기를 사용하는 직병렬시스템이 각 단의 형태소 $\omega_k$ ($= \omega_{pk}$)를 $W_k$ 로 구현될 수 있음을 알 수 있다. 한편, 복원성 열림 또는 복원성 붙힘 여파기를 사용하는 시스템인 경우에 등가적인 직병렬 관계를 명확하게 수식으로 구할 수는 없었지만 위 열림 또는 붙힘 여파기를 사용한 직병렬 시스템처럼( $\omega_k$ 가 $\omega_{k-1}$ 에 대해 열렸을 경우) 동일한 형태소와 동일한 복원성 여파기를 갖는 직병렬 시스템을 구성하여 5장의 실험영상에 대한 모의 실험결과 이 직병렬 시스템이 동일함을 알 수 있었다.

## V. 모의 실험 및 결과

2장 형태론적 연산의 특성, 3장 표본기법을 응용한 복원성 여파기, 4장 영상 분해에서 다루었던 내용을 그림 5 (a)와 같은 3.5인치 디스켓 영상을 원영상으로 하여 실험하였다. 이 원영상은 256×256, 8 bits 영상이며 3.5인치 디스켓에 두개의 검은 원을 추가한 것으로 문턱치 105로 이치화한 것이 그림 5 (b)이다.

그림 5의 (c) ~ (j)는 각각 $W_5$ 형태소(n = 5 ; 11×11)를 사용한 불림, 녹임, 열림, 붙힘, 복원성 열림, 복원성 붙힘, 고속 복원성 열림 및 고속 복원성 붙힘의 결과이다.

그림 5에서 (c), (d)는 밝은 부분과 어두운 부분의 팽창정도로 불림과 녹임되었음을 알 수 있고, (e)에서 형태소 크기보다 좁고 밝은 디스켓의 금속면 부분과 중심원 부분이 어두워져 열림현상을 볼 수 있으며 유사하게 (f)에서는 형태소의 크기보다 좁고 어두운 디스켓의 금속면 내부의 凸모양과 중심부분이 밝아져 붙힘현상을 볼 수 있다. 또한, (g)에서는 (e)에서 어두워졌던 부분이 되살아나( 원영상의 디스켓 좌하단부의 고립점은 되살아나지 않음) 복원성 열림현상을 볼 수 있고, (h)에서는 (f)에서 밝아졌던 부분이 어

둡게 되살아나 복원성 붙힘현상을 볼 수 있다. 그리고 (i), (j)의 고속 복원성 열림/붙힘인 경우에는 (g), (h)와 거의 유사한 결과를 보이지만 그림 2의 축소과정중 분리되었던 영역이 인접 영역과 너무 가까운 경우에는(즉, 한 화소의 차이) 합병된 결과를 볼 수 있다( (j)의 금속면 우상단의 검은 부분)

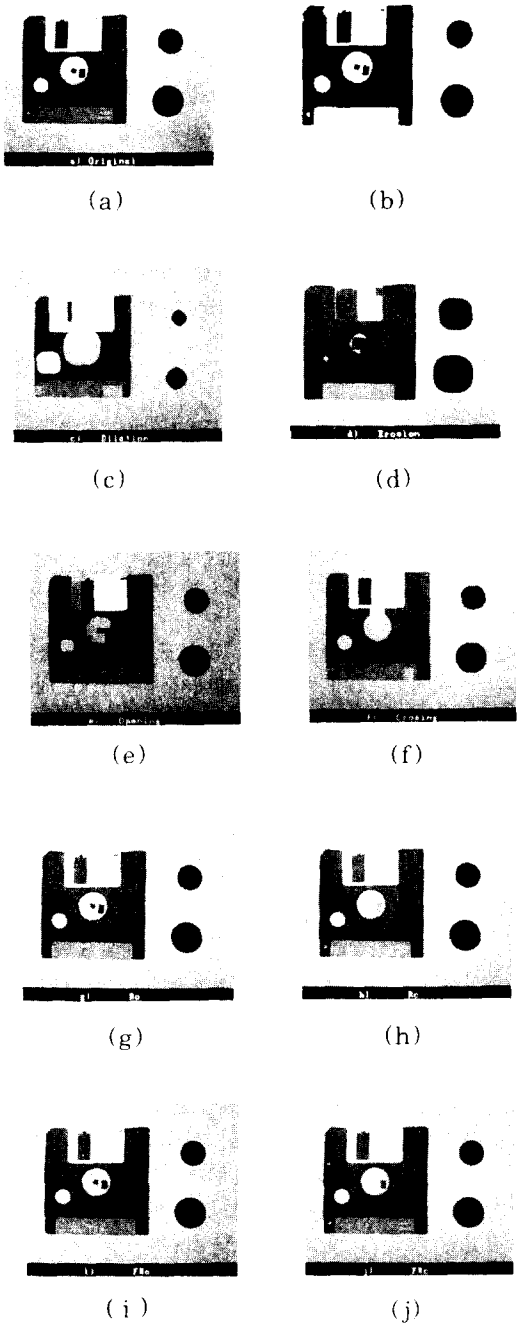



그림 5. 형태론적 연산 결과($W_5$ 사용) (a)원영상, (b)이치영상, (c)불림, (d)녹임, (e)열림, (f)붙힘, (g)복원성 열림, (h)복원성 붙힘, (i)고속 복원성 열림, (j)고속 복원성 붙힘

Fig. 5. Results of morphological operations with $W_5$. (a)original image, (b)binary ima-ge, (c)dilation, (d)erosion, (e) opening, (f) closing, (g)reconstructive opening, (h)reconstructive closing, (i)fast recon-structive opening, (j)fast reconstructive closing

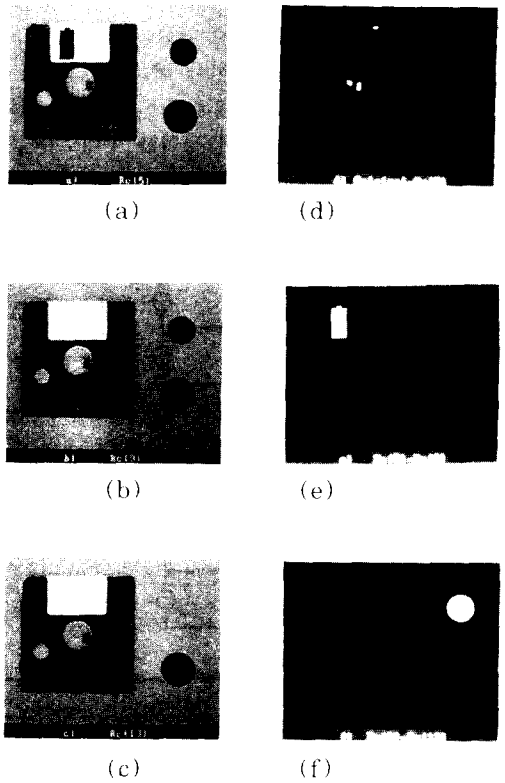



그림 6. 복원성 붙힘 여파기를 사용한 다단 영상분해 결과 (a)Rc(5), (b)Rc(9), (c)Rc(13), (d)원영상 - Rc(5), (e)Rc(5) - Rc(9), (f)Rc(9) - Rc(13)

Fig. 6. Results of multiresolution decomposition using reconstructive closing. (a)Rc(5), (b)Rc(9), (c)Rc(13), (d)original image - Rc(5), (e)Rc(5) - Rc(9), (f)Rc(9) - Rc(13).

그림 6은 복원성 여파기를 사용한 그림 3, 4의 직병렬 영상분해 시스템에 의해 얻은 영상으로 (a), (b), (c)는 각각 $W_5$, $W_9$, $W_{13}$ 형태소를 사용한 복원성 붙힘영상이고 (d), (e), (f)는 분해영상(차영상)을 나타낸것으로 (d)는 원영상(그림 5 (a))과 (a)와의 차영상이며 (e), (f)는 각각 (a)와 (b), (b)와 (c)의 차영상이다. 이 결과에서 복원성 붙힘에 의한 영상 분해방식은 형태소 크기에 따른 어두운 부분 영상을 분해할 수 있음을 알 수 있다. 여기서 Rc(k) = Rc(X, $W_k$) 이다. 마찬가지로 그림 7의 Ro(k) = Ro(X, $W_k$) 이다.

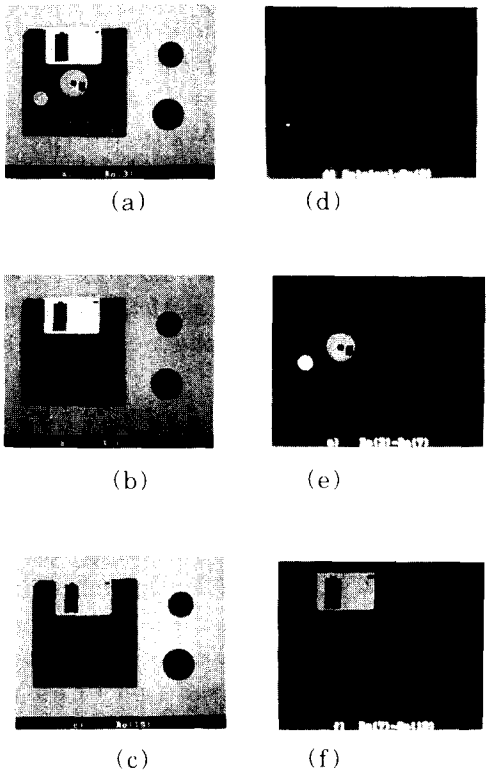



그림 7. 복원성 열림 여파기를 사용한 다단 영상 분해 결과 (a)Ro(3), (b)Ro(7), (c)Ro(19), (d)원영상 - Ro(3), (e)Ro(3) - Ro(7), (f)Ro(7) - Ro(19)

Fig. 7. Results of multiresolution decomposition using reconstructive opening. (a)Ro(3), (b)Ro(7), (c)Ro(19), (d)original image - Ro(3), (e)Ro(3) - Ro(7), (f)Ro(7) - Ro(19).

그림 7은 복원성 열림 여파기에 의하여 다단 분해된 결과영상으로 (a), (b), (c)는 각각 $W_3$, $W_7$, $W_{19}$ 형태소를 사용한 복원성 열림영상이고 (d), (e), (f)는 분해영상을 나타낸것으로 (d)는 원영상과 (a)와의 차영상이며 (e), (f)는 각각 (a)와 (b), (b)와 (c)의 차영상이다. 이 결과에서 복원성 열림에 의한 다단 분해방식은 형태소 크기에 따른 밝은 부분 영상을 분해할 수 있음을 알 수 있다.

한편, 그림 6, 7과 동일한 형태소를 사용한 고속 복원성 붙힘/열림에 의한 고속 복원성 다단 영상 분해 결과는 그림 6, 7의 (d), (e), (f)의 결과와 거의 동일하여 본 논문에서 생략되었다.

복원성 연산시 멱등항이 나올때까지 소요되는 측지적 연산의 반복횟수를 형태소 $W_n$ (크기 : (2n+1)(2n+1))의 n의 값에 따라 직접적인 연산 방법(식 (7), (8), 그림 1)과 고속 복원성 연산 방법(그림 2)을 비교하여 그림 8에서 도시하였다.

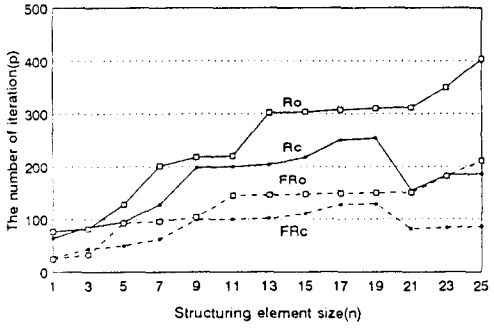



그림 8. 측지적 연산의 반복 횟수

Fig. 8. Iteration number of geodesic operations.

여기서 (고속)복원성 열림이 (고속)복원성 붙힘보다 반복 횟수가 상대적으로 많은 것은 열림에 의하여 제거되었던 밝은 부분이 붙힘에 의하여 제거되었던 어두운 부분보다 상대적으로 넓었기 때문이다. 다시말하면, 본 실험에서 사용한 그림 5 (a)의 영상인 경우에 복원해야 될 부분의 길이가 밝은 부분이 어두운 부분에 비해서 길었기 때문이다. 그리고 형태소 크기에 관계없이 고속 복원성 방법이 반복 횟수가 3장에서 언급한 바와 같이 1/2 정도로 줄어들었음을 볼 수 있다.

그림 9는 그림 8의 결과를 알아보기 쉽게 변형한 것으로 직접 복원 방법과 고속 복원 방법과의 등가적인 반복 횟수의 비를 나타낸것으로 이 비는 다음과 같이 정의하였다.

등가적인 반복횟수의 비

$$= \frac{\text{직접 복원시 처리해야할 (면적 } \times \text{ 반복 횟수)}}{\text{고속 복원시 처리해야할 (면적 } \times \text{ 반복 횟수)}}$$

$$= 4 \times \frac{\text{직접 복원시 반복 횟수}}{\text{고속 복원시 반복 횟수}}$$

여기서 3장에서 예견한 바와 같이 이 비는 형태소의 크기나 복원성 여파기에 관계없이 대략적으로 8이 됨을 볼 수 있다.

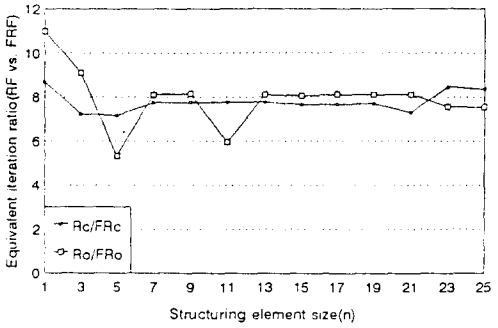



그림 9. 등가적인 반복 횟수 비(RF/FRF)
Fig. 9. Equivalrnt iteration rate.(RF/FRF)

## Ⅵ. 결 론

이미 알려진 기본적인 형태론적 연산들의 특성을 컴퓨터 모의 실험결과로 확인하였다. 특히, 복원성 연산은 멱등항까지 도달하는 데에 시간이 많이 걸리지만 형태보존 특성면에서는 다른 연산들에 비하여 월등하게 우수함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 축소/확장 기법을 이용한 고속 복원 연산이 직접 복원 방법에 비하여 형태보존 특성은 대등하면서도 계산량면에서는 8배 정도의 이득이 있음을 실험적으로 확인할 수 있었다. 또한, 제안한 형태론적 병렬 다단 분해 방식은 기존의 직렬 방법에 비하여 처리 시간면이나 h/w 구현에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 參 考 文 獻

[1] Robert M.Haralick, Stanley R.Sternberg and Xinhua Zhuang, "Image Analysis Using Mathematical Morphology", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-9, no. 4, pp. 532-550, July 1987.

[2] Petros A.Maragos and Ronald W.Schafer, "Morphological Filters-Part I : Their Set-Theoretic Analysis and Relation to Linear Shift-Invariant Filters", *IEEE Trans. On Acoustic, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-35, no. 8, pp 1153-1169, August 1987.

[3] Petros A.Maragos and Ronald W.Schafer, "Morphological Filters-Part II : Their Relations to Median, Order-Statistic, and Stack Filters", *IEEE Trans. On Acoustic, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP -35, no. 8, pp. 1170-1184, August 1987.

[4] *Jean Serra, Image Analysis and Mathematical Morphology*, Vol Ⅰ, Ⅱ, Academic Press, London, 1988.

[5] Charles R.Giardina, Edward R.Dougherty, *Morphological Methods in Image and Signal Processing*, Prentice-Hall, New Jersey, 1988.

[6] Robert M.Haralick, Xinhua Zhuang, Charlotte Lin, James S.J.Lee, "The Digital Morphological Sampling Theorem", *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal processing*, vol. 37, no. 12, pp. 2067 2090, December 1989.

[7] Philippe salembier, "Comparision of Some Morphological Segmentation Algorithms Based on Contrast Enhancement Application to Automatic Defect Detection", *Signal Processing* Ⅴ : Theories and Application, pp. 833-836, 1990.

[8] Robert M.Haralick and Linda G.Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley, 1992.

[9] Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.

[10] Philippe Salembier and Jean Serra, "Morphological Multiscale Image Segmentation", *Proc. SPIE VOL.1818*

*Visual Communication and Image Processing* '92., pp. 620-631, 1992.

[11] Philippe Salembier and Murat Kunt, " Size Sensitive Multiresolution Decomposition of Images with Rank Order Based Filters", *Signal Processing*, vol. 27, no. 2, pp. 205-241, May 1992.

[12] 박덕흥, 윤정민, 정호열, 최태영, "형태론적 여파기의 분석과 영상 분해", 한국 통신 학회 하계 종합 학술 발표회 논문지, vol. 12, no. 1, pp. 667-670, July 1993

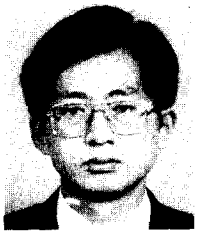
[13] P. P. Vaidyanathan, *Multirate Systems and Filter* Banks, Prentice Hall, 1993.

## 著者紹介

**朴 德 洪(正會員)**

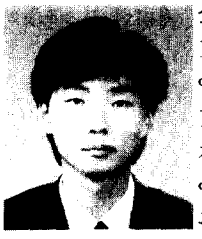
1969年 10月 4日生. 1990年 1月 영남공업전문대학 전자과 졸업. 1992年 2月 경기대학교 전자공학과 공학사. 1994年 2月 아주대학교 대학원 전자공학과 공석사. 1994年 1月 ~ 현재 대영전자공업(주) 부설연구소 연구원. 주관심 분야는 영상 신호처리 및 CATV 시스템 등임.

•



**鄭 昊 烈(正會員)**

1966年 3月 9日生. 1988年 8月 아주대학교 전자공학과 공학사. 1990年 8月 아주대학교 대학원 전자공학과 공석사. 1993年 8月 아주대학교 대학원 박사과정 수료. 1994年 3月 ~ 현재 두원공업전문대학 전자과 전임강사. 주관심 분야는 영상 신호처리 및 통신 시스템 등임.



**金 翰 均(正會員)**

1968年 11月 8日生. 1993年 2月 아주대학교 전자공학과 공학사. 1995年 2月 아주대학교 대학원 전자공학과 공석사(예정). 주관심 분야는 영상 압축 및 영상 신호처리 등임.

•

**吳 冑 煥(正會員)**

1959年 11月 15日生. 1983年 2月 영남대학교 전자공학과 졸업. 1985年 8月 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1987年 3月 ~ 현재 대구전문대학교 전자계산과 조교수. 1989年 8月 ~ 현재 아주대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심 분야는 映像압축, 신경회로망, 패턴인식 등임.

## 著者紹介

**金 會 珍(正會員)**

1960年 10月 1日生. 1983年 2月 부산 수산대학교 전자공학과 졸업. 1985年 2月 아주대학교 대학원 전자공학과 대학원 졸업(공석사). 1987年 1月 ~ 1988年 3月 (주)금성정밀연구소 연구원 근무. 1988年 3月 ~ 현재 아주대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 1988年 3月 ~ 현재 동명전문대 전자과 조교수. 주관심 분야는 映像信號處理, 패턴인식, 通信시스템 등임.

•

**鮮宇 明勳(正會員)**

1958年 3月生. 1980年 2月 서강대학교 졸업. 1982年 2月 한국과학기술원 전자공학과 졸업(공학석사). 1982年 3月 ~ 1985年 8月 ETRI 연구원. 1990年 8月 University of Texas at Austin 전자공학과 졸업(공학박사). 1990年 8月 ~ 1992年 8月 Motorola Senior Staff Engineer. 1992年 8月 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 조교수. 주관심 분야는 VLSI Architecture, 병렬처리 컴퓨터 등임.

**羅 相 臣(正會員)**

1959年生. 1982年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업. 1985年 미시간 대학교 전기 및 컴퓨터공학 석사 졸업. 1989年 미시간 대학교 전기 및 컴퓨터공학 박사 졸업. 1989年 ~ 1991年 네브라스카 대학 전기공학과 조교수. 1991年 8月 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 조교수. 주관심 분야는 자료압축, 디지탈 통신 및 신호처리 등임.

•

**鄭 己 紘(正會員)** 第 29卷 B編 第 7號 參照
현재 아주대학교 전자공학과 교수

•

**金 容 得(正會員)** 第 30卷 B編 第 5號 參照
현재 아주대학교 전자공학과 교수

•

**崔 太 永(正會員)** 第 30卷 B編 第 6號 參照
현재 아주대학교 전자공학과 교수