

수리 형태학적 세선화를 이용한 이진 영상 압축

정 기 룡*

A Study on Binary Image Compression Using Morphological Skeleton

*Gi-Ryong Jeong**

<목 차>

Abstract

I. 서 론

II. 이진 영상의 수리 형태학적 기본 연산

III. 비교 패턴(Structure element)종류 및
분해

IV. 이진 영상의 수리 형태학적 세선화
(Skeleton) 및 세선화 영상점의 생략

V. 실험 및 고찰

VI. 결 론
참고문헌

Abstract

Mathematical morphology skeleton image processing makes many partial skeleton image planes from an original binary image. And the original binary image can be reconstructed without any distortion by summing the first partial skeleton image plane and each dilated partial skeleton image planes using the same structuring element. Especially compression effects of Elias coding to the morphological globally minimal skeleton(GMS) image, is better than that of PCX and Huffman coding. And then this paper proposes mathematical morphological GMS image processing which can be applied to a binary image transmitting for facimile and big size(bigger than 64X64 size) bitmap fonts storing in a memory.

I. 서 론

수리 형태학적 영상 처리는 집합론에 기반을 둔 G.Matheron과 그 이론을 발전시킨 J.Serra, P.Maragos, E.R.Doughert등과 M.Haralick에 의하

여 체계적으로 발전되었고, 여러 영상 처리 분야 중 병렬 처리 기법을 이용할 수 있는 장점이 있으며, 에지(Edge)[7] 추출, 물체의 비교 및 판단에 사용하는 패턴 스펙트럼[9], 잡음 제거[8] 등 다양한 영상 신호 처리 분야에 이용된다.

* 한국해양대학교 해사수송과학과 조교수, 중신회원

수리 형태학적 해석의 기본적 연산[1][2][3] 과정으로는 다이레이션(Dilation)과 이로우전(Erosion), 오픈닝(Opening), 크로우징(Closing), 세선화(Skeleton)로 크게 분류되며, 다이레이션 연산은 두 집합의 합집합으로 팽창된 영상이 얻어지고, 이로우전 연산은 두 집합의 차집합으로 실제 영상보다 축소되며, 세선화 영상은 이로우전된 결과와 이것을 다시 오픈닝한 결과와의 차집합으로 원영상을 무손실로 복원하는데 중요한 정보가 된다.

MS[3][11] 영상은 원영상을 무손실로 복원시킬 수 있으므로, 이진 영상 통신 및 비트맵 폰트를 메모리에 저장시 데이터 압축에 적용할 수 있으며, MS 영상은 원영상 복원에 필요한 정보가 서로 많이 떨어져 있으므로 부호화에 유리한 엘리아스 부호를 사용하는바, 엘리아스 부호[11]는 3진 부호로, 한 단위 표현에 2비트가 필요하다. 예를들면, 10진수 '0'은 '01'로, 10진수 '1'은 '10'로, 10진수 '2'는 '11'로, 10진수 '3'은 올림수가 발생되어 '1001'로 표현되므로, 필요한 정보가 가까운 거리에 인접해 있을 경우 PCX[5]보다 불리하지만, MS 영상은 데이터 정보가 서로 많이 떨어져 있으므로, PCX 부호화 보다 데이터 압축에 유리하다.

본 논문에서 이진 영상을 부호화하는 방법은 첫째, 이진 영상을 MS 방법[1][8][11]으로 세선화 영상을 만든다. 둘째, 이것을 다이레이션하여 원영상을 복원 시키는 과정에서 중복되는 부분이 발생되는바, 이 점들을 생략하여 GMS를 구한다. 셋째, GMS 영상을 동일한 세선화 함수(SKf : Skeleton function)값 끼리 분리하여 부분 세선화 영상을 만든다. 넷째, 부분 세선화 영상에 있는 좌표의 위치 정보를 엘리아스 부호(Elias code)[11]를 사용하여 부호화 하였다.

한편, GMS 영상을 세선화 함수값이 동일한 세선화 영상면 끼리 다이레이션(Dilation)시켜서 얻은 각각의 영상들을 제일 첫번째 세선화 영상에 더하면, 원래의 영상이 그대로 복원되므로, GMS 처리된 영상을 엘리아스 부호로 부호화하여 전송하면, 수신단에서는 각각의 세선화 영상면에 대한 정보가 순차적으로 복호화 되면서 원영상이 복원되므로, 전체적인 영상 내용을 짧은 시간에 개략적

로 파악할 수 있어서, 수신자의 심리적 부담을 줄여 줄 수 있는 면에서도 허프만 부호화[3]와 PCX 부호화[5] 방법보다 우수하다.

그래서, 본 논문에서는 이진 영상의 전송 및 비트맵 폰트 저장시, GMS 영상에 엘리아스 부호화 방법이 효과적임을 제안하며, 이들을 시뮬레이션으로 실험하여 우수한 결과를 얻고 있다.

II. 이진 영상의 수리 형태학적 기본 연산

1. 다이레이션 [1][2][3] : 집합 X 와 B 가 R^2 또는 Z^2 으로 표시되는 유클리디언 E 공간에 있으며, 집합 X 에 대한 요소 x 는 $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 집합 B 에 대한 요소 b 는 $b=(b_1, b_2, \dots, b_n)$ 일때, 집합 X 가 집합 B 에 의한 다이레이션[1][2]을 $D(X, B)$ 로 표시하면, Minkowski 연산에 의해서 식(1)로 표현된다.

이때 B^s 는 집합 B 를 원점을 중심으로 180도 회전시킨 집합이고, 집합 A_b 는 A 를 벡터 b 만큼 이동시킨 것이다.

$$\begin{aligned}
 B^s &= [-b : b \in B] \quad \text{for } B \subset R^2 \\
 X_b &= [z \in E : z = x+b, x \in X] \\
 X \oplus B &= [z \in E : X \cap (B^s)_z \neq \emptyset] \\
 &= \bigcup_{b \in B} X_b \\
 &= D(X, B) \tag{1}
 \end{aligned}$$

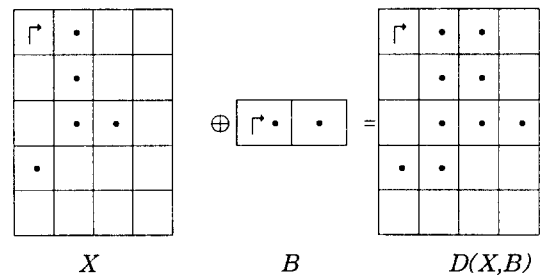


그림 1 다이레이션 연산
Fig. 1 Dilation operation

2. 이로우전 [1][2][3]: 집합 X 와 집합 B 가 유크리디언 공간 E 에 있으며, 집합 X 가 집합 B 에 의한 이로우전을 $ER(X, B)$ 로 정의하면 Minkoski 연산에 의하여 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} X \ominus B &= [z \in E : (B^s)_z \subset X] \\ &= \bigcap_{b \in B} X_b \\ &= ER(X, B) \\ &= (X^c \oplus B)^c \end{aligned} \quad (2)$$

X^c 는 X 의 보집합으로 $X^c = [x : x \notin X]$ 이다.

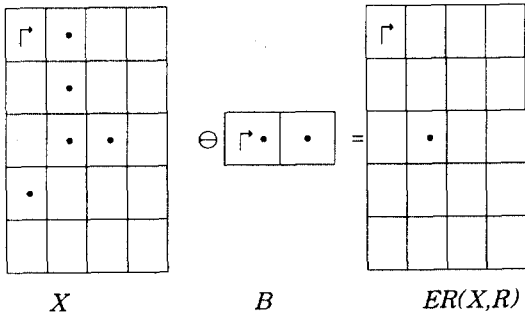


그림 2 Erosion 연산관계
Fig. 2 Erosion operation

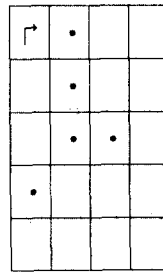
3. 크로우징 [1][2][4][8]: 이로우전된 결과를 다이레이션 하여 처리된 결과를 말하며, 집합 X 가 집합 B 로 크로우징 된 것을 $C(X, B)$ 로 정의하면 Minkoski 연산에 의하여 크로우징은 식(3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} C(X, B) &= X \cdot B \\ &= (X \oplus B^s) \ominus B \\ &= [\bigcup [B_2 : B_2 \subset X^c]]^c \\ &= \bigcap [(B_2)^c : B_2 \subset X^c] \end{aligned} \quad (3)$$

4. 오프닝 [1][2][4][8]: 다이레이션한 결과를 다시

이로우전 하여 처리된 결과를 말하며, 집합 X 가 집합 B 에 의하여 오프닝 된 것을 $O(X, B)$ 로 정의하면 Minkoski 연산에 의하여 오프닝은 식(4)와 같이 표현된다.

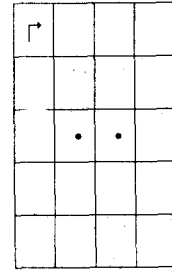
$$\begin{aligned} O(X, B) &= X \circ B \\ &= (X \ominus B^s) \oplus B \\ &= \bigcup [B_2 : B_2 \subset X] \end{aligned} \quad (4)$$



$C(X, B)$

그림 3 크로우징 연산

Fig. 3 Closing operation



$O(X, B)$

그림 4 오프닝 연산

Fig. 4 Opening operation

III. 비교 패턴(Structure element) 종류 및 분해

이진 영상을 수리 형태학적으로 연산 처리할 때 사용되는 비교 패턴은 그림 5와 같이 Line, Square, Rhombus[8][9] 등 여러 종류가 있으며, 크기가 큰 비교 패턴은 여러개의 작은 비교 패턴으로 분해[8][9]하여 처리하는 것이 연산을 간편하고 빠르게 한다.

비교 패턴과 패턴의 분해는 그림 5, 6과 같으며, 패턴 B 로 n 회 다이레이션 시킨 것을 수식화하면 식(5)와 같다.

$$nB = B \oplus B \oplus \dots \oplus B \oplus B \quad (5)$$

<n회 다이레이션 반복>

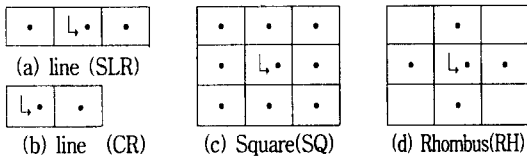


그림 5 비교패턴의 종류
Fig. 5 Some structure elements

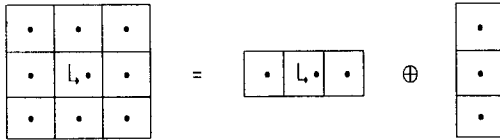


그림 6 3X3 SQ 패턴의 분해
Fig. 6 Decomposition of 3X3 SQ structure element

IV. 이진 영상의 수리 형태학적 세션화 (Skeleton) 및 세션화 영상점의 생략

1. 수리 형태학적 세션화(MS) [3][11]

영상 신호 처리시 여러 종류의 세션화 기법이 이용되지만 이들과 수리 형태학적 세션화[3][11]의 차이점은 MS 영상에만 영상 복원의 중요한 정보를 갖고 있으며, 이들은 패턴을 분류하는 경우에도 기존의 에지(Edge)에 의한 분류보다 훨씬 빠르게 비교 판단할 수 있다.

수리 형태학적 세션화 영상에는 MS 영상, 국부적 최소 세션화 영상(Locally minimal skeleton image) [11], 총체적 세션화 영상(Globally minimal skeleton image)[11] 등 여러 종류가 있다.

MS 영상이란 이진 원영상을 비교 패턴 B로 이로우전된 결과와, 이것을 다시 오프닝 시킨 결과와의 차집합을 연속적으로 합한 집합으로, 이들은 다이레이션 연산을 적용하여 원영상이 무손실로 복원되나, 중복성이 많은 단점이 있다.

또한 식(6)은 MS 영상, 식(7)은 부분 세션화 (Partial skeleton) 영상으로 원영상을 만드는 것을 수식화 했고, 그림 7,8은 부분 세션화 과정 및 부분 세션화 영상을 이용하여 원영상을 복원하는 과정

[11]을 보여준다.

그림 7,8에서 $SK_n(X)$ 는 부분 세션화 영상이고, $SK(X)$ 는 세션화 영상, X 는 원영상, B 는 비교패턴, \oplus 는 OR GATE, \ominus 는 XOR GATE, n 은 아래식에 서 \sum 오른쪽 첫번째 항이 Zero가 되지 않는 경우의 값으로 Size number[11]라 한다.

특히, $n=0$ 인 경우 $X \oplus nB$ 또는 $X \ominus nB$ 는 모두 X 이다.

$$SK(X) = \sum_{n=0}^N SK_n(X) \tag{6}$$

$$= \sum_{n=0}^N (X \ominus nB) - (X \ominus nB) \cdot B$$

$$X = \sum_{n=0}^N [SK_n(X) \oplus nB] \tag{7}$$

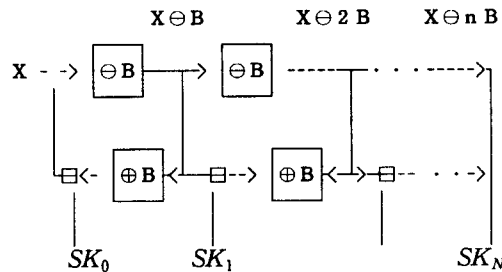


그림 7 부분 세션화 영상으로 분해
Fig. 7 Decomposition into partial skeleton image

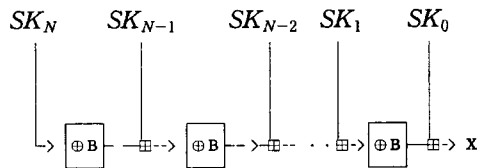


그림 8 부분 세션화 영상으로 원영상의 복원
Fig. 8 Reconstruction from partial skeleton image

2. MS 영상의 중복성 있는 영상점 생략 [11][12]

세션화된 영상점들 중에는 복원시 다이레이션

과정에서 주변의 세선화 점들로 인하여 생략해도 원영상 복원에는 전혀 문제가 되지 않는 점들이 존재한다.

이때, 생략하는 방법을 두가지로 나눌 수 있는데, 첫번째 방법은 LMS 방법이다. 이것은 부분 세선화 영상이 그대로 복원되게 생략하는 방법으로 중복성이 있다. 두번째 방법은 GMS 방법으로, 이 경우 부분 세선화 영상은 그대로 복원 되지 않더라도 원영상이 그대로 복원되므로, 이러한 생략 알고리즘으로 처리된 영상을 엘리아스 부호화[11]하면 더욱 좋은 압축을 할 수 있다.

또한, 세선화 화면(Skeleton image plane)정보는 식(8)의 세선화 함수(SKf : Skeleton function)[11]로 표현할 수 있으며, 식(8)의 (i,j)는 이진 영상의 좌표이고, n은 식(6)에서, 여러개의 부분 세선화 영상을 표시하는 \sum 오른쪽 첫번째 항이 Zero가 되지 않는 경우의 값이며, 세선화 함수값이 n+1인 경우의 영상은, n번째의 부분 세선화 영상임을 표시하는 중요한 정보가 된다.

$$[SKf(X)](i,j) = \begin{cases} n+1, & (i,j) \in SKn(X) \\ 0, & (i,j) \notin SKn(X) \end{cases} \quad (8)$$

그러나, 세선화되는 영상면을 많이하는 것이 항상 압축에 좋은 결과를 주지는 않으므로 적절한 형태의 비교 패턴을 찾는 것이 중요하다.

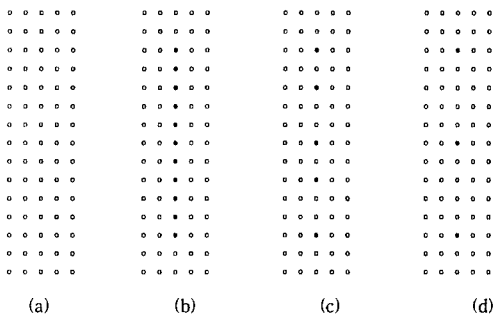


그림 9 3X3 SQ 비교 패턴을 사용한 세선화 영상 점 생략

○는 원영상점, ●는 세선화영상점
(a) 원영상 (b) MS 영상

(c) LMS 영상 (d) GMS 영상

Fig. 9 Removing redundancy from skeleton image by SQ

○ = original image points, ● = skeleton image points

(a) Original image, (b) MS image

(c) LMS image (d) GMS image

V. 실험 및 고찰

컴퓨터 시뮬레이션으로 실험하였고, 데이터는 첫째, 256X256 그레이 레벨 영상의 최상위 1개 비트면을 선택하여 만들어진 이진 영상 데이터와, 둘째, 비트맵 폰트 데이터는 아래아 한글 2.0의 명조체와 궁서체를 확대후 64X64 크기의 비트맵 폰트로 하여 사용했다.

한편, 비교 패턴은 첫째, 256X256 이진 영상인 경우, 그림 5.(b)의 CR형을 사용하여, GMS 영상을 엘리아스 부호화한 결과를 PCX 및 HUFFMAN 부호화에 필요한 비트수와 서로 비교 표1.과 같은 결과를 얻었다. 둘째, 폰트형 데이터는 그림 5.(c)의 SQ형 비교 패턴을 사용해서 GMS 처리후 엘리아스 부호화에 필요한 비트수를, PCX와 허프만 부호화 결과와 서로 비교하여, 표 2,3과 같은 결과를 얻었으며, 실험에 사용된 이진 영상 데이터는 그림 10, 11, 12와 같다.



그림 10 (1) CRONK 영상
Fig. 10 (1) CRONK image



그림 10 (2) CRONK GMS 영상(CR 사용)
Fig. 10 (2) CRONK GMS image by CR

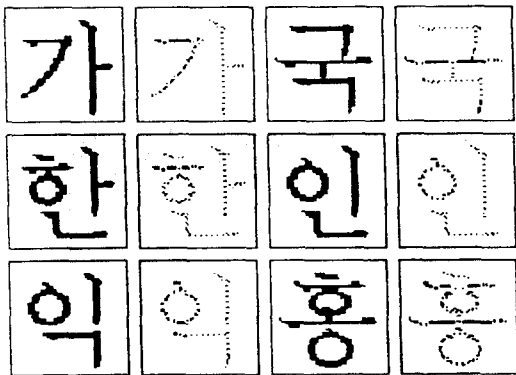


그림 11 명조체 및 GMS 영상 (3X3 SQ 사용)
Fig. 11 Myung-jo font and GMS image by 3X3 SQ

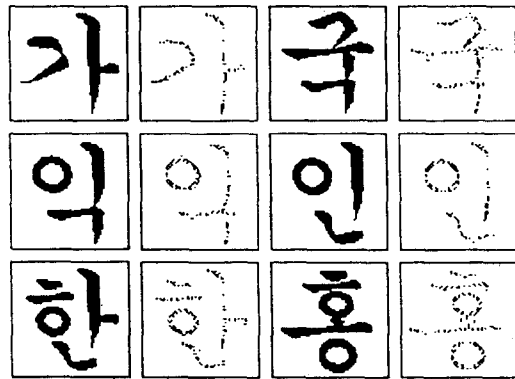


그림 12 궁서체 및 GMS 영상(3X3 SQ 사용)
Fig. 12 Gung-seo font and GMS image by 3X3 SQ

표 1 PCX 및 HUFFMAN 부호화 결과와 제안한 방법 결과 비교

Table 1 Comparing necessary bit rate among proposed methode and PCX, Huffman encoding result.

256X256 이진영상 65536비트	PCX 부호화 비트수	HUFFMAN 부호화 비트수	GMS 영상을 엘리아스 부호로 부호화시 될 요한 비트수: CR 사용
CRONK	17784	18840	15576
GIRL	19192	17912	14848

표 2 64X64 명조체 폰트의 GMS를 부호화한 결과 비교.

Table 2 Comparing each results of myungjo-font encoding bits

입력영상(64X64) 4096 비트 명조체 이진폰트	PCX 부호화	HUFFMAN 부호화	그림5, (b)적용 GMS 영상을 엘리 아스 부호화	그림5, (c)적용 GMS 영상을 엘리 아스 부호화
HAN. FNT(한)	1592비트	1224 비트	1496 비트	1088 비트
HONG. FNT(홍)	1376비트	1240 비트	1704 비트	1512 비트
GUK. FNT(국)	1008비트	1040 비트	1400 비트	1000 비트
IN. FNT(인)	1576비트	1168 비트	1432 비트	944 비트
IK. FNT(익)	1496비트	1136 비트	1400 비트	952 비트
GA. FNT(가)	1488비트	1104 비트	1328 비트	1032 비트

표 3 64X64 궁서체 비트맵 폰트의 GMS 영상부호화한 결과 비교.

Table 3 Comparing each results of gungseo-font encoding bits

입력영상(64X64) 4096 비트 궁서체 이진폰트	PCX 부호화	HUFFMAN 부호화	그림5. (b)와 GMS 영상의 엘리아스 부호화 비트수	그림5. (c)와 GMS 영상의 엘리아스 부호화 비트수
HAN.GUN(한)	1672비트	1448 비트	1576 비트	1224 비트
HONG.GUN(홍)	1264비트	1416 비트	1704 비트	1280 비트
GUK.GUN(국)	1216비트	1304 비트	1672 비트	1056 비트
IN.GUN(인)	1568비트	1368 비트	1400 비트	1024 비트
IK.GUN(익)	1488비트	1376 비트	1504 비트	1064 비트
GA.GUN(가)	1384비트	1304 비트	1240 비트	840 비트

VI. 결 론

본 논문에서, 이진 영상의 압축은 이진 영상에 GMS를 적용하여 중복성이 없는 영상을 만든후, SKF 값이 동일한 것 끼리 모은 부분 세션화 영상면들 내부에 있는 점들의 위치 정보를 엘리아스 부호화하고, 각각의 부분 세션화 영상면은 '0000'로 분리하여 부호화 하였고, 시물레이션에 사용된 데이터는 256X256 다치 영상의 MSB 첫번째 비트를 모은 이진 영상과, 글자형 폰트 데이터인 64X64 크기의 이진 비트맵이다.

시물레이션 결과, 첫째, 이진 영상을 위의 알고리즘으로 부호화 하는데 필요한 비트수를, PCX 및 HUFFMAN 부호화에 필요한 비트수와 서로 비교하였고, CRONK 또는 GIRL의 두영상 모두 표 1. 과 같이 GMS 영상을 엘리아스 부호화한 비트수가 가장 작았다. 둘째, 글자형 이진 데이터도 앞의 표 2,3과 같이 이진 비트맵 폰트 저장에는 PCX 또는 허프만 부호화 방법 보다, GMS 영상을 엘리아스 부호화한 방법이 가장 유리하였다.

그래서, 제안된 방법을 협대역 통신에 적용하면,

송신단에서는 기존의 PCX 및 HUFFMAN 부호화 방법 보다 전송 시간을 단축할 수 있음은 물론이며, 수신단에서는 엘리아스 부호로 부호화된 여러 개의 세션화 영상면들을 복호 과정에서 원래의 영상을 점진적으로 복원시켜 가기 때문에, 전체적인 영상 윤곽도 앞의 방법 보다 짧은 시간내에 파악할 수 있어 수신자의 심리적 부담을 빨리 해소시킬 수 있을 뿐아니라, 비트맵 저장에 이용하면 메모리를 효율적으로 사용할 수 있을 것이다.

앞으로의 적용 분야는 이진 영상의 소프트 카피 통신과 64X64 크기 이상인 비트맵 폰트 저장에 활용될 수 있을 것으로 기대되는바, 더욱 좋은 압축을 위해서 영상의 적용에 적당한 비교 패턴을 찾는 알고리즘 개발이 필요하며, 수리 형태학에서 필요한 연산은 AND 또는 OR 연산이고 병렬 처리가 가능하므로 소프트웨어에 의한 처리 보다는 VLSI 1 CHIP으로 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

1. Robert M Haralick & Linda G.Shapiro, Computer and Robot Vision Voll, p. 157-230, Addison Wesley 1992.
2. R.G Gonzalez & R.E Woods, Digital Image Processing. p. 518-557 Addison Wesley, 1992.
3. Ioannis Pitas, Digital Image Processing Algorithms. p. 176-184, Prentice Hall 1993.
4. William K.Pratt, Digital Image Processing, 2nd Edition p. 449-490 Wiley-Interscience 1991.
5. Steve Rimmer, Bit-Mapped Graphics, p. 91-126 Windcrest 1990.
6. Robert M.Haralick, Su Chen and Tapas Kanungo "Recursive Opening Transform" IEEE 1992 p. 560-565.
7. Tun-Wen Pai and H.L.Hansen "An improved image coding algorithm using morphological operator theory" IEEE 1991 p. 2761-2764.
8. Petros Maragos and Ronald W. Schafer "Morphological systems for multi-dimen-

- sional signal processing" IEEE vol.78 No.4 Apr 1990 p. 690-709.
9. Petros A.Maragos "Pattern Spectrum and Multiscale Shape Representation" IEEE Trans on PAMI vol.11 No.7 p. 701-716 Jul 1989.
10. John Goutsias and Dan Schonfeld "Image coding via morphological transformations : A general theory " IEEE p. 178-183 1989.
11. Petros A.Maragos and Ronald W. Schafer "Morphological skeleton representation and coding of binary image" IEEE Vol ASSP.34 No.5 p. 1228-1244 Oct 1986.
12. Amalie J.Frank- "Progressive image transmission using a growth geometry coding" Proc IEEE vol.68 no.7. p. 897-909. jul, 1980.