

# 지적도 벡터라이징을 위한 최적 세선화 알고리즘에 대한 고찰

원남식<sup>1</sup> · 김권양<sup>1</sup>

## A Consideration of the Optimal Thinning Algorithm for Cadastral Map Vectorizing

Nam-Sik Won<sup>1</sup> · Kwon-Yang Kim<sup>1</sup>

### 요 약

도면의 입력 처리를 위한 벡터라이징은 많은 시간과 비용이 소모되는 작업이고, 도면 데이터의 질은 그 처리 결과에 관계된다. 그러므로 지리정보시스템에서 우수한 벡터라이징 시스템의 개발은 매우 중요한 과제이다. 벡터라이징 시스템에서 세선화 알고리즘은 벡터 데이터의 질을 결정하는 가장 중요한 기술이 된다. 본 논문에서는 도면 벡터라이징에 적합한 세선화 알고리즘으로 위상적, 기하학적 특성을 유지하면서 윤곽선의 변형을 최소화하는 알고리즘들을 고찰하였다. 결과로서, WPTA4와 잘 알려진 세선화 알고리즘들 구현하였고, 각각의 수행 결과를 비교하였다.

주요어: 세선화 알고리즘, 지적도, 벡터라이징, 지리정보시스템

### ABSTRACT

Vectorizing for input processing of map is the most time and cost consuming task, and the quality of vector data depends on that processing result. Therefore, it is an important task to develop a good vectorizing system in the GIS. Thinning algorithm is the most important technology for deciding the quality of vector data in the vectorizing system. In this paper, as a suitable algorithm for map vectorizing we considered several algorithms that preserve topological and geometric characteristics, and have no distortion of the contour line. As a results, we implemented WPTA4 and well known thinning algorithm, and compared WPTA4 execution results with the others.

*KEYWORDS: Thinning Algorithm, Cadastral Map, Vectorizing, GIS*

---

1999년 3월 24일 접수 Received on March 24, 1999  
<sup>1</sup> 경일대학교 컴퓨터공학과(nswon@bear.kyungil.ac.kr)  
Dept. of Computer Engineering, Kyungil University

## 서 론

지리정보시스템은 여러 가지 형태의 지리 정보를 수집하여 이를 관리 및 분석하여 사용자가 지리 정보를 사용하는데 효율적인 판단을 내릴 수 있도록 도와주는 의사 결정 지원 도구로 사용되고 있다. 지리정보시스템에서 처리되는 도면의 종류로서는 등고선도, 지적도, 상하수도로 구분되며, 도면의 벡터라이징은 각 도면의 특성에 적합한 방법으로 처리되어야 한다.

벡터라이징의 전단계로서 도면을 스캐닝 하면 여러 가지 형태의 잡영과 요철이 심한 영상을 얻게되므로 패턴 주위의 잡영에 둔감하면서 끝점의 침식도가 적으며 원래의 영상을 잘 나타낼 수 있는 세선화 알고리즘은 벡터라이징에서 가장 중요한 핵심 기술이 되고 있다.

지도 영상으로부터 벡터 데이터를 생성하는 과정은 크게 나누어 네 단계로 이루어진다. 먼저 도면 영상을 세선화하여 골격선 영상을 얻는다. 두 번째로 골격선 영상을 그래프로 변환하고, 세 번째로 골격선의 위상을 유지하는데 불필요한 에지를 그래프로부터 제거한다. 마지막으로 그래프로부터 특징 점을 구하고 직선으로 연결한다. 이 과정 중에서 첫 번째 과정인 세선화 과정에의 해서 최종 데이터 질에 결정적인 영향을 미치게 된다.

지리정보시스템에서 자료의 입력은 많은 시간과 비용이 소모되므로 효율적인 자료 입력 방법의 선택은 매우 중요하다. 벡터라이징 시스템의 입력 방법으로는 스캐너를 통해 얻은 래스터 영상에 대해 벡터라이징을 수행하는 것이다. 지리 도면은 종류와 사용 용도에 따라 그 특성이 다양하기 때문에 이를 잘 반영하는 벡터라이징 시스템을 설계하는 것이 중요하다. 이러한 벡터 데이터를 생성하기 위해서는 입력된 지리 도면의 영상을 한 화소 두께의 골격선을 형성하기 위한 세선화 알고리즘(Thinning Algorithm)(이성환과 박희선; 이성환, 1991; Lam 등 1992)이 필요하게 된다.

도면을 세선화하여 추출된 골격선에는 패턴 주위의 먼지, 잡영 등에 의해 불필요한 잡영이 나타나기도 하고, 세선화 알고리즘의 특성에 의한 연결 선분의 끊어짐, 두 화소 두께의 골격선 형성, 일부 선분의 소멸현상, 불필요한 잡 가지의 발생 등 많은 문제들이 나타난다. 본 논문에서는 지적도면의 영상을 세선화 과정에 의해서 한화소 두께의 데이터로 감축시킴으로서 위상적, 기하학적 특성을 유지하면서 윤곽선의 변형을 최소화하는 지적도 처리에 적합한 세선화 알고리즘들(이경호 등 1998; 이경호 등, 1996; Mandalia 등, 1992; Arcelli와 Baja, 1981; Lu와 Wang, 1985; Kasturi 등, 1990; Suzuki, 1990; Pavlidis, 1986; Zhang과 Suen, 1984; Wang 등, 1986; Xu와 Wang, 1987)을 구현하였고, 이들을 비교 검토하였다.

## 세선화 알고리즘

세선화 알고리즘의 개요를 설명하고, 훌륭한 세선화 알고리즘이 되기 위한 일반성 있는 조건을 기술하고, 국내외 세선화 알고리즘 관련 연구 동향을 검토한다.

### 1. 세선화 알고리즘 개요

세선화 알고리즘은 영상 패턴의 특징을 파괴하지 않는 조건으로, 배경과 인접한 경계화소(contour pixel)를 제거하는 연산 과정이다. 즉, 인식대상 영상을 양자화하여 이를 구성하는 가장 기본요소인 화소를 다루는 작업으로서 인식대상 영상의 특징 추출에 무관한 화소를 제거하여 골격선에서 화소의 두께가 1인 골격을 형성하는 과정이다.

골격화 관련 연구는 크게 중앙축 변환(Medial Axis Transformation: MAT)에 기반을 둔 연구와 세선화(thinning)에 기반을 둔 연구로

분류된다. MAT는 다시 Blum(1964)의 풀불전파(grassfire propagation) 이론에 기반을 둔 MAT와 Rosenfeld(Rosenfeld와 Pfaltz, 1966)의 거리변환(distance transformation)에 기반을 둔 MAT로 분류되며, 세선화는 순차적(sequential) 세선화와 병렬(parallel) 세선화로 분류된다.

## 2. 세선화 알고리즘에 대한 국내외 연구동향

영상 골격화에 관한 연구 현황은 지난 30여년 간 330여편의 연구 논문이 발표되었으며, 최근 들어 더욱 증가되고 있는 추세이다. 이는 골격화 관련 연구가 문자 인식 분야에 매우 기초적이고 중요한 비중을 차지하는 핵심 연구 분야임을 입을 입증하고 있다.

영상 골격화 알고리즘의 응용 분야로는 문자 인식, 지문 인식 및 검증, 인영 검증, 도면 코딩 및 인식, 인쇄 회로 기판 자동 검사, 정맥 분석과 세포 분석, 광물 점유의 분류, 토양의 균열 상태 조사, 산업용 시각 시스템 등 매우 다양한 분야가 있으며, 이의 응용 범위도 확대될 것으로 판단된다.

세선화 알고리즘으로는 Rosenfeld(Rosenfeld, 1970; Rosenfeld와 Pfaltz, 1966), Stefanelli(Stefanelli와 Rosenfeld, 1971), Hilditch(1969), Arcelli(Arcelli와 Baja, 1981), Tamura(1978), Pavlidis(1980), Zhang(Zhang과 Suen, 1984), Suzuki(Suzuki와 Abe, 1986) 등의 세선화 알고리즘이 잘 알려져 있다. 병렬세선화 알고리즘 중 잘 알려진 것은 Zhang과 Suen(ZS)에 의해 제안된 알고리즘(Zhang과 Suen, 1984)이 있고, Lu와 Wang(LW; 1985), Wang 등(WHF; 1986), Madalia 등(MPS; 1992)이 개선된 알고리즘을 제안하였다.

위와 같이 외국에서는 세선화 관련 연구가 활발히 수행되고 있으나 국내에서의 연구현황은 매우 미약한 실정이다. 그러나 세선화 알고리즘은 문자인식을 비롯한 여러가지 응용분야의 핵심기술이 되고 있으므로 이에 관한 연구는 각 응용 목적에 따라 다양하게 수행되어야 한다.

## 3. 세선화 알고리즘의 일반성 있는 조건

현재까지 세선화 알고리즘에 관해 많은 연구가 수행되었지만 훌륭한 세선화 알고리즘에 대한 정확한 정의는 잘 이루어지지 않은 실정이다. 그 이유는 문자인식에서 잡영으로 처리되는 불필요한 부분이 이미지 복원을 위해서는 필수적인 정보가 되는 경우처럼 세선화 알고리즘은 사용 목적에 따라 추출된 골격의 결과에 대한 평가가 달라질 수 있기 때문이다. 그러므로 훌륭한 세선화 알고리즘에 대한 명확한 정의 설정은 어려운 문제가 된다. 현재 세선화 알고리즘이 갖추어야 할 일반성 있는 조건은 다음과 같다[이성환 1991]

### ▶ 훌륭한 세선화 알고리즘의 조건

- 한 화소 두께를 갖는 골격선을 추출한다.
- 입력 패턴의 끝점이 유지된다.
- 처리 속도가 빨라야 한다.
- 입력 영상의 형태를 정확히 표현하는 골격선을 추출한다.
- 가장자리 부분의 잡영에 둔감해야 한다.
- 추출된 골격선이 등방성(isotropic)을 갖는다.
- 연결성이 유지되는 골격선을 추출한다.
- 입력 패턴의 중앙에 위치하는 골격선을 추출한다.
- 사각형 패턴에 대한 골격선은 원래의 사각형 패턴과 달라야 한다.
- 알고리즘의 병렬성이 좋아야 한다.
- 필요로 하는 메모리가 적으면 좋다.

## 4. 본 논문에 구현 된 알고리즘

병렬세선화 알고리즘으로 WPTA4(원남식과 손윤구, 1995)와, Zhang 과 Suen(1984)이 제안한 알고리즘(ZS)과, ZS 알고리즘의 문제점을 수정 보완한 알고리즘으로 Lu와 Wang(LW), Wang 등(WHF), Madalia 등(MPS)이 제안한 개선된 알고리즘들을 구현하여 그 결과를 비교하였다.

1) 4-이웃 연결값을 이용한 세션화 알고리즘(WPTA4)

연결값  $V_{c4}$ 와 WPTA를 결합한 4-이웃 연결값을 이용한 세션화 알고리즘을 WPTA4로 표시한다. WPTA4의 알고리즘 수행 과정은 입력 이미지 데이터를 연결값으로 변환하고 연결값 0과 1을 갖는 화소를 먼저 제거한 다음, 이를 다시 연결값  $V_{c4}$ 로 변환한다. 그리고 WPTA에 의해 연결값이 0에서 4까지의 화소를 연결성이 낮은값 부터 순서적으로 제거한 다음, 남은 화소 이미지 데이터를 다시 연결값으로 변환한다. 이 과정은 WPTA에 의해 제거되는 화소가 없을 때까지 반복한다. WTA에서 화소를 제거할 수 없는 네가지 조건은 다음과 같다.

$$V_{c4} = \sum_{i=0}^3 P_{2i}$$

$P_7$	$P_0$	$P_1$
$P_6$	$P$	$P_2$
$P_5$	$P_4$	$P_3$

FIGURE 1. The window for the proposed algorithm

▶ WTA에서 화소를 제거할 수 없는 네 조건

[조건 1] 연결점 조건 1

$$(P_0 \vee P_1 \vee P_7) \wedge (P_3 \vee P_4 \vee P_5) \wedge \overline{(P_2 \vee P_6)} = 1$$

[조건 2] 연결점 조건 2

$$(P_1 \vee P_2 \vee P_3) \wedge (P_5 \vee P_6 \vee P_7) \wedge \overline{(P_0 \vee P_4)} = 1$$

[조건 3] 연결점 조건 3

$$\sum_{i=0}^3 P_{2i} \cdot P_{(2i+2) \text{MOD} 8} \cdot P_{(2i+5) \text{MOD} 8} \geq 1$$

[조건 4] 끝점 조건 4

$$B(P) = \sum_{i=0}^7 P_i = 1$$

2) ZS 병렬 세션화 알고리즘

ZS의 병렬세션화 알고리즘은 2개의 부반복 단계(subiteration)로 수행된다.

첫 번째 부반복 단계: 다음의 조건이 만족되는 화소는 제거된다.

- 조건:
- a)  $2 \leq B(P_1) \leq 6$
  - b)  $A(P_1) = 1$
  - c)  $P_2 \wedge P_4 \wedge P_6 = 0$
  - d)  $P_4 \wedge P_6 \wedge P_8 = 0$

여기서  $A(P_1)$ 은 그림 2.2.2에서와 같이  $P_1$  화소의 인접하는 8방향의 화소들의 order set  $P_2, P_3, P_4 \dots P_8, P_9$  에서의 01 패턴의 수가 된다.  $B(P_1)$ 은  $P_1$ 의 인접하는 화소의 합이 된다.

$$B(P_1) = P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_8 + P_9$$

두 번째 부반복 단계: 여기서는 첫번 단계에서 조건 c), d)만을 다음과 같이 바꾼다.

- c')  $P_2 \wedge P_4 \wedge P_8 = 0$
- d')  $P_2 \wedge P_6 \wedge P_8 = 0$

$P_9$	$P_2$	$P_3$
$P_8$	$P_1$	$P_4$
$P_7$	$P_6$	$P_5$

FIGURE 2. The window for the ZS algorithm

3) LW 알고리즘

ZS 알고리즘에서 그림 2.1의 (a)와 같은 두 화소 두개의 경사 선분이 그림 2.1의 (b)와 같이 소멸되는 현상이 발생한다. LW 알고리즘에서는 이의 해결 조건으로 ZS 알고리즘의 조건 a)만을  $3 \leq B(P_1) \leq 6$ 으로 수정한 것이다. LW 병렬세션화 알고리즘은 두개의 부반복 단계(subiteration)로 수행된다.

첫 번째 부반복 단계 : 다음의 조건이 만족되는 화소는 제거된다.

- 조건 :
- a)  $3 \leq B(P_1) \leq 6$
  - b)  $A(P_1) = 1$
  - c)  $P_2 \wedge P_4 \wedge P_6 = 0$
  - d)  $P_4 \wedge P_6 \wedge P_8 = 0$

여기서  $A(P_1)$ 은 그림 2.2에서와 같이  $P_1$  화소의 인접하는 8방향의 화소들의 order set  $P_2, P_3, P_4 \dots P_8, P_9$ 에서의 01 패턴의 수가 된다.  $B(P_1)$ 은  $P_1$ 의 인접하는 화소수의 합이 된다.

$$B(P_1) = P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_8 + P_9$$

두 번째 부분복 단계: 여기서는 첫번 단계에서 조건 c), d)만을 다음과 같이 바꾼다.

$$c') P_2 \wedge P_4 \wedge P_8 = 0$$

$$d') P_2 \wedge P_6 \wedge P_8 = 0$$

4) WHF 알고리즘

WHF 알고리즘은 LW 알고리즘을 개선한 것으로 LW 알고리즘에 다음의 조건을 추가하였다. ( $\oplus$ : Exclusive OR)

$$(P_3 \oplus P_5) \cdot (P_2 \oplus P_6) \cdot \overline{P_4} \cdot P_8 = 1$$

앞의 조건은 다음의 조건으로 대체할 수 있다.

$$(P_3 \oplus P_7) \cdot (P_2 \oplus P_6) \cdot \overline{P_8} \cdot P_4 = 1$$

5) MPS 알고리즘

LW 알고리즘과 동일한 알고리즘으로 처리하고, 그 결과에서 다음의 조건 중 하나라도 만족하는 화소( $P_1$ )는 제거된다.

- 1)  $P_2 \wedge \overline{P_5} \wedge P_8$
- 2)  $P_2 \wedge \overline{P_3} \wedge P_4 \wedge P_5$
- 3)  $\overline{P_3} \wedge P_6 \wedge P_8$
- 4)  $P_4 \wedge P_6 \wedge \overline{P_9}$
- 5)  $P_2 \wedge \overline{P_5} \wedge \overline{P_6} \wedge \overline{P_7}$

알고리즘 구현 및 성능 평가

세선화 알고리즘의 성능평가는 이상적으로 만들어진 기준 골격선과 세선화 알고리즘에 의해 추출된 골격선과의 유사도 측정법, 골격선의 품질, 골격화 후의 연결성에 의해 평가한다. 본 장에서는 간략화한 지적도에 대한 WPTA4, ZS, LW, WHF, MPS 알고리즘들의 수행결과를 그림 4에서 그림 8까지 나타내었

고, 이를 유사도 측정법에 의해서 평가하였다.

1. 알고리즘 수행 결과

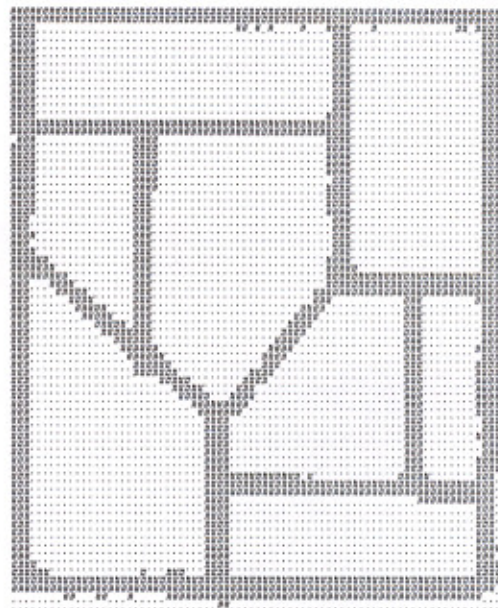


FIGURE 3. Land Register Map(input image)

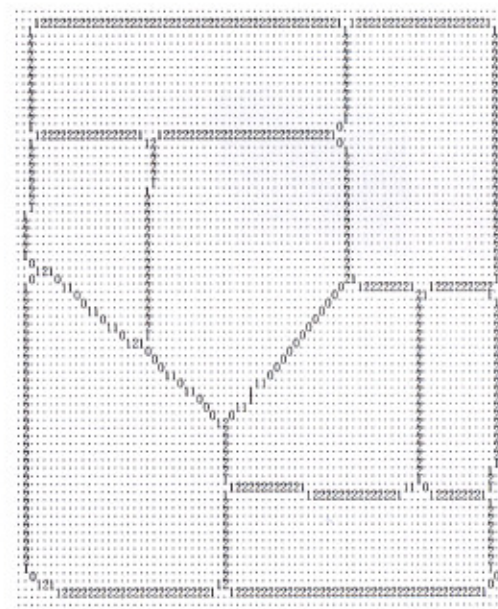


FIGURE 4. WPTA4 Results

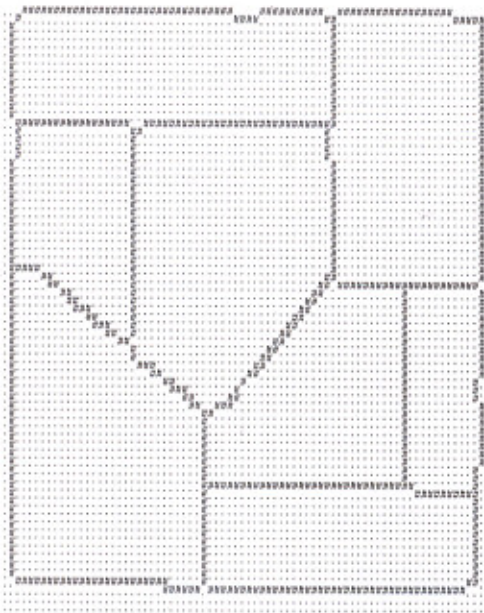


FIGURE 5. ZS Results

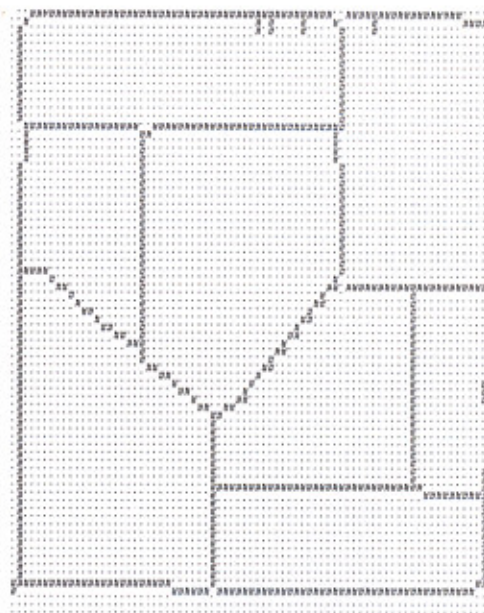


FIGURE 7. WHF Results

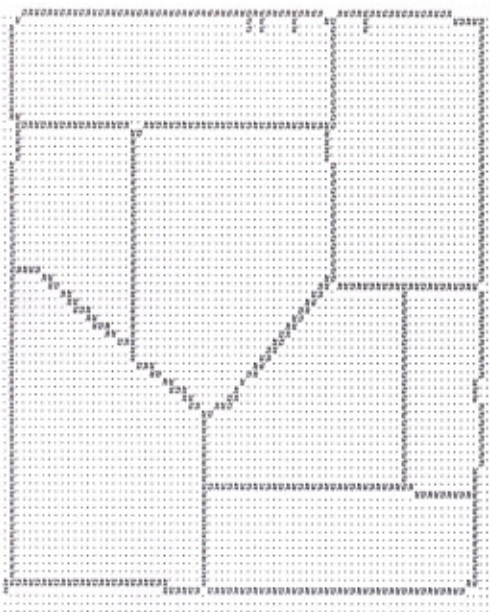


FIGURE 6. LW Results

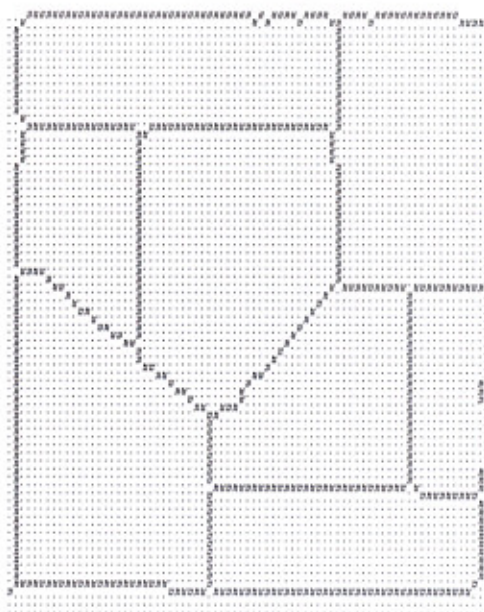


FIGURE 8. MPS Results

## 2. 알고리즘 비교 분석

GIS에 적용하기 위한 세선화 알고리즘의 가장 중요한 요인은 원래의 도면을 정확히 나타낼 수 있는 유사도(이성환과 박희선)가 된다. 유사도는 인간 전문가에 의해서 작성된 골격선과 비교하여 일치하는 정도를 백분율로 나타내는 것이다. 여기서 인간 전문가란 이상적인 골격선을 추출하기 위한 방법을 훈련받은 사람을 의미한다.

일반적으로는 직선과 곡선 선분을 나타내는 세선화 알고리즘은 서로 상충되는 관계를 보인다. 즉, 직선의 특성이 잘 나타나는 알고리즘은 곡선의 특성이 좋지 못하고, 곡선의 특성이 잘 나타나는 알고리즘은 직선의 특성이 나쁘게 나타나는 경향이 주를 이루고 있다.

**Table 1.** Comparison of the similarity of skeleton in the cadastral map

algorithm	similarity (%)
WTA4N	95.7
ZS	82.5
LW	81.7
WHF	80.2
MPS	79.8

**Table 2.** The connectivity of skeleton

algorithm	connectivity	
WTA	perfectly-8	connectivity
ZS	imperfectly-8	connectivity
LW	imperfectly-8	connectivity
WHF	imperfectly-8	connectivity
MPS	perfectly-8	connectivity

본 논문에서는 최종 골격선의 유사도 측정과 연결성에 의해서 각 알고리즘의 성능을 표

1, 표 2에 나타내었다. 비교 결과에서 나타나듯이 WTA4N 알고리즘은 여타 알고리즘에 비해서 직선 선분에서의 유사도 특성이 매우 우수함을 알 수 있다. 그러므로 직선 선분의 구성이 많은 지적도 벡터라이징을 위한 세선화 알고리즘으로 적합함을 보인다.

## 결 론

본 연구에서는 지적도면 처리를 위한 훌륭한 세선화 알고리즘이 되기 위한 일반성 있는 조건을 검토하여, 세선화 알고리즘을 평가하기 위한 기초 자료로 활용한다. 그리고 잘 알려진 기존의 세선화 알고리즘을 구현한 후, 이들 알고리즘이 갖는 문제점을 나타내고, 또한 문제점 개선을 위한 방법들이 세선화 결과에 미치는 영향에 관해 고찰한다

지리도면은 선분 요소와 문자, 숫자, 기호 등의 심벌로 이루어진다. 이중에 지리도면의 자동 벡터라이징에서 처리하는 부분은 선분요소이고, 선분요소는 직선과 곡선으로 이루어지기 때문에 도면의 종류를 곡선 위주의 등고선도와 다각형 위주의 지적도, 그리고 직선위주의 상하수도도로 구분된다. 그리고 지도 영상을 구성하고 있는 패턴의 두께와 기울기, 그리고 잡영의 정도에 따라 도면 영상을 분류하고, 각 도면에 따라 벡터 데이터의 생성 기준을 다르게 적용하고 있다.

도면 영상을 한 화소 두께의 골격선으로 세선화 하는 목적은 자료의 형태를 단순화하며, 지도 영상의 구조적 정보를 유지하는데 필요한 정보의 양을 줄이기 위함이다. 지리도면은 그 종류에 따라 다양한 특성을 가지므로 이에 적합한 세선화 알고리즘을 적용하여야 하고, 또한 벡터데이터를 생성하는데 있어서 이러한 특성을 잘 반영하는 것이 중요하다.

일반적으로 직선과 곡선 선분 처리를 동시에 만족하는 알고리즘은 어려운 것으로 판단되고 있다. 그러므로 각 도면 특성에 적합한

세선화 알고리즘을 적용하여 지도 영상을 벡터라이징하는 것은 GIS의 입력 데이터의 질을 결정하는 가장 중요한 부분이 되고있다.

본 논문에서는 연결값을 이용한 세선화 알고리즘은 골격선의 끊어짐이 없고, 잡영 발생이 적고, 세선화된 결과가 완전 8연결 형태로 남으며, 유사도가 뛰어나므로 곡선 선분으로 구성되는 등고선 도를 벡터라이징하는데 매우 적합한 알고리즘임이 되나, 직선 선분으로 구성되는 지적도를 처리하는데도 적합한 것으로 나타났다. **KAGIS**

### 참고문헌

- 원남식, 손윤구. 1995. 4-인접 연결값을 이용한 병렬 세선화 알고리즘. 정보과학회논문집 22(7):1047-1056.
- 이경호, 김광수, 조성배, 최윤철. 1998. 지리정보시스템의 자동 벡터화를 위한 지식기반 시스템. 정보과학회논문집(B) 25(1):193-203.
- 이경호, 조성배, 최윤철. 1996. 지리정보 시스템을 위한 영상 세선화 알고리즘의 성능평가. 정보 과학회 춘계학술논문 발표회, 23권 1호, pp.3-6,
- 이성환. 1991. 영상 골격화 알고리즘의 성능평가. 한국정보과학회논문집 제18권 제6호, pp.661-671.
- 이성환, 박희선. 한글 인식의 사례 연구: 최근 5년 동안의 연구 결과를 중심으로. 제1회 문자인식워크샵 발표논문집, pp.3-46.
- Arcelli,C. and G. S.d. Baja. 1981. A thinning algorithm based on prominence detection. Pattern Recognition, Vol.13, No.3, pp.225-235.
- Blum,H. 1964. A transformation for extracting new descriptions of shape. in Proc. Symposium for Models for the Perception of Speech and Visual Form, Boston, USA. pp.362-380.
- Hilditch,C.J. 1969. Linear skeletons from square cupboards. Machine Intelligence Vol.4, B. Meltzer and D.Michie, Eds., American Elsevier, New York. pp.403-420.
- Kasturi,R., S.T. Bow, W.E.Masri, J. Shah, J.R.Gattiker and U.B.Mokte. 1990. A system for interpretation of line drawings. IEEE Trans. on Pattern Recognition and machine Intelligence 12(10):973-992.
- Lam,L., S.W.Lee and C.Y.Suen. 1992. Thinning methodologies - a comprehensive survey. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 14(9):869-885.
- Lu,H.E. and P.S.P.Wang. 1985. An improved fast parallel thinning algorithm for digital patterns. In Proc. of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. pp.364-367.
- Mandalia,A.D., A.S.Pandya and R.Sudhaker. 1992. Modified fast parallel thinning algorithm for noisy handprinted characters. 92 Proceedings of the 2nd Singapore international conference on image processing pp.7-11.
- Rosenfeld,A. 1970. Connectivity in digital pictures. Journal of the ACM, vol.17, No.1, pp.146-160.
- Rosenfeld,A. and J.L. Pfaltz. 1966. Sequential operations in digital picture processing. Journal of the ACM 13(4):471-494.
- Stefanelli,R. and A.Rosenfeld. 1971. Some parallel thinning algorithms for digital picture. Journal of Association for Computing Machinery 18(2):255-264.
- Suzuki,S. 1990. MARIS: Map recognition input system. Pattern Recognition. 23(8):919.
- Suzuki,S. and K.Abe. 1986. Sequential thinning of binary pictures using distance transformation. Proc. 8th Int. Conf. on Pattern Recognition, Paris, France. pp. 289-292.



- Tamura, Hideyuki. 1978. A comparison of line thinning algorithm. Proceeding of the Fourth International Joint Conference on Pattern Recognition. pp.715-719.
- Pavlidis, T. 1986. A vectorizer and feature extractor for document recognition. Computer Vision Graphics, and Image Processing 35:111-127.
- Pavlidis, T. 1980. A thinning algorithm for discrete binary images. Computer Graphics and Image Processing 13(2):142-157.
- Wang, P.S.P., L.Hui and T.Fleming Jr. 1986. Further improved fast parallel thinning algorithm for digital patterns. In Computer Vision, Image Processing and communications systems and application pp. 37-40.
- Xu, W. and C. Wang. CGT. 1987. A fast thinning algorithm implemented on a sequential computer. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics 17(5):847-851.
- Zhang, T.Y. and C.Y.Suen. 1984. A fast parallel algorithm for thinning digital patterns. Communications of the ACM 27(6):236-239. **KAGIS**