

# 지리도면의 자동 벡터화를 위한 영상 세선화 알고리즘의 체계적인 성능평가

이 경 호<sup>†</sup> · 김 경 호<sup>††</sup> · 조 성 배<sup>†††</sup> · 최 윤 철<sup>†††</sup>

## 요 약

최근에 사회 여러 분야에 걸쳐서 지리정보를 효과적으로 저장하여 검색할 수 있도록 하는 지리정보시스템에 대한 관심이 고조되고 있다. 이를 구축하는데 가장 많은 시간과 비용이 소요되는 부분은 지리정보의 입력 부분으로 효율적인 입력 방법을 선택하는 것이 매우 중요하다. 여기에서 입력 영상으로부터 한 화소 두께의 골격선을 추출하는 영상 세선화 알고리즘은 전처리 단계로서 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 그동안 주로 문자 인식 등의 영상처리를 위해 발표된 영상 세선화 알고리즘들 중에서 대표적인 알고리즘을 등고선도와 지적도 및 상하수도 등의 지리도면에 적용하여 비교 분석함으로써 각각의 지리도면의 자동 벡터화에 적합한 알고리즘을 제시하고자 한다. 여러가지 평가 기준에 의해 실험한 결과, 등고선도의 경우에는 Arcelli의 방법, 지적도는 Holt의 방법, 그리고 상하수도는 Chen의 방법이 각각 적합하다는 것을 알 수 있었다.

## A Systematic Evaluation of Thinning Algorithms for Automatic Vectorization of Cartographic Maps

Kyongho Lee<sup>†</sup> · Kyongho Kim<sup>††</sup> · Sungbae Cho<sup>†††</sup> · Yoonchul Choy<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

In a variety of fields, recently, there is a growing interest in Geographic Information System which facilitates efficient storage and retrieval of geographic information. It is of extreme importance to make a good choice of efficient input method, because it takes the most of the time and cost in constructing a GIS. Among several steps, thinning input image to produce skeleton of unit width is prerequisite to the automatic input of geographic maps. In this paper, we systematically evaluate the performance of representative thinning algorithms in geographic maps such as contour, cadastral, and water and sewer maps, and suggest appropriate algorithms for the maps, respectively. A thorough experiment indicates that Arcelli's method is best for contour maps, Holt's method for cadastral maps, and Chen's method for water and sewer maps.

### 1. 서 론

※본 연구는 시스템공학연구소의 연구비지원에 의한 결과임.

† 준 회 원: 연세대학교 컴퓨터학과

†† 정 회 원: 시스템공학연구소 영상처리연구부

††† 정 회 원: 연세대학교 컴퓨터학과

논문접수: 1997년 7월 30일, 심사완료: 1997년 10월 18일

지리정보시스템(Geographic Information System: GIS)은 갖가지 형태의 지리 정보를 수집하여 입력, 저장시킨 후, 관리 및 분석하기 위해 구축된 시스템으로서 사용자가 좀더 효율적으로 판단을 내릴 수 있도록 도와주는 의사결정 지원 도구이다. GIS는 1960년대 미국, 캐나다 등에서 처음 고안된 후 세계 각국에서

여러 분야에 이용되고 있으며 우리나라에서도 1980년 대부터 지도 제작, 도시계획, 시설물 관리, 지질조사, 환경, 자원 및 군 정보 관리 등에 이용되고 있다.

일반적으로 GIS는 입력, 관리, 처리와 분석, 그리고 출력의 4가지 기본 요소로 구성된다. 이 중에서 자료의 입력은 실세계의 데이터를 지리정보시스템에서 사용되는 자료 형태로 변환하는 과정으로 시간과 비용이 가장 많이 소요되는 부분이다. 따라서 효율적인 자료 입력 방법의 선택은 매우 중요하다. 스캐너를 통해 얻은 래스터 영상에 대해 벡터화를 수행하는 소프트웨어를 사용함으로써 작업을 자동화하는 것이 그 대안으로 제시되고 있는데, 이 방법은 다시 그 응용 방법에 따라 자동과 반자동 방식으로 나뉜다.

본 논문에서는 일괄처리 방식으로 도면을 인식하는 자동 벡터화 도구를 구현하는데 있어서 중요한 전처리 단계인 최적의 세선화 알고리즘을 찾고자 한다. 기존에 발표된 세선화 방법의 성능 평가와 관련된 논문[1][2][3][4][5][6][7][8] 중에서 [7]은 그 동안 발표된 세선화 알고리즘들을 문자 영상에 대해 실험하였다. 또한 [8]은 특히 병렬 알고리즘들에 대해서 문자 인식과 관련하여 비교 평가하였다. 하지만 세선화 관련 논문 중에서 실질적으로 GIS에서 필요한 도면 벡터화를 위한 골격선 추출에 관하여 깊이 있게 논의한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 실제로 벡터화에 사용되는 도면을 등고선도, 지적도, 그리고 상하수도도 나누고, 각 도면의 특징별로 각 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 세선화 알고리즘의 개요를 소개하고, 그리고 3장에서는 선정된 평가 대상 알고리즘과 평가 기준 그리고 실험에 사용된 지도영상 등의 실험 환경을 기술한다. 또한 4장에서는 등고선도와 지적도 및 상하수도 등의 지도 영상에 대한 성능 평가 결과를 기술하고, 세선화 알고리즘의 성능 평가와 관련된 논문의 결과를 본 논문의 연구 결과와 비교한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

## 2. 세선화 알고리즘의 개요

기존에 발표된 논문[11]은 세선화 알고리즘을 종류별로 분류하고 그 특성을 자세히 소개하고 있다. 따

라서 본 장에서는 세선화 알고리즘에 간략한 개요를 기술한다. 세선화 알고리즘의 종류는 크게 나누어 반복적인 세선화 알고리즘과 비반복적인 세선화 알고리즘으로 나뉜다. 반복적인 세선화 알고리즘은 영상 패턴의 가장자리 화소들이 제거되어도 전체 패턴의 연결성을 변화시키지 않을 때, 가장자리 화소들을 반복적으로 제거함으로써 골격선을 추출한다. 즉, 일정한 마스크를 가지고 이미지를 읽어 나가면서 검은 화소 주위의 이웃화소들을 검사하여 제거 가능한 가장자리 화소들을 지워 나가면서 더 이상 제거될 화소가 없을 때까지 이를 반복한다. 검은 화소의 제거 또는 유지는 이웃 화소들의 구성에 의존하는데, 이웃 화소들을 검사하는 방법에 따라 반복적인 세선화 알고리즘은 순차(sequential)와 병렬(parallel)알고리즘으로 분류할 수 있다[8][10][11].

순차 알고리즘은 화소들을 각 반복 단계에서 고정된 순서로 검사하면서 제거하므로 임의의 반복 단계에서 화소의 제거 여부는 지금까지 수행된 모든 결과에 의존한다. 즉 현재 반복 단계에서 이미 처리된 결과 뿐만 아니라 이전 반복 단계의 결과에도 의존한다. 반면 병렬 알고리즘은 각 반복 단계에서 화소들을 독립적으로 검사하므로 화소의 제거 여부가 이전 단계 후의 결과에만 의존한다.

세선화된 결과의 연결성을 보장하면서 화소를 제거하는데 있어서 적용할 수 있는 여러 가지 기준에는 교차수(crossing number)[11][12][13], 윈도우 정합(window matching), 그리고 화소의 단순/다중성[14] 등이 있으며, 영상 전체에 대하여 조사할 것인지 아니면 패턴의 윤곽선만을 조사할 것인지에 따라서 영상 전체 화소에 대하여 조사하는 래스터 주사와 패턴의 윤곽선상의 화소만을 조사하는 윤곽선 추적의 두 가지 방식이 있다.

비반복적인 세선화 알고리즘은 개개의 화소들을 모두 조사하지 않고 한번의 처리 과정을 거쳐 직접 패턴의 골격선을 구한다. 이러한 방법에는 패턴의 내점원 중심을 중앙 축으로 정의하고 이를 기반으로 골격선을 추출하는 방식[9], 영상의 윤곽선에 대하여 다각형 근사를 적용시킨 후 구해진 다각형의 집합으로부터 입력 영상에 대한 골격선을 추출하는 방식, 그리고 패턴을 런 표현 방식(run representation)으로 변환하고 이 런들의 중점 집합을 골격선으로 취하는 방

식[15] 등이 있다. 화소에 기반을 두지 않는 이러한 비 반복적인 세선화 방법은 요구되는 연산의 수에 있어서 효과적이지만, 일반적으로 중요한 점들을 찾고 이들을 연결하는 것에 기반을 두었기 때문에 원래 패턴의 위상 정보를 보존하지 못하는 경우가 발생한다.

이렇게 위상 정보를 보존하지 못하는 점은 위상 정보가 중요시되는 지리도면에서 최대의 단점으로 작용한다. 지리도면과 같은 공간 데이터에서 가장 중요한 것은 위상 정보라고 할 수 있으며, 벡터화 결과는 반드시 이러한 위상 정보를 유지해 주어야 한다. 결국 비반복적인 세선화 알고리즘은 세선화 대상의 복원 가능성에 강조를 두는 반면, 반복적인 세선화는 영상 대상에 대하여 연결성을 포함한 여러 위상적 특성 보존에 강조를 둔다.

### 3. 실험 환경

실험 환경으로는 SUN 호환 기종 워크스테이션에서 X-Windows Motif를 사용하였으며 선정된 알고리즘은 C언어를 사용하여 구현하였다. 선정된 평가 기준과 대상 알고리즘 그리고 실험에 사용된 지도영상에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

#### 3.1 평가 기준

기존에 발표된 논문[7][8][16][17][18]은 골격선이 갖추어야 할 중요한 특징들을 고려하고 있다. 본 절에서는 이를 기반으로 지리도면의 자동 입력을 위하여 골격선이 갖추어야 할 특징과 성능평가 기준에 대해 정리한다. 지리도면과 같은 공간 데이터에서 골격선이 갖추어야 할 중요한 특징으로 위상(topology)정보의 유지를 들 수 있다. 또한 지리도면은 실세계 데이터를 큰 비율로 축소하였기 때문에 골격선이 도면의 정확한 기하(geometry)정보를 유지하여야 한다.

먼저 지리도면의 위상정보를 유지하기 위해서는 골격선이 입력 영상의 연결성[19]을 보장하여야 한다. 또한 패턴 주위의 잡영으로 인하여 발생한 잔가지는 지리도면의 위상정보를 변화시키기 때문에 골격선이 패턴 주위의 잡영에 둔감하여야 한다. 둘째로 입력 영상의 기하정보를 유지하기 위해서는 골격선이 패턴의 형태를 잘 반영하여야 한다. 특히 실세계 데이터를 큰 비율로 축소한 지리도면의 경우, 정확한 데

이타의 입력이 필요하기 때문에 패턴의 끝점에서 수축 정도가 적어야 한다.

이와 같이 지리도면의 골격선이 갖추어야 할 일반적인 특징 이외에 지리도면은 그 종류에 따라 다양한 특징을 갖는다. 따라서 4.1절에서 실험에 사용된 도면의 종류에 따른 특징을 정리하고, 이에 대한 각 알고리즘의 한계와 능력에 대해 기술하였다. 지리도면의 자동입력에 적합한 골격선을 찾기 위하여 제시된 성능 평가 기준과 이에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

#### (1) 처리속도

각 알고리즘의 처리속도를 평가하기 위하여 각 도면을 세선화하여 출력하는데 걸린 시간을 측정하였다. 특히 순차 알고리즘의 경우 직렬 컴퓨터상에서, 그리고 병렬 알고리즘의 경우 병렬 컴퓨터상에서 구현하여야 한다. 하지만 선정된 알고리즘을 모두 직렬 컴퓨터 상에서 구현하였기 그 결과에 큰 의미를 두기는 어렵다.

#### (2) 연결성의 형태

골격선이 도면의 위상 정보를 유지하기 위하여 원래 패턴의 연결성을 유지하는 것은 중요하다. 따라서 골격선이 불필요한 화소를 갖지 않으면서 완전 8연결성[19]을 유지하는지를 조사하였다.

#### (3) 잔가지의 수

점과 선의 연결관계나 선과 선의 교차관계 등의 위상정보의 유지는 지리도면과 같은 공간 데이터에서 매우 중요하다. 일반적으로 골격선에는 패턴 주위의 잡영에 의하여 불필요한 잔가지가 포함되고, 이로 인하여 불필요한 끝점과 교차점이 발생하여 입력 영상의 위상정보를 변화시킨다. 따라서 패턴 주위의 잡영에 영향을 적게 받는 알고리즘의 선택을 위하여 잔가지의 수를 조사하였다.

#### (4) 기준 골격선과의 유사도[20]

일반적으로 지리도면은 실세계를 축소하였기 때문에 도면으로부터 정확한 데이터를 입력하기 위하여 보다 세심한 주위가 요구된다. 그러므로 추출된 골격선이 원래 패턴의 중앙에 위치하여야 한다. 따라서 실험에 사용된 도면으로부터 기준 골격선을 생성하고

이를 추출된 골격선과 비교하여 유사도를 조사하였다.

(5) 끝점의 수축 정도

위에서 기술한 바와 같이 정확한 골격선을 생성하기 위하여 끝점의 침식 정도를 조사하였다.

3.2 평가 대상 알고리즘

일반적으로 지리도면의 자동 벡터화는 반복적인 세션화 알고리즘을 사용한다. 따라서 최근에 발표된 대표적인 알고리즘 중에서 각각 3가지의 순차 알고리즘과 병렬 알고리즘을 평가 대상으로 하였다. 특히 순차 알고리즘은 래스터 주사와 윤곽선 추적의 두가지 방식으로 분류되며 병렬 알고리즘은 일반적으로 부 사이클의 수에 따라 분류된다. 따라서 본 논문에서는 평가 대상 알고리즘으로 두 가지 방식의 순차 알고리즘과 1부 사이클과 2부 사이클의 병렬 알고리즘을 모두 선정하였다. 또한 평가의 신뢰성을 높이기 위하여 선정된 알고리즘을 동일한 언어로 구현하였으며, 각각의 논문에서 실험한 자료에 대하여 확인 과정을 거쳤다. 선정된 알고리즘에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

(1) SPTA(Safe Point Thinning Algorithm)[3]

SPTA는 순차 알고리즘으로 왼쪽에서 오른쪽으로,

위에서 아래로 사이클 당 두 번의 래스터 주사를 하면서 화소의 제거 여부를 논리연산을 통하여 결정한다.

(2) CGT[21]

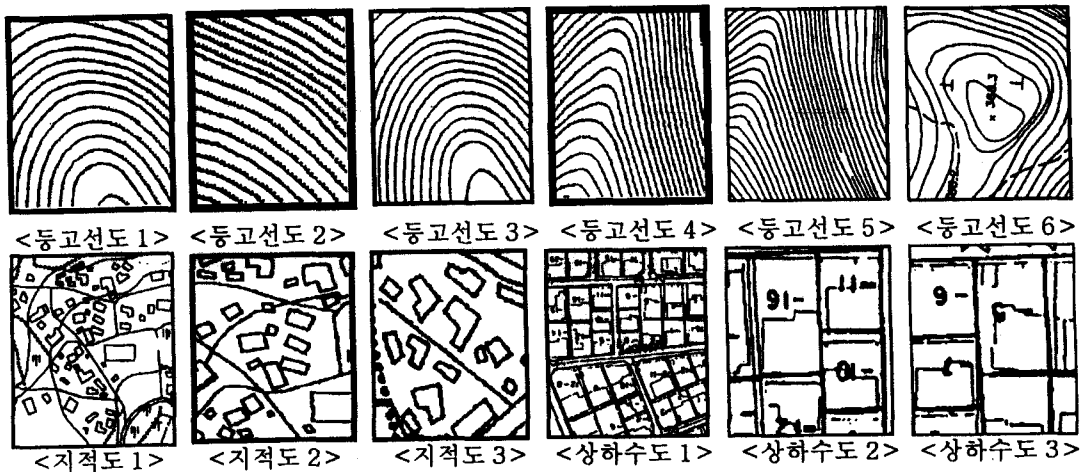
Xu와 Wang이 제안한 이 알고리즘은 순차 알고리즘으로 수행 시간을 줄이기 위하여 윤곽선 생성(contour generation)이라는 접근 방식을 사용하였다. 이러한 윤곽선 생성을 이용한 세션화 알고리즘은 추가의 메모리를 사용하는데 반하여 수행 속도가 빠른 것으로 나타났다.

(3) Arcelli의 방법[22]

Arcelli의 방법에서는 골격선을 추출할 때 내부의 코어로부터 임계 거리를 초과하여 연결된 윤곽선의 집합을 의미 있는 돌출 부분으로 정의하며 이를 검출한다. 윤곽 화소들이 제거되는 동안에 의미 있는 돌출 부분은 계속 유지되어 코어와의 연결성은 유지된다. 특히 돌출 부분으로부터 의미있는 끝점을 위치하기 위하여 임계치를 사용한다. Arcelli의 방법은 화소의 제거를 위하여 교차수를 사용하는 래스터 주사 방식의 순차 알고리즘이다.

(4) Chen의 방법[23]

Zhang과 Suen의 알고리즘[24]은 잡영에 둔감한 반



(그림 1) 실험에 사용된 영상  
(Fig. 1) Image used in experiment.

면에 2화소 너비의 대각선이나 2×2 사각형의 패턴에서 심하게 침식하는 경향이 있다. Chen의 방법[24]의 심한 침식을 개선한 2-부사이클 병렬 알고리즘이며 화소의 제거 규칙을 테이블 look-up방식을 이용하여 구현한다.

(5) Lu의 방법[25]

Lu의 방법은 3×3 윈도우를 사용하며 Zhang과 Suen의 알고리즘[24]의 심한 침식과 Stefanelli와 Rosenfeld [10]의 느린 속도를 개선한 2-부사이클 병렬 알고리즘이다. 그러나 심한 침식을 줄이기 위하여 불필요한 화소를 계속 유지하는 문제를 유발한다.

(6) Holt의 방법[26]

Holt의 방법은 4×4 윈도우를 사용하는 1-부사이클 병렬 알고리즘이다. 즉, 화소의 제거 여부를 결정하는데 있어서 이웃 화소들의 에지 정보를 고려한다.

4. 실험 및 결과 분석

4.1 실험 결과

선정된 알고리즘들을 등고선도, 지적도, 그리고 상하수도에 적용하여 도면의 특징별로 각 알고리즘의 실험 결과를 분석 하였다. 먼저 실험에 사용된 등고선도의 경우 100M 간격의 경우 실선이며, 20M 간격의 경우 실선과 점선이 결합되어 표시되어 있다. 따라서 이러한 도면을 스캐닝하면 20M 간격선의 경우 요철이 심한 영상을 얻게 된다. 따라서 이와 같이 요철이 심한 도면의 경우 불필요한 잡영을 제거하면서 골격선이 패턴의 구조적 특징을 유지하는 알고리즘의 선택이 중요하다.

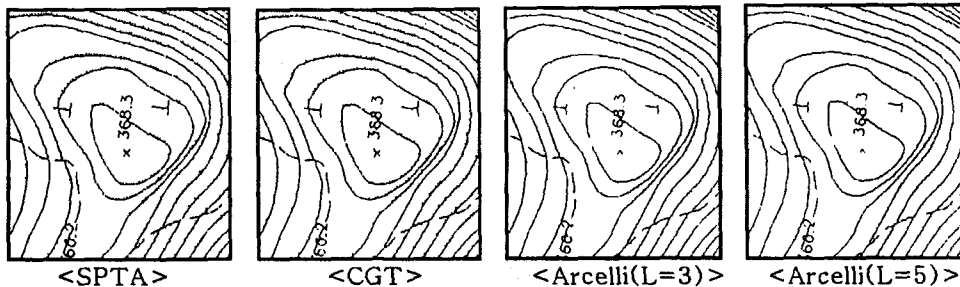
이러한 점에서 볼 때 <표 1>과 <그림 2>에서 알 수 있듯이 Arcelli의 방법이 주위의 잔가지에 가장 적게 영향받는 것으로 나타났다. Arcelli 방법의 경우 의미 있는 끝점을 유지하기 위하여 임계치 L을 사용하는 데, 패턴의 내부로부터 L이상 떨어져 있는 잔가지를 끝점으로 유지한다. 따라서 L 값이 클수록 주위의 잡영에 적게 영향받는다. 하지만 L 값을 지나치게 크게 설정하면 끝점이 상대적으로 많이 침식되는 단점을 보인다.

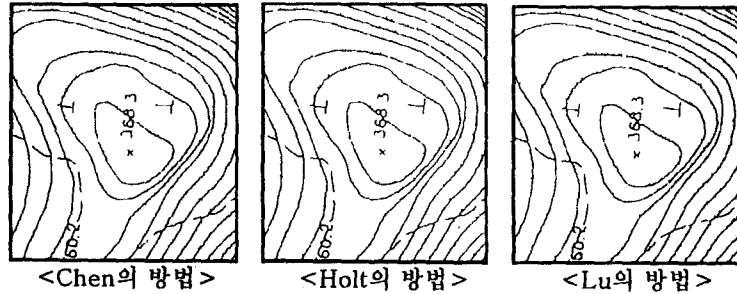
SPTA는 기준 골격선과의 유사도(골격선이 패턴의 중심을 지나는 정도) 면에서 가장 우수한 반면에 속도가 느리며 주위 잡영에 영향을 많이 받았다. 한편 CGT는 속도 면에서 가장 빠르며 끝점이 가장 적게 수축한 반면에 잔가지의 수가 가장 많았다. 즉, 주위의 잡영에 영향을 많이 받는다고 볼 수 있다. 따라서

<표 1> 등고선도에 대한 결과  
<Table 1> Result of contour maps.

기준 알고리즘	속도 (초)	연결 형태	잔가지의 수	유사도	끝점의 수축 정도
SPTA	15.2	완전8	152	1	2.5
CGT	7.5	완전8	229	3	1.5
Arcelli(L=3)	12	완전8	41	5	2
Arcelli(L=5)	12	완전8	23	5	2
Chen	11	완전8	49	7	4.5
Lu	14.6	불완전8	90	4	2.5
Holt	10.3	완전8	79	2	3

※위의 <표 1>에서 유사도는 유사 정도의 순위를 의미하며 끝점의 수축정도는 수축된 화소수를 나타낸다.



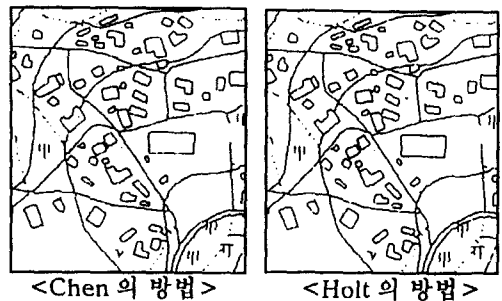
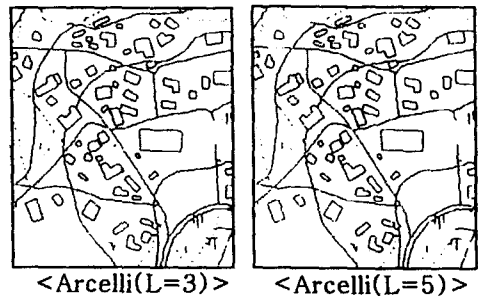
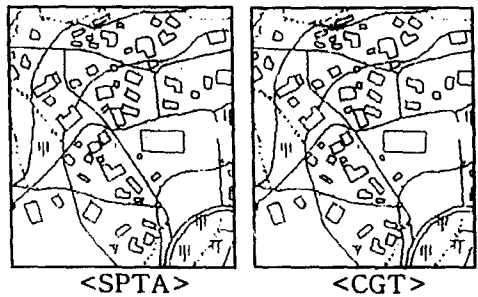


(그림 2) 등고선도6의 세선화 결과  
(Fig. 2) Thinning result of contour map 6.

CGT는 지리 도면의 벡터화와 같이 특징점 추출이 중요한 분야보다는 골격선이 원래 패턴에 대한 정보를 많이 갖고 있어야 하는 분야에 적합하다고 볼 수 있다. 한편 Holt의 방법과 Chen의 방법은 속도면에서 비교적 우수하고 주위의 잡영에도 영향을 적게 받는 것으로 나타났는데, 특히 Chen의 방법은 끝점을 심하게 침식하였다.

지적도는 주로 건물로 구성되어 있다. 또한 건물의 경우 대개 다각형이며, 다각형의 면들은 서로 평행하거나 직각을 이루는 경우가 많다. 따라서 골격선이 이러한 특징을 잘 반영하는 알고리즘의 선택이 중요하다. Arcelli의 방법(L=5의 경우), Chen의 방법, Lu의 방법, 그리고 Holt의 방법이 <표 2>와 <그림 3>에서 볼 수 있듯이 잔가지의 수가 비교적 적었으며, Arcelli 방법의 경우 위에서 언급했듯이 L값을 크게 할수록 주위의 잡영에 영향을 적게 받아 잔가지의 수가 줄어들었다. Chen의 방법은 특히 『모양의 코너에서 심하

게 침식하는 것으로 나타났다.



<표 2> 지적도에 대한 결과  
<Table 2> Result of cadastral maps.

기준 알고리즘	속도 (초)	연결 형태	잔가지의 수	유사도	끝점의 수축 정도
SPTA	30.6	완전8	62	1	1
CGT	12.6	완전8	141	6(불량)	0.5
Arcelli(L=3)	24	완전8	35	3	1.5
Arcelli(L=5)	24	완전8	20	3	1.5
Chen	22	완전8	20	5	1.5
Lu	31	불완전8	19	7(불량)	1.5
Holt	20	완전8	22	2	1.5



<Lu의 방법>

(그림 3) 지적도의 세선화 결과  
(Fig. 3) Thinning result of cadastral map 1.

속도면에서 CGT, Chen의 방법, 그리고 Holt의 방법 등이 우수한 것으로 나타났으며 그 중에 CGT가 가장 빠른 것으로 나타났다. CGT는 속도가 가장 빠른 반면에 주위의 잡영에 영향을 가장 많이 받았다. 한편 기준 골격선과의 유사도 면에서는 SPTA와 Holt의 방법이 우수하였다. 결과적으로 지적도에서는 Holt의 방법이 속도와 유사도 그리고 잔가지의 수면에서 우수한 결과를 낳았으며 건물의 코너에서 지적도의

특징을 잘 반영하였다.

상하수도에서 자주 나타나는 패턴은 직선이 서로 교차하는 십자형이나 T자형의 교차로이다. 따라서 교차점에서 골격선이 서로 직각을 이루는 알고리즘을 선택하여야 한다. 각 알고리즘을 십자형이나 T자형의 교차로 위주로 실험한 결과 <표 3>에서 알 수 있듯이 SPTA와 Holt의 방법이 패턴의 중심에 대한 골격선의 유사도 면에서 가장 우수하였다. 그러나 SPTA

<표 3> 상하수도에 대한 결과  
<Table 3> Result of water and sewer maps.

기준 알고리즘	속도 (초)	연결 형태	잔가지의 수	유사도	끝점의 수축 정도
SPTA	31.5	완전8	75	1	14
CGT	14.6	완전8	187	3	14
Arcelli(L=5)	26	완전8	10	6(불량)	49
Chen	19.1	완전8	10	4	25
Lu	36	불완전8	9	5	14
Holt	19	완전8	13	1	15



(그림 4) 상하수도1의 세선화 결과  
(Fig. 4) Thinning result of water and sewer map 1.

는 속도가 느리고 주위의 잡영에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 속도면에서는 CGT, Chen의 방법, 그리고 Holt의 방법이 우수하였으며 특히 CGT는 패턴 주위의 잡영에 영향을 많이 받아 잔가지의 수가 많았다. Arcelli의 방법은 끝점의 침식 정도가 심하여 직선 위주의 상하수도에는 부적합하였다.

특히 Chen의 방법과 Holt의 방법이 속도가 빠르고, 패턴 주위의 잡영에 둔감하며, 교차로상의 골격선의 모양에 있어서 우수한 것으로 나타났다. 특히 두 방법을 교차로에서 생성되는 골격선을 비교해 볼 때, Holt의 경우는 거의 Y형의 골격선을 이루는데 반하여 Chen의 방법은 교차로 주위의 잡영에 상관없이 직각을 이루는 골격선을 생성함을 볼 수 있었다. 주로 선분이 수직으로 교차하는 상하수도의 경우 Chen의 방법이 교차로의 특징을 잘 반영하였다.

4.2 관련 연구와의 비교

지금까지 세션화 알고리즘의 성능 평가와 관련하여 발표된 논문 중에서 [7]과 [8]이 세션화 알고리즘의 성능을 비교적 체계적으로 평가하였다. 하지만 [7]과 [8]은 모두 실험 데이터를 문자 집합에 한정하고 있어 본 논문과 연구 방향이 기본적으로 다르다. 하지만 관련 연구의 결과를 본 논문의 결과와 비교하므로 문자 데이터와 지리 도면에 대한 결과에 있어서 어떠한 차이가 있는지 고찰해 보고자 한다.

[7]은 세션화 알고리즘들을 문자 데이터를 사용하여 복원 가능성, 처리속도, 기준 골격선에 대한 유사도, 골격선의 품질, 연결성, 그리고 병렬성 등의 기준에 대하여 평가하였다. 그 중에서 본 논문에서 사용한 알고리즘에 대한 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 문자 영상에 대한 [7]의 결과  
<Table 4> Result of [7] for character image.

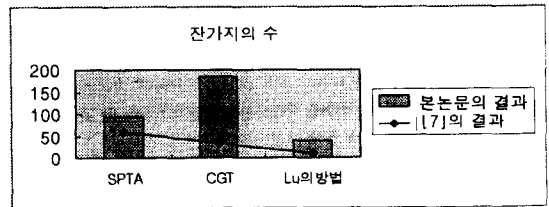
기준 알고리즘	복원 가능성	속도	유사도	골격선의 질 (잔가지의 수)
Lu의방법	△(83.17)	△	○	△(9)
SPTA	△(85.39)	○	△	○(58)
CGT	△(86.34)	△	△	○(33)

○:우수 △:보통 ×:나쁨

[7]의 실험 결과인 <표 4>에서 볼 수 있듯이 복원 가

능도에서 CGT가 원래 패턴을 비교적 잘 복원하는 것으로 나타났으며, SPTA가 패턴 주위의 잡영에 비교적 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이것은 지리도면을 대상으로 한 본 논문의 결과와 비슷한 것으로, CGT와 SPTA는 지리 도면의 벡터화와 같이 패턴 주위의 잡영에 둔감하며 골격선으로부터 특징점을 쉽게 추출할 수 있어야 하는 분야에는 적합하지 않다. 따라서 CGT와 SPTA는 골격선이 원래 패턴에 대한 정보를 많이 갖고 있어야 하는 분야에 적합하다고 볼 수 있다.

한편 [7]과 본 논문은 속도와 유사도 면에서 약간의 차이를 보이고 있다. 이것은 [7]의 경우 문자의 평균 크기가 50×50으로 비교적 작으며, 패턴의 두께가 비교적 일정한 문자 집합을 실험 대상으로 하였으며, 본 논문에서 사용한 도면은 축적이 서로 다르고, 도면 영상의 평균 크기는 실제 도면을 고려하여 평균적으로 500×500의 커다란 영상을 사용하였으며, 패턴의 두께가 도면의 축적과 성격에 따라 달랐기 때문에 속도와 유사도 면에서 다른 결과가 나왔다고 사려 된다. (그림 5)에서는 잔가지의 수에 대한 본 논문의 결과와 [7]의 결과를 비교하였다.



(그림 5) 잔가지의 수 비교  
(Fig. 5) Comparison of number of twig.

[8]은 최근에 발표된 10개의 병렬 알고리즘들을 문자 인식에 적용하여 그 성능을 평가하였다. 특히 여러 가지 성능 평가 기준 중에서 속도의 차이보다는 골격선이 원래 패턴의 기하적인 특징을 반영하는지를 더 중요시 하였으며, 이러한 점을 고려하여 문자의 인식률에 대하여 각 알고리즘을 비교하였다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 선정된 알고리즘을 지리 도면에 적



용하면서 속도와 골격선의 질면에서 비교하였다. 특히 GIS에서 주로 사용되는 등고선도, 지적도, 그리고 상하수도의 특징들이 서로 다르기 때문에 선택된 알고리즘들을 세 종류의 도면에 모두 적용하여 각 도면의 특징을 잘 반영하는 알고리즘을 찾고자 하였다.

속도면에서 등고선도, 지적도, 그리고 상하수도 전체에서 가장 빠른 알고리즘은 CGT였다. 그 이유는 CGT가 알고리즘의 특성상 수행 시간을 줄이기 위하여 외곽선 생성이라는 새로운 접근 방식을 사용하기 때문이다. 이러한 외곽선 생성 방식을 이용한 세선화 알고리즘은 추가의 메모리를 사용하는데 반하여, 수행 속도가 빠른 것으로 나타났다. 그러나 본 논문에서는 알고리즘의 종류에 상관없이 모두 직렬 컴퓨터상에서 구현하였으므로 속도의 차이에 커다란 의미를 부여하기 힘들다. 따라서 속도의 차이에 의미를 부여하기 위하여는 병렬 알고리즘의 경우 병렬 컴퓨터에서 구현하여야 할 것이다. 또한 실험에 사용된 병렬 알고리즘들의 수행 속도가 직렬 컴퓨터 상에서 구현되었음에도 비교적 속도가 빠른 것으로 나타났다.

한편 골격선의 질면에서 등고선도의 경우 도면에 실선과 점선이 결합되어 표시되어 있어 이러한 도면을 스캐닝하면 요철이 심한 영상을 얻게 된다. 이러한 점에서 볼 때 골격선이 패턴 주위의 잡영에 둔감하면서 끝점의 침식 정도가 작은 알고리즘의 선택이 필요한데 Arcelli의 방법이 임계치 L를 크게 설정할수록 패턴 주위의 잡영에 둔감한 것으로 나타났다. 하지만 L이 지나치게 클 경우 의미 있는 패턴이 심하게 침식할 수 있다. 따라서 속도와 잡영에 영향받는 정도, 그리고 끝점의 수축 정도 면에서 요철이 심한 등고선도의 특징을 가장 잘 반영하는 알고리즘은 Arcelli의 방법(L=5의 경우)으로 나타났다.

지적도의 경우 Arcelli의 방법(L=5의 경우), Chen의 방법, 그리고 Holt의 방법이 속도와 연결 형태, 그리고 잡영에 둔감한 정도면에서 비슷한 결과를 보였으며, 특히 세가지 알고리즘 중에서 볼 때 Holt의 방법이 지적도에서 많이 나타나는 건물의 코너에서 지적도의 특징을 잘 반영하는 것으로 나타났다. 또한 상하수도에서는 속도와 연결 형태, 그리고 잡영에 둔감한 정도면에서 Chen의 방법과 Holt의 방법이 우수하였으며, 특히 Chen의 방법이 상하수도에서 많이 나타나는 십자형이나 T자형의 교차로 등에서 생성되는

골격 선의 모양에 있어서 주위의 잡영에 상관없이 직각을 이루는 골격선을 생성함을 볼 수 있었다. <표 6>은 각 도면에 대한 최적의 알고리즘을 보여주고 있다.

<표 5> 각 도면에 대한 최적의 알고리즘  
<Table 5> Optimum algorithm for each map.

요철이 심한 등고선도	지적도	상하수도
Arcelli의 방법	Holt의 방법	Chen의 방법

한편 평가 대상 알고리즘으로 다른 종류의 알고리즘을 선정할 경우, 본 연구와 다른 결과를 낼 수 있다. 하지만 지리도면에 적합한 세선화 알고리즘을 선택하기 위하여 본 연구에서 소개한 방법론을 적용하면 도면의 종류에 적합한 세선화 알고리즘을 선택할 수 있다고 사려된다. 현재까지 위의 연구 결과를 적용하여 지리 도면의 특징에 따라 다른 방법을 적용하는 자동 벡터화 시스템을 구현하였으며, 앞으로 비반복적 세선화 알고리즘으로 구현된 기존의 반자동 벡터화 시스템과의 성능을 비교, 분석하여 지리 도면에 적합한 세선화 알고리즘을 선택하는데 있어서 기준이 될 만한 체계적인 결과를 얻을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. I. Toriwaki and S. Yokoi, "Distance transformation and skeletons of digitized pictures with applications," *Process in Pattern recognition*(Eds. L. N. Kanal and A. Rosenfeld), North-Holland, New York, pp. 189-264, 1981.
- [2] E. R. Davies and A. P. Plummer, "Thinning algorithms: A critique and a new methodology," *Pattern Recognition*, Vol. 14, No. 1, pp. 1150-1152, 1981.
- [3] N. J. Naccache and R. Shinghal, "SPTA: A proposed algorithm for thinning binary patterns," *T-SMC*, Vol. 14, No. 3, pp. 409-418, 1984.
- [4] Y. K. Chu and C. Y. Suen, "An alternative smoothing and stripping algorithm for thinning digital binary patterns," *Signal Processing*, Vol. 11, No. 3, pp. 207-222, 1986.

- [5] R. W. Smith, "Computer processing of line images: a survey," *Pattern Recognition*, Vol. 20, No. 1, pp. 7-15, 1987.
- [6] Y. S. Chen and W. H. Hsu, "A comparison of some one-pass parallel thinning," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 11, No. 1, pp. 35-41, 1990.
- [7] S. W. Lee, L. Lam, and C. Y. Suen, "A systematic evaluation of skeletonization algorithms," *Int. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol. 7, No. 5, pp. 1203-1225, 1993.
- [8] L. Lam and C. Y. Suen, "An evaluation of parallel thinning algorithms for character recognition," *IEEE Trans on PAMI*, Vol. 17, No. 9, pp. 914-919, September 1995.
- [9] A. Rosenfeld and J. L. Pfaltz, "Sequential operation in digital picture processing," *Journal of the ACM*, Vol. 13, No. 4, pp. 471-494, 1996.
- [10] S. Stefanelli and A. Rosenfeld, "Some parallel thinning algorithms for digital picture," *Journal of ACM* 18, pp. 255-264, April 1971.
- [11] L. Lam, S. W. Lee, and C. Y. Suen, "Thinning methodologies-a comprehensive survey," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 14, No. 9, pp. 869-885, September 1992.
- [12] C. J. Hilditch, "Linear skeletons from square cupboards," in *Machine Intelligence* (Eds. B. Meltzer and D. Michie), American Elsevier, New York, USA, Vol. 4, pp. 403-420, 1960.
- [13] D. Rutovitz, "Pattern Recognition," *Journal of Royal Statistical Society*, vol. 1129, Series A, pp. 504-530, 1966.
- [14] T. Pavlidis, "A thinning algorithm for discrete binary images," *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 13, pp. 142-157, 1980.
- [15] Luca Boatta, etc. "An interpretation system for land register maps," *Computer*, 1992.
- [16] P. C. K. Kwok, "A thinning algorithm by contour generation," *Comm. ACM*, Vol. 31, No. 11, pp. 1314-1324, 1988.
- [17] A. Rosenfeld, "A characterization of parallel thinning algorithms," *Information and Control*, Vol. 29, 286-291, 1975.
- [18] F. Y. Shin and W. T. Wong, "Fully parallel thinning with tolerance to boundary noise," *Pattern Recognition*, Vol. 27, No. 12, pp. 1677-1695, 1994.
- [19] Y. S. Chen and W. H. Hsu, "A 1-subcycle parallel thinning algorithm for producing perfect 8-curves and obtaining isotropic skeleton of an L-shape pattern," *Proc. Int. Conf. CVPR*, San Diego, USA, pp. 208-215, 1989.
- [20] R. Plamondon and C. Y. Suen, "Thinning of digitized characters from subjective experiments: A proposal for a systematic evaluation protocol of algorithms," in *Computer Vision and Shape Recognition* (Eds. A. Krzyzak, T. Kasvand and C. Y. Suen), World Scientific Publishing, Singapore, pp. 261-272, 1989.
- [21] W. Xu and C. Wang, "CGT: A fast thinning algorithm implemented on a sequential computer," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 17, No. 5, pp. 847-851, 1987.
- [22] C. Arcelli and G. Sanniti Di Baja, "A thinning algorithm based on prominence detection," *Pattern Recognition*, Vol. 13, No. 3, pp. 225-235, 1981.
- [23] Y. S. Chen and W. H. Hsu, "A modified fast parallel algorithm for thinning digital patterns," *Pattern Recognition Letters* 7, pp. 99-106, 1988.
- [24] Zhang, T. Y and C. Y. Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns," *CACM*, Vol. 27, pp. 236-239, 1984.
- [25] H.E.Lü and P.S.P Wang, "A comment on a fast parallel algorithm for thinning digital patterns," *IPCV*, Vol. 29, No. 3, pp. 239-242, March 1986.
- [26] C.M. Holt, A. Stewart, M. Clint, and R.H. Perrott, "An improved parallel thinning algorithm," *CACM*, Vol. 30, No. 2, pp. 156-60, February 1987.



**이 경 호**

1995년 연세대학교 전산학과  
졸업(이학사)  
1997년 연세대학교 컴퓨터학과  
과 졸업(공학석사)  
1997년~현재 연세대학교 컴퓨  
터학과 박사과  
정 재학중

관심분야:지리정보시스템(GIS), 멀티미디어, 하이퍼미디어



**김 경 호**

1993년 경북대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
1995년 경북대학교 전자공학과  
졸업(공학석사)  
1995년~현재 시스템공학연구소  
영상처리연구부 GIS 연  
구실 연구원

관심분야: 영상처리, 패턴인식, 지리정보시스템(GIS)



**조 성 배**

1988년 연세대학교 전산학과  
졸업(이학사)  
1990년 한국과학기술원 전산학  
과(석사)  
1991년~현재 한국과학기술원  
인공지능연구센터 참여  
연구원

1993년 한국과학기술원 전산학과(박사)  
1993년~1995년 ATR 인간정보통신연구소 객원연구원  
1995년~현재 연세대학교 컴퓨터학과 조교수  
관심분야: 신경망, 패턴인식, 지능정보처리



**최 윤 철**

1773년 서울대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
1975년 6월 Univ. of Pittsburgh  
(공학석사)  
1979년 6월 Univ. of California,  
Berkeley, Dept. of  
IE&OR(공학박사)

1979년 8월~1982년 7월 Lockheed사 및 Rockwell In-  
ternational사 책임연구원  
1982년 9월~1984년 1월 Univ. of Washington 전산학  
과 박사과정  
1990년 9월~1992년 1월 Univ. of Massachusetts 연구  
교수  
1984년 3월~현재 연세대학교 컴퓨터학과 교수  
관심분야: 멀티미디어, 하이퍼미디어, 지리정보시스  
템(GIS)