칼라 지도 영상에서 도로 정보 추출

안 창[†] · 최 원 혁[††] · 이 상 범[†††]

요 약

지리 정보 시스템의 구축을 위한 기존의 수치 지도화 방법은 많은 비용과 시간이 소요되는 작업이므로 자동 입력을 위한 도구의 필요성이 절실하다. 지도의 특징을 살펴 보면, 몇 가지 특징적인 색을 이용하여 정보를 계층화시켜 작성되어 있으므로, 영상에서 색 정보를 분리하면, 여러 가지 정보를 효율적으로 추출할 수 있다.

본 논문에서는 칼라 지도 영상에서 도로 정보를 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 스캐너로 입력된 칼라 지도 영상을 색 계층별로 분리하고, 도로를 포함하고 있는 영상에서 모폴로지 연산의 하나인 조건적 불림 연산을 병렬적으로 적용하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 복원 알고리즘을 이용하여 정보의 중첩으로 인한 도로의 훼손된 부분을 효율적으로 복원하였으며, 세선화와 벡터화를 통하여 도로의 정보를 표현하였다.

Extraction of Road from Color Map Image

Chang Ahn[†] · Won Hyuk Choi[††] · Sang Burm Rhee[†††]

ABSTRACT

The conversion of printed maps into computerized data bases is an enormous task. Thus the automation of the conversion process is essential. Efficient computer representation of printed maps and line drawings depends on codes assigned to characters, symbols, and vector representation of the graphics.

In many cases, maps are constructed in a number of layers, where each layer is printed in a distinct color, and it represents a subset of the map information. In order to properly represent road information from color map images, an automatic road extraction algorithm is proposed.

Road image is separated from graphics by color segmentation, and then restored by the proposed concurrent conditional dilation operation. The internal and external noise of the road image is eliminated by opening and closing operation. By thinning and vectorizing line segments, the desired road information is extracted.

1. 서 론

데이터베이스로 구축된 지리 정보는 교통, 행정, 산업, 군사 등의 분야에 다양한 용도로 활용될 수 있다. 최근 지리 정보 시스템(GIS:Geographic Information System)의 구축이 활발히 이루어지고 있으나, 현재 사용되고 있는 디지타이저를 사용한 대화식 입력 방법은 많은 시간과 비용이 소요되어, 지리 정보의 수치화에 문제점이 되고 있다. 이러한 이유로 지도의 자동 입력에 대한 연구가 크게 중요시되고 있다. 자동 입력은 인식 오류라는 심각한 결점을 지니고 있지만, 알고리즘 및 하드웨어의 성능 향상에 따라 인식률이

※본 논문은 한국과학재단의 연구지원(과제번호:95-0100-11-01-3)에 의한 연구 결과임.

† 정 회 원:단국대학교 전자공학과 박사과정
†† 정 회 원:현대중공업 마북리 연구소
††† 정 회 원:단국대학교 컴퓨터공학과 교수

논문접수:1996년 8월 10일, 심사완료:1997년 1월 23일

향상되고 있다[1, 2]. 특히, 최근 차량 항법 장치(car navigation system)의 개발과 함께 도로 정보가 수록된 CD-ROM의 필요성이 급증하게 되어 도로 정보를 수치 지도(digitized map)화 하기 위한 연구와 개발이 진행되고 있다[2].

지도 영상에서 도로 정보를 추출하기 위한 기존 연구 결과를 살펴 보면, 주로 윤곽선[3]이나 평행선[4]을 추출하고, 추출된 결과 분석에 의한 경험적 방법으로 도로 정보를 표현하고 있다. 참고문헌 [3]의 경우, 칼라로 제작된 지번 약도에서 도로의 평행성, 폭과 방향, 도로의 존재 위치와 같은 도로의 특성을 조사하고, 이를 이용하여 도로 정보를 표시하였으며, 참고문헌 [4]의 경우에는 칼라로 제작된 1:25,000 지형도를 농담 영상(grayscale image)으로 입력하여, 이진화(binarization)를 하고, 평행선을 추출하여 일정한 폭의 도로를 추출하고 있다. 또한 외국의 연구 결과에서도, 각국 지도의 특성에 적합한 알고리즘을 개발하여 보고하고 있는데[5-8], 대부분의 경우, 도로의 구성 정보를 이용하고 있다.

그러나 칼라지도를 이진화하여 처리하는 경우에는 정보의 손실과 같은 이진화 자체에 대한 문제와 평행선이 검출되지 않을 경우의 대책이 문제시 될 수 있다.

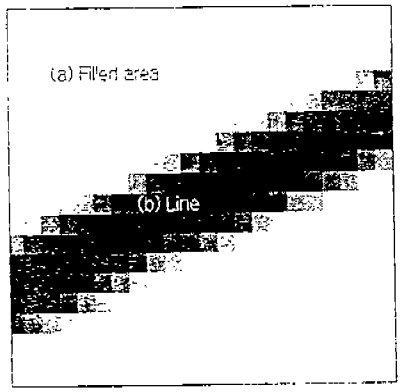
현재 수작업을 통한 수치 지도 제작에 사용되고 있는 지도를 살펴 보면, 비교적 단순한 몇 가지의 색 계층으로 이루어져 있으며, 특히 2차선 이상의 포장도로인 경우에는 등고선등의 정보와 함께, 적색으로 표현되어 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 칼라 지도 영상의 색 정보를 이용하여 도로를 추출하는 알고리즘을 제안한다. 이때 지도 구성 정보의 중첩으로 인해 색 정보 분리시 발생하는 도로 내부의 잡음을 효율적으로 제거하고 정보를 복원하기 위해, 모폴로지(morphology) 연산의 하나인 조건적 불림 연산(conditional dilation operation)을 병렬적으로 적용하는 알고리즘을 제안하고, 실험에 의하여 그 효율성을 확인하여 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 칼라 지도 영상의 특징을 살펴보고, 3장에서는 제안된 도로 정보추출 알고리즘의 내용을 설명하고, 4장에서는 실험 영상에 대한 알고리즘의 적용 결과 및 실험 내용에 대해 고찰하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 칼라 지도 영상의 특징

2.1 칼라 지도 영상

칼라로 인쇄된 지도의 특성을 살펴보면, 여러 구성 요소(문자, 선, 배경 등)들이 중첩되어 인쇄되어 있기도 하고, (그림 1(a))와 같이 인쇄 상태에 따라 사람에게는 단색으로 인식되는 칼라 영역(filled area)이 다양한 색이 혼합된 형태로 표현되기도 하며, 스캐너로 입력될 때 발생하는 다양한 상태의 잡음이 (그림 1(b))와 같은 선의 경계 부분에 존재하기도 한다.



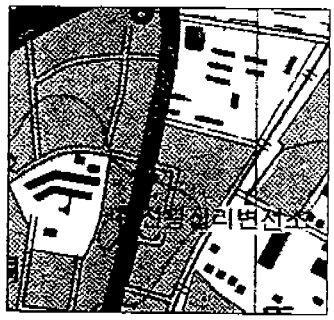
(그림 1) 확대한 칼라 지도의 일부
(Fig. 1) Enlarged color map

입력된 칼라 영상의 색 정보를 분리(segmentation)하기 위해 일반적으로 많이 사용되는 K-means 클러스터링 알고리즘[9]을 적용하는 경우에는 클러스터를 구성하는 화소(pixel)의 개수가 많은 것을 의미있는 정보로 간주하여 분할 과정에서 이용하므로, 클러스터의 중심 자체가 이동하게 되고, 개수가 적은 데이터의 경우에는 오분류의 가능성이 높아지게 된다. 일반 영상과는 달리 특히 지도 영상의 경우에는 클러스터를 구성하는 화소의 수가 적다고 할지라도 중요한 지형 정보가 될 수 있으므로 클러스터링 알고리즘을 수행할 때 이를 고려하여야 한다.

2.2 지형도의 특징

현재 수치 지도 제작에 사용되고 있는 (그림 2)와 같은 1:25,000 축척의 지형도를 살펴 보면, 몇 가지 특징적인 색을 이용하여 정보를 계층화시켜 작성되어

있음을 알 수 있다. 백색의 종이 위에 수계(水系) 즉, 물과 관련이 있는 하천, 저수지, 논, 습지 등은 청색으로 인쇄되어 있으며, 풀이나 나무로 이루어진 녹지(綠地) 등은 녹색, 도로, 등고선은 적색, 건물, 문자, 행정 구역 경계선 등은 흑색으로 인쇄되어 있다. 또한 시가지 영역도 적색으로 표현되어 있으나, 적색이 일정한 패턴(網點)으로 인쇄되어 있으므로 실제적인 색상은 홍색(pink)인 것 처럼 보인다.

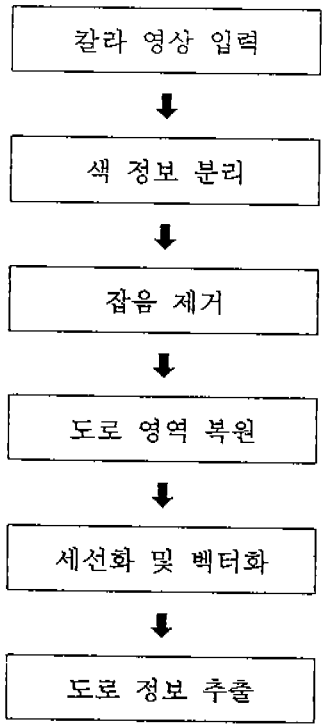


(그림 2) 지형도의 일부
(Fig. 2) Example of topographical map

3. 도로 정보 추출 알고리즘

본 논문에서는 사람이 지도를 보는 방법과 유사하게, 칼라 지도 영상에서 도로 정보를 추출하기 위한 알고리즘을 제안하였으며, 개략적인 흐름을 정리하면 (그림 3)과 같다.

먼저 대상 지도를 칼라 영상으로 입력하여, 지도를 구성하는 색상별로 입력 영상을 분리하고, 색 분리의 과정을 통해, 도로가 포함된 이진 영상을 생성하며, 이 영상에서 연결 성분(connected component)을 조사하여, 면적이 작은 영역을 제거한다. 또한 도로 정보와 중첩되어 표현된 문자, 기호, 경계 표시 선과 같은 성분에 의해 도로 정보가 훼손되어 있으므로, 이를 복원하기 위하여 모폴로지 연산을 병렬적으로 수행하는 알고리즘을 제안하고, 적용하였으며, 도로 내부 및 외부의 잡음을 제거한 뒤에, 복원된 도로 영역을 세선화하고 벡터화하여 도로 정보를 추출하게 된다.



(그림 3) 제안된 도로 정보 추출 기법의 흐름
(Fig. 3) Proposed road extraction algorithm flow

3.1 칼라 영상의 색 분리

칼라 지도 영상에서 원하는 색상별로 지도 영상을 분리하기 위하여, 대화식 클러스터링 기법[10]을 사용하였으며, 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

먼저 사람이 지도를 보면서 특정 색으로 표현된 정보를 찾는 방법과 유사하게, 칼라 지도 영상에서 분리하기 원하는 색상이 표현된 지점을 사용자가 입력 장치인 마우스(mouse)를 이용하여 각각 지정한다. 이 때 지정된 지점의 r, g, b 데이터 값을 각 클러스터의 중심값으로 정하여 두게 된다. 그리고 입력된 영상의 각 화소의 데이터 값과 각 클러스터의 중심점 사이의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 계산하여 가장 근접된 클러스터에 입력 화소를 소속시키면, 클러스터 중심 값의 위치가 변하지 않았으므로, 3차원 r, g, b 공간 상에서 사용자가 지정한 색상만으로 구성된 클러스터를 형성시킬 수 있다.

3.2 잡음 제거

도로가 표현된 적색 계층만을 분리한 이진 영상을

살펴 보면, 도로 이외에도 적색이 일정한 패턴(網點)으로 인쇄되어 있는 시가지 영역이 조밀한 점 영역으로 나타나고 있다. 따라서 이러한 잡음 영역을 제거하기 위하여 면적이 일정 임계치 보다 작은 연결 성분을 추출하여 제거하였다.

3.3 도로 영역 복원

3.3.1 모폴로지 연산에 의한 잡음 제거

기본적인 모폴로지 연산에는 영상의 밝은 부분을 확장하는 불림 연산(dilation)과 축소하는 녹임 연산(erosion)이 있으며, 이들의 조합된 형태로서 열림 연산(opening)과 닫힘 연산(closing)이 있다.

집합 A와 B가 2차원 평면상의 주어진 좌표점들을 원소로하는 집합일때, B에 의한 A의 불림, 녹임, 열림, 닫힘 연산은 식 (1), (2), (3), (4)와 같이 각각 정의되며[11, 12], 이때 집합 B를 형태소(structuring element : SE)라 한다.

$$A \oplus B = \cup \{A + b : b \in B\} \quad (1)$$

$$A \ominus B = \cap \{A - b : b \in B\} \quad (2)$$

$$A \circ B = \{A \ominus B) \oplus B\} \quad (3)$$

$$A \bullet B = \{A \oplus B) \ominus B\} \quad (4)$$

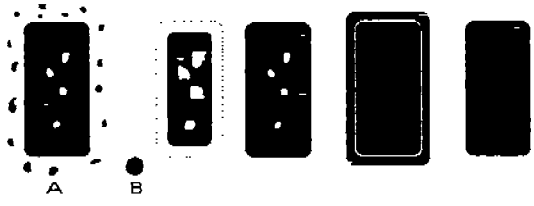
여기서 $\cup$, $\cap$은 각각 합집합, 교집합을 의미하며, $A+b$, $A-b$는 점 b에 의해 이동(translation)된 집합을 의미한다.

임의의 영상에 정해진 형태소를 이용하여 불림 연산을 수행할 경우, 확장되는 영역을 제한할 필요가 있을 수 있다. 이러한 때에 사용되는 방법이 조건적 불림 연산(conditional dilation)이며 형태소 B에 의한 영상 A의 조건적 불림은 연산자 (+)를 도입하여, 식 (5)와 같이 표현된다[11, 12].

$$A(+)B = \cup \{(B + a) \cap C : a \in A\} \quad (5)$$

여기서 C는 불림 연산의 제한 조건으로 사용된 영역이다. 또한 $A(+)kB$는 k번 연속 적용함을 의미한다. 즉, $A(+)kB = [..[A(+)B](+)B](+)..](+)B]$이다.

(그림 4)에는 모폴로지 연산에 의한 잡음 제거 효과를 보였다. 잡음이 섞여 있는 원 영상 (그림 4(a))에 대해 (그림 4(b))는 녹임 연산의 결과, (그림 4(c))는 열림 연산의 결과이며, (그림 4(d))는 열림 연산의 결과에 불림 연산을 적용한 결과이며, (그림 4(c))의 결과에 닫힘 연산을 적용한 결과를 (그림 4(e))에 각각 보였다.



(a) 원영상
(b) $A \ominus B$
(c) $(A \ominus B) \oplus B = A \circ B$
(d) $(A \circ B) \oplus B$
(e) $[(A \circ B) \oplus B] \ominus B = (A \circ B) \bullet B$

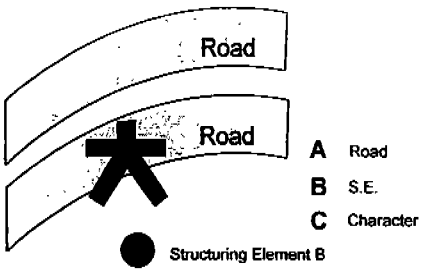
(그림 4) 모폴로지 연산을 이용한 잡음 제거
(Fig. 4) Morphological filtering

3.3.2 조건적 불림 연산의 병렬적 적용 알고리즘

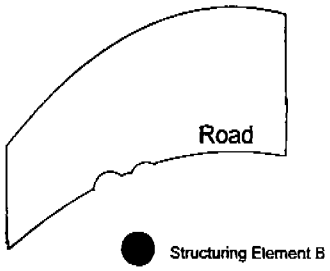
도로 정보가 포함된 이진 영상에서 연결 성분 추출을 이용하여 잡음을 제거하면, 주로 도로 영역과 등고선이 남게 된다. 도로 영역에는 고가도로 표시, 지하철 노선 표시, 문자등과 같은 정보가 흑색으로 중첩되어 표현되므로 색 분리 결과에 의해 얻어진 적색만의 이진 영상에는 주로 도로의 중앙 부분이 훼손되어 있는 경우가 많다. 이와 같은 잡음 영역을 제거하기 위해, 앞 절에서 설명한 모폴로지 연산을 적용한 결과를 간략화하여 정리하면, (그림 5)와 같은 문제점이 발생하게 된다.

먼저 (그림 5(a))와 같이 영역 내부의 잡음이 존재할 때, 일반적으로 적용하는 닫힘 연산을 적용할 경우에는 형태소의 크기나 종류에 의해 (그림 5(b))와 같이 인접한 영역과 붙어버릴 가능성이 크며, 조건적 불림 연산을 적용하는 경우에는, 연산의 종료 시점을 결정하기 어려워 (그림 5(c))와 같은 결과를 얻기 쉽다.

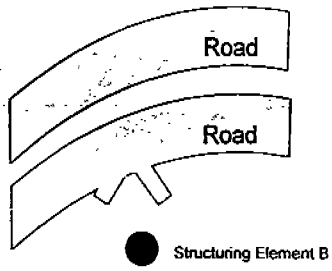
따라서 흑색에 의해 중첩된 부분을 도로만의 영역으로 복원하기 위하여 모폴로지 연산의 하나인 조건적 불림 기법을 병렬적으로 적용하는 알고리즘을 제안하였으며, 그 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.



(a)원 영상



(b)닫힘 연산에 의한 내부 잡음 제거



(c)조건적 불림 연산에 의한 내부 잡음 제거 에

(그림 5) 잡음 제거시의 문제점
(Fig. 5) Problem of morphological filtering

먼저 색분리 결과로 얻어진 이진 영상의 집합 A를 식(6)과 같이 정의하고, (단, n은 정수) 이중 첫번째 원소 A_0을 제거해야할 흑색 영역이라 하고, 나머지 원소 $A_1 \sim A_n$을 분리된 각 색별 영역이라 하자.

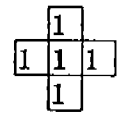
$$A=\{A_0, A_1, ..., A_n\} \tag{6}$$

영역 $A_1 \sim A_n$에 대해 중첩된 흑색 영역만을 제거해야 하며, 각각 자신을 제외한 다른 영역에는 영향을 주어서는 안됨을 규칙으로 한다. 따라서 조건적 불림 연산을 각 색상 영역에서 병렬적으로 수행한다. 이때 (그림 6)과 같은 형태소 R을 이용한 A_i의 조건적 불림 연산은 식 (7)과 같으며,

$$A_i(+)R=\cup\{(R+a_i)\cap(A_i\cup A_0);a_i\in A_i\} \quad (\text{단}, i=1, ..., n) \tag{7}$$

전체 수행 과정은 다음과 같다.

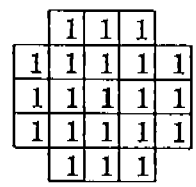
```
repeat while A0 ≠ ∅ {
  for (i = 1, , , n) {
    Ai ← Ai (+) R;
    A0 ← A0 − (Ai ∩ A0);
  }
}
```



(그림 6) 형태소 R
(Fig. 6) Structuring element R(rhombus)

3.3.3 도로 내부/외부 잡음 제거

도로 영역 보다 좁은 폭으로 그려져 있는 등고선의 제거와 도로 영역 내부의 잡음을 제거하기 위해 열림 및 닫힘 연산에 의한 잡음 제거 방법을 사용하였다. 도로에 붙어 있거나, 외부에 존재하는 등고선을 살펴보면, 도로에 비해 좁은 폭을 갖고 존재하므로, 이를 제거하기 위해 열림 연산을 적용하고, 도로 내부에도



(그림 7) 형태소 C
(Fig. 7) SE C(circle)

흑색이 아닌 다른 색 영역에 포함되어 있는 잡음 성분도 존재할 수 있으므로, 이와 같이 내부에 존재하는 잡음 제거를 위해 닫힘 연산을 사용하였다. 이때 사용된 형태소는 (그림 7)과 같다.

3.4 세선화 및 벡터화

영상 데이터의 세선화를 통해 시스템의 처리 부하를 줄이는 동시에 벡터화에 적합한 형태로 변환하였다. Zhang과 Suen의 알고리즘은 연결성을 보존하면서 빠른 속도로 세선화를 수행하지만, 굵기 2인 45° 각도의 대각선과 네 개의 점으로 이루어진 사각형에 대해서는 형태를 보존하지 못하는 결점을 가지고 있다[14]. 본 논문에서는 세선화를 위해 Zhang과 Suen의 알고리즘의 결점을 해결한 Lü와 Wang의 알고리즘을 사용하였다[15].

세선화된 데이터의 점들을 추적하면서 벡터 데이터로의 변환을 수행한다. Wall과 Danielsson의 직선 근사화 알고리즘을 적용하여, 끝점(end point), 가지점(branch point), 굴곡점(curve point)등을 추출하여 벡터화를 수행하였다[16].

4. 실험 및 검토

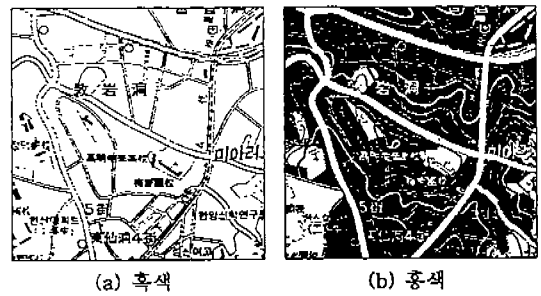
본 논문에서는 1:25,000 축척의 지형도를 대상으로 하여 실험하였으며, 추출 대상 도로로서는 적색으로 표현되어 있는 2차선 이상의 포장 도로를 선택하였다.

실험을 위해 펜티엄 100Mhz CPU와 32Mbyte RAM을 내장한 시스템을 사용하였다. 입력 영상은 300dpi의 해상도, 24bit 칼라, 512×512 화소의 크기를 갖는다. (그림 8)은 실험에 사용된 지형도(도엽번호 'NJ52-9-12-3 성동'의 일부) 칼라 영상의 예이다.

실험 영상을 도로 및 등고선이 표현된 적색과, 망점으로 처리되어 분홍색으로 보이는 시가지부분과, 바탕의 흰색부분, 그리고 건물 및 고가도로, 문자를 표현하는 흑색부분으로 색 분리한 결과를 (그림 9)에 보였다.

주로 도로 성분인 (그림 9(c))에서, 아래 쪽의 도로 중앙 부분은 고가도로 표시에 의해 도로의 형상이 훼손되어 있고, 전반적으로 도로는 행정 구역 표시, 지하철 노선 표시나 문자에 의해 중첩되어 있으므로,

(그림 8) 실험 영상
(Fig. 8) Test image



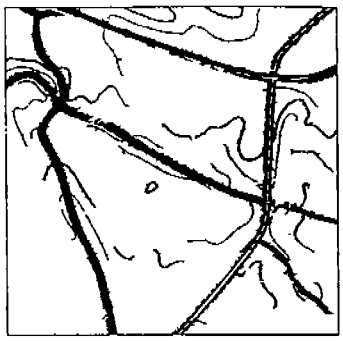
(a) 흑색 (b) 홍색

(c) 적색 (d) 백색

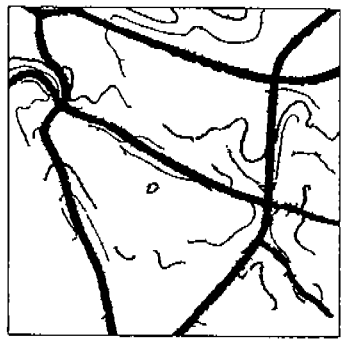
(그림 9) 색분리 결과
(Fig. 9) Color separation result

이러한 부분을 제거하면 효과적으로 도로를 추출할 수 있다.

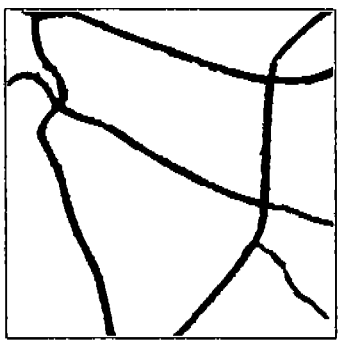
또한 (그림 10)은 적색 영상에서 작은 크기의 연결 영역이 제거된 결과이고, 도로 내부에 존재하는 흑색 부분을 조건적 불림 연산을 병렬적으로 적용하는 알고리즘을 이용하여 제거한 결과를 (그림 11)에 보였다.



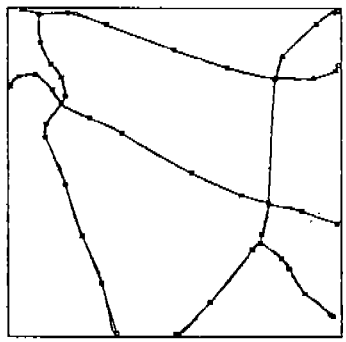
(그림 10) CC제거
(Fig. 10) Small CC extract



(그림 11) 도로 복원
(Fig. 11) Restored road



(그림 12) 잡음 제거
(Fig. 12) Noise extraction



(그림 13) 추출된 도로
(Fig. 13) Vectorized road

도로 영역을 복원한 뒤, 도로와 색상이 동일하여 남아있는 등고선의 형태를 보면, 도로의 폭과 비교하여 상대적으로 크게 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 점을 이용하여 열림 연산으로 외부 잡음을 제거하고, 내부 잡음은 닫힘 연산으로 제거하였으며, 이 결과를 (그림 12)에 보였다. (그림 13)은 최종적으로 세선화와 벡터화를 통하여 얻어진 도로의 정보를 나타낸다.

5. 결 론

본 논문에서는 칼라 지도 영상에서 도로 정보를 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 스캐너로 입력된 칼라 지도 영상을 색 계층별로 분리하였고, 도로를 포함하는 영상에서 모폴로지 연산의 하나인 조건적 불림 연산을 병렬적으로 적용하는 알고리즘을 제안하고, 이를 이용하여 도로의 훼손된 부분을 효율적으로 복원하였으며, 세선화와 벡터화를 통하여 도로 정보를 추출할 수 있었다.

실험 결과를 살펴 보면, 문자등의 정보에 의해 훼손된 도로 영역의 복원과 도로 영역의 내, 외부에 존재하는 잡음 제거를 충실하게 수행할 수 있었으나, 도로가 겹쳐져 있는 교차점에서는 세선화 과정에 의한 도로 정보의 왜곡이 발생함을 알 수 있었다.

따라서 세선화 결과에 따른 정보의 왜곡에 대해서는 교차점에서 왜곡이 적은 세선화 알고리즘을 이용하는 방법과, 벡터화된 결과에 도로의 방향등과 같은 지식을 이용하는 후처리 과정에 대한 연구를 수행중에 있다.

본 논문에서는 지도 자동 입력을 지원할 수 있는 기능을 위해 지도에서 가장 중요한 정보중의 하나인 도로정보를 추출하는 알고리즘을 제시하여 보았다.

앞으로의 연구 과제로서는 추출된 결과의 정확성을 검증하는 방법도 추진되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. Suzuki and T. Yamada, "MARIS:Map Recognition Input System," Pattern Recognition, Vol. 23, No. 8, pp.919-933, 1990.

[2] R. Kasturi et al., "Map Data Processing in Geographic Information System," Computer, pp. 13-21, Dec. 1989.

[3] 장경식, "구성 성분간의 구조적 정보를 이용한 지도 인식 연구," 연세대학교 박사학위청구논문, 1996.

[4] 손진우, 김욱현, 이행세, "시각정보처리 개념을 이용한 지형도의 특징추출에 관한 연구," 전자공학회논문지, 제 32권, B편, 제1호, pp.154-160, 1월, 1995.

[5] 早川卓哉, 渡邊豊英, 吉田雄二, 川口邦雄, "市街地地圖からの道路ネットワーク情報 抽出," 電子情報通信學會論文誌, D-II, Vol.J74-D-II, No.6, pp. 757-765, 6月, 1991.

[6] 金旭炫, 古川卓, 平井有三, 德永隆治, "地圖記號で切斷された道路の空間フィルタによる補間," 電子情報通信學會論文誌, D-II, Vol.J76-D-II, No.6, pp.1140-1148, 6月, 1993.

[7] 勝野進一, 山崎一生, "H形ゾンデを用いた地形圖のネが畵像からの線分抽出," 電子情報通信學會論文誌, D-II, Vol.J74-D-II, No.2, pp.190-198, 2月, 1991.

[8] 勝野進一, 山崎一生, "ネが畵像を用いた市街地地形圖からの平行要素の抽出," 電子情報通信學會論文誌, D-II, Vol.J74-D-II, No.3, pp.340-347, 3月, 1991.

[9] Sing-Tze Bow, 'Pattern Recognition and Image Preprocessing', Marcel Dekker, Inc., 1992.

[10] 안창, 박찬정, 이상범, "대화식 클러스터링 기법을 이용한 칼라 지도의 문자 영역 추출에 관한 연구" 정보처리학회논문지, 1月, 1997.

[11] Edward R. Dougherty, 'An Introduction to Morphological Image Processing', Washington, SPIE Press, 1992.

[12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, 'Digital Image Processing', Addison-Wesley Publishing Co. Inc., 1992.

[13] M. Chen & P. Yan, "A Multiscaling Approach Based on Morphological Filtering," IEEE Trans. PAMI, Vol.11, No.7, pp.694-700, July, 1989.

[14] T. Y. Zhang and C. Y. Suen, "A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns," Com. ACM Vol.27, No.3, pp.236-239, Mar. 1984.

[15] H. E. Lü and P. S. P. Wang, "A Comment on 'A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns'," Com. ACM Vol.29, No.3, pp.239-242, 1986.

[16] K. Wall and P. E. Danielsson, "A Fast Sequential Method for Polygonal Approximation of Digitized Curves," CVGIP Vol.28, No.1, pp. 220-227, 1984.

안 창

1987년 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 단국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1995년~현재 단국대학교 전자공학과 박사과정
1989년 1월~1994년 12월 기아정보시스템 연구소
관심분야:영상신호처리, GIS

최 원 혁

1995년 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1997년 단국대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1997년~현재 현대중공업 연구소
관심분야:영상신호처리, GIS

이 상 범

1974년 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1978년 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1986년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1984년 미국 IOWA대학교 컴퓨터공학과 객원교수
1979년~1992년 단국대학교 전자공학과 교수
1993년~현재 단국대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 컴퓨터구조, 영상신호처리, GIS