등고선 지도를 기반으로 한 수치 지형도 자동생성에 관한 연구

김 해 정† · 김 준 식††

요 약

본 논문에서는 등고선 지도의 3차원 정보를 이용하여 수치지형도 자동 생성방법을 제안한다. 제안된 방법은 등고선의 세선화와 라벨링을 통해 등고성분과 비 등고성분을 정확히 구분하였으며, Bezier 곡선을 사용하여 끊어진 등고선을 부드럽게 연결한다. 마지막으로 등고선으로부터 얻어진 고도 데이터를 사용하여 3차원 데이터를 생성한다. 제안된 방법은 수치 지형도를 만들기 위해 소요되는 막대한 양의 인력과 시간, 비용을 절약할 수 있다.

A Study on the Automatic Generation of Digital Elevation Map based on Contour Map

Hea-Jung Kim† · Joon-Seek Kim††

ABSTRACT

In this paper, we propose the automatic generation method of digital elevation map based on contour map. The proposed method classifies contour data and non-contour data by thinning and labeling process of the contour line and then connects smoothly broken contour line by Bezier curve. Finally, the digital elevation map is generated by the interpolation using the height data of the contour line. The proposed method can reduce vest effort, time and expense which is spend to make digital elevation map.

1. 서 론

인류의 문명과 문화가 다양해지고, 컴퓨터 산업이 극도로 발전해 가면서 인간의 요구와 욕구는 여러 분야에서 다양하게 표출되고 있다. 또한, 인간의 욕구가 증가하면 할수록 각종 정보에 대한 욕구도 증가할 것이다. 따라서 각종 정보의 신속한 처리와 이용에 부응하기 위하여 지리정보 및 지형 정보 등에 관련된 지리정보시스템이 여러 분야로 꾸준히 발전하여 왔다.

† 준 회 원 : (주)대부통신기술 기술연구소 주임연구원
†† 정 회 원 : 호서대학교 전기공학부 전자전공 교수
논문접수 : 1999년 7월 8일, 심사완료 : 1999년 12월 18일

이러한 지리정보 시스템의 자료구조는 위치, 위상적 연결성, 사상의 속성 등 독특한 정보를 저장하고 있기 때문에 타 정보 시스템에서 이용되고 있는 자료들과는 다른 구조를 가지고 있다. 또한 자료의 처리에 있어 위상적이고 공간적인 측면이 고려되어야 하기 때문에 타 정보 시스템과 큰 차이가 있다[1]. 그러므로 지리정보 시스템의 구축에 있어 지형 데이터베이스 구축이 가장 많은 비용을 소모하고, 가장 긴 시간을 소요하게 된다. 지형 데이터베이스를 구축하는 방법은 항공사진을 활용한 해석도화 방법과 기존 지도에서 디지타이저 또는 스캐너를 사용해 좌표치를 읽어 수치화 하는 방법이 있다. 디지타이저가 벡터 데이터를 일괄 취득하는 장치

인데 반해, 스캐너는 래스터 데이터를 고속으로 취득할 수 있는 장치이다. 그러나 스캐너로 일괄 취득된 래스터 데이터는 일반적으로 지형지물들의 속성이나 여러 요소들에 대한 정보를 가지고 있지 않기 때문에 이러한 정보를 입력된 래스터 데이터에서 속성정보를 추출해 내기 위한 여러 가지 접근들이 시도되었다. 특히, 지형도에 있어서 등고선 데이터의 3차원적인 성분과 라인 성분을 추출하고 편집하는 경우 그 방법과 편집이 어렵기 때문에 수작업으로 편집하는 경우가 대부분이다.

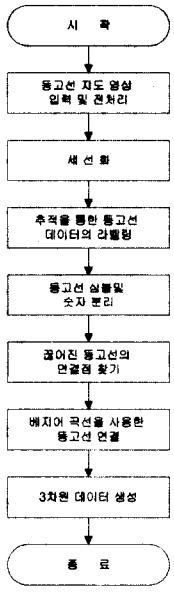
지형도 내의 등고선은 같은 높이를 나타내는 끊어지지 않는 폐곡선의 형태로 존재하고, 폐곡선이 존재할 때 항상 안쪽의 등고선이 높은 고도 값을 나타내고, 서로 다른 등고선은 일정한 간격을 두고 연속되어 존재한다는 특징을 가지고 있다[2]. 본 논문에서는 이러한 등고선 고유의 특징을 이용하여 등고선 지도를 세선화하였다[3-5]. 세선화된 영상에서 등고선 성분만을 추출하고, 등고선 위에 존재하는 심볼과 고도를 나타내는 숫자 성분의 분리로 인해 생기는 등고선의 끊어짐을 3차원 표현 분야에서 대표적인 곡선 생성 방법인 Bezier 곡선 함수[8-11]를 사용하여 등고선 추출시 끊어진 등고선을 연결하고, 추출된 등고선 데이터들 중에 최정상의 고도와 가장 낮은 고도, 그리고 고립된 등고선의 고도성분들을 대화방식의 입력을 통해 얻어내고, 입력된 고도성분과 가상선 탐색 방법을 이용하여 나머지 모든 등고선의 고도 성분을 추출한다. 지도 영상 내에 등고선이 존재하지 않는 모든 영역에 고도 데이터를 구축하기 위하여 Lebert와 Olsen의 연속경사 알고리즘[12, 13]을 이용하여 고도 정보를 보간 하였다.

본 논문의 전체적인 구성은 2장에서는 전체적인 흐름과 세선화 방법, 등고선 내에 존재하는 심볼·숫자성분들과 등고선 성분간의 분리와 각 성분의 분리로 인해 끊어진 등고선을 연결하는 Bezier 곡선의 원리와 Bezier 곡선을 사용하여 끊어진 등고선을 연결하는 방법, 그리고 입력을 통해 모든 등고선의 고도를 인식하는 방법과 등고선이 존재하지 않는 영역에 고도 데이터를 얻는 방법에 대해서 알아보고, 3장에서는 실험 결과와 분석에 대해서 살펴보겠다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 추후과제에 대해서 서술하였다.

2. 제안한 시스템 구성 및 알고리즘

2.1 시스템의 전체적인 흐름

(그림 1)의 흐름도는 스캐너로 입력된 영상을 세선화 과정을 거쳐 처리하기 쉬운 형태로 만든 후, 추적을 통한 라벨링 방법을 사용하여 등고선의 심볼을 분리하고, 심볼의 분리로 끊어진 등고선은 Bezier 곡선을 사용하여 연결을 하고, 연결된 등고선을 이용하여 3차원 지형도를 생성하는 전체 과정을 나타낸다.



(그림 1) 시스템의 전제적인 흐름도

2.2 세선화와 라벨링

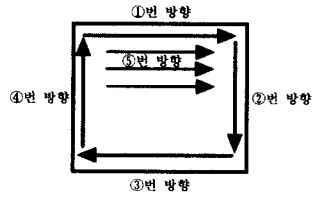
2.2.1 세선화

세선화란 영상내의 여러 화소 두께의 선성분을 한화소 두께로 만드는 과정으로, 크게 순차 알고리즘과 병렬 알고리즘으로 나누어지는데 순차 알고리즘에서 각 화소는 정해진 순서에 따라 조사가 행해지면서 필요없다고 판정되면 제거되는데 이를 다시 구분해 보면 외곽 화소를 추적하여 조사하는 방법과 래스터스캐닝하는 방법이 있다. 반면에 병렬 알고리즘에서는 화소들이 독립적으로 고려되어 동시에 병렬로 조사되며, 이는 4-subcycle, 2-subcycle, 1-subcycle을 갖는 세 가지 방법으로 나뉘어진다[14, 15]. 본 논문에서는 가중치를 사용한 세선화 방법을 사용하였다[3].

2.2.2 라벨링

모든 세선화 과정을 끝낸 등고선 데이터는 등고선 성

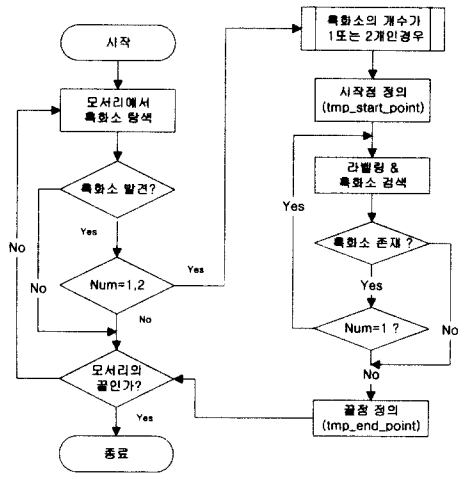
분 이외에도 등고선의 심볼이나, 고도를 나타내는 숫자 성분들이 등고선과 함께 존재하게 된다. 이러한 심볼들과 숫자들을 등고선 데이터와 분리하기 위해 등고선 추적을 통한 라벨링을 수행한다. 등고선 추적 순서는 (그림 2)와 같다.



(그림 2) 라벨링을 위한 추적 방향

영상의 외곽에 대한 추적을 하면서 흑화소를 발견하면 흑화소의 연결이 끝나거나 아니면 심볼과 세선화된 등고선이 겹쳐서 더 이상 추적할 수 없을 때까지 진행한다. 이렇게 진행하면서 발견된 흑화소에 고유한 라벨 번호를 부여한다. 이러한 추적과 라벨링 과정을 외곽 부분에서만 진행할 경우, 등고선 성분 중에서 등고선의 정상부분은 추적할 수 없기 때문에 ⑤번 방향의 추적을 진행한다. 등고 데이터의 모든 방향을 고려하여 추적을 마치면, 모든 등고선과 심볼 그리고 고도를 나타내는 숫자 데이터들은 일정한 순서의 라벨번호를 갖게 되고, 등고선의 여러 가지 정보를 얻을 수 있다.

2.2.3 추적과 라벨링 알고리즘의 흐름도



(그림 3) 추적과 라벨링 흐름도

(그림 3)의 흐름도는 세선화를 마친 등고선 지도에서 심볼성분과 숫자성분을 분리하기 위한 전 단계로 각 등고선에 라벨을 붙이는 라벨링 과정을 나타낸다.

2.3 등고선과 비 등고 성분의 분리

추적과 라벨링 과정을 거치는 동안 지도 영상내의 모든 검은 화소들은 추적 순서에 따라 각각 고유한 라벨 번호를 갖게 된다. 그러므로 각 라벨 번호 집단들의 형태나 흑화소 런의 길이 등의 고려를 통해 등고선 성분과 비등고선 성분을 분리해낼 수 있다. 이러한 등고선 데이터와 비 등고선 데이터들의 분리 작업을 통해 지형도에서 입력받은 등고선 이외의 성분들을 제거한다.

2.3.1 세선화된 등고선과 비 등고선 데이터의 차이점

● 시작 위치에 따른 차이점

등고선 데이터들은 작은 타원의 폐곡선을 이루는 정상부근을 제외하고는 등고선 타원의 반경이 크기 때문에 512×512 영상 내에서 폐곡선을 이루는 경우가 드물다. 그러므로 대부분의 등고선 데이터들이 모서리에 시작점을 가진다고 볼 수 있다. 하지만 비 등고선 데이터의 경우는 심볼의 크기가 작고, 위치가 불규칙적이기 때문에 모서리가 아닌 512×512 영상 내에서 시작점을 가질 확률이 높다.

● 흑화소 런의 개수에 따른 차이점

등고선과 비 등고선 데이터의 가장 큰 차이점이 나타나는 부분이 흑화소 런의 개수이다. 512×512 영상 내에서 심볼에 의해 끊어지지 않은 등고선 데이터들의 평균적인 런의 길이는 약 400~600 화소를 갖고 심볼에 의해 끊어진 등고선의 런의 길이는 주로 100~200 화소가 된다. 그에 반해서 심볼들의 런의 길이는 숫자와 같은 단일 폐곡선을 이루는 특별한 경우를 제외하고는 40 화소를 채 넘지 못하고, 단일 폐곡선을 이루는 숫자의 경우에도 70 화소 정도로 작다.

● 방향성분에 의한 차이점

위에서 제시한 등고선 데이터와 비 등고선 데이터의 두 가지 차이점 만으로 등고선과 비 등고선 데이터들은 분리가 가능하지만 모서리에서 시작하고 런의 길이가 70에 근접하는 심볼이 존재하는 최악의 경우를 고려할 때 등고선과 비 등고선의 방향 성분을 비교해야 된다. 방향성분 비교를 위해 세선화된 데이터의 8방향 연결성을 사용하였으며, 실제적으로 등고선

데이터와 비 등고선 데이터들의 방향 변경시의 방향 값의 변화예 (그림 4)에 나타내었다.

	방향성분의 변화													
산림 심볼	4	4	5	4	4	3	3	2	2	3	2	2	1	2	2
등고선	4	4	5	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2

(그림 4) 산림 심볼과 등고선의 방향변화 비교 예

(그림 4)에서 어둡게 표시된 부분이 방향 변화가 발생한 부분이다. 비 등고선에 비해 등고선의 방향 변화가 천천히 변화하는 것을 볼 수 있다. 실제로는 등고선 영역에서의 방향 변화는 이 보다 더 많은 화소로 표현된다.

2.3.2 등고 데이터와 비 등고 데이터의 분리 조건

위에서 고려된 세 가지 등고선과 비 등고선 데이터의 차이점을 이용하여 등고선의 판정을 위한 조건으로 아래와 같은 조건을 사용하였다.

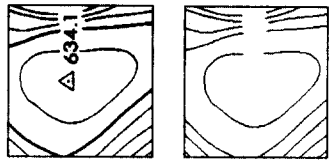
- 방향성분의 변화가 급격하지 않은 경우
- 모서리에서 시작하고, 화소 수가 50 이상인 경우
- 모서리에서 시작하고, 모서리에서 끝나는 경우
- 모서리에서 시작하고, 화소수가 10 이상이고, 모서리에서 끝나지 않는 경우중에서 일정한 방향으로만 진행하는 경우
- 모서리에서 시작하지는 않지만 화소수가 70 이상인 경우

2.4 끊어진 등고선의 연결점 찾기

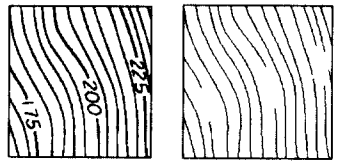
지도에서 입력받은 데이터를 세선화 과정을 거쳐 등고선 데이터와 비 등고선 데이터를 분리해 냈다. 이번 절에서는 따로 분리되어 있는 등고선 데이터들을 연결하기 위해 연결 가능한 여러 가지 끝점들 중에서 올바른 끝점을 찾아내어 연결할 수 있는 여러 가지 방법들을 소개한다.

2.4.1 끊어진 등고선 예

등고선 데이터와 비 등고선 데이터를 분리하는 과정에서 등고선이 끊어지는 유형을 보면 심볼과 등고선의 겹침에 의한 끊어짐, 등고선의 고도를 나타내는 숫자에 의한 끊어짐, 등산로와 등고선의 겹침 등에 의한 등고선의 끊어짐이 발생하였다. 이러한 경우를 (그림 5)와 (그림 6)에 나타내었다.

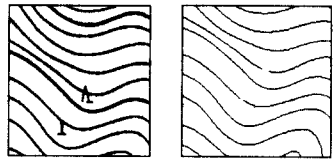


(a) 정상 고도를 표시하는 숫자에 의한 끊어짐

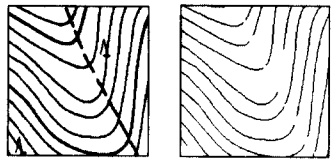


(b) 보통 고도의 표현에 의한 끊어짐

(그림 5) 숫자 데이터에 의해 등고선이 끊어진 예



(a) 심볼에 의한 끊어짐



(b) 등산로에 의한 끊어짐

(그림 6) 심볼들에 의해 등고선이 끊어진 예

(그림 5)에서 보면 같은 고도 데이터에 의한 끊어짐이라도 둘간의 차이가 명확한 것을 볼 수 있다. (그림 5(a))와 같이 정상 부근의 숫자 데이터에 의한 등고선의 끊어진 형태는 여러 개의 등고선들이 짧은 간격으로 동시에 끊어지는 것을 볼 수 있고, (그림 5(b))와 같은 보통의 고도 데이터에 의한 등고선의 끊어짐은 끊어지는 등고선의 간격이 넓은 반면에 여러 개의 등고선이 끊어지는 것이 아니고 한 두 개의 등고선만 끊어짐을 알 수 있다. (그림 6)의 심볼들에 의한 등고선의 끊어짐을 보면, (그림 6(a))와 같은 보통 심볼에 의한 끊어짐은 일반적으로 고도 데이터보다는 좁은 간격

으로 끊어지고, (그림 6(b))와 같은 등산로에 의한 끊어짐보다는 넓은 간격으로 끊어짐을 알 수 있다.

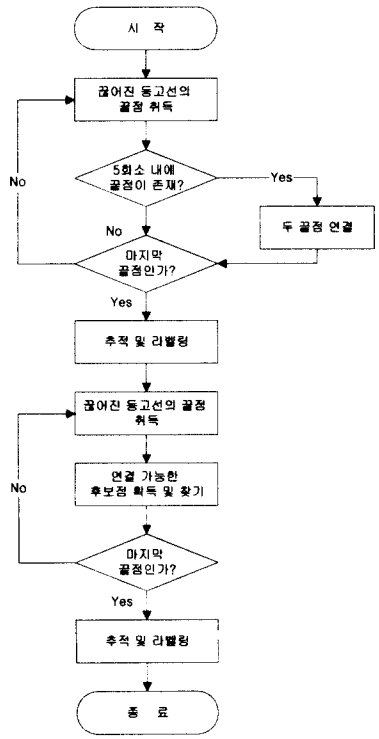
2.4.2 연결점을 찾기 위한 고려 사항

본 절에서는 끊어진 등고선에서 연결점을 찾기 위해서 필요한 몇 가지 요소들을 소개하도록 하겠다.

- 고려해야 하는 요소
  - 끊어진 등고선들의 끝점 좌표
  - 끝점에서 뒤로 10 화소부터 끝점까지의 방향성분 데이터
  - 끝점에서 일정 영역(-70~+70) 내에서 끊어지지 않은 이웃 등고선에 대한 정보

2.4.3 연결점을 찾기 위한 흐름도

끊어진 등고선에 대한 연결점을 찾기 위한 전체적인 흐름은 먼저 후보점 중에서 5 화소 미만으로, 아주 가까이 존재하는 후보점은 무조건 연결시키고, 모든 연결이 끝나면 다시 추적과 라벨링 과정을 거쳐서 -70~70 사이에 존재하는 후보점들을 고려해 연결점을 찾는다. 이러한 과정은 (그림 7)에 나타나 있다.



(그림 7) 등고선의 연결점을 찾기 위한 흐름도

2.4.4 끊어진 등고선의 형태별 연결점을 찾기 위한 방법

등고선 데이터와 비 등고선 데이터를 분리하는 과정에서 지도 영상내의 모든 흑화소들은 일정한 순서로 라벨링 되어있기 때문에 등고선 데이터의 라벨 번호와 심볼이나 데이터의 라벨 번호를 모두 알 수 있게 된다. 본 절에서는 끊어진 등고선의 연결점을 찾기 위해 등고선이 끊어진 경우에 따른 해결방법을 보일 것이다.

- 5 화소 미만의 거리에 후보점이 존재하는 경우

등고선의 일반적인 심볼에서도 간혹 나타나는 경우가 있지만 대부분은 등산로에 의해서 등고선이 끊어진 경우이다. 이렇게 가까운 거리에 후보점이 존재하면 연결점일 확률이 높기 때문에 방향성분 등을 고려해서 연결 가능한 방향성분이면 연결점으로 선택한다.

- X, Y 축방향으로 ±70 화소 사이의 후보점이 존재하는 경우

끊어진 등고선의 연결점을 효과적으로 알아내기 위해 등고선 영상 내에 존재하는 전체 끝점들에 대해 고려하는 것보다 끊어진 등고선의 끝점을 중심으로 X, Y축 방향으로 ±70 화소 내에 존재하는 끝점들을 고려하였다.

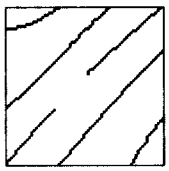
탐색 영역내에 존재하는 등고선의 끝점들 중에서 좀 더 후보점의 숫자를 줄이기 위하여 끊어진 등고선의 끝점에서 양쪽 방향 즉, 등고선의 진행방향에 대해 직각 방향으로 영역 내에서 끊어지지 않은 등고선의 라벨을 찾아내고 영역내에 존재하는 끝점들의 양쪽 방향으로 영역내에서 끊어지지 않는 등고선의 라벨을 찾아낸다. 이렇게 찾아낸 두 등고선의 라벨을 서로 비교하여 같은 등고선의 라벨을 가지고 있다면 그 후보점은 연결 가능한 점이 된다. 이렇게 해서 연결이 가능한 후보점들의 유형을 (그림 8)에 나타내었다.

- 후보점이 한개 존재하는 경우

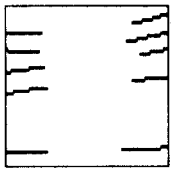
후보점이 한 개만 존재하는 경우에 대부분 두 끝점이 연결을 해야하는 점들이다. 하지만 최악의 경우를 고려하여 두 끝점의 방향성분과 라벨성분 등을 고려하여 이상이 없으면 연결점으로 결정한다.

- 후보점이 여러개 존재하는 경우

(그림 8(b))와 같이 끊어진 등고선 끝점의 후보점이 여러개 존재할 경우에는 각 끝점까지의 등고선의 방향성분을 고려해서 끊어진 등고선의 끝점 방향과 반대 방향의 등고선의 끝점이 후보점이 된다. 예를 들



(a) 연결할 후보점이 한개 존재하는 경우



(b) 연결할 후보점이 여러개 존재하는 경우

(c) 연결할 후보점이 없는 경우

(그림 8) 끊어진 등고선의 후보점의 존재 형태

어 끊어진 등고선 끝점의 방향성분이 3의 방향이라면 후보점의 방향은 6, 7, 8정도의 방향으로 접근해야 연결 가능한 후보점이 된다. 이렇게 하면 (그림 8(b))의 예에서 후보점의 개수가 9개에서 5개로 줄어들게 된다. 끊어진 등고선의 끝점에서 나머지 5개의 후보점들 중에 한 점에 직선을 그린다. 그렇게 되면 직선을 기준으로 양쪽으로 점들이 나뉘어 지게 되는데 이 나뉘어진 후보점들 위 숫자를 비교하여 보면 양쪽 모두 짝수개의 후보점이 존재하게 되는 직선이 생기게 될 것이다. 그러면 이 후보점이 바로 연결점이 된다.

• 후보점이 존재하지 않는 경우

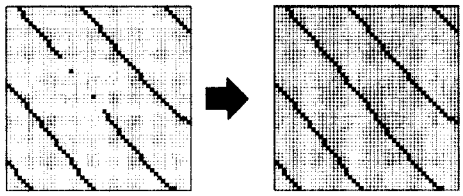
(그림 8(c))와 같이 등고선 끝점의 주변에 모서리만 존재하고 후보점이 없는 경우가 있다. 이러한 경우는 모서리를 만날때까지 끝점의 방향 성분으로 진행을 한다. 이렇게 진행하여 끝점을 결정한다.

2.5 Bezier 곡선을 이용한 등고선의 연결

Bezier 곡선은 다항식 함수에 기반을 두고 자유곡선의 표현에 전형적으로 사용되는 방법으로 n+1개의 조정점에 의해서 정의되는 n차의 Bezier 곡선의 매개변수 함수는 $Q(t) = \sum_{i=0}^{n} V_i \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-1}$이고, V_i는 조정점이고, 함수에서 n은 Bezier 곡선을 표현하기 위한 조정점의 개수이고, t는 $0 \le t \le 1$의 값이다.

2.4절에서 끊어진 등고선을 이어주기 위한 양쪽 끝점을 성공적으로 구했다. 하지만 이렇게 구해진 두 개의 점만으로는 Bezier 곡선을 사용해서 연결할 수 없다. 그러므로 Bezier 곡선을 나타내기 위해서 두 개의 추가 조정점을 더 찾아야 한다[8-11]. 물론 조정점의 숫자가 많으면 많을수록 좀 더 정확한 곡선 모양이 나오겠지만 Bezier 곡선의 특성상 차수가 너무 높으면 많은 계산량과 높은 차수에 따른 식이 복잡해지기 때문에 두 개의 추가 조정점만을 구해 끊어진 두 등고선을 연결하도록 하였다.

세선화된 등고선은 급격한 변화를 가지지 않는다는 특징을 가지고 있는데 착안하여, 끊어진 두 등고선 연결을 위해 사용했던, 각 끝점의 방향성분을 사용하여 추가 조정점을 구한다. 먼저 끊어진 두 등고선의 끊어진 거리가 항상 일정한 것이 아니고, 숫자로 인해 등고선이 끊어진 경우에는 50~60 화소 정도로 가장 멀리 떨어져 있고, 심볼에 의해 끊어진 등고선의 거리는 10 화소 이내인 경우도 존재한다. 그러므로 추가 조정점은 두 끝점에서 각자 서로의 방향으로 1/3지점까지 진행한 점의 좌표를 조정점으로 정하였다. (그림 9)는 베지어 곡선의 조정점을 얻은 예이다.



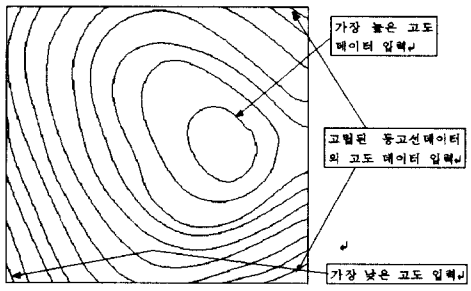
(그림 9) Bezier 곡선의 조정점 얻기

2.6 고도 데이터 설정 방법

등고선 데이터에서 3차원 디스플레이가 가능한 3차원 데이터를 생성시키기 위해서는 등고선의 고도성분을 표시하는 숫자의 인식이 필수적이다. 등고선 내의 고도를 나타내는 숫자성분은 여러 형태로 기울어져 있고, 심지어는 뒤집어진 경우도 존재한다. 또, 등고선의 숫자 성분은 심볼들에 비해 상대적으로 등고선의 끊어진 거리가 길다는 특징을 가지고 있다. 이러한 여러 가지 복잡한 이유는 등고선 위에 존재하는 숫자 성분의 인식에 어려움을 가중시킨다.

본 논문에서는 등고선의 숫자 성분을 자동적으로 인식하는 방법 대신에 사용자와의 대화식으로 등고선의 숫자성분을 입력하여 등고선의 고도 값을 처리하도록

하였으며, 고도 정보를 입력하는 방법을 (그림 10)에 나타내었다.



(그림 10) 등고선의 숫자 입력 방법

먼저 입력하는 등고선은 가장 높은 등고선의 고도와 가장 낮은 등고선의 고도 그리고 고립되어 있는 등고선만을 입력한다. 이렇게 몇 가지의 고도 정보만 입력한 상태에서 나머지 입력되지 않은 모든 등고선의 고도에 관한 정보를 얻는 방법은 다음절에서 설명하도록 한다.

2.7 3차원 수치지형도 구축 방법

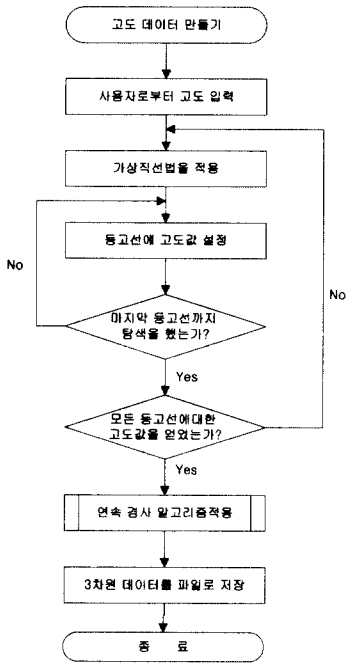
GIS 분야에서 3차원 수치 지형도라 함은 수치 지형(DEM : Digital Elevation Map) 모델을 의미한다. 최초의 수치 지형 모델 개념은 1950년대 MIT 공대에서 도로설계에 따른 설계계산에 있어 지형을 수량화할 필요성과 유효성을 제시한 것이 그 시초라 볼 수 있다. 수치 지형 모델이란 최초 지형의 수치적 표현에 따른 단면의 높이만을 의미했으나, 현재에 와서 수치 지형 모델은 그 정의에 있어 보다 일반화되어 격자화 및 비격자화 데이터 모두를 언급하는 추세이다. 하지만 본 절에서는 등고선에서 얻은 고도 값을 바탕으로 모든 등고선의 높이를 등고선의 시작점과 끝점 그리고 방향성을 이용한 개략적인 등고선 모양의 세 가지 요소와 고도가 입력된 두 개의 등고선을 기준으로 해서 모든 등고선의 고도 값을 찾고, 등고선이 없는 빈 영역에 등고선 사이의 새로운 고도 값을 생성시키는 3차원 등고 데이터의 생성에 관한 작업을 수행한다[12].

먼저 영상내의 모든 등고선 데이터들은 세선화되었고, 모든 심볼들이 제거되었고, 이로 인해 끊어진 등고선은 Bezier 함수를 통해서 연결되었다. 그러므로 폐곡선 모양을 한 정상 부근을 제외하고는 모든 등고선 데이터들은 시작점과 끝점이 모두 모서리에 존재하게 된다. 이점을 이용하여 입력된 두 개의 고도 데이터중에 높은 고도 데이터의 시작점과 끝점에서 각자 높은 고도 방향 모서리로 탐색을 하여 다음 등고선을 찾는 방법으로 다음 고도 등고선을 찾아낸다.

이러한 방법으로 모서리에 시작점과 끝점을 가지고 있는 모든 등고선 데이터들의 고도를 얻고, 폐곡선으로 된 정상부근의 고도값은 폐곡선으로 된 등고선 데이터는 항상 시작점과 끝점이 같다는 점과 등고선 최대 X, Y 방향 좌표와 최소 X, Y 방향 좌표를 이용해서 고도 데이터를 얻는다. 여기까지의 모든 과정이 끝나면 512×512 영상내의 모든 등고 데이터들은 높이 정보를 가지고 있게 된다. 하지만 이것만으로도 어느 정도 3차원 데이터의 성질은 가지고 있지만, 등고선이 없는 영역은 3차원 정보가 전혀 없게 된다. 그래서 이러한 등고선과 등고선 사이의 공간에 고도 정보를 보간해주는 작업을 통해서 완전한 3차원 데이터가 만들어지게 된다.

2.7.1 3차원 고도정보 생성을 위한 흐름도

(그림 11)의 흐름도는 등고선 지도에서 3차원 수치



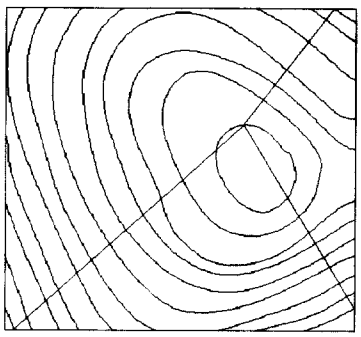
(그림 11) 3차원 고도정보 생성을 위한 흐름도

지형도를 생성하기 위한 마지막 단계로 세선화와 라벨링된 등고데이터를 연속경사 알고리즘을 사용하여 3차원 지형도를 생성해 주는 알고리즘의 흐름도이다.

2.7.2 등고선 사이의 3차원 데이터 보간

● 입력된 등고선 이외에 등고선의 고도값 취득

먼저 입력된 등고선의 고도값들 중에서 가장 높은 고도값을 시작점으로 놓고, 다음에 입력된 낮은 고도의 데이터들을 끝점으로 설정한다. 이렇게 시작점과 끝점으로 설정한 뒤 두 점을 연결하는 가상 직선을 (그림 12)와 같이 그린다.



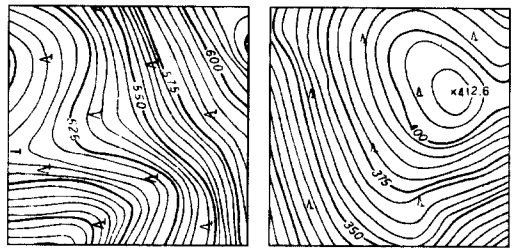
(그림 12) 등고선 고도 탐색을 위한 가상선

이렇게 그려진 가상의 직선은 정상에서 낮은 방향으로 등고선을 찾아내기 위한 탐색선이 된다. 이 직선 방향으로 탐색을 진행하면서 배경 데이터가 아니고, 등고선에 고도값을 가지지 않은 등고선에 대해서 차례로 고도값을 넣어주게 된다. 이러한 방법으로 나머지 고립된 등고선 라인에 대한 처리를 모두 끝내면 512×512 영상내의 모든 등고선 데이터는 고도값을 갖게 된다.

모든 등고선의 고도값이 정해지면, 등고선과 등고선 사이의 영역에 대한 고도값을 보간해 주어야 한다. 본 논문에서는 양쪽 등고선의 높이와 등고선과 화소간의 거리 비례 관계를 이용하는 Lebert와 Olsen의 연속 경사 알고리즘[12, 13]을 사용하여 등고선 사이 영역을 보간하였다.

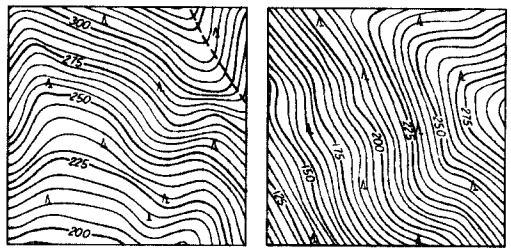
3. 실험 결과 및 분석

실험 환경은 IBM PC, MMX 200 Mhz의 컴퓨터를 사용하였고, 등고선 지도를 입력받기 위한 스케너는 HP SCANJET 3C를 사용하였으며, 시스템 OS는 Windows 95를 사용하였고, Microsoft Visual C++ 5.0 컴파일러를 사용하여 지도영상에서 3차원 고도 정보를 추출하는 알고리즘을 실험하였다. 실험에 사용된 입력 영상은 예산지역의 1:50,000 축척의 지형도를 스케너를 통해 그레이 영상으로 입력받았다. 이렇게 디지털화 된 그레이 영상을 단순하게 처리하기 위하여 임계치를 170~220 사이의 값으로 이진화를 수행하였다. 여기서 임계치를 170~220사이의 값을 사용한 이유는 입력된 그레이 영상 내의 등고선 성분이 끊어지지 않고 이진화로 인해 생기는 잡음의 영향을 최소화하기 위해 이러한 임계치를 사용하였다. (그림 13)은 이러한 전처리 과정을 통해 입력된 원영상들이다. 입력에 사용된 영상들은 가로, 세로, 대각선, 정상 등을 포함하는 등고선의 여러 가지 형태를 나타낸다.



(a) 가로 형태로 된 등고선 영상

(b) 세로 형태로 된 등고선 영상



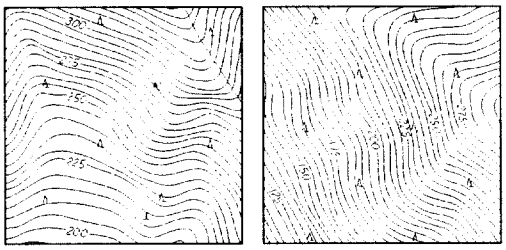
(d) 정상을 가진 등고선 영상

(c) 대각선 형태로 된 등고선 영상

(그림 13) 입력 영상

(그림 13)과 같이 입력된 이진영상들은 선, 심볼, 숫자 등의 화소 두께가 규칙적이지 않다. 그래서 이러한 입력 이진영상을 (그림 14)와 같이 세선화 과정을 거

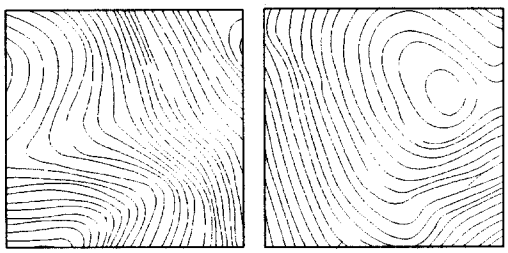
쳐, 서로의 성분을 비교, 분석, 탐색하기 용이하도록 영상내의 모든 선 성분의 두께를 한 화소로 줄여준다. 세선화 과정은 한번에 끝나는 것이 아니고, 한번 세선화된 영상을 같은 방법으로 반복적으로 수행하여, 세선화된 화소수의 값이 변하지 않을 때까지 반복한다. 여기서 세선화된 화소수가 더 이상 변하지 않는 이유는 더 이상 세선화될 수 있는 화소가 없기 때문이다. 즉, 모든 선성분이 한화소의 두께를 가진다는 의미이다.



(a) (그림 13(a))의 세선화 영상　　(b) (그림 13(b))의 세선화 영상

(그림 14) 입력 영상의 세선화된 결과 영상

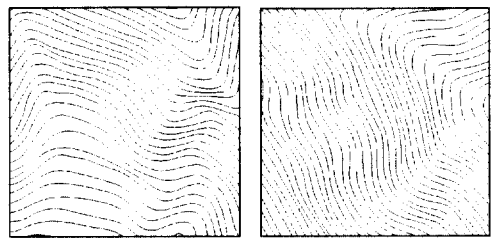
이렇게 세선화된 영상은 앞에서 언급했듯이 영상내의 모든 데이터들이 한 화소로 이루어져 있으므로 추적을 통한 라벨링 과정을 거치면서 심볼, 숫자, 등고선의 성분으로 데이터들을 나눌 수 있게 된다. (그림 15)는 등고선에서 심볼과 숫자 성분이 분리된 등고선을 나타낸다.



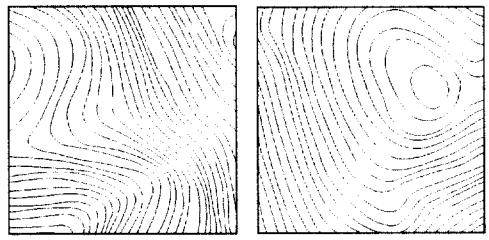
(a) (그림 13(c))의 심볼이 제거된 영상　　(b) (그림 13(d))의 심볼이 제거된 영상

(그림 15) 심볼이 제거된 세선화 등고선 영상

이렇게 기타 성분들과 분리된 등고선은 다시 한번의 라벨링 과정을 거치면서 시작점과 끝점 성분을 찾게 된다. 이 성분들은 끊어진 등고선을 연결하기 위해 사용하게 될 중요한 요소이다. 이러한 점성분과 끝점에서 뒤로 10 화소 이전의 점에서 끝점까지의 방향성분을 사용하여 등고선의 끊어진 부분을 연결하게 된다. 끊어진 등고선의 연결은 곡선 보간에 많이 사용되는 Bezier 함수를 사용한다. Bezier 함수에서 곡선을 보간하기 위해서는 시작점, 끝점, 2개의 조정점이 필요하게 되는데 앞서 언급한 시작점, 끝점을 Bezier 곡선의 시작점과 끝점으로 하고, 2개의 추가 조정점은 이전 방향성분의 방향대로 시작점과 끝점에서 진행을 하여 생성되는 두점을 사용한다. 이렇게 얻어진 4점을 사용한 끊어진 등고선의 보간 결과를 (그림 16)에 나타내었다.



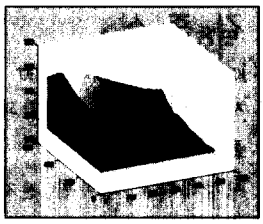
(a) (그림 13(a))의 연결 영상 (b) (그림 13(b))의 연결 영상



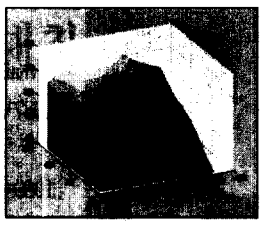
(c) (그림 13(c))의 연결 영상 (d) (그림 13(d))의 연결 영상

(그림 16) 끊어진 등고선을 연결한 결과 영상

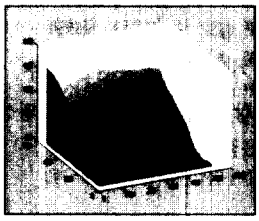
이렇게 하여 생성된 등고선 데이터들은 등고선만 존재하는 데이터가 된다. 등고선만 존재하는 데이터에서 대화 방식으로 가장 높은 등고선과 가장 낮은 등고선 그리고 고립된 등고선들의 고도를 입력받아 모든 등고선에 대해 고도값을 구하고, Lebert와 Olsen의 연속 경사 알고리즘을 사용하여 등고선이 존재하지 않는 나머지 영상의 고도정보를 보간하는 방법으로 3차원 데이터를 생성하였다. (그림 17)은 생성된 고도정보들을 3차원으로 표시한 결과들이다.



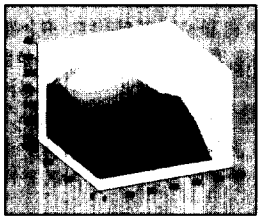
(a) (그림 13(a))의 3차원 영상



(b) (그림 13(b))의 3차원 영상



(c) (그림 13(c))의 3차원 영상



(d) (그림 13(d))의 3차원 영상

(그림 17) 3차원으로 표시된 결과 영상

4. 결 론

본 논문에서는 등고선 지도에서 취득한 지도 영상을 세선화하여 전체적으로 추적하는 방법으로 등고선과 이외의 성분들을 분리해내고, 끊어진 등고선 영상을 Bezier 함수를 사용하여 연결하고, 연결된 등고선을 3차원 수치 지형도 데이터로 만드는 알고리즘을 제한하였다. 기존의 세선화를 통한 등고선 인식의 방법은 세선화의 오류로 인하여 등고선이 끊어지고, 그로 인해 추적에 문제점이 발생하고 또, 등고선 위에 존재하는 심볼들의 인식에 문제점이 있었다. 그리고 이러한 등고선을 추출하였어도 고도값을 가진 3차원 정보가 전처리 과정으로 존재하는 상태에서 3차원 데이터 처리를 하는 부분적인 논문이 대부분이었다. 하지만 본 논문에서는 등고선의 왜곡이 적은 상태에서 끊어지지 않는 세선화 알고리즘을 적용하여 등고선 추적의 문제점을 제거하였고, 심볼들의 분리 또한 잘되고 있음을 실험을 통해 알 수 있었다. 그리고 지형도에서 스캐너를 통한 등고선 입력에서부터 마지막단 계인 3차원 표현 과정까지 모든 처리를 수행하였다.

등고선 위에 존재하는 고도성분을 나타내는 숫자들은 보통 문서 인식에 사용되는 숫자 인식의 방법과는 다르게 숫자 성분의 기울어진 정도가 모든 각도에서 존재하기 때문에 숫자의 자동인식 과정 대신 사용자와의 대화 방식으로 등고선의 고도를 입력받아 3차원 데이터 처리를 수행하였다. 이러한 과정은 추후에 방향성에 무관한 숫자 인식의 방법을 사용하여 자동 처리가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 박기석 편저, GIS 지리정보 시스템, 동서출판사, 1995년.

[2] 최관순, "지도의 자동적인 벡터화와 지도영상 이해에 관한 연구", 서강대학교 박 사학위 논문, 1993년.

[3] 한낙희, "가중치를 이용한 병렬 세선화 알고리즘", 인지과학회 논문지, Vol.7, No.1, pp.5-35, 1996년.

[4] 원남식, 손윤구, "8-이웃 연결값에 의한 병렬세선화 알고리즘", 한국 정보과학회 논문지, 제2권 5호, pp.701-710, 1995년 9월.

[5] 원남식, 손윤구, "4 인접값을 이용한 병렬 세선화 알고리즘", 한국정보과학회 논문지, 제22권 7호, pp. 1047-1056, 1995년 7월.

[6] 이경호, "지리도면의 자동 벡터화를 위한 영상세선화 알고리즘의 체계적인 성능 평가", 한국정보처리학회 논문지, 제4권 12호, pp.2960-2970, 1997년 12월.

[7] 손동일, 권영빈, "잡음에 강한 세선화 알고리즘", 인지과학회 논문지, Vol.2, No.2, pp.341-358, 1990년.

[8] 이현찬외 2명 공역, 컴퓨터 그래픽스 및 형상모델링, pp.276-283, 1996년.

[9] Josef Hoschek and Dieter Lasser, *Computer Aided Geometric Design*, A. K. PETTER, pp.118-142, 1993.

[10] F. V. Dam and F. Hughes, *Computer Graphics: Principles and Practice*, Addison Wesley, pp.488-491, 1990.

[11] Rod Salmon and Mel Slater, *Computer Graphics Systems & Concepts*, Addison Wesley, pp.350-358, 1987.

[12] 한국소프트웨어 개발연구조합, 3차원 DTM용 소프트웨어 개발, 과학기술처 연구보고서, 1992년.

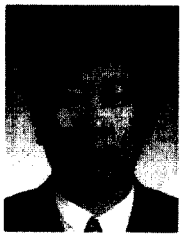
[13] Leverl, F, "Photogrammetric Interpolation," *PE & RS*, Vol.41, No.5, May, 1975.

[14] L. Lam and C. Y. Suen, "An Evaluation of Parallel Thinning Algorithms for Character Recognition," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, Vol.17,

No.9, pp.914-919, Sep. 1995.
[15] L. Lam and S. W. Lee, and C. Y. Suen, "Thinning methodologies A Comprehensive Survey," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, Vol.14, No.9, pp.869-885, Sep. 1992.

김 해 정

e-mail : rudry@dbtel.co.kr
1997년 호서대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1999년 호서대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1999년~현재 (주)대부통신기술 기술연구소 주임연구원
관심분야 : GIS, 영상인식, 영상압축, 컴퓨터 비젼 등



김 준 식

e-mail : joonskim@office.hoseo.ac.kr
1987년 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1989년 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1993년 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1993년~1994년 서강대학교부설산업기술연구소 박사후 연구원
1994년~현재 호서대학교 전기공학부 전자전공 교수
관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 컴퓨터 비젼, 영상인식, GIS 등