

디지털 지형 모델 분석을 위한 효과적인 TIN의 속성

정성훈^{*} 김시완 최미나 이기준

부산대학교 전자계산학과

{ shjung, swkim, mnchoi }@quantos.cs.pusan.ac.kr, lik@hyowon.cc.pusan.ac.kr

A property of good TIN

for an analysis of a digital terrain model

Sung-Hoon Jung^{*} Si-Wan Kim Mina Choi Ki-Joune Li

Dept. of Computer Science, Pusan National University

요약

디지털 지형 모델은 크게 세가지로 구분되는데 이들을 이용하면 여러 가지 분석 작업을 할 수 있다. 그 중 하나인 TIN은 데이터 양이나 계산의 정확도 면에서 커다란 장점을 가진다. 그런데 TIN을 구성하고 있는 삼각형이 기형적인 모형을 하고 있거나 분석 작업에 필요한 정보가 제대로 구성되지 않으면, 정확한 분석 작업을 수행 할 수가 없다. 특히 등고 데이터로부터 점 데이터를 추출해 TIN을 구성하게 되면 그러한 현상이 두드러지게 나타난다.

본 논문에서는 TIN을 생성할 때 이러한 단점을 보완하기 위해 좋은 TIN이 가져야 하는 속성을 나열하고 그러한 속성을 가질 때 어떤 점에서 좋은지 서술하고자 한다.

1. 서론

디지털 지형 모델은 크게 세가지 방법으로 표현된다. 등고선 모델(Contour Line Model), 격자형태의 DEM 모델(Digital Elevation Model), 그리고 TIN 모델(Triangulated Irregular Network Model)이 그것이다. 이 중 TIN은 데이터 크기가 작고 계산의 정확도 면에서 장점으로 인식되기 때문에 여러 가지 분석 작업에 많이 사용된다. 이러한 분석 작업을 하기 위해서는 계곡(Valley)이나 능선(Ridge) 등, 꼭 필요한 정보가 있는데 이러한 정보 추출을 위해서는 TIN이 제대로 구성이 되어야 한다. 이러한 정보가 부족하면 정확한 분석을 할 수가 없거나 복잡한 과정을 거쳐 구해야 하는 단점이 있다.

이러한 면에서 볼 때, 단순히 등고선으로부터 추출된 점으로 생성된 TIN은 위에서 제시한 조건을 만족하기 어렵다. 등고선으로부터 생성된 TIN으로부터 계곡 네트워크나 능선 네트워크를 추출해 보면, 그것이 끊어져 있는 경우가 많아 일반적으로 우리가 생각하고 있는 네트워크의 구조를 띄지 않는 결과가 나온다. 이렇게 연결성이 결여된 네트워크를 배수 분석에 사용하기 위해서는 또 다른 알고리즘을 사용하여 보정하거나 별도의 작업을 통해 연결성이 보장된 네트워크를 구성해 주어야 한다.

본 논문에서는 등고선에서 추출된 점으로 TIN을 구

성할 때 이러한 단점을 극복하기 위해 몇 가지 고려해야 할 사항들을 제시하고자 한다. 연구에서 제시한 사항을 고려해서 생성한 TIN은 배수 분석에 적은 계산량으로 보다 정확한 분석 기능을 제공 할 수 있을 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 지금까지의 관련 연구, TIN에 대해 살펴본다. 3장에서 네트워크의 연결성을 보장하기 위해 TIN은 어떠한 속성을 가져야 하는지 알아보고, 그 속성을 갖기 위해 몇 가지 방법을 제시한다. 그리고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

본 연구에서는 TIN을 이용한 디지털 지형 모델을 사용하였다[2]. TIN 모델은 불규칙하게 분포되어 있는 점 데이터를 삼각형화(Delaunay Triangulation) 방법을 통해 삼각형의 형태로 연결하여 전체 지형을 표현하는 방식이다. 이러한 TIN은 벡터 구조를 띄고 있고, TIN을 구성하는 삼각형 데이터가 좌표로 저장되기 때문에, 계산에 의하여 삼각형 내부의 경사의 크기나 방향 등을 산출해 낼 수 있다. 그리고 다른 데이터 모델에 비해 적은 양의 데이터로 여러 형태의 지형 표현이 가능하다. 즉, 완만한 지형의 경우는 큰 면적의 삼각형을 이용하여 밀도를 낮춰서 표현하고, 복잡한 지형의 경우는 작은 면적의 삼각형을 이용하여 밀도를 높여 표현 함으로

써 지표면 형태를 비교적 정확하고 효과적으로 지표면을 나타낼 수 있다.

일반적으로 TIN을 생성 할 때 등고선 데이터를 많이 이용하는데, 이때 제약적 삼각형화(Constrained Delaunay Triangulation) 방법을 사용한다[1,5]. 이 방법은 삼각형화 작업 후에도 반드시 존재해야 하는 선 데이터를 삼각형의 한 변으로 남겨두는 제약을 적용하는 것이다. 이러한 방법으로 TIN을 구성하는 것은 등고선 데이터의 삼각형화 작업 후에도 등고선 정보를 유지하기 위해 필요한 작업이다. 하지만 이 방법으로 생성한 TIN에서 배수 분석을 위해 중요한 정보인 계곡과 능선을 추출하면, 기존의 등고선 데이터로부터 추출되는 그것과 다른 결과를 보인다. 즉, 계곡과 능선이 중간중간에 많이 끊어져 분석작업에 어려움이 따른다.

따라서 단순한 삼각형화 방법을 이용하여 TIN을 구성하는 것이 아니라 부가적인 방법이 필요하다는 것을 알 수 있다. 3장에서 등고선 데이터로 삼각형화를 할 때 추가적으로 고려해야 할 사항을 알아보고, 필요한 사항을 만족하기 위한 알고리즘 몇 개를 제시하겠다. 이를 위해 배수 분석 작업에서 중요하게 고려해야 하는 사항인 봉우리(Peak), 웅덩이(Pit), 능선(Ridge), 계곡(Valley)에 대한 정의가 필요한데 그것은 기존의 것을 그대로 사용하기로 한다[2].

3. 지형 분석을 위한 효과적인 TIN의 속성

지형을 TIN으로 만들기 위해 보통 등고선 데이터를 가장 많이 사용한다. 등고선 데이터를 TIN으로 변환해서 사용할 경우 일반적으로 제약적 삼각형화 방법을 사용한다. 이는 삼각형화 작업을 할 때 등고선의 선 정보를 잃지 않게 하기 위해서 이다. 그런데 이 방법만으로 등고선 데이터를 TIN으로 변환하게 되면 분석작업에 필요한 중요한 정보들, 특히 능선이나 계곡 네트워크 제대로 구성되지 않아 문제가 된다. 본문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 두 가지 고려해야 할 사항을 서술하도록 하겠다.

3.1 효과적인 TIN의 속성

우리가 TIN을 사용하는 목적은 2차원으로는 할 수 없는 분석을 하기 위함이다. 이러한 분석으로는 배수 네트워크(Drainage Network)[4], 가시권 분석(Visibility Analysis)[3], 높이 지도(Height Map), 경사 지도(Slope Map), 배수 분석(Watershed Analysis) 등 많은 것들이 존재한다.

그러나 TIN을 이용해서 이러한 분석을 할 때 지금까지 개발되어진 방법을 적용하려면 많은 예외적인 경우가 발생한다. 대표적으로 배수 네트워크를 만들 때 계곡이 눈으로 보기에는 연결되어야 하지만 실제 만들어진 TIN에서는 연결되지 않는 부분이 많이 발생한다.

이러한 문제들은 TIN을 만들 때 다음 두 가지 조건을 잘 고려하면 대부분 해결되어진다.

조건 1. 계곡과 능선을 보장한다.

조건 2. 각 삼각형을 정삼각형에 가깝게 한다.

3.2절에서 조건 1을, 3.3절에서 조건 2에 대해 자세히 설명하도록 하겠다.

3.2 계곡과 능선

TIN에서 2개의 삼각형이 만나는 모든 선은 계곡, 능선, 경유 세가지 중 하나이다. 계곡은 선 양쪽의 삼각형이 모두 선보다 높을 때로 양쪽의 삼각형에 떨어지는 물이 모두 선쪽으로 흐르는 경우이다. 능선은 양쪽의 삼각형이 모두 선보다 낮을 때로 양쪽의 삼각형에 떨어지는 물이 모두 선의 반대쪽으로 흐르는 경우이다. 마지막으로, 경유는 한쪽 삼각형은 높고 한쪽 삼각형은 낮은 경우로 높은 쪽 삼각형에 떨어지는 물은 선을 지나서 반대쪽 삼각형 쪽으로 흐르고 낮은 쪽 삼각형에 떨어지는 물은 그냥 선의 반대쪽으로 흐르는 경우이다.

이 때 계곡이나 능선이 되는 선들은 일반적으로 양 끝점에서 만나는 선들이 다시 계곡이나 능선이 되어야 한다. 그리고 계곡의 끝은 항상 전체 영역의 경계선이거나 웅덩이이어야 한다. 그러나 실제로 만들어지는 TIN에서는 이러한 조건을 잘 만족하지 못한다. 이것은 원래 데이터에 계곡이나 능선을 이루는 점이 빠져서 일수도 있고 필요 없다고 생각되는 점 (점과 점 주위의 세 점이 한 평면 위에 있는 경우)으로 생각되어져 삭제되었을 수도 있다.

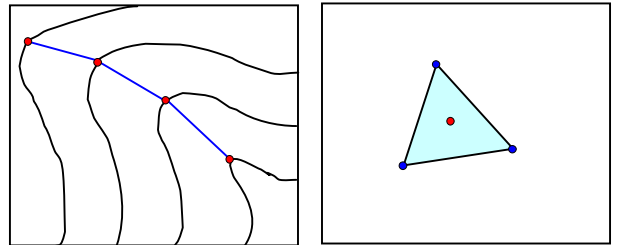


그림 1(가) 계곡을 이루는 점들

그림 1(나) 한 평면위에 있는 네 점들

그림 1. 삭제되면 안되는 점의 예

그림 1(가)와 같이 계곡을 이루고있는 점들은 TIN으로 바뀌었을 때도 계곡을 이루고 있어야 한다. 그러나 데이터가 만들어 질 때 이 점들이 빠져있었다면 계곡은 끊어지게 될 것이다. 또한, 그림 1(나)와 같이 점 p가 점 a, b, c가 이루는 평면 위에 있다면 TIN의 구조상 p는 필요 없는 점 이므로 삭제해도 무방 하지만 점 p가 계곡이나 능선을 이루는 점이라면 절대 삭제하면 안 된다. 삭제하면 그로 인해 계곡이나 능선이 끊어지게 될 것이기 때문이다.

그러나 이러한 점들이 지워지지 않고 남아 있다고 해서 계곡이나 능선을 이루어야 할 점들이 항상 이어지는 것은 아니다.

그림 2에서와 같이 평면 a, b는 단적인 예이긴 하지

만 하나의 등고선 위에 있는 세 점이 하나의 삼각형을 이루고 있다. 이 경우 직선 l 이 사라지게 됨으로 계곡이 끊어지게 된다. 그러므로 계곡과 능선을 완전히 보존하기 위해서 계곡을 이루고 있는 선들을 삼각형화 이전 단계에 하나의 선들로 만들어 두어야 할 것이다. 그리고 TIN을 생성할 때 등고선과 능선, 계곡 네트워크를 포함하는 제약적 삼각형화를 적용하면 된다.

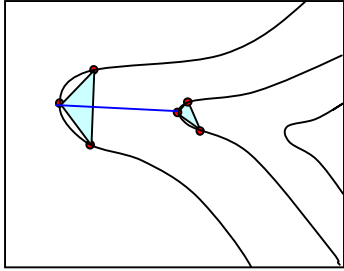


그림 2. 높이가 같은 삼각형

3.3 정삼각형성

지금까지 TIN을 생성할 때 사용하는 데이터로 등고선 데이터가 가장 많이 사용되어졌다. 그러나 이러한 등고선 데이터는 TIN을 만들기에는 매우 부적절한 데이터라 할 수 있다.

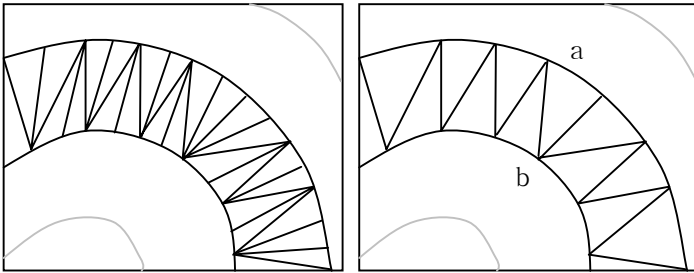


그림 3(가) 제약적 삼각형화 의 예

그림 3(나) 점을 제거한 후 제약적 삼각형화 한 예

그림 3. 불필요한 점을 제거 한 후 삼각형화 한 예

그림 3(가)과 같이 등고선 a와 b를 이용하여 제한적 삼각형화를 하게 되면 매우 좁은 삼각형이 많이 생기게 된다. 그런데 이러한 삼각형들은 3.1절에서 나열한 3차원 분석에서 오차가 많아지는 원인이 된다.

3차원 분석을 위하여 TIN을 이용한 분석 툴을 만들 때 일반적으로 좌표를 위한 데이터 형으로 double을 사용할 것이다. 그러나 double이라는 데이터 형 자체가 유효자리를 가진 완벽하지 않은 수이다. 즉, double을 이용한 연산이 누적되면 누적될수록 오류가 많이 발생하게 된다. 이때 그림 3(나)처럼 삼각형의 모양이 정삼각형에 가까울수록 오류를 줄일 수 있다.

예를 들어 가시권 분석에서 가시권 영역을 구할 때 [3]가 제시한 방법을 이용하면 삼각형의 모양에 따라 잘려지는 사다리꼴의 수가 차이가 나는데 삼각형의 모양이 정삼각형에 가까울수록 전체적으로 잘려지는 사다리꼴의 수가 가장 작게 나타난다.

따라서 삼각형화 작업을 할 때에는 삼각형들의 정삼

각형성을 최대한 보장 해 주는 것이 좋으며 이를 위해 원본 데이터에서 불필요한 점을 찾아내 지우는 과정이 중요하다. 그림 3(가)를 보면 뾰족한 삼각형이 많음을 볼 수 있다. 이는 분석작업에 매우 좋지 않은 영향을 미치므로 그림 3(나)처럼 불필요한 점을 찾아내 삭제하여 그 모양을 다듬어 주는 작업이 필요하다. 불필요한 점을 찾는 작업은 3.2절에서 제시한 바와 같이 삭제되면 안 되는 점을 고려해 신중히 진행되어야 할 것이다.

4. 결론 및 향후 과제

디지털 데이터 모델은 여러 가지 분석 작업에 사용될 수 있다. 그 중 하나인 TIN은 일반적으로 등고선 데이터를 사용하여 제한적 삼각형화 방법을 통한 생성 방법이 많이 사용된다. 하지만 이 때, 예외적인 상황에 의해 여러 가지 분석 작업에 필요한 정보들이 변형되어 분석 작업에 어려움을 주는 문제가 있었다.

본 논문에서는 이런 단점을 보완하기 위해 두 가지 고려해야 할 사항을 제시 하였다. 첫 번째 조건은 계곡과 능선을 보장해 주는 것이고, 두 번째 조건은 정삼각형성을 보장해 주는 것이다. 이러한 조건을 만족하는 TIN을 생성하면 분석 작업에 용이 할 뿐만 아니라 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

향후 연구 과제로 본 논문에서 제시한 두 가지 조건을 만족하는 알고리즘을 구체화 하고 구현하는 것이다. 그리고 구현한 프로그램을 이용하여 등고선 데이터를 TIN으로 변환한 결과로 분석 작업을 하고 그 정확성을 검토하는 연구가 필요하다.

5. 참고 문헌

- [1] L. Paul Chew, "Constrained Delaunay Triangulations", In Proc. 3rd Annu. ACM Symposium on Computational Geometry, pages 215-222, 1987.
- [2] Marc van Kreveld, "Digital Elevation Models and TIN Algorithms", In Algorithmic Foundations of GIS, LNCS volume 1340, pages 37-78, Springer-Verlag, 1997.
- [3] Leila De Floriani, Paola Magillo, "Visibility algorithms on triangulated digital terrain models", International Journal of GIS, 8(1): 13-41, 1994.
- [4] Sidi Yu, Marc van Kreveld, Jack Synoeyink, "Drainage queries in TINs: from local to global and back again", In Proc. 7th Int. Symp. On Spatial Data Handling, pages 13A. 1 - 13A.14, 1996.
- [5] Leila De Floriani, and E. Puppo, "A survey of constrained Delaunay triangulation algorithms for surface representation", In G. G. Pieroni, editor, Issues on Machine Vision, pages 95-104. Springer-Verlag, 1989