

수치지형도를 이용한 DEM 자동 생성 기법의 개발

박찬수¹ · 이성규² · 서용철^{3*}

Development of an Automatic Generation Methodology for Digital Elevation Models using a Two-Dimensional Digital Map

Chan-Soo PARK¹ · Seong-Kyu LEE² · Yong-Cheol SUH^{3*}

요 약

최근 항공측량과 위성정보 기술의 급속한 발전은 방대한 지리정보 데이터의 신속한 취득을 가능케 하고 있다. 취득된 지리정보를 정확하게 표현하고 분석하기 위해서는 대용량 데이터를 실시간으로 시각화하는 기술을 필요로 하며, 실시간 시각화를 위해 LOD(Level of Detail) 알고리즘을 핵심 요소로 적용하고 있다.

본 연구는 다양한 지리정보 데이터 중 수치지형도에 포함된 등고선 데이터를 활용하여 정규화된 고도정보를 생성하는 방법으로써 TIN 생성기법을 적용하였고, 정규화된 고도 정보를 생성하기 위해서 본 연구에서는 2단계의 작업으로 구분하여 생성하였다. 먼저 수치지형도를 활용하여 TIN 데이터를 생성하고, 생성된 TIN 데이터를 이용하여 정규화된 고도정보를 생성하고자 하는 지역 크기의 2차원적 격자 배열을 생성하고, 격자 배열의 각 점과 생성된 불규칙 삼각망의 교차점을 구하여 정규화된 고도정보를 생성할 수 있다.

본 연구에서는 각 단계 별로 제한된 딜로니 삼각분할(CDT, Constrained Delaunay Triangulation) 알고리즘과 생성된 TIN 데이터와 2차원적 격자 배열 각 점의 교차점을 구하기 위해 Ray-Triangle Intersection 알고리즘을 선택하였다. 또한, DirectX API 라이브러리, Quad-Tree LOD 알고리즘 그리고 프로그램 개발언어인 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 정규화된 고도정보를 3차원 지형 실시간 시각화를 통해 3차원 지형 시뮬레이션을 하였다.

주요어 : DEM, CDT, Ray-Triangle Intersection, 등고선, 지형, 수치지형도, LOD

ABSTRACT

The rapid growth of aerial survey and remote sensing technology has enabled the rapid acquisition of very large amounts of geographic data, which should be analyzed using real-time

2007년 8월 21일 접수 Received on August 21, 2007 / 2007년 9월 21일 심사완료 Accepted on September 21, 2007

1 부경대학교 위성정보과학과 석사과정 Dept. of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

2 부경대학교 위성정보과학과 학부과정 Dept. of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

3 부경대학교 위성정보과학과 조교수 Dept. of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

* 연락처 E-mail : suh@pknu.ac.kr

visualization technology. The level of detail(LOD) algorithm is one of the most important elements for realizing real-time visualization. We chose the triangulated irregular network (TIN) method to generate normalized digital elevation model(DEM) data. First, we generated TIN data using contour lines obtained from a two-dimensional(2D) digital map and created a 2D grid array fitting the size of the area. Then, we generated normalized DEM data by calculating the intersection points between the TIN data and the points on the 2D grid array. We used constrained Delaunay triangulation(CDT) and ray-triangle intersection algorithms to calculate the intersection points between the TIN data and the points on the 2D grid array in each step. In addition, we simulated a three-dimensional(3D) terrain model based on normalized DEM data with real-time visualization using a Microsoft Visual C++ 6.0 program in the DirectX API library and a quad-tree LOD algorithm.

KEYWORDS : DEM, CDT, Ray-Triangle Intersection, Contour Line, Terrain, 2D Digital Map, LOD

서 론

최근 컴퓨터 그래픽스 기술의 발전은 대용량 지리정보 데이터의 실시간적 3차원 모델화 구현을 가능케 하였다. 실시간적 3차원 모델화 구현을 위해서는 일반적으로 규칙적인 격자행렬(grided matrix)을 통해 공간상에 나타나는 지형기복의 변화를 연속적으로 표현하는 모형(Burrough, 1986)인 DEM 데이터가 필요하다.

DEM 데이터는 3차원 지형 가시화를 통해 비행 시뮬레이션, 가상현실 등을 구현하는데 많이 이용되고 있다. 또한, 한반도 지형의 경사도 분석, 도시경관의 지형적 특성 분석 등 지형 특성을 분석 연구하는 지리학 연구(이금산 등, 2000; 한갑수, 2003), 수문학, 지구과학, 토목, 천연자원 관리, 군사적 목적 그리고 폐기물 매립지의 적지분석 등과 같은 분야에서도 광범위하게 이용되고 있다.(김성준 등, 2005; 이진덕 등, 2000). 3차원으로 구현된 지형도는 시각적으로 형상화 되어 있으므로, 무기 유도 체계 등의 특수 목적을 위해 그 활용도가 증가되고 있는 추세이다. 현재 넓은 지역의 대용량 3차원 지형정보 가시화를 위해 많은 연구가 진행 되고 있으며, 적용분야에 따라 경제적이고 정확한 지형정보를 구축하기 위한

연구가 지속적으로 이루어질 필요가 있다.

DEM 데이터의 취득방법에는 LiDAR 데이터, 고해상도 위성영상 등을 이용한 방법과 수치지형도를 이용한 방법 등이 있다. 그러나 LiDAR 데이터, 고해상도 위성영상을 이용한 DEM 데이터 취득방법은 정확도 높은 데이터를 취득할 수 있으나, 데이터 취득의 어려움과 데이터 취득에 따른 고비용 발생으로 인해 넓은 지역을 대상으로 한 3차원 모델화 구현을 하기에는 적절한 방법이라고 할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 다양한 지리정보 데이터 중 수치지형도에 포함된 등고선 데이터를 이용하여 TIN 방법으로 DEM 데이터를 생성하였다. 또한, 단순히 등고선의 점 정보만을 이용하지 않고 선분 정보를 더하여 선분을 따라 강제로 분할하는 CDT 알고리즘을 채택하여, TIN의 생성에 있어 등고선 데이터의 손실을 최소화하고 대용량의 DEM 데이터를 생성하고자 하였다.

불규칙 삼각망(TIN, Triangulated Irregular Networks)은 불규칙하게 분포된 등고선의 점을 추출하여 이들의 위치를 삼각형의 형태로 표현하는 방법으로 적은 양의 자료를 사용하여 복잡한 지형을 상세하게 나타낼 수 있다는 장점이 있다. 삼각형을 구성하는 선분의 길이는 다양하므로 복잡한 지형의 경우 작은 면적

의 삼각형을 사용하여 자료의 밀도가 높은 TIN을 구성할 수가 있고 계곡이나 골짜기 등은 자료의 밀도를 높임으로써 지표면의 형태를 비교적 정확하게 나타낼 수 있다.(김계현, 1998). 이와 같이 TIN 방법은 등고선에서 직접 DEM을 추출하는 방식에 비해 비교적 정확하게 지표면을 나타낼 수 있으므로 TIN 생성 과정을 거쳐 생성된 TIN을 이용하여 DEM을 만드는 것이 가장 이상적이라 할 수 있다.

DEM 생성

수치지형도 DXF 형식은 3차원 좌표계를 이용 있으며, 등고선의 경우에는 polyline으로 정의되어 있다. 이 등고선 데이터를 활용해 3차원 DEM 데이터를 생성하기 위해서는 선분으로 이루어진 polyline 각 선분의 X, Y좌표를 활용해 CDT 알고리즘으로 TIN을 생성하여 3차원 좌표를 가진 삼각형의 집합을 구성한다. 생성된 삼각형의 집합을 이용하여 DEM 데이터를 생성하고자 하는 영역에 대해 정규화 된 2차원적 배열의 DEM 격자(grid)를 생성하고, 2차원 평면상의 X좌표와 Y좌표를 일정한 간격으로 변형하면서 각 점들을 TIN 방법으로 생성된 3차원 삼각형에 수직 정사하여 Z값을 구함으로써 DEM 격자의 고도값을 생성할 수 있다.

본 논문에서 사용된 TIN 생성을 위한 CDT 알고리즘은 단순히 등고선의 표고 데이터를 이용하여 삼각분할 하는 방법보다, polyline을

이루는 각각의 선분을 강제로 분할하여 등고선의 원시정보를 최대한 보장하게 되므로 DEM의 정확도를 높일 수 있다.

CDT(Constrained Delaunay Triangulation)를 이용한 TIN 생성

1. 지형데이터 추출

기본 지형 데이터는 1 : 5,000 수치지형도 데이터를 사용하였다. 수치지형도는 표1과 같이 등고선 정보뿐만 아니라 다양한 지형정보를 포함하고 있다. DEM 데이터를 구축하기 위해서는 수치지형도에서 레이어 코드 7번에 해당하는 지형데이터만을 추출하여야 한다. TIN 방법에 의해 DEM을 생성하기 위해서는 지형

TABLE 1. NGIS 수치지형도의 레이어코드

레이어코드	내 용
1	철도
2	하천
3	도로
4	건물
5	지류
6	시설물
7	지형
8	행정경계 및 지형경계
9	주기

TABLE 2. NGIS 수치지형도의 지형코드

레이어코드	내 용	
7111	주곡선	
7112	간곡선	불록지
7113	조곡선	
7114	계곡선	
7211	주곡선	오목지
7212	간곡선	
7213	조곡선	
7214	계곡선	

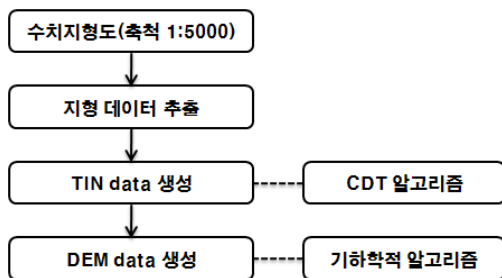


FIGURE 1. DEM 생성 흐름도

데이터의 등고선과 표고점을 이용하여 TIN을 형성해야 하고 등고선을 추출함에 있어 3차원 점 정보가 아닌 선분정보가 포함된 3차원 polyline 형태의 데이터를 생성하는 과정을 필요로 한다.

2. Constrained Delaunay Triangulation

DEM이 만들어지고 저장되는 방식은 크게 2가지 방식으로 나눌 수 있는데, 일정크기의 격자로 저장되는 DEM, 불규칙한 삼각형에 의한 TIN 방식이 그것이다. 이밖에 등고선에 의한 방식이나 단층에 의한 방식도 있으나, 3차원 지형 모델링을 가시화 하는데 있어서 DEM이나 TIN방식에 비해 잘 사용되지 않는

다. 등고선에서 TIN을 구성하지 않고 DEM을 생성할 경우 그림 2와 같은 지역은 그림 3과 같이 표고점 보정을 해주어야 되는데, CDT 알고리즘으로 TIN을 구성할 경우, 그림 2의 데이터가 없는 지역은 자동으로 높이 값이 같은 3차원 공간상의 삼각형으로 생성되어, 고도 값이 동일한 DEM 데이터로 생성된다.

딜로니 삼각분할(DT, Delaunay Triangulation) 이론이란 삼각형이 세 정점 모두에서 볼 수 있는 새로운 점을 삼각형의 외접원 내부에 포함하지 않도록 하는 것이다. 제한된 딜로니 삼각분할(CDT, Constrained Delaunay Triangulation) 이론은 포함될 선분 집합 일부가 미리 명시되고 가능한 DT 이론에 만족하는 삼각분할을

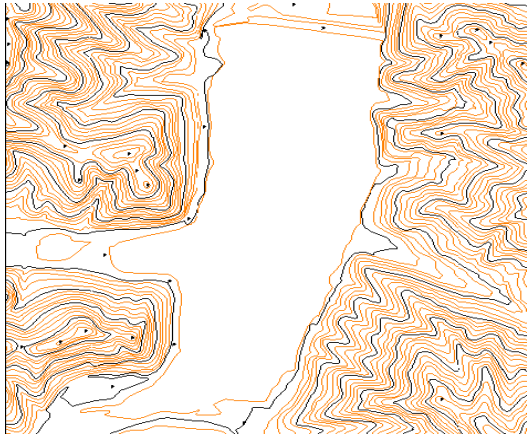


FIGURE 2. 등고선이 존재하지 않는 데이터

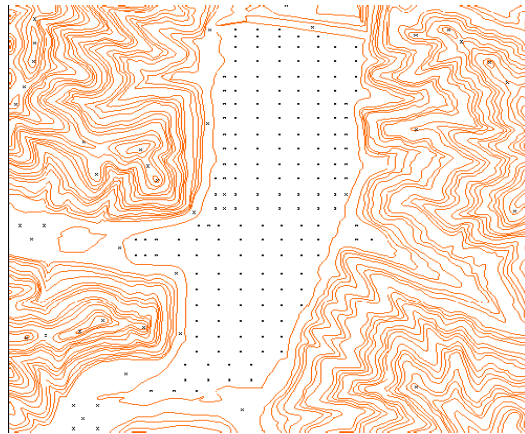
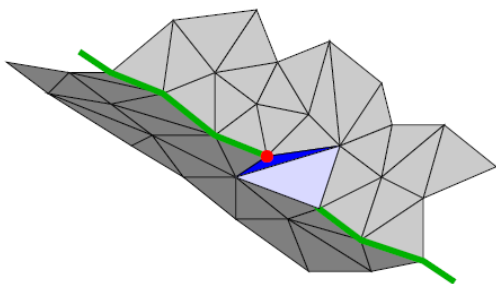
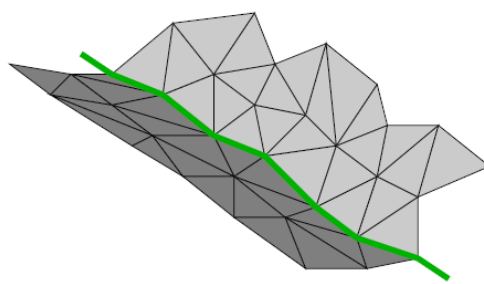


FIGURE 3. 표고점의 보정



(a) Delaunay Triangulation



(b) Constrained Delaunay Triangulation

FIGURE 4. DT 알고리즘과 CDT 알고리즘의 TIN 생성 비교

말한다. CDT를 구하는 최적의 알고리즘은 분할된 정복 기법을 사용한 것으로 $O(n \log n)$ 의 시간 복잡도를 가진다. 여기서, DEM 생성을 위해 CDT를 사용하는 것은 등고선에 있는 모든 선분이 포함되도록 델로니 삼각분할을 수행한다는 의미이다.

델로니 삼각분할 알고리즘으로 단순히 점 데이터만을 이용하여 TIN 생성을 하면, 그림 3(a)와 같이 등고선이 지나가는 선상에서 왜곡된 삼각분할이 일어날 수 있는데 반해, 제한된 델로니 삼각분할 알고리즘은 그림 3(b)와 같이 등고선의 선분 정보를 그대로 표현하면서 TIN을 생성하기 때문에 등고선이 가지고 있는 지형 데이터의 손실 없이 삼각분할이 가능하다.

그림 4는 1:5,000 수치지형도에서 지형정보를 가진 등고선과 표고점을 추출한 지형 데이터이고, 그림 5는 추출한 지형 데이터를 제한된 델로니 삼각분할 알고리즘을 이용하여 생성된 TIN 데이터이다. 그림 5와 같이 생성된 TIN 데이터는 2차원적으로 삼각 분할된 데이터의 집합이지만, 삼각형을 이루는 각각의 점들은 실제 고도 값을 가진 3차원 점 데이터이다.

기하학적 기법에 의한 DEM 고도 값 생성

앞 장에서 생성된 TIN을 바탕으로 DEM 생성할 영역 크기의 정규화 된 2차원적 격자 배열을 생성하였다. 여기서, DEM의 격자 간격은 원시 데이터 수치지형도의 등고선 간격으로 하는 것이 적당하며 더 정밀한 격자 간격을 부여하는 것은 무의미하다. 따라서 1:5,000 수치지형도의 경우 등고선간격이 5m 이므로 DEM 격자 간격을 5m로 하였다. 격자 형식의 2차원 배열은 수치지형도의 영역과 동일하고 각각의 점들은 고도 값이 없는 3차원 좌표로 생성되어 저야 한다. TIN을 이루는 3차원 공간의 삼각형들과 DEM 2차원 격자 배열을 이루는 각각의 점들에서 Z값이 무한대인 점으로 이루어진 선분의 교차점을 GRID 3차원 좌표의 표고 값으로 입력하였다. 삼각 분할된 삼각형과 선분의 교차점으로 얻어진 고도 값은 수치지형도의 등고선과 등고선 사이 지형 사면의 DEM 고도 값을 표현하게 된다.

3차원 선분과 삼각형의 교차점을 계산하기 위해서 Ray-Triangle Intersection 알

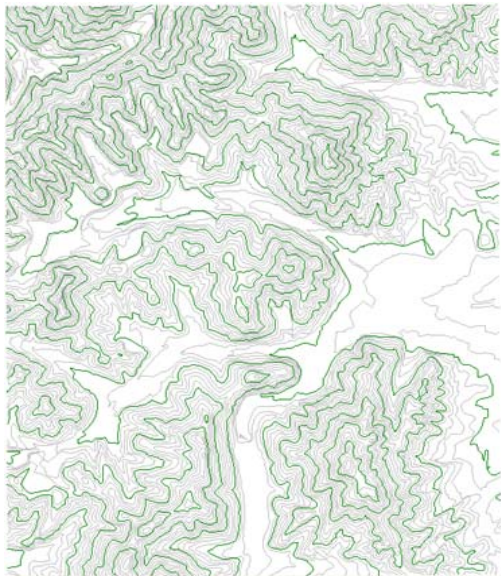


FIGURE 5. 수치지형도의 등고선

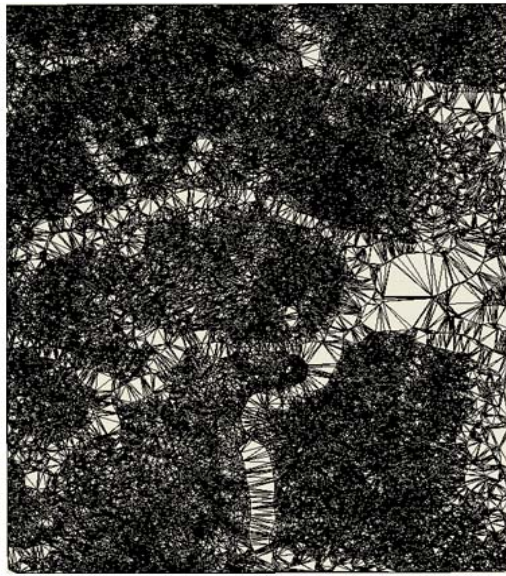


FIGURE 6. CDT에 의해 구성된 TIN

고리즘(Möller 등, 1997)을 이용하였다. 여기에서, 3차원 선분은 DEM 각 점의 X, Y좌표와 Z값이 무한대인 점으로 이루어진 선분(ray)을 나타내고 있다.

1. DEM 고도 데이터 생성

앞에서 생성된 TIN 데이터(그림 5)는 2차원적 좌표로 삼각분할을 수행하였지만, TIN을 구성하는 삼각형들의 각 점들은 등고선의 높이 값을 모두 가지고 있다. DEM 고도 데이터를 생성하기 위해 그림 7과 같이 TIN 영역에 DEM 격자의 크기에 맞는 2차원적 가상의 격자 배열을 생성하였다. 그림 8과 같이 2차원 격자 배열의 각 점들을 포함하는 TIN 데이터 상의 3차원 삼각형에 Ray-Triangle Intersection 알고리즘을 적용하여 그리드 각 셀의 고도 값을 구한다. 이러한 작업은 1:5,000 수치지형도 한 도엽을 작업하는데 수십 초의 시간이 소요된다. 따라서 서로 인접하거나 혹은 인접하지 않은 많은 양의 도엽 작업일 경우, 도엽의 수와 DEM의 통합시간에 비례하는 생성 시간을 가지게 된다.

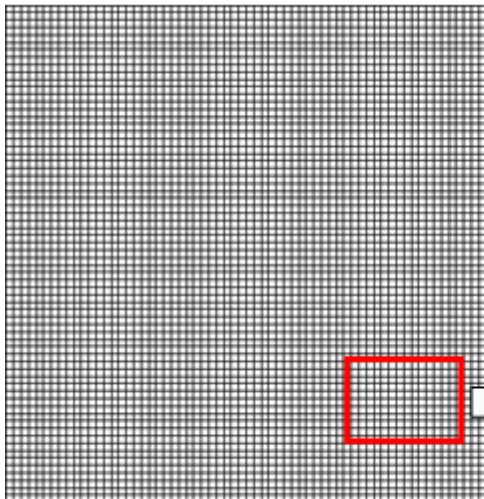


FIGURE 7. 2차원 격자 배열 생성

DEM 자동 생성과 3차원 지형 가시화

DEM 생성 자동화 시스템에 사용된 대상 수치지형도는 서로 인접한 1:5,000 수치지형도 699개의 도엽을 비메모리 방식의 특정영역의 DEM으로 변환하여 하나의 DEM으로 통합하는 과정을 거친 후, 프로그램 개발언어인 Microsoft Visual C++ 6.0 환경 하에 DirectX 그래픽 라이브러리, 음영기복도 생성 모듈, Quad-Tree LOD 알고리즘을 이용하여 3차원 지형을 실시간 가시화하였다.

1. DEM 생성에 수치지도 인덱스

DEM생성에 사용된 수치지도는 2001년도 정사영상지도 1:5,000(GRS)으로 그림 9와 같이 보령지역 일대 신은, 홍성, 예산, 고남, 보령, 청양, 연도, 서천, 한산, 지역 총 699도엽을 사용하였고, DEM 간격은 5미터를 기준으로 가로 67,010m, 세로 83,330m 영역을 DEM 격자 가로 13,402개, 세로 16,666개의 DEM 격자수를 가지는 DEM을 생성하였다.

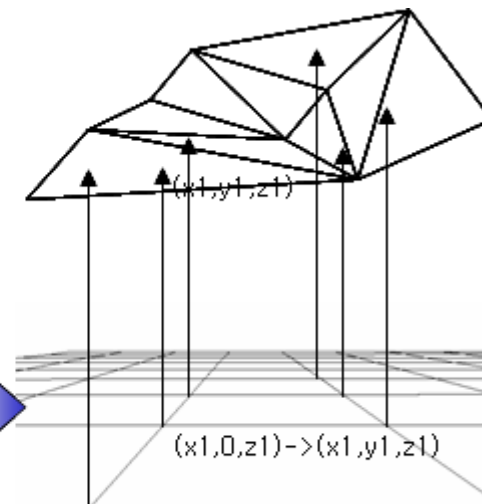


FIGURE 8. DEM 고도값 생성

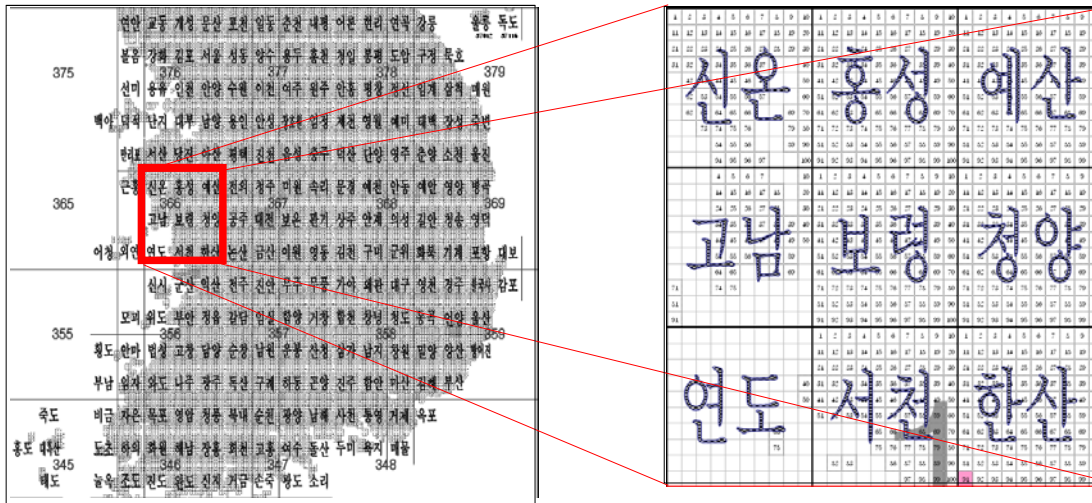


FIGURE 9. DEM 생성 자동화 테스트에 사용된 수치지도 인덱스

2. DEM 생성 자동화와 음영 기복도 생성

시스템에 사용된 699도엽의 수치지형도 모두를 제한된 시스템의 메모리에 상주 시켜 DEM 생성 작업을 하는 것은 불가능하다.

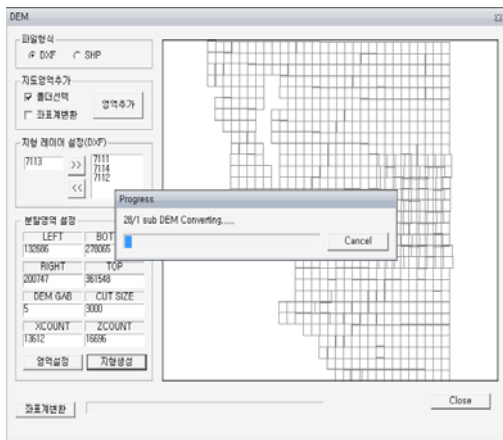


FIGURE 10. DEM 자동 생성 시스템

따라서, 수치지형도 각각의 영역에 해당하는 인덱스들만 메모리에 상주시키며 일정한 영역에 포함되는 인덱스의 등고선을 메모리에 상주 시키고 이미 사용된 수치지도의 인덱스 내에 포함되는 등고선의 ployline 데이터는 메모

리에서 제거 하는 방식을 사용함으로 메모리의 효율성을 최대화 하였다. 그림 10 에서 DEM을 자동생성하기 전에 자동 생성에 DEM을 생성하고자 하는 영역을 지정하고, DEM의 격자크기를 조절 하며, 시스템을 사용하는 컴퓨터의 사양에 따라 메모리 상주 량을 조절할 수 있는 메모리 CUT_SIZE를 입력하여 DEM의 생성 조건을 요구에 따라 설정하였다.

DEM 생성이 끝난 후 DEM 을 이루는 각 점 들의 Normal 벡터를 주위 8개의 점들로 8 개의 삼각형을 구성하여 각 면들의 Normal 벡터의 합으로 구하고 와 임의의 태양 각을 입력하여 그림 11과 같이 음영기복도를 생성해 DEM의 정확성을 가지적으로 확인하였다.

3. Quad-Tree LOD 처리와 3차원 지형 실시간 가시화

LOD(Level of Detail)는 대용량의 데이터를 실시간에 자연스러운 처리를 위해서 사용되는 기법으로 3차원 지형을 표현하기 위한 기술 중 중요한 기술로 부각 되고 있다. 위에서 자동 생성된 DEM을 실시간으로 가시화하기 위해서 기존에 연구된 4진 트리 방식인 Quad-

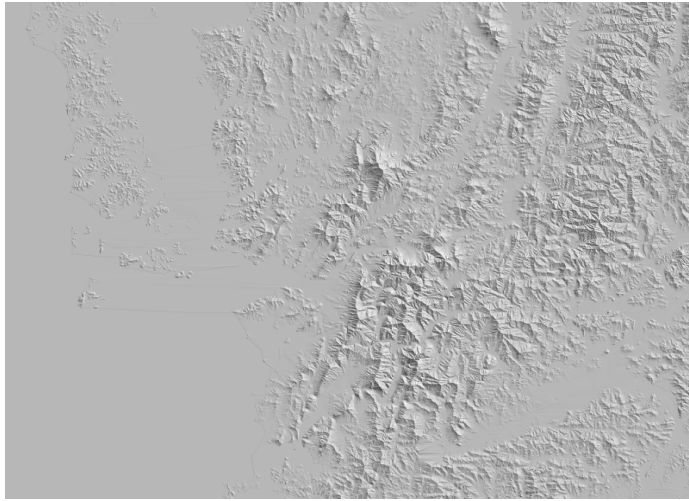


FIGURE 11. DEM에서 도출된 음영기록도

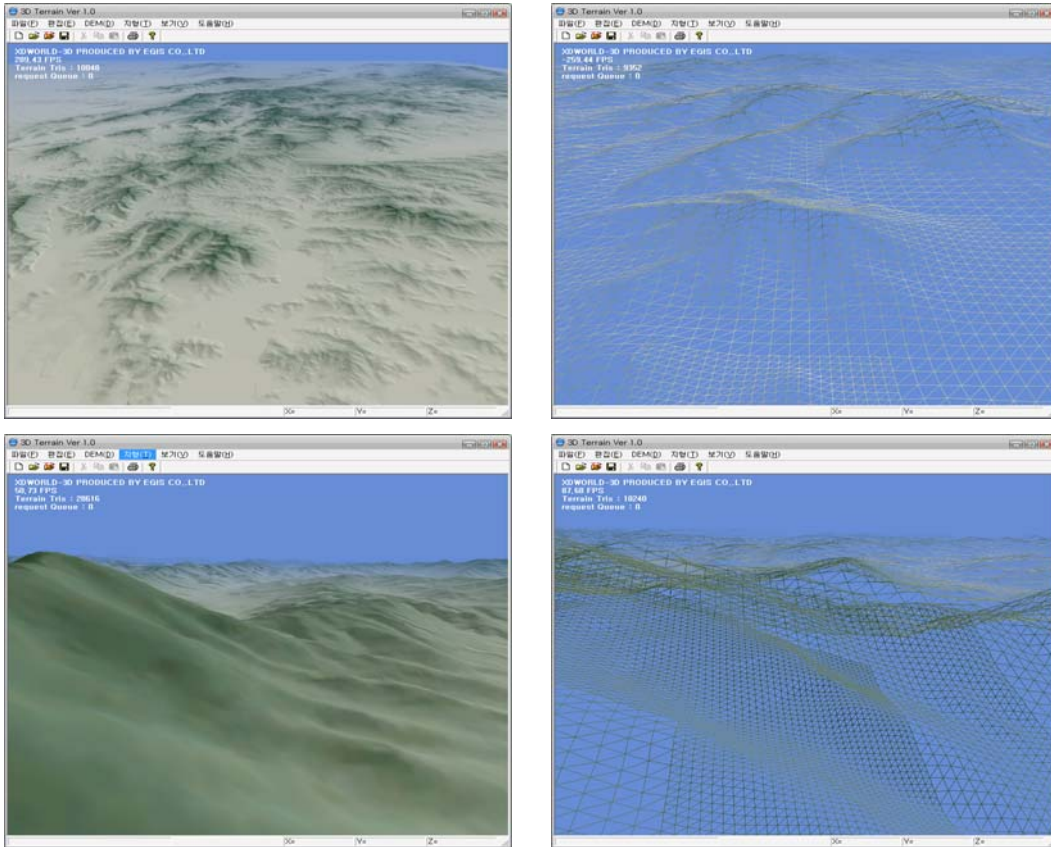


FIGURE 12. 생성된 DEM을 이용한 실시간 가시화

Tree 알고리즘을 채택하였다. Rottger et al. (1997) 은 Quad-Tree 구조의 top-down 방식을 사용하여 렌더링 되는 각 프레임에서 전체 지형 중 일부분만을 다루게 하여 많은 양의 지형에도 높은 프레임 속도를 가능하게 방식을 제안하였다. 이 방식은 쿼드트리 행렬에 의해 구성된 삼각형이 지형에 대응되는 행렬의 요소가 1로 되어 있는 부분만을 재귀적으로 쿼드트리를 순회하면서 트라이앵글 팬(triangle fan)을 사용하여 렌더링하는 방식이다.

본 시스템에서는 Quad-Tree LOD 알고리즘과 Microsoft DirectX 그래픽 API를 사용하여 자동 생성된 DEM을 3차원 지형으로 실시간 가시화 하였다.

결론

본 연구는 단순히 수치지형도에서 추출한 등고선의 점만을 이용하는 것이 아니라, 등고선의 선분 정보도 함께 이용하는 제한적 딜로니 삼각분할 알고리즘을 이용하여 TIN을 생성하고, 생성된 불규칙 삼각망(TIN)과 2차원적 격자 배열 각 점의 교차점을 구하는 Ray-Triangle Intersection 알고리즘으로 계산된 고도값을 이용하여 DEM을 자동 생성하였다.

DEM 데이터는 수치지형도의 등고선 높이값에 기인되어 생성된다. 수치지형도의 등고선에 포함된 등고선 오류를 수정하지 않고 작업할 경우, DEM 데이터의 정확도에 영향을 줄 수 있으므로, 수치지형도에서 지형데이터 추출 후 등고선 오류를 보정하는 작업이 필요하다.

또한, 수치지형도의 각 도엽별로 DEM을 생성하고, 서로 인접한 도엽의 DEM 격자를 재배치하는 방식으로 대용량의 DEM 데이터 생성이 가능하다. 이 때 인접한 도엽간의 접합지역에 있어서 각각의 TIN 데이터를 생성할 때 생기는 오차를 줄일 수 있는 방안이 필요하다.

LiDAR, 위성영상 등 고정밀도의 측량장비로 추출한 DEM 데이터와는 비교대상이 될

수 없다. 그러나 제한적 딜로니 삼각분할과 Ray-Triangle Intersection 알고리즘을 이용한 DEM 생성방법은 고가의 측량장비 없이 저비용으로 경제적이면서 빠르게 DEM 데이터를 추출할 수 있다. 또한 본 연구에서 개발한 DEM 생성 자동화 소프트웨어는 DEM 데이터 생성 절차를 단축하여 기존에 소요된 시간과 비용을 절감할 뿐만 아니라, 넓은 지역의 대용량 지형 데이터를 생성하는데 보다 효율적이고 경제적으로 DEM 데이터를 생성할 수 있었다.

또한 생성된 3차원 지형 데이터인 DEM 데이터는 경사도, 사면방향, 지형단면 등과 같은 지역의 기본적 지형 특성을 분석 연구하는 지리학 연구, 산사태, 홍수 등을 예측하고 시뮬레이션 하는 방재 분야, 비행 시뮬레이션, 가상현실 등과 같은 3D 시뮬레이션, 그리고 군사적 목적, 도시계획·단지설계 및 폐기물처리, 온라인 게임 등 지형 데이터를 활용하는 모든 분야에서 광범위하게 적용되어 활용될 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

참고 문헌

- 김계현. 1998. GIS 개론(자료분석편, '도형자료와 속성자료의 통합 분석', 206-265쪽). 大英社, 서울.
- 김성수, 김경호, 이종훈. 2001. 등고선 데이터를 이용한 3차원 지형 렌더링. 한국정보과학회지 28(1B):625-627.
- 김성준, 김대식, 김철, 배덕효, 신사철, 조명희, 조기성. 2005. GIS 개념과 기법(수치지형 모델링 편, '수치지형모형의 응용', 411-417쪽). 시그마프레스(주), 서울.
- Tomas Akenine-Moller, Eric Haines. 2003. 리얼-타임 렌더링 2판(교차 검사 방법들편, '광선/삼각형 교차'). 정보문화사, 서울.
- 유병현, 한순홍. 2002. 비행 시뮬레이션을 위한 실시간 지형 데이터의 구축. 한국CAD/CAM학회 2002학술발표논문집. 267-274쪽.

- 이근상, 채효석, 조기성. 2003. DEM 표준오차를 고려한 TIN 구축의 효율성 분석에 관한 연구. 한국GIS학회지 11(1):23-31.
- 이금산, 조화룡. 2000. DEM 을 이용한 한반도 지형의 경사도 분석. 한국지리정보학회지 3(1): 35-43.
- 이진덕, 연상호, 김성길. 2000. GIS를 활용한 폐기물 매립지의 적지분석 사례연구. 한국지리정보학회지 3(4):33-49.
- 한갑수. 2003. GIS와 원격탐사를 이용한 경관 유형의 특성분석. 한국지리정보학회지 6(3): 117-128
- Badouel, Didier. 1990. An Efficient Ray-Polygon Intersection, in Graphics Gems, ed. Andrew S. Glassner, Academic Press. pp 390-393.
- F. Aurenhammer and R. Klein. 2000. Voronoi diagrams. In J.-R. Sack and J. Urrutia, editors, Handbook of Computational Geometry. 201pp.
- G. E. Blelloch, G. L. Miller, J. C. Hardwick, and D. Talmor. 1990. Design and implementation of a practical parallel Delaunay algorithm. Algorithmica
- Haines, Eric. 1994. Point in Polygon Strategies. Graphics Gems IV, Academic Press. pp 22-46.
- K. Mehlhorn, S. Näher. 2000. LEDA: A Platform for Combinatorial and Geometric Computing. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Overview of Quadtree-based Terrain Triangulation and Visualization Renato Pajarola UCI-ICS Technical Report No. 02-01 Department of Information & Computer Science, University of California, Irvine January 2002
- Röttger, S. Wolfgang Heidrich, Philipp Slusallek, and Hans-Peter Seidel, 1997. Real-Time Generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields. Technical Report, Universitat Erlangen-Nurnberg.
- Tomas Möller, Ben Trumbore. 1997. Fast, Minimum Storage Ray-Triangle Intersection, journal of graphics tools 2(1):21-28 [KAGIS](#)