

DEM 데이터에 의한 3차원 지형 모델링 기법에 관한 연구

A study on the 3D Terrain Modelling Technique based on DEM data.

崔貞丹*

Choi, Jeong Dan

鄭垠淙*

Jeong, Yun Jong

李喆遠*

Lee, Cheol Won

尹慶鉉**

Yoon, Kyung Hyun

要 旨

본 논문에서는 지형 정보의 나은 이해를 위한 3차원 지형 모델링 방법을 제시한다. 이는 다음의 세단계로 구성된다. 첫번째 단계는 인공위성의 영상으로부터 데이터를 획득하여 DEM 데이터의 형식으로 저장된다. 두번째 단계는 상세도 레벨에 근거하여 모델링 데이터를 추출하는 단계이며 세번째 단계는 추출된 데이터를 이용하여 TIN으로 3차원의 표면을 구성하는 것이다. 제안된 동적 TIN 재구성 알고리즘은 새로이 추가될 점만을 고려하여 기존의 TIN을 지역적인 접근 방법으로서 재구성하는 방법이다. 이러한 방법은 감소된 처리 시간으로 TIN을 재구성하여 3차원 지형의 실시간적인 시뮬레이션을 가능토록 한다.

ABSTRACT

In this thesis, we propose the 3D terrain modelling method for the better understanding of the geographic information. The process of 3D terrain modelling consists of three steps. The first step is to obtain real-world data from satellite images and stored in the form of DEM(Digital Elevation Model). The second one is to extract the meaningful data from DEM data based on LOD(Level Of Detail). And the third is to construct the 3D surface by TIN(Triangulated Irregular Network) with the extracted meaningful data. The proposed dynamic TIN reconstruction algorithm locally reconstruct the existed TIN model with the additional a new point. In this way, we can construct the TIN with the reduced time and can simulate 3D terrain model in real time.

1. 서 론

지리 정보 시스템은 지리 및 지형에 관련된 데이터를 입력, 저장, 관리하고 사용자의 요구에 따라 그래픽 화면 또는 문서로 출력하는 시스템으로서 컴퓨터

그래픽스, 영상 처리, 데이터베이스 등의 기술이 복합적으로 요구되는 종합 시스템이다. 지리 정보 시스템에 관한 연구는 수작업에 의해 작성되었던 지도를 컴퓨터 기술을 이용하여 디지털 지도를 만들기 위한 자동지도제작시스템(AMS:Automated Mapping System),

이 논문은 1994년도 중앙대학교 학술 연구비 지원에 의한 것임

* 중앙대학교 컴퓨터 공학과 컴퓨터 그래픽스 연구실 석사과정

** 정회원: 중앙대학교 컴퓨터 공학과 조교수

지형 정보를 가공하고 해석하여 국토 정보, 자원 관리 등의 업무에 이용하는 좁은 의미의 지리 정보 시스템, 그리고 시설물의 위치를 기초로 상하수도, 전력, 도로, 통신 설비 등의 관리를 위한 시설물 관리 시스템(FMS: Facility Management System) 등으로 구분할 수 있다. 이러한 시스템을 최대한으로 활용하기 위해서는 각종 지형 정보를 형상화하여 시각적 효과를 증대시킴으로써 정확한 공간적, 기능적 분석과 정보에 대한 이해 증진을 도모해야 한다. 따라서, 지표면 상에서 관측된 3차원 좌표를 획득한 후, 그 좌표값으로부터 표면의 단면을 기하학적으로 구성하여 실제와 유사한 형상을 만드는 3차원 지형 모델링 기술이 지리 정보 시스템의 핵심 기술로 부각되고 있다.

3차원 지형 모델링은 지형에 관한 정보들을 수치적으로 표현한 수치 고도 모델(Digital Elevation Model: DEM)을 바탕으로 디지털 지형 모델(Digital Terrain Model: DTM)을 만드는 것이다⁽¹⁾. 이의 결과물인 디지털 지형도(digital topographic map)에는 지표면의 데이터가 효율적으로 저장되어 있어 지리 분야에서는 지형을 공간적, 기능적으로 분석 가능케할 뿐만 아니라 토목, 건축, 설계 분야에서도 올바른 시공을 위한 엔지니어링적인 분석을 가능케 한다. 또한 이러한 지형도는 시각적으로 형상화되어 있으므로 무기 유도 체계, 비행기 시뮬레이션 등의 군사적 특수 목적을 위해 사용되기도 한다.

이와 같은 3차원 지형 모델링을 위해 가장 널리 알려진 방법은 삼각형화에 의한 표면 모델링이며, 삼각형화란 면이 서로 겹치지 않는 다양한 형태의 삼각형들에 의해 불규칙한 땅의 형태로 구성된 TIN (Triangulated Irregular Network)을 생성시키는 방법을 의미한다⁽²⁾⁽³⁾. 삼각형화의 목적은 계산 기하학적인 접근 방법을 통해 정해진 갯수의 데이터에 대하여 최단 시간에 TIN을 구성하는 것이다. 이러한 삼각형화를 통한 TIN 구성 방법 중, 보르노이 다이어그램에 의한 방법이 가장 실제 모양에 가깝도록 표면을 모델링하는 기법으로 알려져 있으며, 최적의 삼각형화 방법이라고 할 수 있다. 그러나, 다른 분야와는 달리 지형 모델링 분야에서는 지형 시뮬레이션과 같은 동적인 표현

이 필요하므로 상세도 레벨의 정도에 따라 TIN 구성에 사용되는 데이터의 양이 추가되거나 삭제되어야 한다. 즉, 지형 관찰을 위한 시뮬레이션에서 관측 위치가 지형으로부터 가깝고 멀어짐에 따라 지형의 세밀함의 정도가 달라져야 하기 때문에 이로 인하여 추가, 또는 삭제된 데이터에 대하여 지역적인 방법으로 TIN을 재구성하는 방법이 필요하다. 이와 같은 지역적인 접근 방법은 상세도 레벨의 변화에 따른 모델링 시간과 렌더링에 걸리는 시간을 절약할 수 있으므로 실시간적인 시뮬레이션이 가능토록 한다.

본 논문에서는 초기 낮은 상세도 레벨의 TIN에 대하여 상세도 레벨이 높아짐에 따라 새로이 추가된 점에 대하여 지역적인 접근으로 TIN을 동적으로 재구성하는 동적 TIN 재구성 알고리즘을 제시하였다. 이 방법의 적용을 위하여 DEM 데이터에서 8 가지 의미 데이터를 추출하였다. 추출된 데이터를 TIN으로 구성할 때 구성되는 삼각형의 길고 예리한 각의 발생을 방지하기 위하여 사각형의 분할시 대각선의 길이가 짧은 것을 선택하여 두 삼각형으로 분할하는 방법을 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 지형 모델링의 단계를 설명하고 각 단계에서 사용되는 방법들을 살펴본다. 3장에서는 방대한 DEM 데이터로부터 의미 데이터를 추출하는 방법을 설명한다. 4장에서는 3장에 만들어진 데이터를 이용하여 TIN을 구성하는 방법을 기술하며, TIN 구성 방법으로서 동적 TIN 재구성 알고리즘을 설명한다. 그리고, 5장에서는 컴퓨터 그래픽스 기법인 렌더링 기법에 대하여 설명한 후, 6장에서 서울 지역에 대한 DEM 데이터를 3차원 모델링한 결과를 보인다. 마지막으로 7장에서는 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대하여 논의한다.

2. 지형모델링의 단계

지형에 대한 정보를 효율적으로 저장하고 표현하기 위한 지형 모델링은 지형정보 획득, 의미데이터 추출, 표면 모델링, 그리고 렌더링의 네 단계로 구성된다.

2.1 DEM 데이터의 획득

먼저 지형 정보인 DEM 데이터를 획득하는 방법은 크게 지형도(contour map)에 의한 방법과 원격탐사(remote sensing)에 의한 방법으로 나눌 수 있다⁽⁴⁾⁽⁵⁾. 지형도에 의한 방법은 기존에 작성된 지도를 스캐너 등으로 입력한 후, 등고선을 추출하여 추출된 등고선들 간의 고도를 보간하여 광역 지역에 대한 수치지도를 작성하는 것이다. 이 방법은 기존에 작성된 지도를 구하기 쉽고 비용이 적게 든다는 장점을 가지고 있으나 지형도로부터 등고선의 추출 및 보간하는 과정에서 많은 오류가 발생할 수 있기 때문에 정확도가 떨어진다 단점이 있다. 이에 반해 원격탐사에 의한 방법은 SPOT, LANDSAT 등의 인공위성으로부터 수신된 둘 이상의 서로 다른 지점에서 촬영한 자료를 스테레오 기법의 삼각도법을 이용하여 지형의 고도를 계산, DEM 데이터를 추출하는 방법이다. 이 방법은 DEM 데이터를 얻기 위한 비용과 노력이 많이 소요되지만 높은 정확도로 인하여 지형 모델링을 위한 가장 보편적인 기본 데이터로 사용되고 있다.

2.2 의미 데이터의 추출

실제 지형은 어떠한 수식이나 디지털 입력기로도 만들어 낼 수 없는 매우 복잡한 모습을 하고 있다. 따라서 이러한 복잡한 모습을 표현하는 방대한 DEM 데이터중 의미 데이터 추출을 통해 처리시간을 적게하고, 불필요한 데이터 처리를 줄일 수 있도록 한다.

데이터 추출 방법으로는 우선 규칙적(systemic) 표본 추출이 있다. 이는 일정 형태의 격자(grid)를 이용하여 데이터를 취득하는 방법⁽⁶⁾으로 추출 방법이 단순하며 데이터를 신속하게 처리할 수 있다. 그러나 지형의 표현이 격자의 형태에 고정되어 특정 지형의 특징을 정확하게 나타내기가 힘든 단점이 있다. 무작위 추출법은 다른 지형과 명백히 구분되는 특정 지점(산꼭대기, 능선 등)을 기준으로 데이터를 임의로 선택하는 방법⁽⁶⁾으로서 데이터의 양을 감소시키기는 하나 특정 지점

을 선택하기가 어렵고 지형의 중요부분을 누락시킬 위험이 있는 부정확한 방법이다. 본 논문에서 채택하고 있는 의미 데이터 추출법⁽⁶⁾⁽⁷⁾은 방대한 지형 정보부터 모델링에 필요한 지점만을 주변 지형과의 관계에서 구하여 추출하므로 데이터 양의 감소와 지형의 정확한 표현을 동시에 얻을 수 있는 방법이다. 또, 여러 매개 변수로서 데이터 양을 조절할 수 있는 이점 또한 얻을 수 있다⁽⁷⁾.

2.3 표면 모델링

지형 모델링의 세 번째 단계는 추출된 데이터에 대한 표면 모델링이다. 이는 선이나 평면 등의 기하학적인 프리미티브들로 3차원 표면을 구성하는 것을 의미한다. 표면 모델링은 모델링 단위가 되는 기하학적인 모양에 따라 사각형에 의한 방법과 삼각형에 의한 방법으로 크게 나눌 수 있다.

사각형에 의한 방법은 표면 모델링의 초기에 사용되던 방법으로서 격자형으로 수집된 데이터가 있을 때 사용되는 것으로 구현이 간단하고, 평평한 표면을 모델링할 경우 실제 지형과 매우 유사하다는 장점이 있다. 그러나 규칙적인 격자를 이용함으로써 지형의 토폴로지와 무관하게 모델링이 이루어지며, 격자의 밀도가 낮으면 지형의 왜곡이 발생할 수 있고, 데이터의 해상도가 모델링 결과에 큰 영향을 미칠 수가 있다. 또한 렌더링 시 사각형의 네 꼭지점이 동일 평면(co-plane)상에 존재하지 않을 때 사각형 표면의 법선(normal)을 구하기가 어렵기 때문에 사실적인 렌더링이 불가능하다.

이런 사각형 모델링의 단점을 보완하기 위해 삼각형에 의한 표면 모델링이 제안되었다. 삼각형은 다각형 가운데 가장 단순한 기하학적인 프리미티브이므로 삼각형에 의한 표면 모델링은 사각형에 의한 표면 모델링에 비하여 실제적인 시각 효과가 우월하다. 또한 데이터의 압축 효율이 뛰어나 공간 분석이 신속하고 정확하며, 렌더링 시에 초래되는 인위적 효과를 나타내지 않는다.

2.4 표면렌더링

지형 모델링의 마지막 단계는 표면 렌더링이다. 이를 위해서는 위의 단계에서 생성된 표면 모델로부터 지형의 명암관계를 표현할 수 있는 컴퓨터 그래픽스 기법을 이용해야 한다. 이 단계에는 보이지 않는 면이나 가려지는 면을 처리하는 은면 제거 과정과, 광원과 지형 표면과의 관계로부터 표면의 밝기를 결정하는 셰이딩 과정을 수행하므로써 TIN에 의해 생성된 3차원 지형이 사실적 영상으로 표현될 수 있다.

3. 상세도에 따른 의미 데이터 추출

의미 데이터는 DEM 데이터 중, 지형적으로 의미있는 위치에 대한 데이터를 말하며 산꼭대기(peak), 웅덩이(pit), 고갯길(pass), 능선(ridge-line), 계곡(ravine-line), 급경사(break-line), 비탈(slope), 평지(flat)의 8가지로 분류하였다. 분류된 의미데이터의 특성은 표 3-1에서 보여주고 있다.

표 3-1 의미 데이터의 특성

의미 데이터	특성
산꼭대기 (peak)	주위의 점보다 상대적으로 높음
웅덩이 (pit)	주위의 점보다 상대적으로 낮음
고갯길 (pass)	주위의 점과 항상 차이를 나타냄
능선 (ridge-line)	주위의 점 중에서 극히 일부분만이 높고 나머지는 모두 낮음
계곡 (ravine-line)	능선과 반대의 성질로 극히 일부분만이 낮고 나머지는 높음
급경사 (break line)	주위의 점 대부분이 현재의 점보다 높음
비탈 (slope)	주위의 점 중 반은 높고 나머지는 낮음
평지 (flat)	주위의 점과 거의 차이가 없음

의미 데이터의 특성은 지형에서 획득된 DEM 데이터 각 점의 이웃점(neighbor point)들과의 관계로서 정의된다. 즉, 한 점을 중심으로 그 점을 둘러싸고 있는 8방향의 각 이웃점들에 대해 시계 방향 또는 반시계 방향으로 고도차를 계산한다. 기준점의 고도를 중심으로 각 이웃점과의 고도는 양의 값, 음의 값 또는 0을 가지게 되며, 이와 같은 고도차를 연결하여 그림 3-1과 같은 그래프를 생성할 수 있다.

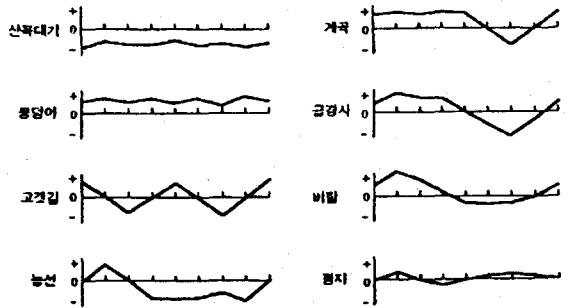


그림 3-1 의미 데이터 특징 그래프

이 그래프에서 양의 값을 가지는 면적을 양의 경사 에너지(E+), 음의 값을 가지는 면적을 음의 경사 에너지(E-)라 하며, 이를 이용하여 지형의 특징을 파악할 수 있다. 예를 들면, 산꼭대기와 웅덩이는 기준선을 중심으로 경사 에너지가 확연히 양분되는 양상을 띠고 있으며, 고갯길과 비탈은 능선, 계곡 그리고 급경사에 비하여 경사 에너지가 균형을 이루고 있다. 또한, 능선, 계곡, 고갯길은 양에서 음, 음에서 양으로의 부호 변화가 근접하여 발생하며, 비탈은 양음의 경사 에너지가 거의 동일하게 나타남을 알 수 있다. 또한, 각 지형에 대하여 경사에너지로 결정할 수 있는

한계치(threshold value)(T_{peak} , T_{pit} , T_{pass} , T_{ridge} , T_{ravine} , T_{break} , T_{slope} , T_{flat})를 두어 지형 표현의 세밀함을 측정하는 상세도 레벨을 설정한다. 본 논문에서는 상세도 레벨을 5 단계로 나누었으며 상세도 레벨에서 사용된 각 의미 데이터의 한계치는 표 3-2와 같다.

표 3-2 상세도 레벨에 대한 한계치

상세도 한계치	레벨 1	레벨 2	레벨 3	레벨 4	레벨 5
T_{peak}	-200	-180	-150	-80	-50
T_{pit}	10	8	6	4	2
T_{pass}	50	40	30	20	10
T_{ridge}	-50	-80	-100	-130	-150
T_{ravine}	100	80	60	40	20
T_{break}	-150	-130	-100	-80	-50
T_{flat}	5	10	15	20	25
T_{slope}	50	60	70	100	120

이와 같은 경사 에너지와 각 지형의 한계치 이외에도 그래프가 기준선과 만나는 횟수와 그래프의 부호 변화 사이에 나타나는 점의 갯수 등을 통해 의미 데이터를 구분한다. 이상에서 설명한 각 의미 데이터의 특징을 수식으로 요약하면 표3-3과 같다.

표 3-3 의미데이터의 특징

E : 양의 경사 에너지	N_c : 그래프 부호 변화 횟수
E : 음의 경사 에너지	L_c : 부호 변화 사이의 점의 갯수
• 산꼭대기: $E = 0$	$E = T_{peak}, N_c = 0$
• 웅덩이: $E > T_{pit}$	$E = 0, N_c = 0$
• 고갯길: $E + E > T_{pass}$	$N_c = 4$
• 능선: $E - E > T_{ridge}$	$L_c \neq 4, N_c = 2$
• 계곡: $E - E > T_{ravine}$	$L_c \neq 4, N_c = 2$
• 급경사: $E - E > T_{break}$	$L_c = 4, N_c = 2$
• 평지: $E + E < T_{flat}$	
• 비탈길: $ E - E < T_{slope}$	$E - E > T_{slope}, L_c = 4, N_c = 2$

4. 표면 모델링을 위한 TIN 생성 알고리즘

DEM 데이터에서 추출한 의미 데이터를 이용하여 3차원 표면 모델링을 위해서는 삼각형화에 의한 TIN(Triangle Irregular Network)을 생성하여야 한다.

4.1 보르노이 다이어그램에 의한 TIN 생성

보르노이 다이어그램은 1908년 러시아 수학자 Voronoi에 의해 연구된 후 Dirichlet 영역, Thiessen 다각형, Wigner-Seitz 셀 등으로 명명되어져 왔다⁽⁸⁾. 보르노이 다이어그램은 면적에 기초를 두고 특정점의 영향 영역에 대한 기하학적 관계를 설정하기 위한 것이다. 그림 4-1에서 점 D가 포함된 빗금친 영역에 속한 모든 점들은 다른 어떤 대표점들(A, B, C, E, F)보다 대표점 D에 가깝도록 영역을 나누었다. 이러한 조건을 만족하도록 설정된 각각의 영역을 보르노이 다각형이라 하며 반드시 하나의 대표점을 가진다. 또한, 두 영역의 경계선 상의 점들은 인접한 두 영역의 대표점들과의 거리가 동일함을 의미한다.

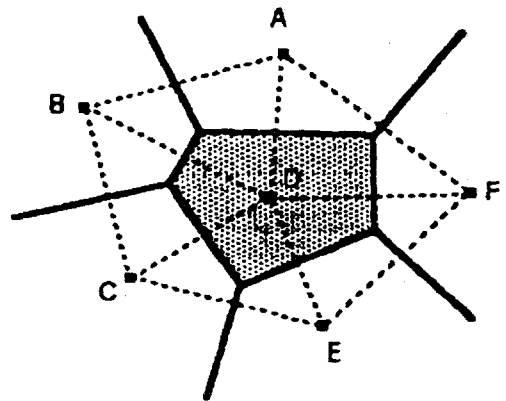


그림 4-1 보르노이 다이어그램과 TIN

보르노이 다이어그램에 의한 TIN의 생성은 인접한 보르노이 다각형의 대표점들을 직선으로 연결한 보르노이

이 다이어그램의 듀얼 그래프(dual graph)에 의해 이루어진다. 즉, 점 A, B, C, D, E, F를 중심으로 한 보르노이 다이어그램을 생성한 후(실선), 각 점에서 인접한 대표점들을 연결하므로써 (점 A의 경우 F, D, B) TIN이 생성된다(점선).

그러나 보르노이 다이어그램은 새로운 추가점에 대하여 전체의 점들이 다시 계산되어야 한다는 단점이 있어 갯수가 동적으로 변화하는 데이터에 대하여는 적용하기가 어렵다.

4.2 동적 TIN 재구성 알고리즘

본 논문에서는 최적의 삼각형화로 TIN을 생성하는 동적 TIN 재구성 알고리즘을 제안한다.

동적 TIN 재구성 알고리즘의 기초 개념은 주어진 N개의 점에 대하여 이를 한꺼번에 처리하지 않고, 한 점씩 추가하여 TIN을 재구성하는 것이다. 즉, 이미 구성되어 있는 TIN(T)에 점 P를 추가하여 새로운 TIN(T')으로 확장한다. 이때 사용된 각 의미 데이터는 TIN을 구성하는 대표점이 되며 중복되지 않는다고 가정한다.

새로운 점 P를 이미 구성된 TIN에 추가할 때, 그 위치에 따라 다음과 같이 세가지 경우로 나눌 수 있다.

1. TIN 내의 한 삼각형 내부에 위치하는 경우
2. TIN의 외부에 위치하는 경우
3. TIN을 구성하는 선분위에 위치하는 경우

4.2.1 최적 삼각형의 선택

동적 TIN 재구성 알고리즘을 설명하기 이전에 TIN을 구성할 때 최적의 삼각형을 선택하기 위한 방법에 대해 먼저 기술한다. 일반적으로 하나의 볼록 사각형(convex rectangle)은 그림 4-2와 같이 대각선에 의해 두 개의 삼각형으로 분할될 수 있다.

본 논문에서는 한 사각형을 최적으로 분할하기 위하여 최적의 삼각형 조건을 다음과 같이 정의한다.

$\triangle ABC$ 에서,

$$|\pi/3 - \angle A| + |\pi/3 - \angle B| + |\pi/3 - \angle C|$$

의 값이 0에 근접할수록 최적의 삼각형이다.

즉, 모든 내각이 60도($\pi/3$)인 정삼각형이 최적의 삼각형이라고 할 수 있다. 한 사각형을 두 개의 삼각형으로 분할할 때에는 분할되는 삼각형들이 모두 최적의 삼각형 조건에 근접해야 한다. 이때 분할되는 두 삼각형이 분할되기 전 사각형의 대각선을 한 변으로 공유하고 있기 때문에, 사각형을 분할하는 대각선의 길이에 의해 최적의 삼각형 분할이 결정된다. 일반적으로 두 대각선 중 길이가 짧은 대각선으로 분할하는 것이 긴 대각선으로 분할할 때의 결과보다 최적의 삼각형으로 분할되며 본 논문에서는 사각형을 두 개의 삼각형으로 분할할 때 대각선의 길이로서 최적의 삼각형을 결정하였다.

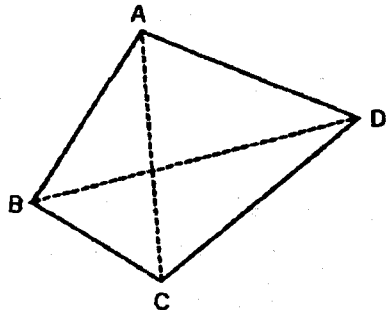


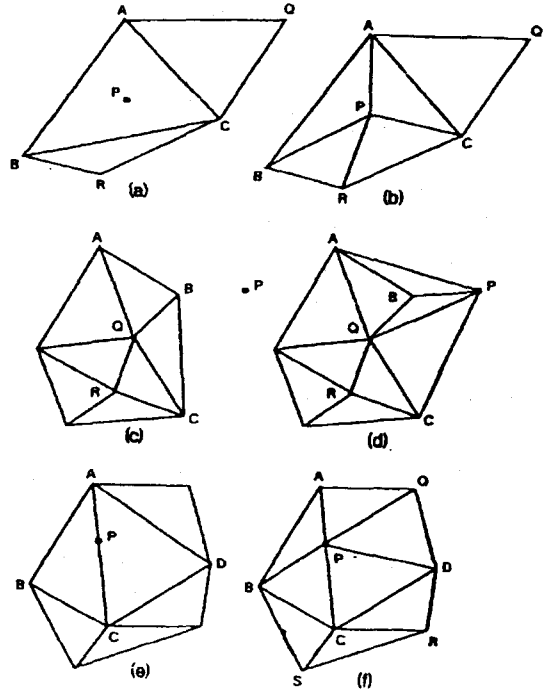
그림 4-2 사각형의 분할

예를 들어, 그림 4-2에서 $\square ABCD$ 는 선분 AC에 의해 $\triangle ABC$ 와 $\triangle ACD$ 로 분할되며, 선분 BD에 의해 $\triangle ABD$ 와 $\triangle BCD$ 로 분할된다. 이 때, 두 가지 분할 결과를 최적의 삼각형화 조건과 비교해 보면 분할선인 대각선의 길이가 짧을 때 최적의 삼각형으로 분할됨을 알 수 있다. 따라서, 선분 AC의 길이가 선분 BD 보다 길기 때문에 $\square ABCD$ 는 $\triangle ABD$ 와 $\triangle BCD$ 로 분할되어야 한다.

4.2.2 점이 삼각형 내부에 위치하는 경우

TIN 삼각형 중의 하나에 점 P가 추가될 경우 그 삼각형을 점 P를 중심으로 하여 세개로 분할한다. 그림 4-3a에서 $\triangle ABC$ 상에 점 P가 추가되는 경우를 살펴본다. 먼저, 삼각형의 각 꼭지점과 P를 연결하여 세개의 삼각형을 추가한다. 그리고 나서, 최적의 삼각형화를 위해 TIN을 재조정하는데 이때 점 A, B, C 뿐만 아니라 $\triangle ABC$ 를 구성하고 있던 세 선분인 AB, BC, CA를 포함하는 외부의 점들(Q, R)을 고려해야 한다. 즉, 추가된 선분에 의해 새로운 사각형이 생성되면 그 사각형을 최적의 삼각형화할 수 있도록 수정한다. 그림 4-3b는 생성된 새로운 TIN을 나타낸다.

림 4-3f는 이 알고리즘에 의해 새롭게 생성된 TIN을 나타낸다.



[그림 4-3] TIN의 재구성

4.2.3 점이 TIN의 외부에 위치하는 경우

TIN의 외곽선 외부에 점 P가 추가되면, 점 P에서 연결가능한 외곽점들의 수에 의해 삼각형의 갯수가 증가된다. TIN 외부에 점 P가 추가되면, 먼저 점 P에서 보이는 외곽점들을 찾아 연결한다. 그림 4-3c에서 외곽점들 중, A, B, C만이 연결가능하므로 선분 AP, BP, CP를 추가하며, $\triangle ABP$, $\triangle BCP$ 를 생성한다. 또한, 삼각형 내부에 추가되었을 때와 마찬가지로 각 선분에 새롭게 생성된 사각형을 수정해야 한다. 그러나, 사각형이 한 각이라도 180° 를 초과하면, 이러한 사각형은 수정할 필요가 없다. 왜냐하면, 대각선 중의 하나가 사각형 외부에 생기고, 그 대각선으로는 두개의 삼각형으로 분리할 수 없기 때문이다. 그림 4-3d는 그림 4-3c에서 보인 TIN에 점 P를 추가한 후의 새롭게 생성된 TIN을 나타낸다.

5. 표면 렌더링

렌더링이란 주어진 물체를 사실감있게 나타내기위한 방법을 의미한다. 일반적으로 물체는 주어진 정점과 이들을 연결하는 선분으로 표시되어 있는데 이러한 모델을 선구조(wire-frame) 모델이라고 한다. 이러한 선구조 모델은 면의 개념이 주어지지 않았기 때문에 뒷면의 물체가 보이는 단점이 있어 사실감있는 영상을 제작하는데 적당하지 않다. 따라서 보이지 않는 선과 면을 제거하는 은선/면(hidden line/surface)제거 기술이 필요하다. 이러한 은선/면 제거기술로는 깊이정렬(depth sort)법과 깊이 버퍼(Z-buffer)방법이 많이 사용된다. 또한 빛과 표면과의 상관관계에 의하여 표

4.2.4 점이 TIN의 한 선분에 위치하는 경우

마지막으로 그림 4-3e와 같이 추가점 P가 TIN의 한 선분 상에 위치하는 경우를 살펴본다. 이러한 경우는 앞에서 언급한 두 경우보다 훨씬 빈도가 낮게 발생한다. 이 때, 선분 AB를 공유하는 두 삼각형의 꼭지점과 점 P를 각각 연결한 후, 앞에서 언급한 두가지 경우와 마찬가지로 사각형의 분할 과정을 수행한다. 그

면의 밝기를 정하는 웨이딩기술도 적용된다. 이러한 웨이딩의 방법으로서 표면의 모든점에서 밝기가 일정한 균일광도법(constant shading), 면을 구성하는 각점에서의 밝기에 따라 표면 내의 점들을 보간하는 방법인 연속광도법(incremental shading)이 사용된다. 연속광도법으로는 밝기를 보간하는 Gouraud웨이딩과 법선을 보간하는 phong웨이딩이 많이 사용된다⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

본 연구에서는 은선/면 제거방법으로는 적은 메모리를 사용하고 속도가 빠른 깊이 정렬법을 사용하고 웨이딩의 방법으로서도 처리속도가 빠른 균일광도법을 사용하였다.

6. 3차원 형상화 결과

본 연구에서는 인공위성을 이용한 원격탐사방법에 의해 생성된 서울지역의 DEM 데이터를 사용하여 3차원 형상화를 수행하였다. 사용한 DEM 자료는 그림 6-1과 같으며 표 6-1과 같은 특징을 가지고 있다.

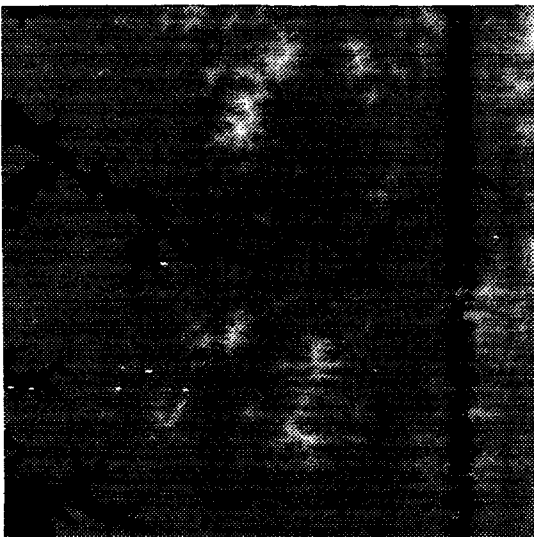


그림 6-1 DEM 데이터

또한, 본 논문에서는 지형의 시각화를 위하여 모델링 시 지형의 고도에 따라 4가지 색상을 사용하였으며,

각 색상에 대하여 256레벨의 명암으로 표시하였다. 그림 6-2는 이상에서 설명한 3차원 형상화 기법을 사용하여 서울 지역 DEM 데이터에 대한 지형 모델링 결과로서 고도가 0m인 지점은 짙은 파랑색, 그리고 고도가 30m 높아질 때마다 옅은 파랑색, 짙은 노랑색, 옅은 노랑색으로 표현하였으며 그 이상의 고도에 대해서는 녹색을 지정하였다. 그림 6-2는 서울지역, 60km×60km의 영역을 서남쪽에서 바라본 결과이다. 또한 3장에서 언급된 각 의미 데이터의 한계치를 상세도 레벨에 따라 적용하여 레벨 1, 레벨 3, 그리고 레벨 5로써 3차원 모델링을 수행하였다. 표 6-2는 각 상세도 레벨에 대한 추출된 의미 데이터 수와 감소된 데이터의 양을 나타내고, 그림 6-3, 그림 6-4, 그림 6-5는 각각 상세도 레벨 1, 레벨 3, 레벨 5로써 모델링한 결과를 나타낸다.

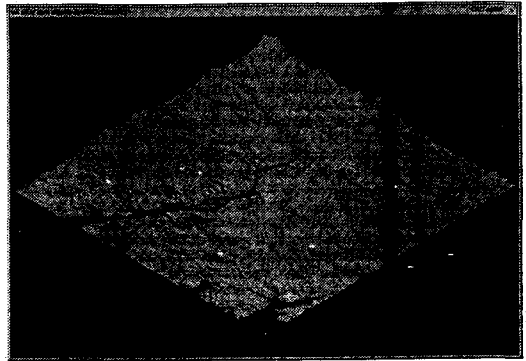


그림 6-2 서남쪽에서 바라본 서울의 지형

표 6-2 상세도 레벨에 대한 결과

	레벨 1	레벨 3	레벨 5
영역범위 (가로x세로)	40x40	40x40	40x40
추출데이터수	613	1040	1,472
상세도	38%	65%	92%
감소량	62%	35%	8%

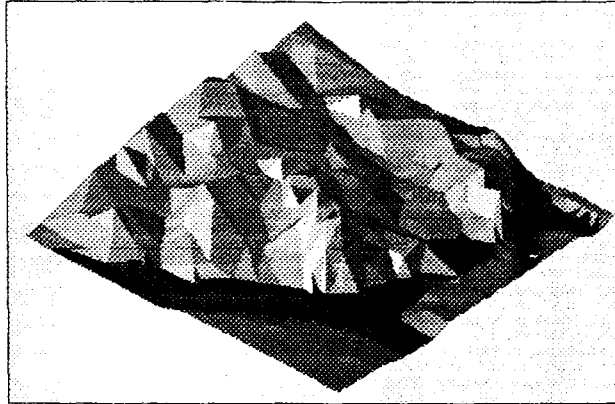


그림 6-3 상세도 레벨 1에 의한 지형 모델링(40×40)

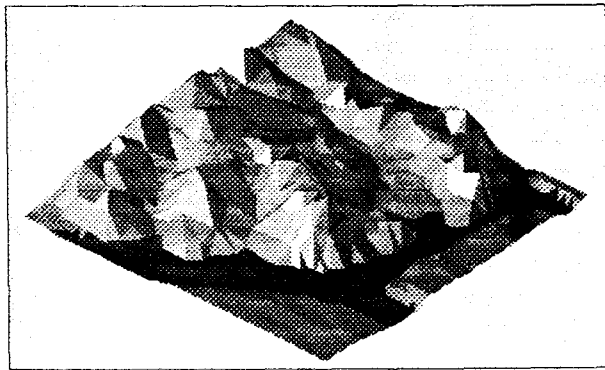


그림 6-4 상세도 레벨 3에 의한 지형 모델링(40×40)

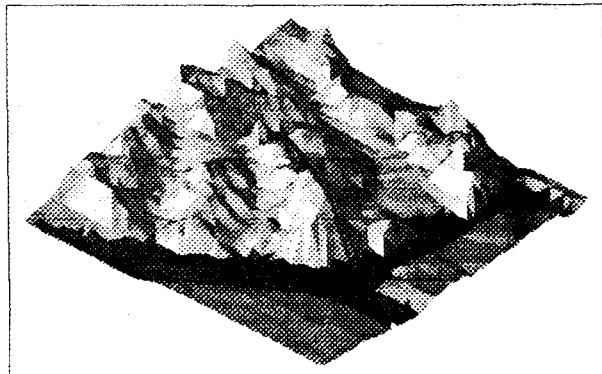


그림 6-5 상세도 레벨 5에 의한 지형 모델링(40×40)

7. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 DEM 데이터로 제공되는 지형의 3차원 형상화를 목적으로 하였다. 본 연구는 의미 데이터의 추출, TIN의 구성, 3차원 시각화의 단계를 거쳐 수행되었다. 본 연구에서는 의미 데이터의 추출시에 상세도 레벨을 지정하여 추출 양을 결정할 수 있는 방법을 사용하였다. TIN의 구성에서는 이미 만들어진 상세도 레벨이 낮은 TIN에서 상세도 레벨이 높은 TIN으로 적은 시간에 TIN을 재구성 할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 3차원 시각화 단계에서는 깊이 정렬과 균일 광도법을 사용하여 원하는 3차원 영상을 생성하였다. 이러한 연구의 결과는 지형 모델링 특히 시뮬레이션 분야에서 적용성이 뛰어나는 것으로 예측된다. 즉 원거리에서 근거리로의 이동시 필요에 따라 상세도 레벨을 조절하여 처리할 자료의 양을 조절할 수 있기 때문이다.

차후로의 연구과제로는 각 상세도 레벨을 연관시켜 실시간 시뮬레이션에 사용가능하도록 하는 계층적 TIN(Hierarchical TIN)의 구성에 관한 연구와 복잡하고 다양한 모델링 기법의 도입으로 사실감을 증대시키는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. R. J. Fowler and J. J. Little, "Automatic Extraction of Irregular Network Digital Terrain Models," Proceedings of SIGGRAPH '79, pp. 199-207, 1979.
2. B. Joe, "Construction of three-dimensional Delaunay triangulations using local transformations," Computer Aided Geometric Design, Vol. 8, pp. 123-142, 1991.
3. B. K. Choi and H. Y. Shin, "Triangulation of scattered data in 3D space," Computer-aided design, Vol. 20, No. 5, pp.239-248, 1988.
4. 이 상호, 신 금림, "삼각분할(Triangulation)의 최근 연구 동향," 정보과학회지, 제40권, 제6호, pp. 15-27, 1992.
5. 과학기술처, 3차원 DTM용 Software 개발(III), 1992.
6. T. K. Peucker and D. H. Douglas, "Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data," Computer Vision Graphics and Image Processing, Vol. 4, pp. 375-387, 1975.
7. 최 정단, 윤 경현, "TIN에 의한 DEM 데이터의 지형 모델링," 가을 정보 학술대회 논문집, Vol. 21, No. 2, pp. 537-540, 1994.
8. F. P. Preparata, M. I. Shamos, Computational Geometry, Springer-Verlag, 1985.
9. J. D. Foley, A. vanDam, S. K. Feiner and J. F. Hughes, Computer Graphics: Principles and Practice, 2nd Edition, 1990.
10. A. James(ed.), Graphics Gems II, Academic Press, 1991.