

지형 단면을 이용한 의미점 추출에 관한 연구

A Study On Extracting Surface-Specific Point Using The Cross Section of The Terrain

류 승 택 * 윤 경 현 **

Ryoo, Seung-Taek Yoon, Kyoung-Hyun

要 旨

지형 모델링은 사각그리드에 의한 방법과 불규칙 삼각망을 이용한 방법으로 나눌 수 있다. 특히 불규칙 삼각망에 의한 방법은 적은 지형 데이터로써 지형의 특징을 잘 표현할 수 있고 렌더링시간을 단축시킬 수 있어 널리 사용되고 있다. 이러한 불규칙 삼각망을 만들기 위해서는 의미점 추출과정과 삼각형화 과정이 필요하다. 본 논문은 이러한 전처리 작업중 의미점 추출과정의 개선에 중점을 두었다. 의미점을 추출하는 방법에는 8방향 이웃점 검사 방법과 이를 변형한 방법들이 많이 사용되고 있다. 또한 다각형 감소 기법을 응용하여 불필요한 점들을 제거하는 방법도 제안되고 있다. 그중 기본적으로 사용하는 8방향 이웃점 검사 방법을 이용한 의미점 추출 방법은 필요없는 점들을 추출한다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지형 단면을 이용한 의미점 추출방법을 제안한다. 이 방법은 기존의 방법보다 의미점 추출 시간이 빠르고 적은 지형 자료로 보다 정확한 특징점을 추출할 수 있다.

ABSTRACT

Terrain modelling is composed of a method using the rectangular grid and another using the triangulated irregular network. The method using the triangulated irregular network is most widely used because it can express the characteristics of the terrain well with only a small amount of information on the terrain and also reduces the rendering time. The process of extracting the surface-specific point and a triangular process is needed to construct such triangulated irregular network. This paper concentrates on the process of extracting the surface-specific point. The 8-direction neighborhood method and other transformed methods of the former method are frequently used to extract the surface-specific point. Another method which eliminates the unnecessary points using the polygon reduction method is also suggested. However, the 8-direction neighborhood method has a big fault of also drawing out some unnecessary points. To resolve such problem, we suggest a method of extracting the surface-specific point using the cross section of the terrain. This method reduces the time to extract the surface-specific point and enables a more precise extraction with less terrain information.

* 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사과정

** 중앙대학교 컴퓨터공학과 그래픽스 전공 부교수

1. 서 론

최근들어 컴퓨터 그래픽스 기법을 이용한 지리정보 시스템(GIS: Geographic Information System)이 널리 개발되고 있다. 이러한 지리정보 시스템에서 3차원 지형 모델링 방법은 중요한 부분을 차지한다. 3차원 지형 모델링이란 수치고도모델(DEM: Digital Elevation Model) 데이터를 이용하여 사각형이나 삼각형의 형태를 갖는 지형 모델로 만드는 것을 의미한다. 이렇게 만들어진 지형 모델을 수치지형모델(DTM: Digital Terrain Model)이라고 한다. 수치지형 모델에는 사각격자(Rectangular Grids)에 의한 방법과 불규칙 삼각망(TIN: Triangulated Irregular Network)에 의한 방법이 있다. 사각격자에 의한 방법은 DEM 데이터에서 표현된 고도값을 단순 선형보간법 (Linear Interpolation)을 적용하여 3차원 지형을 모델링하므로 빠르고 간단하며 평지 모델링에 적합하나 사용할 데이터 양이 많다는 단점을 가지고 있다. TIN에 의한 방법은 DEM 데이터에서 지형적으로 의미있는 점들을 추출함으로써 적은 양의 데이터를 가지고 지형의 모습을 사실적으로 표현할 수 있어 3차원 지형모델링에 많이 사용되고 있다.[1]

TIN에 의한 지형모델링 방법은 두가지 전처리 작업이 필요하다. 그 하나는 지형에서 의미있는 점들을 추출하는 의미점 추출 과정이고 다른 하나는 추출된 의미점들을 이용하여 삼각망을 만드는 삼각형화 과정이다.[1][2][3] 본 논문에서는 이러한 전처리 과정 중 의미점 추출 방법의 개선에 중점을 두었다. 기존의 의미점 추출 방법은 지형적으로 의미가 없는 점들을 추출하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 지형의 단면을 이용하였다. 이 방법은 개념적으로 간단하고 수행 시간이 빠르며 보다 정확한 의미점들을 추출할 수 있다.

2. 의미점의 특성

실제 지형은 어떠한 수식이나 디지털 입력기로도 만들어낼 수 없는 매우 복잡한 모습을 하고 있다. 따라서 이러한 복잡한 모습을 표현하고 있는 방대한 수

치고도데이터(DEM)로부터 의미점 추출을 통해 데이터양을 감소시킴으로써 적은 렌더링 시간으로 실시간적인 시각화를 가능하게 하고, 불필요한 데이터 처리를 줄일 수 있도록 한다. 의미점이란 DEM 데이터 중 지형적으로 의미있는 위치에 대한 점을 말하며 산꼭대기(peak), 웅덩이(pit), 고갯길(pass), 능선(ridge-line), 계곡(ravine-line), 급경사(break), 비탈(slope), 평지(flat)의 8가지로 분류한다.[4] 각 의미점의 특성은 표 2.1과 같다.

표 2.1 의미점의 지형적 특성

의미점	특 성
산꼭대기 (peak)	주위의 점보다 상대적으로 높음
웅덩이 (pit)	주위의 점보다 상대적으로 낮음
고갯길 (pass)	주위의 점들이 한쪽방향으로 차례로 높고 낮음을 반복.
능선 (ridge)	주위의 점 중에서 극히 일부분만이 높고 나머지는 모두 낮음
계곡 (ravine)	능선과 반대의 성질로 극히 일부분만이 낮고 나머지는 높음
급경사 (break)	주위의 점 대부분이 현재의 점보다 높음
비탈 (slope)	주위의 점 중 반은 높고 나머지는 낮음
평지 (flat)	주위의 점과 거의 차이가 없음

3. 관련 연구

TIN을 생성하기 위한 전처리 작업인 의미점 추출 방법은 적은 데이터로 보다 정확한 지형을 표현하는 것을 목적으로 한다. 의미점 추출 방법에는 주로 8 방향 이웃점 검색 방법을 사용하며 이를 변형한 Fowler and Little 알고리즘, VIP(Very Important Points) 알고리즘등을 사용한다.[4][5][6] 또한 기준 각도와와의 오차를 이용한 다각형 감소 기법을 사용하여 의미가 없는 데이터를 줄여나가는 방법을 사용하기도 한다.[7]

가장 주로 사용되는 8 방향 이웃점 검사 방법을 이용한 의미점 추출은 지형에서 획득된 DEM 데이터의

각 점과 이웃점들과의 관계로 정의된다. 즉, 한 점을 중심으로 그 점을 둘러싸고 있는 8방향의 각 이웃점들에 대해 시계방향이나 반 시계방향으로 돌며 고도차를 계산하여 의미점을 추출할 수 있다. 기준점의 고도를 중심으로 각 이웃점 고도와의 계산 결과는 양의 값, 음의 값 또는 0을 가지게 된다. 이와 같은 고도차를 연결하면 그림 3.1과 같은 그래프를 생성할 수 있다.

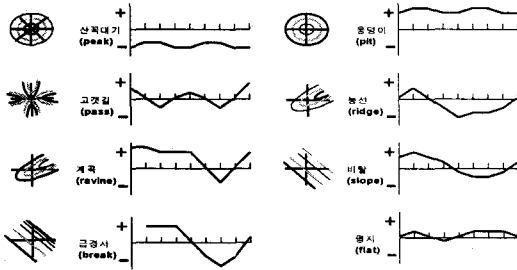


그림 3.1 의미점 특징 그래프

산꼭대기는 이웃점들보다 높은 고도를 가지고 있으므로 그림 3.1과 같이 고도차는 항상 음의 값을 가진다. 또한 웅덩이는 이웃점들보다 낮은 고도를 가지고 있으므로 고도차가 항상 양의 값을 가진다. 산꼭대기의 그래프와 같이 음의 값을 가지는 면적을 음 경사에너지(E-)라 하고 웅덩이의 그래프 같이 양의 값을 가지는 면적을 양 경사에너지(E+)라고 한다. 이러한 양 경사에너지와 음 경사에너지를 이용하여 지형의 특징을 파악할 수 있다. 이외에도 그래프가 기준선과 만나는 횟수(Nc), 그래프의 부호 변화사이에 나타나는 이웃점의 갯수(Lc)등을 통하여 의미점을 구분한다. 급경사의 경우를 예를 들어보면 급경사의 그래프가 기준선과 두 번 만나므로 Nc는 2이고 그래프가 음의 값에서 양의 값으로 변화(부호변화)하는 사이의 이웃점의 수는 네개이므로 Lc는 4의 값을 갖는다.

또한, 의미점에 대한 한계치를 설정하여 의미점의 수를 조절할 수 있다. 산꼭대기의 경우를 보면 각각의 산꼭대기의 특성을 갖는 점들은 음 경사에너지만을 갖는다. 이 음 경사에너지의 크기에 따라 산꼭대기의 특성을 갖는 점들의 수를 조절할 수 있다. 즉, 설정된

음 경사에너지보다 큰 값을 갖는 산꼭대기의 특성을 갖는 점들을 추출하는 경우, 음 경사에너지를 크게 주면 산꼭대기 수가 감소하고 작게 주면 산꼭대기의 수가 증가한다. 이와 같이 설정된 경사에너지에 대한 크기를 한계치(Threshold value)라 하고 각각의 의미점들을 결정할 수 있는 한계치를 두어 지형 표현의 세밀함을 측정하는 상세도 레벨을 설정할 수 있다. 따라서 양 경사에너지(E+), 음 경사에너지(E-), 그래프가 기준선과 만나는 횟수(Nc), 그래프의 부호 변화사이에 나타나는 이웃점의 갯수(Lc), 그리고 사용자의 필요에 의해 설정되는 한계치에 의해 표 3.1과 같이 의미점 추출 알고리즘을 나타낼 수 있다.

표 3.1 의미점 추출 알고리즘

E+	: 양의 경사 에너지
E-	: 음의 경사 에너지
Nc	: 그래프 부호 변화 횟수
Lc	: 부호 변화 사이의 점의 갯수
Tvalue	: 각 의미점의 한계치 값
꼭대기(peak)	$E_+ = 0, E_- > T_{peak}, Nc = 0$
웅덩이(pit)	$E_+ > T_{pit}, E_- = 0, Nc = 0$
고갯길(pass)	$E_+ + E_- > T_{pass}, Nc = 4$
능선(ridge)	$E_- - E_+ > T_{ridge}, Lc \neq 4, Nc = 2$
계곡(ravine)	$E_- - E_+ > T_{ravine}, Lc \neq 4, Nc = 2$
급경사(break)	$E_- - E_+ > T_{break}, Lc = 4, Nc = 2$
비탈(slope)	$ E_- - E_+ < T_{slope}, E_- - E_+ > T_{slope}$ $Lc = 4, Nc = 2$
평지(flat)	$E_+ + E_- < T_{flat}$

그림 3.2는 100 × 100 크기의 지역(10000개의 점)을 대상으로 표 3.2와 같이 설정된 한계치 값에 의해 추출된 의미점들의 모습이다. 그림 3.2는 산꼭대기, 웅덩이, 고갯길, 능선, 계곡, 급경사, 비탈, 평지를 표 3.2에 설정된 각각의 한계치에 의해 의미점들을 추출한 모습이다.

8 방향 이웃점 검사 방법을 이용한 의미점 추출 방법은 불필요한 의미점들을 추출한다는 문제점을 가지고 있다. 그림 3.2와 같은 경우 불필요한 평지 데이터를

표 3.2 의미점 추출에 사용되는 한계치 값

의미점	한계치	의미점의 갯수
peak	0	60
pit	0	373
pass	30	367
ridge	30	425
ravine	50	1011
break	50	194
slope	50	468
flat	50	2692
총합		5590

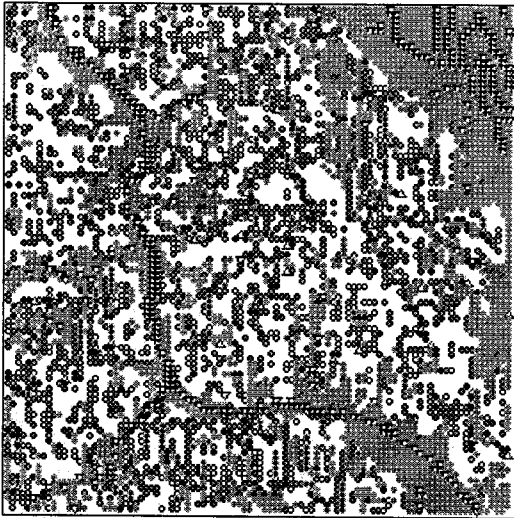


그림 3.2 의미점의 추출

모두 의미점으로 추출한다. 이런 경우 평지 데이터에 대한 외곽을 찾아내어 데이터를 줄일 수도 있으나 이러한 작업을 하기 위해서는 의미점 추출 후 추가된 연산을 수행해야하는 문제점을 여전히 남기고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지형 단면을 이용한 의미점 추출방법을 제안한다. 이 방법은 기존의 방법보다 수행시간이 빠르고 보다 정확한 의미점을 추출할 수 있다.

4. 지형 단면을 이용한 의미점 추출

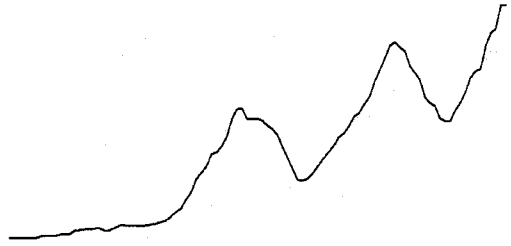


그림 4.1 X축에 의한 한 지형 단면

지형 단면이란 그림 4.1과 같이 X축이나 Y축으로 지형을 고도값을 나열한 모습을 말한다. 이렇게 절단된 지형 단면에서 그림 4.2와 같이 의미가 있는 위치의 특징점만을 추출함으로써 빠르고 간단하게 적은 양의 데이터로 더 정확한 지형을 표현할 수 있다.

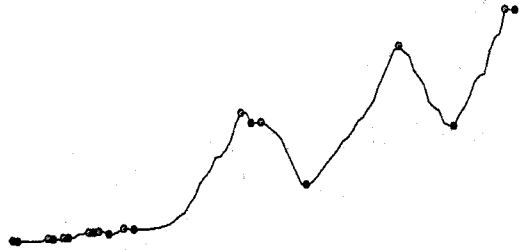


그림 4.2 지형 단면을 이용한 의미점 추출

지형단면에 의한 기본 알고리즘은 표 4.1과 같다. 먼저 X축에 있는 지형의 고도값들을 비교하여 의미점을 추출하고 다시 Y축에 있는 고도값을 X축으로 추출된 의미점과 비교하여 의미점의 특성을 정의한다. 나열된 지형의 고도값들은 이웃점 검사를 수행한다. 이웃점 검사란 현재점에서 이전점과 다음점을 비교하는 것을 말한다. 본 논문에서는 이웃점 검사 방법으로 높이값의 차이를 이용한 방법과 각도값의 차이를 이용한 방법을 사용하였다.

4.1 높이차를 이용한 의미점 추출

이웃하는 점들은 그림 4.3과 같이 국소(local minimum), 국대(local maximum), 증가, 감소하는 특징을 갖는다.

이러한 특징 중 국소나 국대의 특징을 갖는 점들을 추출한다.

경우이고 계곡은 한축으로는 국소를 다른 한축으로는 증가나 감소를 갖는 경우를 말한다.

표 4.1 지형단면에 의한 의미점 추출

기본 알고리즘

1. y값을 ymin으로 설정
2. X축에 있는 지형데이터를 추출한다.
3. x값을 xmin으로 설정
4. 이전점, 현재점과 다음점을 얻어낸다.
5. 지형의 위상을 비교한다
 - 5.1 의미있는 점으로 판단되며 그점을 추출한다.
6. x값을 증가시키고 4과정을 반복한다 ($xmin < x < xmax$)
7. y값을 증가시키고 2과정을 반복한다 ($ymin < y < ymax$)
8. 위의 과정을 Y축에 적용하여 의미점을 추출한다.

표 4.2 의미점의 종류 및 특성

의미점의 종류	의미점의 특성	
	X축	Y축
산봉우리(peak)	국대	국대
웅덩이(pit)	국소	국소
고갯길(pass)	국소	국대
	국대	국소
능선(ridge)	국대	증가나 감소
	증가나 감소	국대
계곡(ravine)	국소	증가나 감소
	증가나 감소	국소

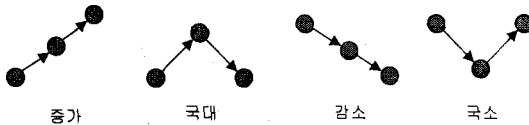


그림 4.3 이웃점의 특징

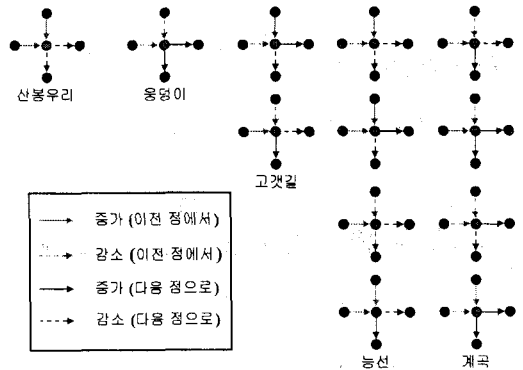


그림 4.4 의미점의 추출

먼저 X축으로 지형을 절단하여 이웃점의 특징에 따라 추출된 점들을 다시 Y축으로 지형을 절단하여 주위의 4방향에 대한 특성을 조사하여 의미점의 종류를 정의하고 지형의 특징점에 대해서는 의미점으로 추출을 한다. 본 논문에서는 의미점의 특성으로 표 4.2와 같이 산봉우리, 웅덩이, 고갯길, 능선, 계곡을 사용하였다.

이러한 특징을 그래프로 나타내면 그림 4.4와 같이 나타낼 수 있다. 산봉우리와 웅덩이는 한가지의 경우, 고갯길은 두가지의 경우, 능선과 계곡의 네가지의 경우의 수로서 추출할 수 있다.

산봉우리는 X축이나 Y축으로 모두 국대값을 갖는 점을 의미하고 웅덩이는 X축이나 Y축으로 모두 국소값을 갖는 점을 의미한다. 고갯길은 한축은 국소를 갖고 다른 한축은 국대를 갖는 경우이다. 능선은 한축은 국대를 갖고 다른 한축은 증가나 감소의 특징을 갖는

이 방법은 4개의 이웃점만을 검사함으로 기존의 8방향 이웃점 검사방법보다 절반의 시간으로 정확한 의미점을 추출할 수 있다는 장점이 있으나 필요한 특징점이 정확히 추출하지 못하고 불필요한 특징점들을 의미점으로 추출하는 문제점을 가지고 있다. 그림 4.5(a)와 같이 지형의 특징점을 정확히 추출하지 못하는 문제점이 있다. 지형 단면에서 국소값이나 국대값이

아닌 경우에는 의미점으로 추출할 수 없기 때문에 연결된 점선과 같은 형태로 의미점이 추출되어 지형의 특징을 정확히 표현할 수 없다. 그림 4.5 (a) 와 같은 경우 중간의 3점들이 더 추출되어야 한다. 반대로 지형에서 필요한 데이터까지 추출하는 문제점이 있다. 그림 4.5 (b)와 같이 추출된 특징점은 국대값을 갖거나 국소값을 갖는 경우이지만 아주 적은 높이차를 가지고 있어 이러한 점들은 의미점으로 추출할 필요가 없다. 그러나 높이차를 이용하므로 이러한 성격을 가진 점들까지 추출이 되게된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 의미점 추출을 높이차가 아닌 각도를 이용하여 의미점을 추출한다. 각도를 이용하여 추출하면 보다 적은 데이터를 가지고 정확한 지형의 특징을 추출할 수 있다.



(a) 특징점이 추출되지 않은 경우



(b) 불필요한 의미점 추출

그림 4.5 의미점 추출의 문제점(높이차)

4.2 각도를 이용한 의미점 추출

의미점 추출을 위한 이웃점 검사시 높이차를 이용하는 것이 아니라 이전점, 현재점과 다음점으로 이루어지는 선분의 각도에 의해 의미점을 추출한다. 이러한 각도에 의한 의미점 추출 방법은 높이차에 의해 의미점을 추출할 경우의 문제점을 해결할 수 있다.

이 방법은 X축으로 절단된 지형의 단면을 이전점, 현재점, 다음점으로 이루어진 선분의 각도를 구하여 설정된 임계 각도보다 크면 의미점으로 추출하고 작은 경우는 의미점으로 추출하지 않는다. X축으로 추

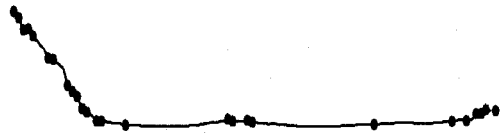
출된 의미점들은 다시 Y축으로 절단한 지형 단면에서 이웃점 검사를 수행한다.

기존 방법에서는 상세도를 각 의미점의 한계치 값에 의해 조절하였으나 이 방법에서는 임계 각도를 설정하여 상세도 단계를 조절하였다.

4.3 의미점 추출방법의 비교



(a) 높이차에 의한 이웃점 검사

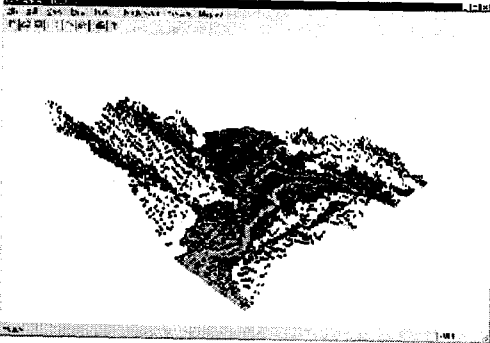
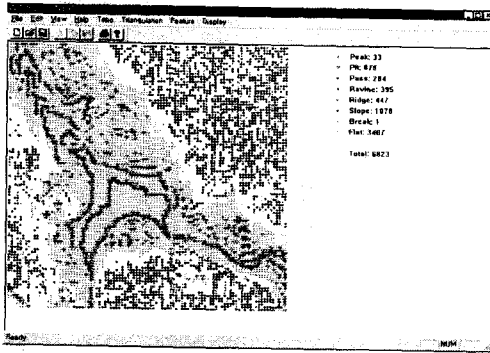


(b) 각도차에 의한 이웃점 검사

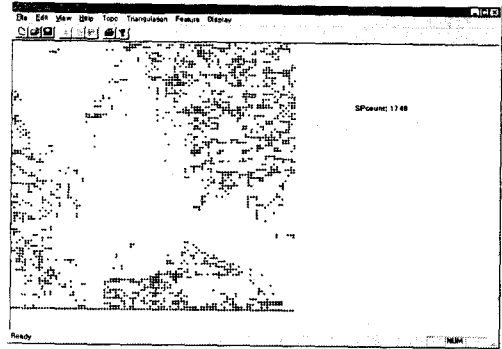
그림 4.6 의미점 추출 비교

그림 4.6은 높이차를 이용한 의미점 추출 방법과 각도를 이용한 의미점 추출방법을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각도차에 의한 이웃점 검사 방법은 평지 데이터와 같이 불필요한 특징점들을 제거하고 추출되어야할 지형의 특징점들이 추출하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 각도차를 이용한 의미점 추출 방법은 높이차를 이용한 의미점 추출방법보다 정확한 의미점을 추출할 수 있으며 기존 방법보다 더 적은 데이터를 가지고 지형의 특징을 정확히 표현할 수 있다.

5. 구현 결과

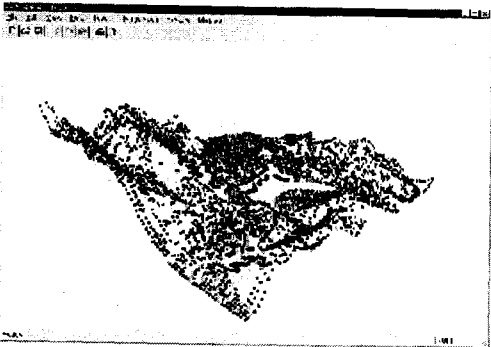
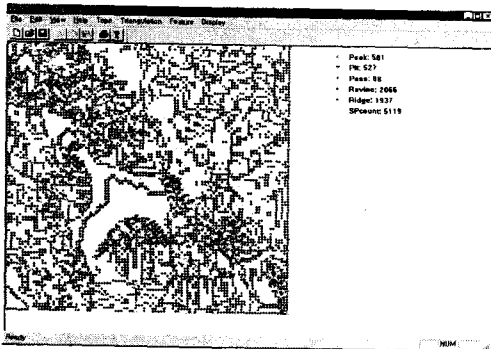


(a) 8방향 이웃점 검사방법



(c) 각도차를 이용한 의미점 추출

그림 47 의미점 추출

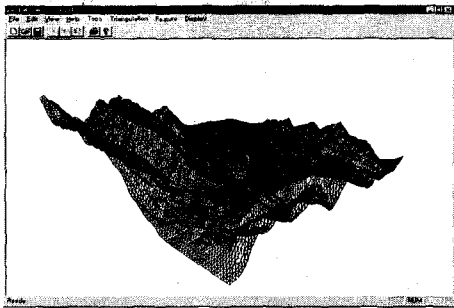


(b) 높이차를 이용한 의미점 추출

본 논문에서는 지형자료로서 수치고도모델을 사용하고 의미점 추출 후 삼각형화 방법으로 델러니 삼각형화 방법을 사용하였다.

그림 47은 8방향 의미점 추출방법, 높이차를 이용한 의미점 추출방법과 각도차를 이용한 의미점 추출방법에 의해 추출된 의미점의 모습이다. 각각의 상단 그림은 추출된 의미점을 2차원적으로 표현한 것이고 각각의 하단 그림은 실제 지형에 의미점을 매핑한 모습이다. 그림에서 알 수 있듯이 각도차를 이용한 의미점 추출 방법은 불필요한 평지 데이터를 줄여주고 필요한 특징점만을 추출하여 적은 데이터를 가지고 정확한 지형의 모습을 표현할 수 있다.

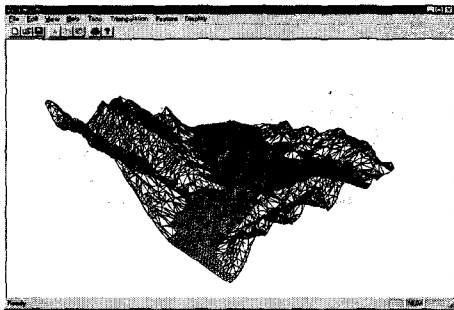
그림 48은 그림 47에서 추출된 의미점을 델러니 삼각형화에 의해 불규칙 삼각망으로 생성된 선구조 영상과 지형을 웨이딩한 모습을 보여주고 있다. 8방향 이웃점 검색에 의해 추출된 의미점의 수는 6,823개이고 높이차에 의해 추출된 의미점의 수는 5,119개이며



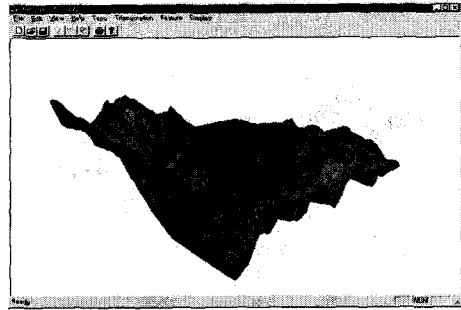
(a) 선구조 형상 (DEM)



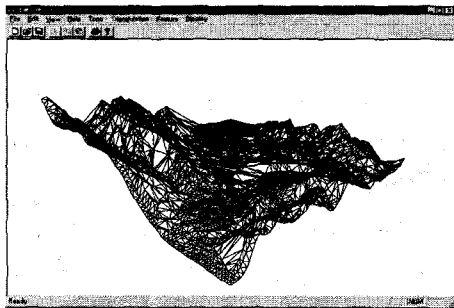
(e) 쉐이딩 (DEM)



(b) 선구조 형상 (기존방법)



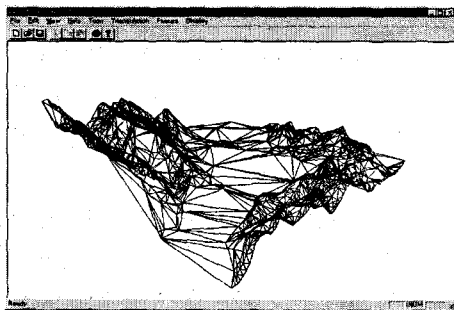
(f) 쉐이딩 (기존방법)



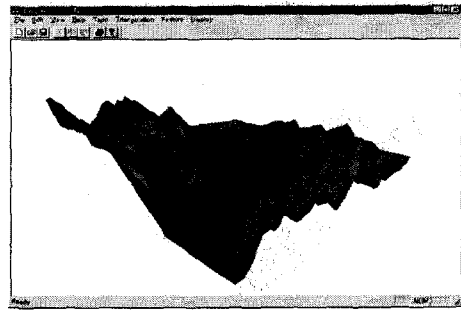
(c) 선구조 형상 (높이)



(g) 쉐이딩 (높이)



(d) 선구조 형상 (각도)



(h) 쉐이딩 (각도)

그림 48 의미점 추출 방법의 비교

각도차에 의해 추출된 의미점의 수는 1,748개이다.

이러한 결과로 볼 때 지형단면을 이용한 의미점 추출방법이 보다 더 적은 양의 지형 자료로 지형의 특징을 잘 반영할 수 있음을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 적은 지형 데이터로 보다 정확한 의미점 추출을 하기 위해 높이차와 각도차를 이용한 의미점 추출 방법을 제안하였다. 기존의 8방향 이웃점 검사 방법보다 단지 이웃하는 4개의 방향만을 검색하므로 절반의 수행시간으로 의미점 추출을 할 수가 있으며 지형의 단면을 이용하였으므로 보다 정확한 지형의 특징점을 추출할 수 있었다.

앞으로 향후 연구로써는 지형의 위상을 조사하여 특징선분으로 구성된 지형특징그래프를 추출하고 이 그래프를 유지하면서 삼각형화 과정을 수행하여 지형의 특징이 정확히 표현된 불규칙 삼각망의 생성에 대한 연구를 수행할 것이다.

감사의 글

본 연구는 중앙대학교 98학술 연구비에 의해 지원된 연구 결과이다.

참 고 문 헌

1. J. Lee, "Comparison of existing methods for building triangulated irregular network models of terrain from grid digital elevation models", Int. J. of GIS 5(3), 267-285, 1991.
2. B. Joe, "Construction of three dimensional Delaunay triangulations using local transformations", Computer Aided Geometric Design, Vol. 8, pp. 123-142, 1991.
3. Tsung-pao Fang and Les A. Piegl, "Delaunay Triangulation in Three Dimension", 1995 IEEE, pp 62-68, 1995
4. Thomas K. Peucker and David H. Douglas, "Detection of Surface-Specific Points by Local Parallel Processing of Discrete Terrain", COMPUTER GRAPHICS AND IMAGE PROCESSING, Vol 4, pp. 375-387, 1975
5. Shigeo Takahashi, "Algorithms for Extracting Correct Critical Points and Constructing Topological Graphs from Discrete Geographical Elevation Data", EUROGRAPHICS' 95, Vol. 14, No. 5, pp C181-C192, 1995
6. In So Kweon and Takeo Kanade, "Extracting Topographic Terrain Features from Elevation Maps", CVGIP: IMAGE UNDERSTANDING, Vol. 59, No. 2, pp. 171-182, 1994.
7. F. Schroder and P. Robbach, "Managing The Complexity of Digital Terrain Models.", Computer & Graphics, , Vol. 18, No. 6, pp. 775-783, 1994.
8. Franz Aurenhammer, "Voronoi Diagrams - A Survey of a Fundamental Geometric Data Structure.", ACM Computing Surveys, Vol. 23, No. 3, September 1991.