수치표고모델 데이터를 이용한 실시간 지형 생성

노성남*, 김선정**, 송창근**

요약

본 논문에서는 사실적인 지형을 만들기 위해 표고수치모델(DEM, Digital Elevation Model) 데이터를 사용하여 실시간으로 지형을 생성하는 알고리즘을 제안한다. 우선 DEM 데이터를 분석하여 방향 정보를 갖는 샘플 데이터를 추출한 다음, 가상 캔버스에서 입력 받은 사용자의 가이드라인의 방향에 맞춰 샘플 데이터를 조합하여 사실적인 지형을 제작한다. 제작된 지형에 발생하는 크랙을 없애기 위해 필터링과 높이 정규화가 사용된다. GPU(Graphics Processing Unit) 기반 렌더링 기술을 이용하여 사용자는 실시간으로 생성되는 지형의 모양을 확인할 수 있다. 실험 결과, 제안 알고리즘을 이용하여 다양한 형태의 입력 가이드라인에 대해 사실적인 지형을 실시간으로 생성할 수 있었다.

Realtime Terrain Synthesis Using DEM Data

Sung-Nam Noh*, Sun-Jeong Kim**, Chang-Geun Song**

ABSTRACT

In this paper, we propose a realtime terrain synthesis algorithm to generate realistic terrain using DEM(Digital Elevation Model) data. Through analysis of the given DEM data, we extract samples which has the information about directions of terrain patches. Users input guidelines with virtual canvas and then we compose the sample data as following directions of guidelines to build a realistic terrain. In order to remove cracks between terrain patches, we use filtering and height normalization. Users can generate a new terrain interactively because we apply GPU(Graphics Processing Unit) rendering technique. Using the proposed algorithm we synthesized realistic terrains based on user-input various types of guidelines.

Key Words : Terrain Synthesis, DEM(Digital Elevation Model), Guideline, Filtering, Height Normalization

* 한림대학교 컴퓨터공학과(✉customizer@nate.com)
** 한림대학교 유비쿼터스 컴퓨팅학과
· 제1저자(First Author) : 노성남 · 교신저자(Correspondent Author) : 송창근
· 접수일(2011년 1월 14일), 수정일(1차 : 2011년 2월 14일), 게재확정일(2011년 2월 17일)

www.kci.go.kr

Ⅰ. 서 론

3차원 지형 렌더링은 컴퓨터 그래픽스를 통해 자연 환경을 구성할 경우 사실성을 높일 수 있는 가장 중요한 요소 중 하나이다.

이러한 지형 렌더링은 비행 시뮬레이션이나 군사훈련, 재난재해 가상 시뮬레이션 등 특수 분야에서 뿐만 아니라 컴퓨터 게임, GPS(Global Positioning System), 영화의 특수효과 등과 같은 일반분야에서도 응용되고 있다.

지형 렌더링을 보다 사실적이며 효과적으로 구현하기 위해서 다양한 방법들이 있다. 그 중 지형 제작에 앞서 미리 제작한 지형 샘플 데이터를 이용하여 지형을 제작하는 방법이 있다. 지형의 높이 데이터 정보를 2차원 이미지 영역에 저장한 후 필요할 때마다 그 정보를 3차원 상으로 옮겨 구현하는 방법으로 2차원 이미지가 어떻게 생성하느냐에 따라서 3차원 지형의 형태가 결정된다. 2차원 이미지를 생성하기 위한 가장 대표적인 방법으로 프렉탈 작용을 통해 얻어진 샘플을 이용한 지형 제작과 물리적인 시뮬레이션을 통해 얻어진 지형 데이터를 이용한 지형 제작이 있다.

이런 방법들은 이미 다양한 알고리즘과 방법들이 제안되어 있어 사용하기 용이하며 손쉽게 원하는 결과물을 얻어낼 수 있는 이점을 갖는다. 그러나 결과물을 얻기 위해 적용되는 파라미터들의 값은 적은 수치 변화에도 큰 차이를 보이며 원하는 샘플 데이터를 얻기 위해서는 반복적인 알고리즘의 수행이 필요하다는 단점을 갖는다. 또한 조정 할 수 있는 변수의 영역도 한정 되어 있어 복잡한 형태의 지형을 구현하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 지형 샘플 데이터를 이용하여 인위적으로 제작된 샘플 데이터가 아닌 항공기나 위성으로 촬영되어 가공되어진 실제 지형의 데이터인 수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)정보를 기반으로 사실적인 지형을 생성하는 방법을 제안하고자 한다. 또한 실시간 지형 제작이 가능하도록 할 뿐만 아니라 보다 다양하고 폭넓은 인터페이스와 파라미터를 제공함으로써 고품질의 지형 결과물이 제작이 가능하도록 하였다.

Ⅱ. 관련연구

2.1 프렉탈을 이용한 지형 제작

프렉탈(Fractal)은 부분이 전체를 닮은 자기 유사성(self-similarity)과 소수(小數)차원을 특징으로 갖는 형상을 말하는데 수학적인 요소를 통해서 얻어지는 형태로 자연 구조를 표현 할 수 있다[1].

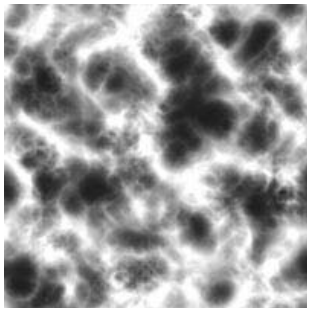

그림 1. 프렉탈을 이용하여 제작된 지형
Fig 1. Terrain synthesized using Fractal

프렉탈 구조를 통해 지형 모델이 제안 된 이래, 프렉탈 구조는 보다 복잡하고 다양한 형태로 표현하기 위한 방법이 제안되었으며 지형 렌더링에도 프렉탈 구조를 통해 생성 하게 되었다[2]. 프렉탈 구조는 그 적용 범위뿐만 아니라 수학적인 요소를 통해 자연구조를 표현 할 수 있는 장점으로 인해 아직도 이에 대한 연구가 진행되었다[3].

이런 프렉탈 구조는 지형의 구조를 생성하는데도 유용하게 사용될 수 있어 프렉탈 구조를 통해 3차원 지형 렌더링에 필요한 데이터를 얻을 수 있다. 프렉탈 구조는 이미 잘 알려진 구조이므로 다양한 방법의 알

www.kci.go.kr

고리즘들이 제안되어 있으며 제작되는 결과물에 비해 계산량이 적다는 장점을 가지고 있다(그림 1).

2.2 물리적 침식 시뮬레이션을 통한 지형제작

침식 시뮬레이션은 실제 환경의 지형에 변화를 줄 수 있는 요소들을 구현하여 가상의 환경에 적용함으로써 물리적으로 실제 지형과 유사한 데이터를 얻어내는 방법을 말한다. 이때 실제 지형을 변화 할 수 있는 풍화, 물, 지질 운동 등 실제로 적용하는 것이 가능하기 때문에 보다 실제 지형에 근접한 데이터를 얻어낼 수 있으며, 사용자가 요구하는 데이터를 추가하여 새로운 형태의 지형 데이터를 얻어낼 수 있다.

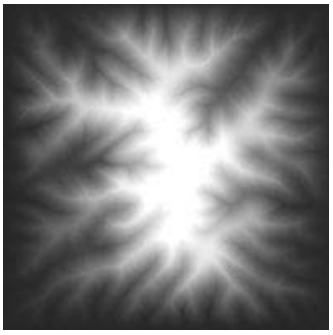

그림 2. 침식 방법을 이용하여 제작된 지형
Fig 2. Terrain synthesized using stream erosion

침식 시뮬레이션은 프렉탈 보다 늦게 제안되었다[4]. 그러나 침식 시뮬레이션은 실제 지형의 제작을 위해 사용되는 것뿐만 아니라, 침식 지형이 생성될 때 적용되는 요소들의 정보를 얻기 위해 연구되었기 때문에 현재까지 다방면에 걸쳐 연구가 활발히 이루어지고 있다[5].

침식 시뮬레이션은 실제 지형의 변화 요소들을 적용할 수 있도록 제작이 되므로 (그림 2)와 같이 실제 지형과 유사한 결과물을 얻어낼 수 있다.

III. 본 론

본 논문에서는 3차원 지형을 사실적으로 구현하기 위해 실제 지형 데이터인 수치표고모델 데이터의 정보를 이용하여 사실성을 부여하고자 한다. (그림 3)은 전체적인 흐름도이다.

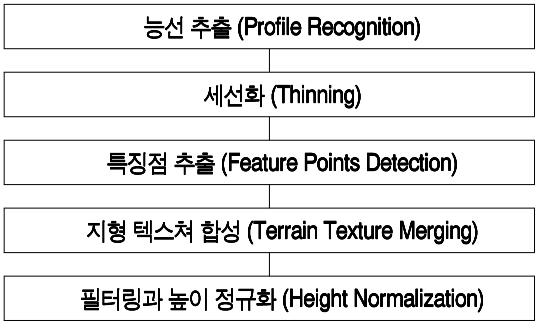

그림 3. 시스템 흐름도
Fig 3. System overflow

3.1 수치표고모델

실제 지표면 정보를 데이터화하는 작업들은 국가차원에서 그 가치를 인정되어 이미 활발히 진행되고 있다[6]. 이렇게 디지털화 된 지형 정보 중 본 논문에서는 수치표고모델 데이터를 통해 지형을 제작하고자 한다. 수치표고모델 데이터란 항공기나 인공위성 등을 통해 항공 측량장비(Lidar)를 이용하여 지형을 촬영함으로써 지표면의 고저값을 얻어 낸다.

데이터화된 수치표고모델 데이터의 저장방식은 다른 데이터와는 조금 다른 형태를 띠고 있다. 간단히 수치적인 요소로 저장하는 방법을 사용하는 대신에 일반적으로 이미지 포맷형식을 이용하고 있다. 즉, 이미지의 사이즈가 실제 측정된 지형의 크기가 되며 픽셀이 가지고 있는 컬러 값은 실제 지형의 고저값을 저장하고 있는 것이다(그림 4). 이미지 형태의 저장 방식을 이용하게 되면 시각적인 편의성이 있을 뿐 아니라, 관

www.kci.go.kr

리 및 수정, 보안하기 에도 편리하며, 데이터를 분석하는 에도 다양한 방법을 응용할 수 있어 정확하고 다양한 정보를 얻어 낼 수 있다.

그림 4. 수치표고모델 데이터
Fig 4. DEM data

다음 절부터는 수치표고모델 데이터의 이미지 저장 방식을 이용하여 수치표고모델 데이터를 분석하는 과정과 분석을 통해 얻어진 정보로 3차원 지형을 제작하는 방법에 대해 설명하겠다.

3.2 능선 추출

수치표고모델 데이터를 분석함으로써 산이나 강, 호수와 같이 가장 일반적으로 지형을 구성하는 여러 요소들에 대해 위치, 규모, 형태 등 다양한 정보를 분석해 낼 수 있다. 본 논문에서는 수치표고모델이 가지고 있는 여러 정보 중 하나인 능선을 중점적으로 추출하고자 한다. 능선이란 산의 정상 영역이 연속적으로 이루어져 만들어진 선으로 산등성이라고도 부르고 있다.

이렇게 능선의 분포를 분석해 냄으로써 지형에 분포된 산이나 산맥들의 위치를 파악할 수 있게 되며 능선의 정보를 바탕으로 산맥에 관련된 정보를 추출하여 3차원 지형 렌더링에 활용하도록 한다. 먼저 우리는 능선영역을 추출하기 위해 능선 추출방법을 적용하였다[7, 8]. 일반적으로 수치표고모델 데이터는 이미지 형식의 저장 방식을 사용한다. 능선 추출방법은 기준 픽셀과 인접 픽셀간의 명도 값을 비교하여 기준 픽셀이 능선 영역으로 적합한지를 판단하게 된다. 능선 추출과정을 통해 추출한 영역들은 (그림 5)와 같이 흰색이 산맥 영역으로 고저값이 가장 높은 부분으로 간주될 수 있다.

그림 5. 수치표고모델로부터 추출된 능선들
Fig 5. Profiles recognized from DEM

3.3 세선화

세선화는 선분의 정보를 가지는 이미지 데이터에서 선분의 두께가 1이상일 때 선분의 두께를 가장 이상적인 두께인 1인 상태로 변환하는 알고리즘이다. 세선화는 본래 선분에 대한 정보가 중요시 되는 이미지 프로세싱에서 주로 사용되는 알고리즘이지만 본 논문에서는 후보 능선 영역에서 정확한 능선 정보를 얻어 내기 위해 세선화를 사용한다.

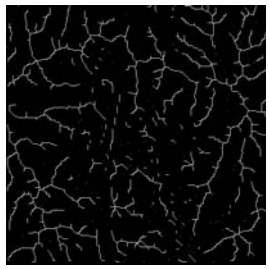

그림 6. 세선화된 능선들
Fig 6. Thinning profiles

www.kci.go.kr

논문에서 사용한 세선화 알고리즘은 대표적인 알고리즘 중 하나인 Zhang Suen의 세선화 알고리즘을 적용하였다. 이런 세선화 알고리즘을 사용하여 능선 추출의 결과에 적용하여 정확한 능선정보를 얻어낸다. 그 결과 (그림 6)과 같이 두께가 1인 형태의 세선형태를 이루게 되며 이는 수치표고모델 데이터에서 산맥의 능선의 정보가 된다.

3.4 특징점 추출

세선화까지 마친 선분 정보는 능선의 형태와 위치에 대해 자세히 표현하고 있다. 능선 정보를 가지는 라인의 각 픽셀은 인접하는 픽셀간의 관계를 통해 보다 다양한 정보를 얻어낼 수 있는데, 이렇게 얻어지는 정보를 '특징점'이라고 부르겠다. 특징점은 아래와 같이 크게 3가지로 분류한다.

(가) 말단 포인트 : 능선의 각 끝에 위치한 정점 정보로 산맥의 가장 외곽 영역에 위치한다.
(나) 연장 포인트 : 능선의 대부분을 이루는 정점 정보로 인접 정점 간의 연속적인 속성을 구현하여 선분 형태를 유지한다.
(다) 분기 포인트 : 능선이 다른 능선과 만나거나 분리 되는 정점 정보로 복잡한 형태의 지형을 구성하는 요소가 된다.

여기서 말단 포인트와 연장 포인트를 찾는 방법은 비교적 간단하다. 문제는 분기 포인트를 찾는 방법이다. 분기 포인트는 말단 포인트나 연장 포인트에 비해 분석해야 할 요소들이 많다. 3개 이상으로 분할이 된 분기 포인트는 그 방향과 분할 횟수 그리고 분석 범위에 따라 분석 결과가 다르게 나올 수 있기 때문이다.

우리는 분기점을 찾는 방법을 간소화하기 위해 12개의 패턴과 대조하여 분기점 여부를 조사하였다. 분기점을 찾기 위한 인접 픽셀간의 거리를 1이라고 가정할 때 분기점이라 판별 될 수 있는 패턴의 종류는 총 12가지로 정의된다. 그러나 보다 빠른 알고리즘 수행을 위해 3종류로 패턴 종류를 간소화 할 수 있다(그림 7).

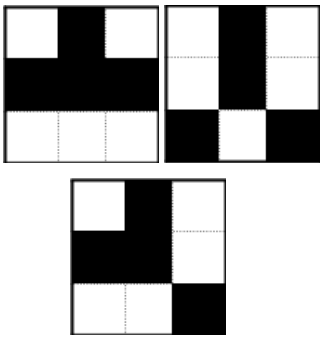

그림 7. 특징짐 추출을 위해 간소화된 패턴들
Fig 7. Simplified patterns for feature points detection

(그림 8)에서 보는 것과 같이 능선을 따라 각 포인트의 정보가 나열되어 능선을 이루는 각각의 정점에 대한 포인트 정보를 나타내고 있다.

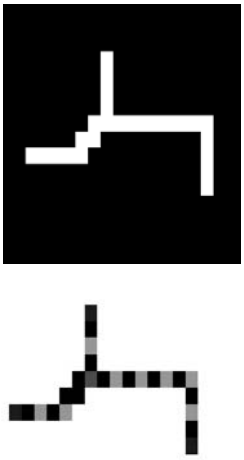

그림 8. 분류된 특징점들 (빨강-분기 포인트, 녹색-연장 포인트, 파랑-말단 포인트)
Fig 8. Classified feature points (red - division points, green - connection points, blue - end points)

www.kci.go.kr

이렇게 추출된 특징점 정보는 사용자가 입력하는 선분의 특징점과 비교하여 지형 정보를 추출하는 작업이 가능하도록 한다.

3.5 가상 캔버스

맵을 제작하는데 있어 사용자는 스케치 형식의 제작 행위를 수행할 수 있다. 이렇게 그려지는 라인을 분석하여 미리 저장된 실제 지형데이터를 서로 매치 시켜 보다 실제와 같은 지형을 만들 수 있게 한다. 가상 캔버스는 사용자에게 마치 캔버스에 그림을 그리듯 라인을 드로잉 하도록 함으로써 사용자가 원하는 형태의 지형을 제작할 수 있도록 한다.

이렇게 그려진 라인은 사용자의 요구에 따라 제작될 지형에서 산이나 산맥을 이루는 능선이라고 간주한다. 이렇게 능선이라고 간주된 가상 캔버스의 선분 요소는 이전에 소개 했던 특징점 추출 과정을 통해 특징점들을 추출할 수 있으며 수치표고모델에서 추출된 능선의 특징점 정보를 3차원 상에 배치할 수 있도록 한다.

3.6 지형 텍스쳐 합성

수치표고모델에서 추출된 특징점과 가상 캔버스에서 추출된 특징점들을 비교하여 가상 캔버스에서 추출된 특징점의 위치에 수치표고모델의 지형정보를 특징점의 특성을 바탕으로 배치하는 작업을 수행한다. 특징점들은 수치표고모델 데이터에서 추출된 능선이다. 즉, 능선을 기준으로 하였을 때 주변 영역은 산이나 산맥을 이루는 요소로 간주할 수 있으며 우리는 이러한 정의를 바탕으로 수치표고모델 데이터에서 지형정보를 얻어내어 배치함으로써 산이나 산맥 지형을 표현할 수 있게 된다.

먼저 특징점이 파악된 가상 캔버스의 정점 위치에 수치표고모델 데이터에서 추출된 임의의 특징점의 위치를 배치시킨다. 이때 해당 특징점간의 특성은 서로 일치해야하며 만약 그렇지 않게 된다면 원하지 않은 형태의 지형정보가 3차원 상에 배치되는 문제점을 낳게 된다.

가상 캔버스의 특징점 위치에 배치된 수치표고모델 데이터의 특징점을 바탕으로 특징점의 위치 정보를 중심으로 일정 영역의 수치표고모델 데이터를 가져오게 되는데 데이터 저장 방식자체가 이미지 형식이기 때문에 마치 이미지의 패치를 가져와 배치하는 방법과 유사하게 이루어지기 진다. (그림 9)에서 보는 것과 같이 가상 캔버스를 통해 입력된 라인을 시간으로 분석을 통해 특징점으로 분류 되며 해당 특징점들에 이미 분석이 마친 수치표고모델에서의 특징점 정보들이 배치되게 된다.

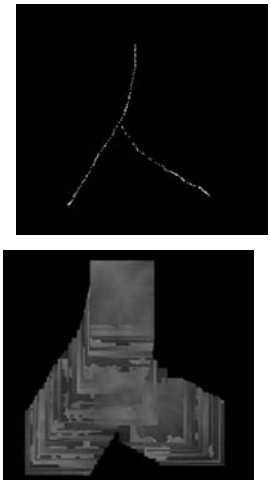

그림 9. 사용자의 입력에 따라 수치표고모델 데이터를 배치한 결과 (좌-가이드라인, 우-지형 패치)
Fig 9. Aligned DEM data following user input (left - guideline, right - terrain patches)

3.7 필터링과 높이 정규화

이렇게 배치된 3차원 지형의 형태는 임의의 브러쉬나 프렉탈을 이용한 지형 제작물보다 자연스럽고 보

www.kci.go.kr

다 고품질의 결과물을 만들어 낼 수 있다. 하지만 여기서 한 가지 문제점이 발생한다.

아무 가공 없이 각 특징점에 대해 수치표고모델 데이터를 가져와 배치하기 때문에 각 패치들 간의 연결성이 부자연스러워 크랙이 발생하고 만다. 우리는 이러한 문제를 해결하기 위해 (그림 10)과 같은 사용자 지정 필터를 제공한다. 만약 수치표고모델 데이터를 패치단위로 가져와 3차원 상에 배치하고자 할 때 패치의 외곽영역은 패치들 간의 연결성을 높이도록 보정함과 동시에 중심영역은 수치표고모델 데이터의 특징을 그대로 배치할 수 있도록 하는 사용자 지정 필터를 지정하여 사용할 수 있도록 하였다. 사용자 지정 필터를 통해 가공이 이루어진 패치는 특징점들로 인해 배치된 패치들의 연결성을 자연스럽게 하며 동시에 지형의 고유적인 특징도 최대한 유지하도록 하였다.

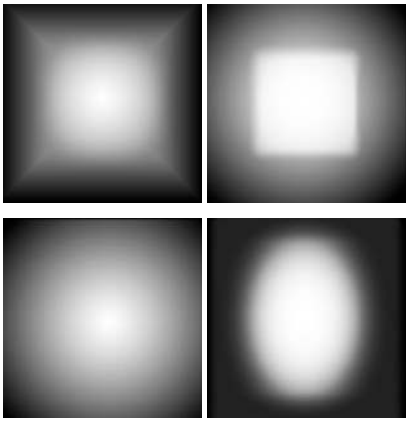

그림 10. 사용자 정의 필터
그림 10. Custom Filter

(그림 11)은 필터링을 과정을 거친 후 3차원 상에 배치된 지형 정보를 보여주는 결과로, 지형 패치가 필터링를 거치기 이전보다 보다 자연스러운 연결성을 보여주고 있다.

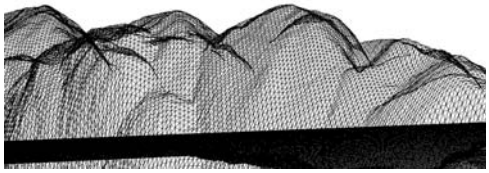

그림 11. 필터링 과정 후 지형
그림 11. Terrain after filtering step

수치표고모델로부터 샘플링 되어온 위치가 다르기 때문에 지형 패치의 기저 높이는 모두 다를 수밖에 없다. 특징점들은 산이나 산맥의 위치에 대한 정보만을 제공해 줄뿐이지 기저 높이 값에 대한 정보는 수치표고모델을 통해 얻어 와야 하기 때문이다. 만약 이웃하는 지형 패치들의 기저 높이 값이 너무 많이 차이가 난다면, 필터링만으로 크랙을 막기는 역부족이다.

그러므로 수치표고모델에서 추출된 높이 값에 대해 패치 단위로 값을 정규화를 수행한다. 수치표고모델에서 추출된 높이 값들은 자신을 표현하기 위한 높이 이외에 불필요한 값들이 존재한다. 예를 들면 지형의 최소 높이가 100인 경우, 이를 기저 높이로 판단하고 100미만의 값들은 지형의 형태를 표현하는데 사용되지 않으므로 제거한다. 즉 모든 지형 패치의 기저 높이를 0으로 맞추고 지형 텍스쳐 합성을 수행한다.

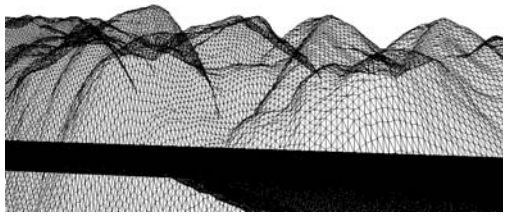

그림 12. 높이 정규화 후 지형
그림 12. Terrain after height normalization

www.kci.go.kr

이렇게 높이 값의 정규화 과정을 통하게 되면 지형들이 가지는 높이 값들은 지형을 표현하기 위한 값들로만 이루어지게 되며 정규화를 거치기 전보다 패치들 간에 발생되는 크랙 현상이 현저히 줄어들게 된다(그림 12).

Ⅳ. 구현 및 평가

본 논문은 실제 수치표고모델 데이터를 바탕으로 사용자가 원하는 3차원 지형 제작이 가능한 가상 캔버스를 제작하였다(그림 13).

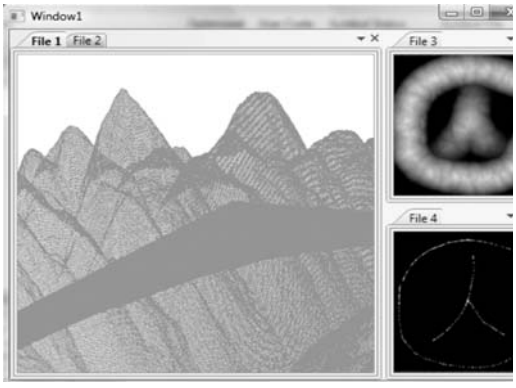

그림 13. 가상 캔버스
그림 13. Virtual Canvas

사용자는 3차원 지형을 제작하기에 앞서서 자신이 원하는 특성을 지니는 실제 수치표고모델 데이터를 메뉴를 통해 임의로 선택할 수 있다. 이렇게 사용자가 수치표고모델 데이터를 선택하게 되면 시스템에서는, 지형을 합성하기 전에 전처리 과정으로 수치표고모델 데이터에서 능선 정보를 분석한 후에 특징점들을 분류하여 리스트에 저장한다. 사용자는 간단한 인터페이스를 통해 가상 캔버스에 자신이 원하는 형태의 지형을 스케치 형식으로 라인을 입력을 하며(그림 13의 우측 하단), 시스템은 이렇게 입력된 라인 성분을 분석하여 특징점을 분류함과 동시에 3차원 상에 특징점들의 특성을 고려하여 실제 수치표고모델 데이터의 지형정보를 배치하게 된다 (그림 13의 우측 상단).

가상 캔버스에서는 수치표고모델에서 추출할 지형의 크기나 배치할 지형과 현재 지형과의 관련 정도, 필터링에 사용될 필터의 크기, 종류, 적용 강도를 선택할 수 있다. 가상 캔버스를 통해 사용자가 의도하지 않은 모양의 지형이 생성된 것이 확인되면(그림 13의 좌측), 삭제와 편집 기능이 제공되므로 사용자는 실시간으로 편리하게 지형을 제작할 수 있다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구

본 논문은 3차원 지형 렌더링의 사실성을 높이기 위해 실제 지형 정보를 담고 있는 수치표고모델 데이터를 사용하였다. 기존의 맵 에디터나 지형 시뮬레이션에서 자주 사용하던 브러쉬(Brush) 기능이나 수학적인 계산을 통한 지형 제작이 아닌 실제 지형 데이터를 이용함으로써 기존의 기술로 발생되었던 지형 표면의 규칙성을 감소시킬 수 있었다.

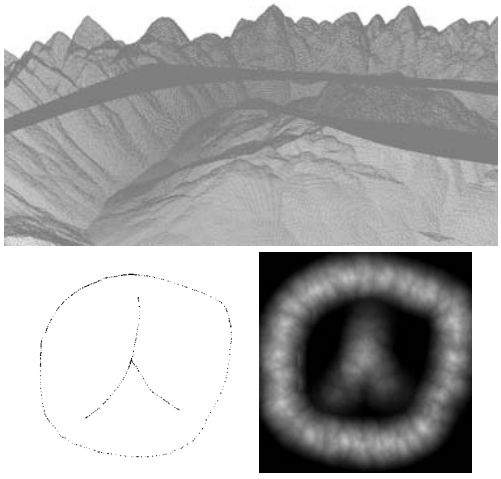

그림 14. 제안 알고리즘의 결과 (1)
그림 14. Result of the proposed algorithm (1)

www.kci.go.kr

사용자가 자신의 욕구에 맞게 수치표고모델 데이터를 변경하여 같은 사용자 입력 조건이더라도 수치표고모델의 지형 특성을 기반으로 다양한 지형을 생성할 수 있게 되었다.

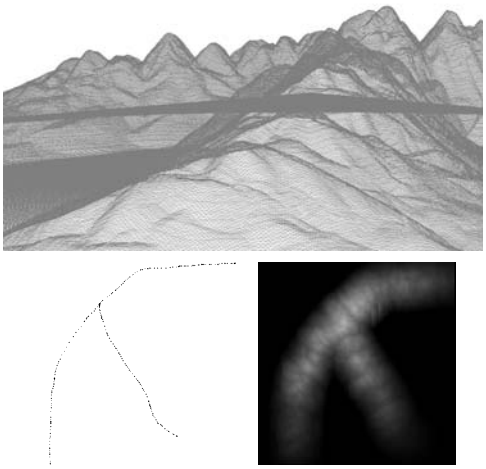

그림 15. 제안 알고리즘의 결과 (2)
그림 15. Result of the proposed algorithm (2)

향후 우리는 계산 속도를 줄이기 위한 방법으로 다중 코어에서의 처리방법에 대해 연구를 진행하고자 한다. 현재 구현된 지형 제작 툴은 실시간에 가까운 제작환경을 제공하지만 가상 캔버스에서 사용자가 입력하는 라인성분이 복잡하거나 너무 큰 정보를 입력할 경우 실시간 계산을 통한 결과를 얻어내기 힘들었다.

또한 사용된 수치표고모델 데이터의 정보가 한정적이므로 각 지형마다 다른 특성을 가지는 수치표고모델 데이터를 수집하여 적용하여 봄으로써 수치표고모델 데이터에 따른 3차원 지형의 다양성과 사실성을 검증해 보고자 한다.

Acknowledgement

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

[1] B. B. Mandelbrot. "*The Fractal Geometry of Nature*", New York: WH Freeman and Co., 1982.

[2] G. S. P. Miller, "The Definition and Rendering of Terrain Maps", *ACM SIGGRAPH Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH 1986)*, Vol. 20, No. 4, pp. 39-48, August 1986.

[3] C. Dachsbacher, "*Interactive terrain rendering: Towards realism with procedural models and graphics hardware*", http://www.opus.ub.unierlangende/opus/volltexte/2006/354/, 2006.

[4] A. D. Kelly, M. C. Malin, and G. M. Nielson, "Terrain Simulation Using a Model of Stream Erosion", *In Proc. of SIGGRAPH 1988*, pp. 263-268, 1998.

[5] B. Neidhold, M. Wacker, and O. Deussen, "Interactive Physically Based Fluid and Erosion Simulation", *EUROGRAPHICS Workshop on Natural Phenomena*, 2005.

[6] 국토 해양부, http://www.mltm.go.kr/portal.do, 2010.10.24 발췌.

[7] Y.-C. Chang and G. Sinha, "A Visual Basic Program for Ridge Axis Picking on DEM data Using the Profile-Recognition and Polygon-Breaking Algorithm", *Computers and Geosciences*, Vol. 33, No. 2, pp. 229-237, 2007.

[8] H. Zhou, J. Sun, G. Turk, and J. M. Rehg, "Terrain Synthesis from Digital Elevation Models", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 13, No. 4, pp. 834-848. July-August 2007.

www.kci.go.kr

저자소개

노성남(Sung-Nam Noh)

2008년 한림대학교 컴퓨터공학과 학사

2009년~현재 한림대학교 컴퓨터공학과 석사과정
※ 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 가상현실, 모바일 게임

김선정(Sun-Jeong Kim)

1996년 고려대학교 컴퓨터학과 학사
1996년 고려대학교 컴퓨터학과 석사
2003년 고려대학교 컴퓨터학과 박사
2005년~현재 한림대학교 유비쿼터스 컴퓨팅학과 부교수
※ 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 3차원 게임, 가상현실

송창근(Chang Geun Song)

1981년 서울대학교 계산통계학 학사
1983년 한국과학기술원 전자계산학 석사
1992년 University of Oklahoma, EECS(Computer Science), Ph.D.
1983년~현재 한림대학교 유비쿼터스 컴퓨팅학과 교수
※ 관심분야 : 가상/증강현실, 게임, 컴퓨터 그래픽스

www.kci.go.kr