



※ 본 기사는 CMP MEDIA LLC와의 라이선스 계약에 의해 국문으로 제공됩니다

특집: 프랙탈 브라운 운동을 이용한 절차적 지형 생성

(Sponsored Feature: Procedural Terrain Generation With Fractional Brownian Motion)

제프리 프리먼(Jeffrey Freeman)  
가마수트라 등록일(2008. 6. 3)

[http://www.gamasutra.com/view/feature/3669/sponsored\\_feature\\_procedural\\_.php](http://www.gamasutra.com/view/feature/3669/sponsored_feature_procedural_.php)

본문 텍스트

컴퓨터 그래픽 업계는 오래 전부터 복잡한 현실세계 지형을 모델로 만드는 시도를 해왔다. Freeman은 본 기사를 통해 인텔의 [비주얼 컴퓨팅 마이크로사이트](#)에 대해 소개하면서 통합 그래픽솔루션을 이용하여 현실감 있는 지형그래픽을 시스템상에 구현하는 몇 가지 기법(소스코드도 포함)을 설명하고 있다.

## 머리말

컴퓨터 그래픽 업계는 오래 전부터 현실세계의 지형을 모델화를 위한 많은 시도를 해왔다. 그 가운데 모델링과 렌더링 기법을 통해 복잡한 자연지형을 모방하려는 움직임도 있었다. 일찍이 1960년대 말부터 베노이트 만델브로트는 해안선과 같이 자기유사성을 유지하려는 자연적 형태와 수학적 모델을 연계시켜 생각했던 바 있다[1]. 그 후 프랙탈을 이용하여 영국의 식물학자 이름을 딴 분자 브라운 운동과 같은 통계확률론적 과정을 활용하는 부분적 지형모델을 만들어내는데 성공함으로써 이 분야에서 주목할만한 발전을 이루게 되었다. 본 기사에서는 켄트 머스그레이브[2]가 셰이더 모델 3.0과 텍스처 혼합 기법을 통해 제안한 것과 유사한 지형 조각 생성 기법을 설명하고자 한다. 머스그레이브는 Intel® 965 익스프레스 칩셋과 Mobile Intel® 965 익스프레스 칩셋 패밀리 등 집적 그래픽 솔루션으로 합성 지형이미지를 창조하는데 성공한 바 있다.

우선 여기서는 이 분야에 대한 과거 업적에 대해 언급하고 그 다음에 장면 제작을 위해 CPU와 GPU 파워를 활용하는 구현 방법을 소개하고자 한다. 독자들이 지형 제작에 활용할 수 있도록 소스코드도 제공되어 있다.

## 과거 업적

몇몇 학자들은 프랙탈을 활용해서 2차원 공간과 3차원 공간에서 지표면을 섭동하는데 다양한 지형 창출을 시도한 바 있다. 만델브로트는 산악지형의 자기유사성과 브라운 운동을 비교하여 2차원 랜덤 워크를 적용할 경우 생생한 스카이라인을 만들어내는 프랙탈 지형 창조에 가장 근접했던 연구가였다. 그 후 만델브로트와 머스그레이브는 분자 브라운 운동을 3차원 공간에 적용하고 여기에 펄린 노이즈와 멀티프랙탈 개념을 도입함으로써 이전에 비해 훨씬 더 현실감 있는 지형 이미지를 만들어낼 수 있었다[2].

참고문헌 [2] [4]에 언급된 프랙탈 지형 제작을 위한 노이즈 기반 시스템만이 현실감 있는 지형을 만들어내는데 필요한 요소는 아니다. 이외에도 보기 좋은 지형을 만들어내기 위해 추가로 몇 가지 다른 요소를 포함시킬 수 있다. 이들 가운데 다이아몬드 스퀘어/삼각형 에지 알고리즘, 프와송 폴딩, 패스트 푸리에 필터링 등을 포함하는 중위점변위 계산기법을 주요 요소로 들 수 있다.

일부 시스템의 경우 현실감 넘치는 장면을 연출할 수 있지만 이들 계산이 수학모델로부터 나오는 지형에 제어를 가할 경우 [2]에서 언급된 노이즈 합성 기법이 사용된다. 이러한 모델의 특성은 [5]에서와 같이 지형의 현실적 특성을 포착하는데 장면 렌더링 형태를 완전히 컨트롤하는 메커니즘을 제공하지는 못하지만 여러 가지 흥미롭고도 현실적인 결과를 도출할 수는 있다. 우리는 여기서 마이크로소프트 DirectX 9와 셰이더 모델 3.0을 활용하여 GPU 상에서 이들 컨트롤과 다단계 텍스처에 픽셀 셰이더를 가미함으로써 CPU에 근거한 몇 가지 알고리즘을 보여주고자 한다.

## 구현

구현 모델은 머스그레이브의 논문[2]에서 얻은 아이디어를 근거로 한 것으로 펄린의 노이즈 알고리즘에 근거한 심플 fBm, 합성 fBm 및 릿지 멀티프랙탈 알고리즘에 대해 설명하고 있다. 이들 기법을 통하여 고정사이즈 폴리곤 메쉬를 Z 방향으로 섭동함으로써 결과물을 도출할 수 있다.

그림 3-1. 심플 fBm을 이용한 프랙탈 지형

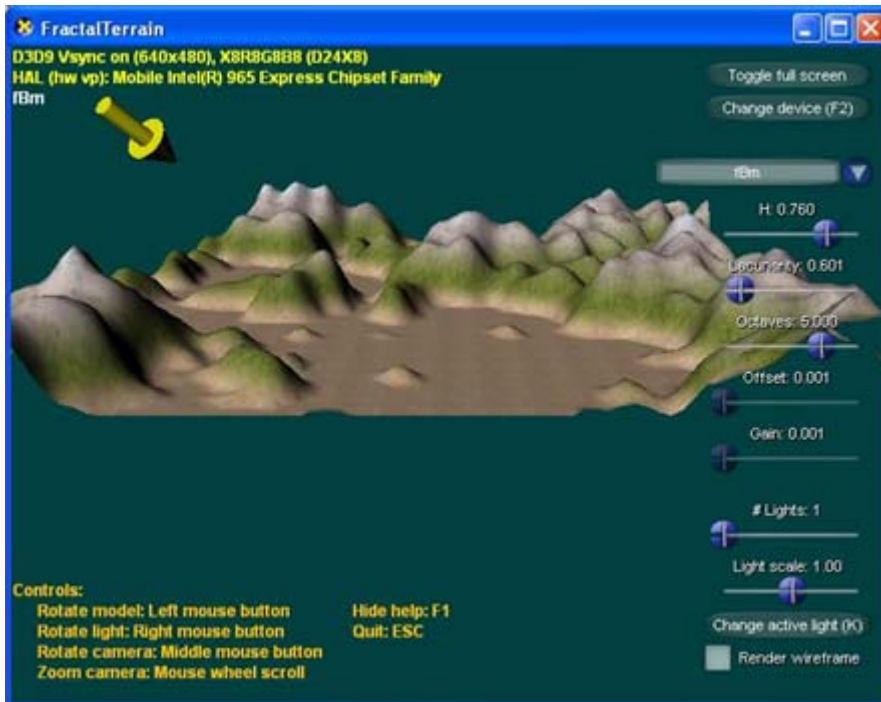


그림 3-1은 구현 결과를 나타내고 있다. 우측 화면에 각 fBm 알고리즘의 특성을 조정하기 위해 콤보 박스에서 선택한 컨트롤을 사용하였음을 보여준다. 이 화면에서는 디폴트 알고리즘 파라미터를 조정하여 흥미로운 지형 특성을 나타내는데 [7]에 나오는 BasicHLSL 데모를 수정하여 보여주고 있다.

#### 메소드 파라미터

- (H) 허스트지수 - 수학 분야에서 이는 fBm 분류 기준이고 프랙탈 차원을 결정한다.
- (Lacunarity) - 후속 프리퀀시 간의 갭을 결정한다.
- (Octaves) - 화면에서 프리퀀시와 구체 정도를 결정한다.
- (Offset) - 가장 낮은 고도에서 상쇄 효과를 내주며 “멀티프랙탈리티”[2]를 결정한다.
- (Gain) - 프리퀀시의 폭을 컨트롤한다.

#### 멀티 텍스처 픽셀 셰이딩

픽셀은 텍스처 이미지를 샘플링한 것으로 허마이트 스플라인은 이 픽셀 셰이더 함수를 통과하는 높이를 기준으로  $\{0..1\}$ 을 보간하였다. 여기에는 [3]에서 제시된 바와 같이 전통적인 고정기능 텍스처 혼합 작업 대신, 멀티 텍스처링 혼합 작업이 선택되었고 블렌드 맵 없이 구현되고 있다. [3]에 나타난 것과 같이 블렌드 맵은 멀티 텍스처 표면의 텍스처를 보다 상세하고 현실감 있게 보여주는지 하지만 여기에서 선택된 방법에서는 비행 시뮬레이터에서처럼

높은 상공에서 지상을 내려다보기 때문에 디테일은 약간 생략된 이미지로 표현되고 있다. 각기 다른 고도의 지대는 모래밭과 초원, 암반지대, 눈밭 등 사이에 점차적인 변화를 나타내는 상수로 분리되어서 인접 지대와 가까워짐에 따라 지대 샘플의 픽셀 색조를 띠게 하여 다양한 고도 지대를 아우르는 혼합효과를 연출하고 있다. 이러한 방법은 셰이더 효과 파일에서 [9]에 의해 제시되었던 것이기도 하다.

## 향후 과제

프랙탈 지형 제작과 관련하여 몇 가지 흥미로운 과제가 남아있다. 자동 지형생성 애플리케이션은 fBm과 다른 프랙탈 지형모델에서 드러나는 스토리라인에서의 상충되는 게임플레이 요소나 비현실적인 특성과 관련된 어려운 결정에 부딪치게 된다. 여기에 덧붙여 대부분의 지형생성 방법론은 계산집약적이며 실시간 성격을 갖지 못하는 문제점을 안고 있다. 일부 프랙탈 알고리즘은 멀티스레딩(multi-threading)에 쉽게 적용될 수 있게 하는 반면 만델브로트 세트[10]에서처럼 시간이 너무 많이 소요될 뿐만 아니라 섭동 표면의 사이즈를 크게 줄이거나 인스펙션 회수를 줄이지 않고는 제대로 적용되지 않는다는 문제점을 가지고 있다. 프랙탈 브라운 운동 실행을 멀티스레딩하는데 발생할 수 있는 한 가지 어려우면서도 흥미로운 문제점은 이것이 아주 일반적인 현상이며 변수의 각기 다른 영역에서 일어나고 있다는 것이다. 열이나 행으로 프로세싱을 구분하여 표면의 Z 값을 넓히거나 알고리즘 파라미터의 컨트롤을 왜곡시키는 결과를 가져오거나 또는 프로세싱을 사분면으로 구분하여 연결성이 현저하게 떨어지는 지형 모양을 낼 수도 있다.

과거 얻은 수치간에 존재하는 이러한 상호 연관관계는 허스트 지수, Lacunarity, Octaves 등을 통해서 얻은 fBm으로부터 우리가 추구하는 특성을 도입하는 요인인 것이다. 물질적인 프로세싱 단위 간에 계산을 각기 구분하는 것이 점차 어려워진다. 만델브로트[8]를 통한 이 개념의 연구에 따르면 fBm의 트렁케이션을 통해 스레딩 문제를 해소할 수 있다고 한다. 그러나 그 결과 계산에서 어느 정도의 에러는 있을 수 있다. 렌더링 과정을 통해 만들어낸 경치가 심미적으로 보기 좋을 경우 이 작업 속에 내재한 어느 정도의 부정확함은 그냥 넘어갈 수도 있다. 멀티스레드 된 fBm 알고리즘의 효과가 생성된 지형에 어떤 영향을 미치는지, 그리고 최적화 코드를 갖는 멀티코어 프로세서의 성능을 어떻게 평가할 것인지에 대해 좀더 조사가 필요하다.

## 참고문헌

1. [Mandelbrot67] B. Mandelbrot. "How Long Is the Coast of Britain?: Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension." *Science*. New Series, Vol. 156, No. 3775. May 5, 1967. pp. 636-638.

2. [EMPPW94] Ebert, Musgrave, Peachey, Perlin, Worley. *Texturing and Modeling: A Procedural Approach*. Academic Press Inc. 1994. Musgrave Chapters 7–9, Perlin Chapter 6.
3. [Luna06] Frank Luna. *Introduction to 3D Game Programming with DirectX 9.0c: A Shader Approach*. Wordware Publishing Inc. Chapter 11.
4. [MKM89] Musgrave, Kolb, Mace. *The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains*. SIGGRAPH 1989. ACM Computer Graphics, Volume 23, Number 3, July 1989.
5. [SS05] Stachniak, Stuerzlinger. *An Algorithm for Automated Fractal Terrain Deformation*. *Computer Graphics and Artificial Intelligence*. Ed. D Plemenos. ISBN 291425607–8, 64–76, May 2005.
6. [HR06] Hardy, Roberts. Blend Maps: Enhanced Terrain Texturing. Proceedings of SAICSIT 2006. pp 61–70.
7. [MSSDK07] Microsoft Corporation DirectX SDK (November 2007). <http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=4b78a58a-e672-4b83-a28e-72b5e93bd60a&displaylang=en>.
8. [Mandelbrot07] B. Mandelbrot. *Personal Email Communication*. November 2007.
9. [Hayes07] Hayes, Jeremy. [jeremy.hayes@intel.com](mailto:jeremy.hayes@intel.com). December 2007.
10. [Intel05] Using SSE3 Technology in Algorithms with Complex Arithmetic. <http://softwarecommunity.intel.com/articles/eng/3426.htm>. February 23, 2005.

## 필자 소개

제프 프리먼은 Software and Solutions Group의 소프트웨어 엔지니어로서 Client Scale Enabling 팀에서 인텔의 집적그래픽 솔루션을 담당하고 있다. 렌셀러 폴리테크닉대학에서 컴퓨터사이언스로 학사학위를 받은 바 있다. 연락처: [jeffrey.m.freeman@intel.com](mailto:jeffrey.m.freeman@intel.com)

## 크레딧

Steve Pitzel [steve.pitzel@intel.com](mailto:steve.pitzel@intel.com): Art/Textures

Jeremy Hayes [jeremy.hayes@intel.com](mailto:jeremy.hayes@intel.com): Guidance on terrain shading

## PDF 다운로드

분자 브라운 운동에 근거한 절차적 지형제작 [[PDF](#) 283KB]

## 데모 다운로드

IntegratedGFX\_FractalTerrain\_Demo.zip [ [ZIP](#) 4.9MB]

### 기타 이미지

