

가상환경구축을 위한 대용량 지형 데이터의 효율적인 렌더링 기법

김윤진⁰ 신병석

인하대학교 컴퓨터정보공학과

yjkim@inhian.net⁰, bsshin@inha.ac.kr

Efficient Rendering Method for Constructing Virtual Environment using Large-Scale Terrain Data

YunJin Kim⁰ ByeongSeok Shin

Dept. Computer Science & Information Engineering, Inha University

요 약

컴퓨터 게임, 지리정보시스템(GIS), 가상현실 분야 등에서 환경 표현의 기반이 되는 지형 렌더링 기술은 매우 중요하다. 최근 LIDAR와 같은 3D 스캐닝 기술은 보다 정밀하고 정확한 지형 데이터를 제공한다. 하지만, 실시간 렌더링을 위해 사용되는 대부분의 방법들이 DEM이나 DTED와 같은 정규격자(uniform grid) 데이터에 최적화 되어 있기 때문에, LIDAR 데이터와 같은 비정규 데이터에는 적합하지 않다. 또한 방대한 LIDAR 데이터는 일반 PC에서 처리가 쉽지 않다. 본 논문에서는 대용량 비정규 데이터에서의 빠르고 효율적인 렌더링 방법을 제안한다. 샘플 데이터의 공간적 분포에 따라 정규격자를 생성하고, 이 격자에 맞도록 LIDAR 데이터를 재샘플링(resampling)하여 DTED와 같은 형태로 변환한다. 기하 재구성된 데이터에 연속적인 상세단계(CLOD)기반의 쿼드트리 알고리즘을 적용하여 지형을 효율적으로 렌더링한다.

1. 서 론

지형 데이터는 공간적 분포의 규칙성에 따라 정규격자 데이터, 비정규 데이터로 나눌 수 있다. 대표적인 정규격자 지형 데이터로는 DEM(Digital Elevation Map)이나 DTED(Digital Terrain Elevation Data)등이 있으며, 이들의 공간적 분포를 이용하는 쿼드트리[1-3]나 ROAM(Real-time Optimally Adaptive Meshes)[4]과 같은 알고리즘들은 시각 질두체 선별과 연속상세단계(Continuous Level of Detail : CLOD)의 구현을 용이하게 할 뿐만 아니라, 이를 통해 실시간 렌더링을 가능하게 한다. 하지만, 정규격자 데이터는 샘플 간격이 10m 이상의 저해상도 표현만 가능하므로 지형의 상세한 모습을 나타낼 수 없다.

오늘날 널리 쓰이는 LIDAR(Light Detection And Ranging) 데이터는 샘플 간격이 1m 미만의 고해상도를 갖는 비정규 지형 데이터로써 항공 측량 등을 통해 얻을 수 있다. 비정규 데이터는 주로 Delaunay triangulation 알고리즘 [5]으로 지형을 가시화한다. 이 방법은 지형의 상세부분까지 보여 줄 수 있지만, 데이터로부터 기하 정보를 재구성하기까지의 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 또한 최적화 기법을 적용한다 해도 시간적인 면을 극복하기 어려우므로 실시간 응용프로그램에는 부적합하다.

본 논문에서는 가상환경구축에 필수 불가결적 요소인 지형을 효율적으로 렌더링하는 방법, 즉 대용량의 비정규적 지형 데이터를 빠르게 렌더링하는 방법을 제안한다. 먼저 입력 데

이터에서 영상의 왜곡을 초래하는 잡음을 제거한다. 그리고 데이터의 공간 분포를 고려한 정규격자를 생성한 후 재샘플링(resampling) 및 보간(interpolation)을 통하여 각 셀마다 고도 데이터를 채운다. 마지막으로 연속적인 상세단계 기반의 쿼드트리 알고리즘을 적용하여 지형을 렌더링 한다.

논문의 2절에서는 제안하는 방법을 자세히 설명한다. 3절에서는 실험 결과를 보이고, 4절에서 결론을 맺는다.

2. 대용량 지형 데이터를 위한 효율적인 렌더링 방법

본 논문에서는 대용량 데이터의 실시간 렌더링을 위하여 쿼드트리 방법을 이용한다. 하지만 쿼드트리는 오직 정규격자만을 표현할 수 있으므로 비정규 데이터의 경우 정규 데이터로의 변환 과정이 필요하다. 그림 1은 제안한 방법의 비정규 데이터에서의 지형 렌더링 과정을 보여준다.

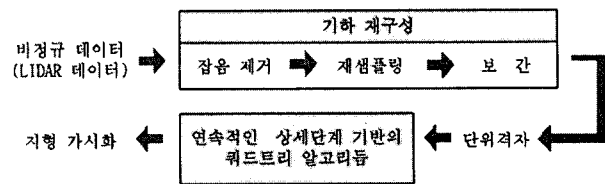


그림 1. 비정규 지형 데이터를 변환하여 쿼드트리 알고리즘으로 렌더링하는 과정

2.1 잡음 제거

LIDAR 데이터에는 3D 스캐너 장치의 기계적 오류로 인하여 잡음이 생길 수 있다. 일반적으로 잡음은 정상적인 샘플 데이터보다 그 위치 정보 데이터의 크기가 아주 크거나 아주 작은 값을 가지며 예상치 못한 왜곡된 영상을 만든다. 그림 2에서와 같이 잡음을 제거하기 위해 3차원 공간을 x-, y-, z- 축을 따라 수직하게 나누는 가상 격자[6] 자료구조를 이용, 각각의 가상격자가 지닌 샘플 데이터들을 계수한다. 이 값이 임계값보다 작으면 잡음으로 간주, 이를 샘플 데이터로부터 제거한다. 제거한 데이터가 잡음이 아닌 의미 있는 데이터라 하여도 LIDAR 데이터에는 지형의 상세 정보를 나타낼 만큼의 충분한 샘플 데이터가 존재하므로 결과 영상에는 크게 영향을 미치지 않는다.

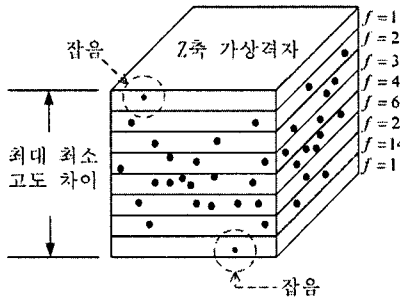


그림 2. z-방향에서의 가상격자 구성의 예. 임계값이 10일 경우 회색으로 나타낸 데이터는 잡음으로 판단하여, 샘플 데이터로부터 제거한다.

2.2 재샘플링(Resampling)

정규격자 지형 데이터는 고도 필드(Height field)의 형태로 저장된다. 고도 필드는 일정한 간격의 (x,y) 좌표에 대해서 z축 성분인 높이를 가지는 것을 말한다. LIDAR 데이터는 비정규적 분포를 지니므로 정규격자 형태로의 재샘플링(resampling) 과정이 요구된다.

정규격자는 의미 있는 샘플 데이터의 분포를 이용하여 정의하여야 한다. 가장 이상적인 경우는 하나의 샘플 데이터가 하나의 고도 데이터로 매칭 되도록 격자를 나누는 것이다. 격자 크기가 증가하면 하나의 고도 데이터가 여러 샘플 데이터의 평균값이 되므로 지형의 상세한 정보가 손실된다. 반대로 격자의 크기가 지나치게 작으면, 무수히 많이 생성된 각 셀에 대한 재샘플링을 하는 과정에만도 오랜 시간이 소요된다. 또한, 단 하나의 샘플 데이터조차 들어있지 않는 무의미한 셀들이 많아지며, 이러한 셀들은 결과 영상에서 틈(hole)을 만들어내는 직접적인 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 이상적인 정규격자 생성에 가장 근접하도록 다음과 같은 정규격자 생성방법을 사용한다.

- (1) 샘플 데이터의 전체 개수 : P_t
- (2) 정규격자 크기 : $N \times N = \sqrt{P_t} \times \sqrt{P_t}$
- (3) 정규격자 수평 범위 : $R_x = \max(x_i) - \min(x_i)$
정규격자 수직 범위 : $R_y = \max(y_i) - \min(y_i)$
- (4) 정규격자 수평 간격 : $I_x = R_x / N$
정규격자 수직 간격 : $I_y = R_y / N$

여기서, x_i, y_i 는 샘플 데이터의 x, y 좌표 값이며 전체 샘플 데이터의 개수를 이용하여 정규격자의 크기를 구한다. 샘플 데이터의 x, y 좌표 범위를 격자의 크기로 나누면 한 셀의 크기 즉 정규격자의 간격을 구할 수 있다. 이와 같이 정규격자의 크기와 간격이 결정되면 이에 따라 각 셀 안에 속한 샘플 데이터들을 평균하여 그 값을 고도 데이터로 사용한다.

2.3 보간(Interpolation)

재샘플링 과정에서 생성된 정규격자의 셀들 중에는 LIDAR 데이터의 불규칙한 공간 분포 특성상 단 하나의 샘플 데이터조차 존재하지 않는 셀이 생길 수 있다. 이 경우 고도 데이터 값이 없기 때문에 틈이 생기게 된다. 영상의 왜곡을 초래하는 이러한 틈을 없애기 위해 본 논문에서는 고도 데이터가 존재하지 않는 셀의 값은 일정한 임계치 범위 안에 있는 고도 값들 중에서 가장 가까운 좌우상하 4개의 고도 데이터를 선택, 이를 쌍선형 보간(bilinear interpolation)하여 그 값을 정하도록 하였다. 임계치 범위를 벗어나는 셀들은 그 셀의 고도 값에 영향을 미칠만한 셀이 존재하지 않다는 것을 의미한다. 따라서 임계치 내에 고도 값을 지닌 셀이 하나도 존재하지 않을 경우에는 쌍선형 보간법을 사용할 수 없으므로 전체 샘플 데이터의 평균값으로 고도 값을 대신한다.

2.4 쿼드트리 기반 연속적인 상세단계방법

쿼드트리는 2차원 공간을 4분할하여 트리를 구성하는데 이용되는 알고리즘이다. 이를 이용하여 지형을 효율적으로 분할하여 구성할 수 있다. 쿼드트리를 이용한 연속적 상세단계 방법은 Lindstrom[1]이 처음으로 제안했다. 이 방법은 삼각형의 분할과 합병을 결정하는데 상향식(bottom-up) 접근방법을 이용한다. 그 후 Rottger[2]는 하향식(top-down) 접근방법을 이용한 알고리즘을 제안했다. 이 방법은 전처리를 통해 계산된 error metric을 이용하여 정점을 제거하여 추가적 비용없이 geo-morphing을 이용할 수 있다. 또한 전체 데이터 중 일부분만을 탐색하는 하향식 방법을 사용하기 때문에 큰 크기의 고도 필드도 높은 프레임율로 렌더링 할 수 있다. 이 방법은 구조적 특성상 연속적 상세단계의 구현과 시각 절두체 선별의 구현이 용이하다는 이점이 있다. 쿼드트리로 구성된 지형은 고도 필드의 크기에 상관없이 이미지의 품질에 따라 그래픽 파이프라인으로 넘어가는 삼각형의 개수가 결정된다. 따라서 하드웨어의 성능에 대응하도록 이미지 품질

을 조절하는 것이 가능하다.

쿼드트리를 이용한 연속적인 상세단계기법으로 고도 필드 지형을 렌더링하는 순서는 다음과 같다. (1)고도 필드 데이터를 탐색하며 재귀적으로 모든 단말 노드의 error metric을 계산한다. (2)계산된 단말의 error metric을 상위노드로 전파한다. (3)계산된 error metric의 집합을 가지고 각 노드에서 상세도를 결정하는 함수로 현재 노드가 자식 노드를 가지게 되는지를 결정한다. (4)고도 필드는 생성된 쿼드트리를 재귀적으로 탐색하면서 삼각형 집합을 생성한다. (5)생성된 삼각형 집합을 렌더링한다.

(3)의 단계는 하향식 단계로 재귀적으로 이루어지며 쿼드트리를 생성한다. (4)의 단계에서 쿼드트리의 단말노드에 도달했을 때, 전체 혹은 부분적인 삼각형 부채꼴(triangle fan)이 그려진다.

3. 실험 결과

본 논문의 실험은 펜티엄 IV 2.66GHz CPU와 1GB Main Memory를 장착한 PC에서 하였다. 표 1은 샘플 데이터 개수에 따른 본 논문의 기하 재구성 시간을 측정한 것이다. 실험 결과는 3,408,187개의 대용량의 LIDAR 데이터라 하여도 기하 재구성하는데 약 1분정도밖에 필요하지 않음을 알 수 있다. 이 경우 Delaunay triangulation 알고리즘의 방법은 기하 모델을 구성하는데만 무려 12시간 이상이 소요되었다. 그림 3은 이전 방법과 논문의 제안 방법의 화질 비교를 위하여 실험한 영상이다. Delaunay triangulation 알고리즘을 사용한 결과 영상이 그림 3(a)에 있다. 비록 이 방법이 지형의 상세한 면까지 나타낸다 하여도 데이터의 크기에 비례하여 많은 폴리곤이 생성된다. 따라서 렌더링 시간도 기하급수적으로 증가하며, 10fps 보다 낮은 렌더링 속도를 보였다.

일반적으로 쿼드트리 기반의 연속적인 상세단계 기법은 정규 데이터에서의 실시간 지형 렌더링을 지원하며, LIDAR 데이터를 사용한 본 논문의 경우도 평균 45fps의 렌더링 속도를 보였다. 제안한 방법의 결과인 그림 3의 (b)는 그림 3의 (a)에 비한다면 지형의 상세 정보가 뚜렷이 나타나지는 않지만, 전반적인 외양이나 주요한 특징들은 비교적 잘 나타남을 알 수 있다.

표 1. 샘플 데이터 개수에 따른 기하 재구성 시간

샘플 데이터 개수	기하 재구성 시간(sec)
34,379	0.094
430,674	8.907
1,626,972	28.735
3,408,187	63.688

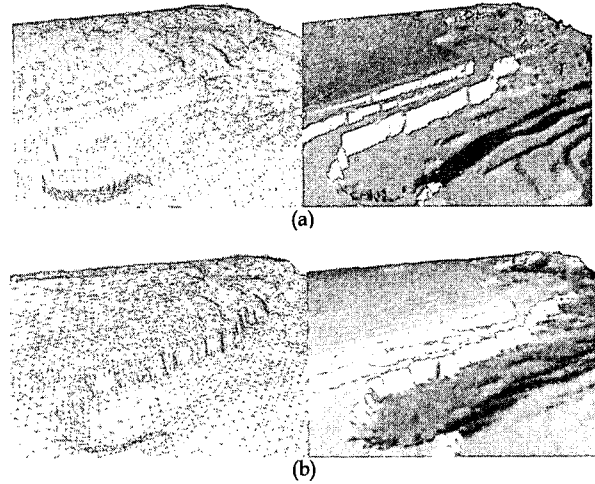


그림 3. 34,379개의 샘플 데이터를 지닌 LIDAR 데이터 지형 렌더링. (a) Delaunay triangulation 알고리즘을 사용한 결과 영상(왼쪽 : wire mode, 오른쪽 : shading mode)이며, (b) 본 논문에서 제안한 방법의 결과 영상(왼쪽 : wire mode, 오른쪽 : shading mode)이다.

4. 결론

가상환경구축의 기반이 되는 지형의 표현은 매우 중요한 요소이며 사실감을 더욱 극대화하기 위해서는 빠르고 현실감 있는 지형 렌더링이 필수적이다. 그러나 기존의 실시간을 위한 알고리즘들은 LIDAR 데이터와 같은 대용량의 비정규적 분포를 갖는 데이터에는 적용이 불가능 하였다. 본 논문은 샘플 데이터의 공간적 분포를 이용하여 정규격자를 생성하는 기하 재구성 방법을 제안하였다. 재구성된 데이터는 연속적인 상세단계 기반의 쿼드트리 알고리즘으로 지형을 빠르고 효과적으로 렌더링한다.

참고 문헌

[1] P.Lindstrom, D.Koller, W.Ribarsky, L.F.Hodges, N.f Faust and G.A.turner, Real-Time, Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields, *Proc. ACM SIGGRAPH 96*, pp. 109-118, 1996.
 [2] S.Rottger, W.Heidrich, P.Slasallek and H.Seidel, Real-time Generation of Continuous Level of Detail for Height Fields, *Proc. 6th Intl. Conf. in Central Europe on Comput. Graphics and Vis.*, pp. 315-322, 1998.
 [3] B.S.Shin and E.K.Choi, An Efficient CLOD Method for Large-Scale Terrain Visualization, *LNCS*, 3166, pp. 592-597, 2004.
 [4] M.Duchaineau, M.Wolinsky, D.Segeti, M.Miller, C.Aldrich and M.Mineev-Weisstein, ROAMing Terrain: Real-time Optimally Adaptive Meshes, *Proc. ACM SIGGRAPH 97*, pp. 81-88, 1997.
 [5] D.Cohen-Steiner, E.Colin de Verdiere and M.Yvinec, Conforming Delaunay triangulations in 3D, *Proc. 18th Annu. ACM Sympos. Comput. Geom.*, pp. 199-208, 2002.
 [6] W.S.Cho, Y.S.Jwa, H.J.Chang and S.H.Lee, Pseudo-Grid Based Building Extraction Using Airborne LIDAR Data, *Proc. ISPRS 2004*, Vol. 35, pp. 298-301, 2004.