시계범위 맵 : 대규모 지형 가시화를 위한 적응성의 텍스처 관리기법

김상희[0] 원광연
국방과학연구소 한국과학기술원
falcon@add.re.kr[0] wohn@vr.kaist.ac.kr

VF(View Frustum) map : Adaptive Texture Management for Out-of-Core Terrain Visualization

Sang-Hee Kim[0] Kwang-Yun Wohn
Agency for Defense Development Dept. of EECS of KAIST

요 약

제한된 성능의 그래픽처리기를 이용하여 대규모 지형 가시화를 수행할 때 지형데이터, 특히 텍스처 데이터의 효율적 관리는 성능향상에 영향을 끼치는 주요 요소 중 하나이다. 본 연구에서는 지형 셀의 쿼드트리 구조를 기반으로 시점 매개변수와 그래픽 처리기의 성능을 고려하여 실시간 렌더링 시 효율적으로 텍스처를 관리할 수 있는 다단계의 시계범위 맵 (View Frustum map with classes) 방법을 제안하였고, 비행모의 시스템에 적용하여 기존의 텍스처 관리기법과 비교하였다. 실험결과를 통하여 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법과 비교하여 영상품질은 유사하게 유지하면서 성능을 크게 향상시킨 방법임을 알 수 있었다.

1. Introduction

위성기술의 발달로 인하여 대규모의 고해상도 지형데이터 생성이 가속화되고, 사실적 지형묘사 요구는 더욱 높아지고 있으므로 대규모 지형자료를 효율적으로 처리하여 그래픽처리기의 부담을 줄이면서 사용자에게 실제감을 주기위한 효율적인 장면관리 및 텍스처 관리 기법이 필수적이다[1,2,4].

지형데이터가 대규모(Out-of-core)라 함은 렌더링 시 참조하는 모든 데이터가 주 메모리에 존재하지 못하고 하드 디스크 또는 데이터 서버에 존재할 정도의 대용량을 말한다. 따라서 제한된 성능의 그래픽처리기를 이용하여 대규모 지형 가시화를 수행할 때 지형데이터, 특히 텍스처 데이터의 효율적 관리는 성능향상에 영향을 끼치는 주요 요소 중 하나이다[3,6].

본 연구에서는 대규모 지형을 셀로 분할하여 구성한 쿼드트리 구조를 기반으로 시점 매개변수(position, field-of-view, visibility range)와 그래픽 처리기의 성능에 따라 실시간 렌더링 시 효율적으로 텍스처를 관리할 수 있는 다단계의 시계범위 맵 방법을 제안하였다.

이동과 회전이 혼합된 비행경로에 대해 기존에 적용되던 밉맵 기법[9], 데이터 정렬을 기반으로 운용체제의 페이징 방법을 활용하는 메모리 맵핑 기법[5]과 비교하였다. 실험 결과는 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법과 비교하여 영상품질은 유사하게 유지하면서 성능을 크게 향상시킨 방법임을 입증하였다.

2. Related works

Bao[1]와 Lindstrom[5]은 데이터 처리순서를 이용한 메모리 맵핑 기법으로 대용량 데이터 처리의 효율성을 높였으나, 개별 자료가 접근 순서별로 클러스터링 될 수 있는 고도자료에만 적용될 수 있고 임의의 데이터 블럭으로 구성된 텍스처에는 적용하기 어려운 단점이 있다. Cline[3]은 Mipmap pyramid grid(MP-grid)로서 대규모 텍스처를 유지하고, 우선순위에 의한 텍스쳐 캐싱으로 점진적인 데이터 전송을 하였으나, 모든 지형 셀에 대한 전체 밉맵 텍스처를 유지함으로써 동적인 텍스처 메모리 관리를 할 수 없고, 따라서 데이터 로딩에 의한 렌더링 성능이 불균일해지고 처리할 수 있는 시계범위가 제한된다. 장면관리의 관련연구를 살펴보면, Rottger[7]의 연속적인 LoD(Levels of Detail: 다단계 상세도) 기법은 메모리의 효율성과 자료처리의 단순성은 있으나 대용량처리에 부적합하다. Lindstrom[5] 은 screen-space 에러 메트릭(error metric)을 기반으로 폴리곤 단순화 및 기하모핑을 처리하지만, 지형 셀 기반의 컬링 및 LoD를 처리하기 어렵다.

3. Out-of-core Real-time Rendering

3.1 Requirements and terminologies

본 연구에서 대상으로 하는 비행 시뮬레이션의 요구사항은 다음과 같다. 첫째, 응용 시스템 요구사항으로, 중고고도 비행 (500ft 이상), 복잡한 비행기동 (roll-up/down, loop 등), 시야방향의 좌우측 임의선택 등이 있으며, 둘째, 데이터 요구사항으로 텍스처가 고도자료보다 해상도가 높으며, 최소한 1000km^2 의 영역을 PC용 그래픽 처리기로서 연속적으로 가시화할 수 있어야 한다. 본 연구에서 사용되는 주요 용어는 다음과 같이 정의하였다.

[용어 정의]

(1) 장면 맵 (Scene map)
2D matrix of terrain cells of the view frustum

(2) 시계범위 맵 (VF map, View Frustum map)
conservative Scene map with rotational sweep volume of view frustum

(3) 다단계 시계범위 맵 (VF map with classes)
VF map which is classified by mipmap levels of texture to cover

(4) 지형 셀 (Terrain cell)
smallest unit of terrain data with which is handled in per-cell processing, and the results in turn go into the per-polygon / per-pixel processing

3.2 Data Structure

장면관리와 페이징에 활용되는 지형 셀 구조는 <그림 1>과 같다. 컬링 시 프레임 연관성을 위해서 이전 프레임과 현재 프레임의 셀 리스트를 관리한다.

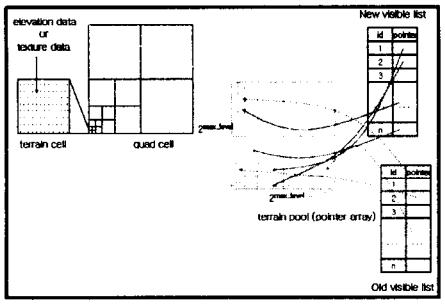


그림 1. 자료처리 구조

3.3 Memory Configuration

일반적으로 대용량 텍스처를 다룰 때 크기, 해상도, 밉맵 단계를 줄이거나 서브 텍스처[2]를 사용한다. 또한 텍스처 메모리 사용을 최소화하면 텍스처 매핑 성능이 높아지는 경향이 있다. 이를 고려하여 매 프레임별 하드디스크(HDD)와 메인 메모리(MM)와 텍스처 메모리(TM) 간의 데이터 전송을 효율적으로 관리할 수 있는 구조는 <그림 2>와 같다.

4. View Frustum map with classes

시계범위 맵은 <그림 2>와 같이 시계범위 회전체적의 바운딩 박스를 지형에 투영시켜 얻은 2차원 맵이다. 본 연구에서는 비행시뮬레이션 시 렌더링되는 영상의 특성을 이용하여 다단계의 클래스로 구분한다.

4.1 Class selection

각 클래스에 해당하는 영역은 시점방향과 지형교차점을 중심으로 렌더링되는 텍스처 해상도에 따라 클래스의 동심원으로 선택한다(<그림 3> 참조). 물론 이때 고려해야 할 사항으로는 그래픽 처리능력(텍스처 메모리, 폴리곤처리, 픽셀처리), 시점 매개변수(시계범위, 가시범위, 시점위치 및 방향, 뷰포트 크기), 폴리곤 단순화 에러 메트릭(시점거리, 지형굴곡도, 시점방향, 비행속도), 데이터구조(지형셀 크기, 셀 인덱싱) 등이 있다.

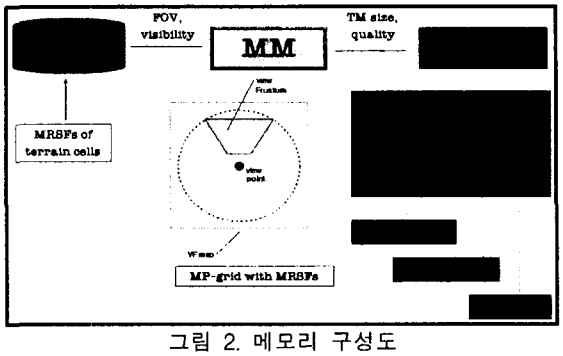
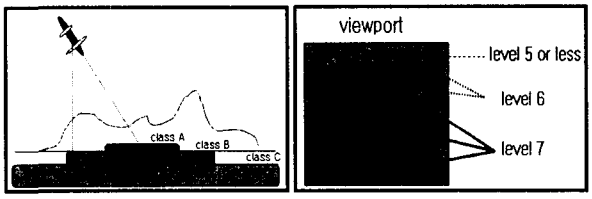


그림 2. 메모리 구성도



(a) (b)

그림 3. 클래스 선택

표 1. VF map with classes

	class A (high)	class B (middle)	class C (lower)
resolution	0~7	0~5	0~3
# of cells	4×4	8×8	≤ 32×32
total size	16 MB	4 MB	≤ 4 MB

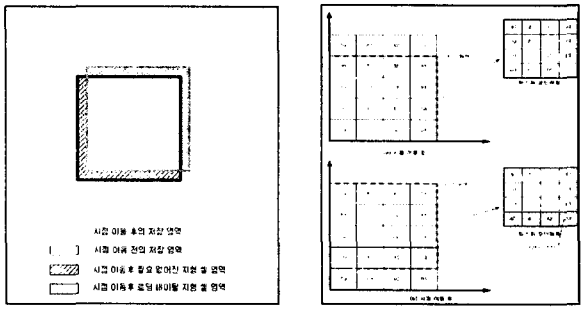
<표 1>에는 각 클래스별 해상도와 관리하는 지형 셀 개수를 나타낸다.

4.2 Adaptive texture management

텍스처 양을 최대로 줄이면서 가장 상세한 텍스처로 렌더링할 때와 유사한 영상을 얻고, 성능을 높이기 위하여 각 지형 셀 텍스처를 서브 텍스처로 사용하여 한 개의 텍스처 개체만 사용한다. 또한 시점을 중심으로 일정영역을 고해상도와 중해상도 텍스처로 제한하고 나머지 영역은 저해상도를 할당하여 불필요한 텍스처 메모리 낭비를 줄였다.

4.3 Terrain cell management in main memory

MP-grid with MRSF 형태의 지형 셀에 대한 지형 셀 풀의 관리방법은 셀 인덱스를 이용한 toroidal addressing[8]을 이용한다.



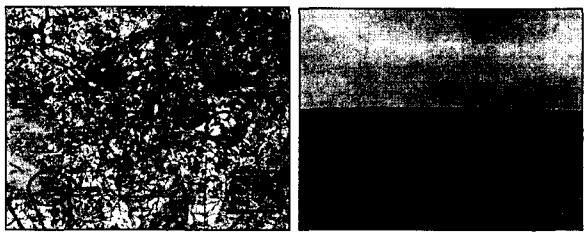
4. Experiments

4.1 System and Data Specification

실험대상 영역의 지형정보는 WGS84 타원체의 UTM 좌표계, 20m 해상도 고도자료와 10m 해상도 텍스처, 지형 셀 크기는 5.12km×5.12km, 전체 영역은 256×256개 지형 셀을 포함, 2.2GHz dual CPU, 2.0GB RAM, GeForce FX5900 ultra (128MB texture memory) 시스템으로 실험하였다.

4.2 Results

(1) 실험경로 및 렌더링된 장면



(a) path (b) VFmap with classes

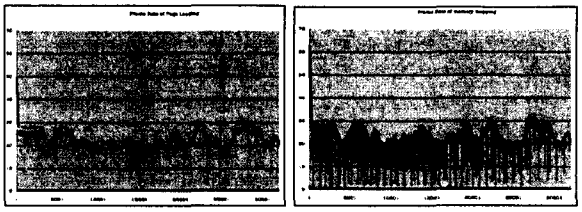
(c) wireframe (d) textured (e) God's view(VFmap classes)

그림 4. 실험경로 및 렌더링 장면

(2) 밉맵(Mipmap) 기법과 비교

기존의 밉맵 텍스처링과 다단계 클래스의 VFmap을 비교해보면 렌더링 성능 및 영상의 품질은 유사하나 VFmap이 보다 넓은 시계범위도 가능함을 알 수 있었다. VFmap 클래스 경계에서 미세한 seam이 나타나지만, 고해상도 및 중간 해상도 텍스처의 크기 상한선이 있으므로 밉맵 기법에 비해 보다 넓은 시계범위를 처리 할 수 있다. 밉맵 기법으로는 90°H×73.7°V×70km의 시계범위를 처리할 수 없다.

(3) 페이징기법과 메모리 매핑 기법 비교



(a) paging (b) memory mapping

그림 5. 텍스처 로딩 성능 비교

두 방법의 평균 성능은 유사하나 페이징 기법의 편차가 작으므로 보다 부드럽고 균일한 성능의 렌더링이 가능하였다.

5. Conclusion

본 연구는 메모리 용량을 초과하는 대규모 지형자료의 실시간 렌더링 기법 중 적응성의 텍스처 관리기법인 다단계의 시계범위 맵 기법을 제안하였고, 실험을 통하여 실용성을 입증하였다.

References

[1] Xiaohong Bao and Renato Pajarola, "LOD-based Clustering Techniques for Optimizing Large-scale Terrain Storage and Visualization", UCI-ICS Technical Report # 02-16, Dept. of Information and Computer Science, University of California, Irvine, June 2002.

[2] David Blythe, "Texture Mapping", ACM SIGGRAPH Course Note #29(Chapter 6.), pp. 40 - 77, 1999.

[3] David Cline and Parris K. Egbert, "Interactive Display of Very Large Textures", IEEE Visualization'98.

[4] Sang-Hee Kim, "Efficient Real-time Terrain Rendering System for Mission Flight Simulation", TM-2001-14 , VR lab of Dept. CS of KAIST, 2001.

[5] Peter Lindstrom and Valerio Pascucci, "Terrain Simplification Simplified : A General Framework for View-dependent Out-of-core Visualization", IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, vol. 8, no. 3, pp. 239-254, 2002.

[6] Boris Rabinovich and Craig Gotsman, "Visualization of Large Terrains in Resource-Limited Computing Environments", Proc. of IEEE Visualization, pp. 95 - 102, Oct. 1997.

[7] Stefan Rottger, W. Heidrich, P. Slasallek, and Hans-Peter Seidel, "Real-time generation of Continuous Levels of Detail for Height Fields", 6th International Conf. in Central Europe on Computer Graphics and Visualization, Feb. 1998.

[8] Christopher C. Tanner, Christopher J. Migdal, and Michael T. Jones, "The Clipmap: A Virtual Mipmap", Proc. of SIGGRAPH, pp. 151 - 158, 1998.

[9]Lance Williams, "Pyramidal Parameters", Computer Graphics, vol. 17, no.3, pp. 1 - 11, 1983.