

고 충실도의 대규모 지형 렌더링을 위한 장면처리 기법

김상희⁰ 원광연
국방과학연구소 한국과학기술원
falcon@add.re.kr⁰ wohh@vr.kaist.ac.kr

Dynamic Scene Management for Hi-Fi Out-of-Core Terrain Rendering

Sang-Hee Kim⁰ Kwang-Yun Wohn
Agency for Defense Development Dept. of EECS of KAIST

요 약

위성기술의 발달로 대규모의 고해상도 지형정보 생성이 가속화되고, 사실적 지형묘사 요구는 더욱 높아지고 있으므로 대규모 지형자료를 효율적으로 처리하여 실제감을 주는 고 충실도 렌더링 기법이 필수적이다. 본 연구에서는 지형 셀의 쿼드트리 구조를 기반으로 지형특성을 고려한 고속의 시계범위 컬링기법, 시각 거슬림 현상을 최소화하기 위한 연속적인 다단계 상세도 기법 및 기하모핑 기법, 일정한 폴리곤 수에 맞추도록 렌더링하는 프레임 균일화 기법 및 텍스처 관리기법 등의 효율적인 장면처리 기법을 제안한다.

1. 서 론

항공기 시뮬레이터, 조종사 임무지원 시스템, 3차원 상황도 시스템 등의 응용분야에서는 고도자료(Digital Elevation Model)와 정사영상(Ortho-image)으로 구성된 지형자료, 벡터형태의 지물자료, 위험시설, 표적정보 등으로 구성된 통합지형의 실시간 렌더링이 핵심기반 기술이며, 이중 특히 대규모 지형자료에 대한 실시간 렌더링이 중요한 역할을 한다[1,2,3].

위성기술의 발달로 인하여 대규모의 고해상도 지형정보 생성이 가속화되고, 사실적 지형묘사 요구는 더욱 높아지고 있으므로 대규모 지형자료를 효율적으로 처리하여 그래픽처리기의 부담을 줄이면서 사용자에게 실제감을 주는 고 충실도의 렌더링을 위한 효율적인 장면처리 기법이 필수적이다[4,5,6].

본 연구에서는 지형특성을 이용한 고속의 시계범위 컬링(view frustum culling) 기법, 시각 거슬림을 최소화하기 위한 연속적인 다단계 상세도(Continuous Levels of Detail) 기법 및 에러기준(error metric) 기반의 기하모핑 기법, 목표 폴리곤 수에 맞추도록 렌더링하는 프레임 균일화(frame regulation) 기법을 제안하여, 고 충실도의 대규모 지형렌더링이 가능하도록 하였다.

2. 관련 연구

Assarsson[4]은 기본적인 컬링의 최적화 방안을 제시하였으나 3차원 바운딩박스과 3차원 시계범위의 비교패턴을 벗어나지 못한다. Rabinovich[6]는 footprint 개념을 적용했으나 본 연구 방법에 비해 정확도가 떨어진다.

Rottger[7]은 시점에서의 거리와 지형 굴곡도에 의한 에러기준으로 이웃한 노드간의 해상도 차이를 1이하로 제한하여 파핑(popping)을 에러기준 기반의 기하모핑으로 크게 줄였으나 소규모 지형(in-memory)에서만 적합하므로 본 연구에서는 이를 확장하여 대규모 지형에서 가능하도록 하였고, Funkhouser[8]의 프레임 성능 균일

화 방법은 실시간에 적용하기 어려운 최적화 기반의 방법이므로 단순화 에러를 셀 단위로 조절하여 균일한 폴리곤 개수를 유지하는 방법을 제안한다.

3. 실시간 렌더링 시스템 구성도

3.1 자료 구조

본 연구에서는 대규모 지형자료의 유지관리 및 시계범위 컬링 검사와 다단계 상세도 처리를 위한 일관적이고 효율적인 구조로 쿼드트리 구조를 이용한다[3].

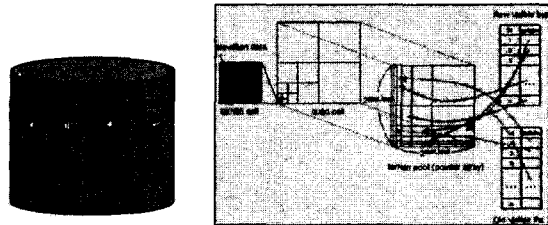


그림 1. 자료구조

본 연구에서 제안하는 실시간 렌더링 시스템의 처리과정은 <그림 2>와 같다. 시점이 결정되면 시계범위에 해당되는 셀 리스트를 계산하고 해당되는 셀 우선 순위에 따라 적절한 지형자료 해상도를 결정한다. 페이징/캐싱을 통하여 메모리에 없으면 실제 데이터 입출력을 발생시킨 후에 렌더링되는 활성셀 리스트(active cell list)를 구성한다. 다단계 상세도 제어를 한 후 실제로 그려질 폴리곤과 텍스처만 그래픽 처리기에 넘겨준다. 다음 프레임에서는 이전 프레임의 수행 결과로부터 속도, 방향, 위치를 이용하여 다음 시점에서의 각 셀에 대한 우선 순위를 계산한다.

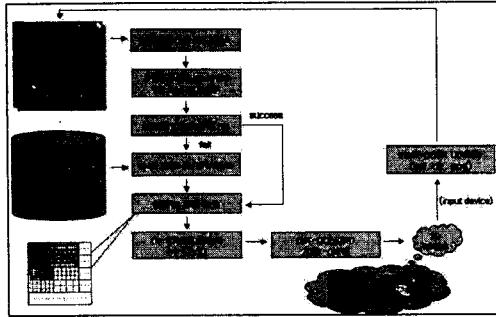


그림 2. 실시간 렌더링 시스템 처리 흐름도

3.2 시계범위 컬링 (view-frustum culling)

일반 개체와는 달리 지형자료는 시계범위 내에서 특정한 2차원 평면에 밀집해 있는 특성이 있으므로, 일반적인 3차원 바운딩박스과 3차원 시계범위 간의 컬링 비교연산을 시계범위와 지형과의 2차원 교차면과 지형자료의 바운딩박스 최소 평면과의 비교연산으로 복잡도를 줄일 수 있다[5]. 시점과 시계범위 교차평면 사이에 있는 지형셀을 특별영역 셀이라 하여 바운딩박스 최대 평면과의 비교연산을 통하여 포함여부를 검사하면 전체적으로 conservative culling이 된다.

<그림 3>은 지형셀 컬링 개념도를 나타낸다.

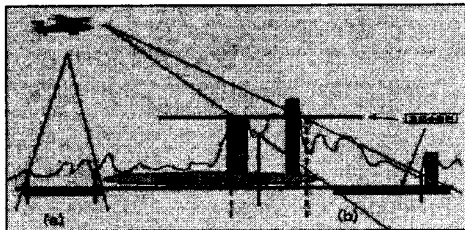


그림 3. 지형셀 컬링 개념도

쿼드셀의 최소 고도면과의 가시성 검사 방법은 <그림 4-a>, 특별영역 셀을 다루기 위한 쿼드셀의 최대 고도면과의 가시성 검사 방법은 <그림 4-b>와 같다.

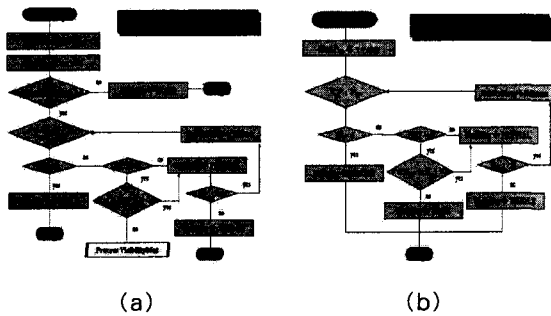


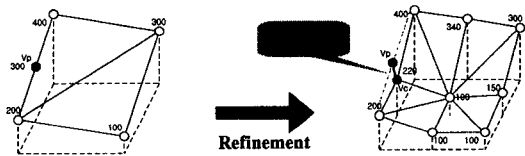
그림 4. 지형셀 가시성 검사 알고리즘

3.3 연속적인 다단계 상세도 기법 (CLOD)

대규모 지형을 셀로 구분하여 폴리곤 단순화를 수행할 때 크랙과 파핑의 시각 거슬림 현상이 발생한다. 본 연구에서는 소규모 지형에만 적용되는 Rottger[7]의 연구를 확장하여 대규모 지형에서도 가능하도록 각 지형셀 별로 <식 1>의 에러기준 식(f)을 사용하고, 크랙을 제거하기 위하여 지형셀 내부에서는 에지삭제를, 지형셀 간 경계선 처리에는 에지추가 방법을 적용하였다. 파핑을 최소화 하기 위해서는 위치기반의 vertex 간 기하모핑을 적용하였으며(<그림 5>) 지형셀간 경계 부분에 약간의 파핑을 제외하고는 거의 시각적으로 인식할 수 없는 고도의 영상품질을 생성한다.

$$f = \frac{l}{d \cdot G \cdot \max(c \cdot d2, 1)} \dots \dots \dots \text{식 1}$$

d는 쿼드노드의 한변 길이, G는 최소 전역해상도 상수, c는 에러규모 조절변수, d2는 연속된 해상도 레벨간의 최대 에러를 나타낸다.



$$v_p(1-b) + v_c b = v_p + b(v_c - v_p),$$

$$b = \frac{1}{2} (1 - f), \quad b = [0.0, 1.0]$$

그림 5. 에러기준에 의한 기하모핑

3.4 성능 향상 기법

균일한 렌더링 성과와 균일한 영상품질을 유지하는 목적으로 다중 쓰레드, 텍스처 템플릿(template), 성능 균일화를 제안하였다. 다중 쓰레드는 그래픽 파이프라인 상의 데이터 로딩과 렌더링을 균형있게 유지하기 위하여 적용하였다. 90°H×60°V×50km의 시계범위에 대하여 평균 100개 이상의 지형셀이 포함되므로 텍스처 개체의 생성과 소멸에 따른 성능 변화량을 조절하기 위하여 예상되는 텍스처 템플릿을 항상 유지하고 필요한 텍스처를 템플릿에 덮어 씌워서 텍스처 처리 부하를 줄일 수 있는 방법을 제안하였다(<그림 7> 참조). 균일한 렌더링 성능을 위하여 매 프레임마다 일정한 폴리곤 개수를 유지하는 방법은 <식 2>와 <식 3>을 통하여 구현하였다. 해당하는 지형 셀의 에러기준 값(f)과 각 셀의 에러 조절 값(c) 및 이전 프레임에 렌더된 폴리곤 개수를 이용하여 현재 프레임의 폴리곤 개수를 조절하는 것이다.

$$\Delta tar_i = K_f \times \left(\frac{\Delta tar}{1/f_i} \right) / \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i} \dots \dots \dots \text{식 2}$$

$$C_{cur_i} = C_{prev_i} + \frac{(\Delta tar_i - \Delta cur_i)}{\Delta tar_i} \times K_c \dots \dots \dots \text{식 3}$$

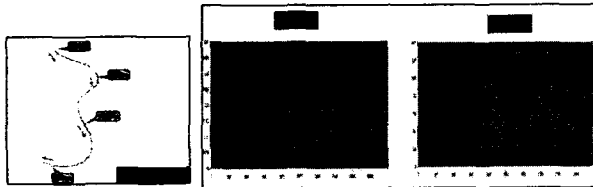
4. 실험 결과

4.1 실험 환경

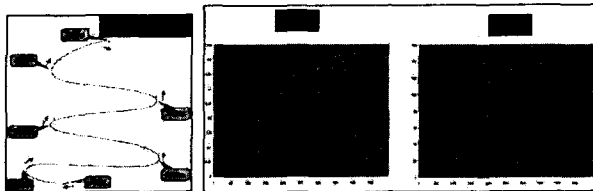
실험대상 영역의 지형정보는 Bessel 타원체의 UTM 좌표계, 8193×8193 규모의 20m 해상도 고도자료, 16384×16384 규모의 10m 해상도 텍스처, 지형셀 크기는 5.12km×5.12km (257×257 고도자료와 512×512 텍스처) 이므로 전체는 1024 지형셀(32×32)의 고도자료 및 텍스처로 구성되어 있고, 1.3GHz dual CPU, 1.5GB RAM, 128MB texture memory 시스템으로 실험하였다.

4.2 실험 결과

고속의 시계범위 컬링 기법을 적용한 경우, 일반적인 항법과 회전중심 항법의 프레임별 렌더링 시간 및 포함된 지형셀 개수는 <그림 6>과 같다.



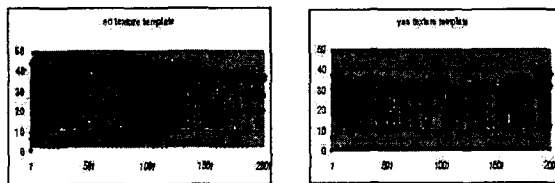
(a) 일반적인 항법 (경로, 렌더링 시간, 지형셀 개수)



(b) 회전중심의 항법 (경로, 렌더링 시간, 지형셀 개수)

그림 6. 고속의 시계범위 컬링기법 결과

회전 중심의 경로에 대하여 다중 쓰레드, 연속적인 다단계 상세도 및 기하모핑을 적용하고, 텍스처 템플릿 사용 유무에 따른 성능 차이는 <그림 7>과 같다. 추세를 보면 전체적인 렌더링 성능 경향이 템플릿을 사용할 때 보다 균일한 것을 알 수 있다. 목표치 폴리곤 개수를 지정하면 렌더링 성능은 거의 균일하나 영상품질이 약간 저하되고 시각거슬림 현상이 보다 현저해지는 단점이 발생한다.



(a) no template (b) yes template

그림 7. 텍스처 템플릿 기법 결과

5. 결론 및 추후 연구방향

본 연구는 메모리 용량을 초과하는 대규모 지형자료의 실시간 렌더링 기법 중 파이프라인 상에 최소의 폴리곤을 제공하기 위한 장면관리 기법으로, 지형특성을 고려한 고속의 시계범위 컬링과 연속적인 다단계 상세도 처리 및 기하모핑, 렌더링 성능 균일화 및 텍스처 관리 기법을 제안하였다. 기존의 유사분야 연구에 비해 보다 향상된 결과를 얻었으며, 추후 연구로는 스크린 공간상의 애러기준, 지형셀 경계의 기하모핑 개선, 동적 항법을 고려한 최적 해상도의 폴리곤 메쉬와 텍스처 선택방법이 필요하다.

Acknowledgements

본 연구의 일부는 국방과학연구소 지상수신정보처리체 사업의 지원 및 한국과학재단 가상현실연구센터의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Douglass Davis, T.Y. Jiang, W. Ribarsky, and N. Faust, "Intent, Perception, and Out-of-Core Visualization Applied to Terrain", Proc. of IEEE Visualization, pp. 455 - 458, 566, 1998.
 [2] Boris Rabinovich and Craig Gotsman, "Visualization of Large Terrains in Resource-Limited Computing Environments", Proc. of IEEE Visualization, pp. 95 - 102, Oct. 1997.
 [3] Sang-Hee Kim, "Efficient Real-time Terrain Rendering System for Mission Flight Simulation", TM-2001-14, VR lab of Dept. CS of KAIST, 2001.
 [4] Ulf Assarsson and Tomas Moller, "Optimized View Frustum Culling Algorithms for Bounding Boxes", Journal of Graphics Tools, vol. 5, no. 1, pp. 9 - 22, 2000.
 [5] Sang-Hee Kim, J.W. Koh, Y.W. Lee, S.B. Im, Kwang-Yun Wahn, "Fast View Frustum Culling for Real-Time Terrain Navigation", KIMST in Korea, pp. 311 - 316, Aug. 2001.
 [6] Peter Lindstrom and Valerio Pascucci, "Terrain Simplification Simplified: A General Framework for View-dependent Out-of-core Visualization", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 8, no. 3, pp. 239-254, 2002.
 [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] Thomas A. Funkhouser and Carlo H. Sequin, "Adaptive display algorithm for interactive frame rates during visualization of complex virtual environments", Proc. of SIGGRAPH, pp. 247 - 254, 1993.