쿼드트리 기반의 지형렌더링에서 효율적인 CLOD 기법

최이규° 신병석
인하대학교 전자계산공학과
g2021356@inhavision.inha.ac.kr bsshin@inha.ac.kr

An Efficient CLOD Method in Quadtree-Based Terrain Rendering

Ei-Kyu Choi° Byeong-Seok Shin
Department of Computer Science & Engineering, Inha University Korea

요 약

컴퓨터 게임, 지리정보시스템(GIS), 가상현실 분야등에서 환경표현의 기반이 되는 지형의 렌더링 기술은 매우 중요하다. 하지만 지형정보는 일반적으로 방대한 양의 데이터로 구성되어 처리가 쉽지 않다. 지형렌더링을 수행하기 위한 여러가지 기법들 중에 쿼드트리 구조를 기반으로한 연속적 상세단계기법이 있다. 본 논문에서는 쿼드트리 기반의 연속적 상세단계에서 시각 절두체 내에서 렌더링되는 삼각형의 개수를 조절하여 프레임율을 일정하게 유지하는 기법을 제안한다. 이 방법은 인접 프레임간의 일관성을 이용하여 최근 프레임에 가중치를 줌으로써 삼각형의 개수가 급격하게 변하는 것을 막는다.

1. 서 론

컴퓨터 게임, GIS분야에서 환경의 기반이 되는 지형의 표현은 매우 중요한 요소이다. 또한 전통적인 응용분야인 가상현실, 비행 시뮬레이션 등에서 사실감을 더욱 극대화하기 위해서는 효과적인 지형렌더링이 필수적이다.

지형데이터는 일반적으로 방대한 양의 데이터를 가지게 되므로 하드웨어의 속도가 빨라져도 데이터 그대로 실시간 처리하기는 쉽지 않다. 따라서 기존의 방대한 지형 데이터를 실시간 처리하기 위해 다양한 형태의 자료구조와 간략화기법들이 고안되었다.

지형 데이터를 간략화하기 위한 대표적인 자료구조로 ROAM으로 불리는 이진삼각형트리 구조[1]와 쿼드트리 구조[2]가 있다. 그 중 쿼드트리는 시각 절두체 선별(view frustum culling)과 연속적 상세단계(CLOD) 구현이 용이한 구조로 널리 사용되고 있다. 연속적 상세단계를 이용한 지형의 표현은 지형과 시점사이의 거리와 관측방향에 따라 지형의 상세단계를 결정하여 실시간 지형 영상을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만 시각 절두체 내에서 그려지는 삼각형의 개수가 실시간으로 처리 가능한 정도를 넘어서 까지 증가할 수 있고, 그렇게 되면 프레임율이 떨어지게 된다. 따라서 적절한 화질과 프레임율을 유지하도록 하기 위해서는 렌더링되는 삼각형의 개수를 일정하게 유지하도록 하는 방법이 요구된다. 또한 이러한 방법을 적용할 때 삼각형의 개수가 매 프레임 마다 일정하게 유지되지 못하고 진동할 수 있는데 이것은 렌더링 영상에서 깜빡임(flickering)이 발생하는 결과를 초래한다.

본 논문에서는 쿼드트리 기반의 연속적인 상세단계 기법을 적용한 지형 렌더링에서, 시각 절두체 내에서 렌더링되는 삼각형 개수를 일정하게 유지하는 방법으로 프레임율을 유지할 때 생길 수 있는 영상의 깜빡임을 감소시키는 방법을 제안한다.

2절에서 쿼드트리 기반의 CLOD기법에 대해 설명하고 프레임율 유지를 위한 기존방법과 제안하는 방법을 비교하여 설명한다. 3절에서 기존 방법에서 결과에 영향을 주는 인자에 대한 분석을 하며 제안하는 방법의 결과를 기술하고 결론을 맺는다.

2. 쿼드트리 기반의 지형 렌더링에서 효율적인 프레임율 유지 방법

2.1 쿼드트리

지형의 특징은 그것이 가지는 높이에 비해 면적이 매우 넓어서 거시적 측면에서 3차원이 아닌 2차원 공간으로 볼 수 있다는 것이다. 쿼드트리는 2차원 공간을 분할하여 트리를 구성하는데 이용되는 알고리듬이며 이를 이용하여 지형을 효율적으로 분할하여 구성할 수 있다. 이 방법은 연속적 상세단계의 구현과 시각 절두체 선별의 구현이 용이하다. 쿼드트리로 구성된 지형은 고도필드의 크기에 상관없이 이미지의 품질에 따라 그래픽 파이프라인으로 넘어가는 삼각형의 개수가 결정된다[3][4][5].

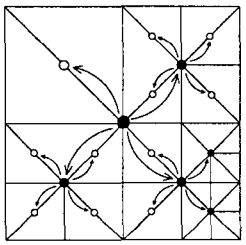

그림 1. 쿼드트리 노드의 탐색[3]

쿼드트리 알고리듬의 자료구조는 $(2^n+1)^2$크기의 boolean 행렬로 표현된다. 노드가 1이면 자식노드를 가지고 있으며 0이면 단말노드에 해당된다. 고도필드는 쿼드트리를 재귀적으로 탐색하면서 그려진다. 쿼드트리의 단말노드에 도달했을때, 전체 혹은 부분적인 삼각형 팬이 그려진다.

시각 의존적인 상세단계를 표현하기 위한 error metric으로 노드에 인접한 고도값들 가운데 그 차이의 절대값이 가장 큰 값을 이용한다.

상세도를 결정하기위해 다음의 식을 이용한다.

$$f = \frac{l}{d \times C \times max(c \times d2, 1)}$$ - 식(1)

l : 노드의 중심과 시점간의 거리
d : 노드 간선의 길이
C : 최소 전역 해상도 상수
c : 지정 전역 해상도
$d2$: 노드에 인접한 고도값들의 차이 가운데 가장 큰 값

임의 노드에 대해서 f의 값을 계산했을 때 그 값이 1보다 작다면 그 노드는 자식노드를 가지고 있음을 나타낸다. 따라서 그 노드는 다음 단계로 분할된다. C는 전체 지형의 최소 해상도를 나타내며 전체 지형의 삼각형 개수를 결정한다. c는 원하는 해상도까지 도달하는 정도를 나타낸다.

2.2 기존의 프레임율 유지 방법

연속적 상세단계는 시점이 지형에 가까워짐에 따라 상세도 단계를 증가시켜야 하고 이에 따라 화면에 렌더링 되는 삼각형의 개수도 증가한다. 또한 시점에서 멀어지면 삼각형의 개수는 감소한다. 그런데 시각 절두체 내의 삼각형의 개수가 하드웨어에서 처리할 수 있는 이상으로 증가하게 될 경우 렌더링 속도가 감소하여 실시간 렌더링에서 일정한 프레임율을 유지할 수 없게 된다.

Rottger의 방법[3]에서는 식

$$\frac{l}{d} < C$$ - 식(2)

의 조건을 만족하도록 상세도를 조절한다. C값이 고정된 상태에서 시점의 변화에 따라 화면에 렌더링되는 삼각형의 개수도 바뀌게 되며, 반면에 C가 증가할 경우 프레임 당 정점의 개수가 증가하게 된다. 따라서 삼각형의 증가에 따라 C값을 피드백하는 방법으로 조절하여 삼각형의 개수를 일정하게 유지할 수 있다.

삼각형 개수를 제어하는 C를 조절하는 조건으로, 이전 프레임에서 렌더링된 삼각형 개수와 현재 프레임의 삼각형 개수와의 차이를 이용한다. 그 값은 이 차이와 적당한 값을 나누어준 결과로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C_{next} = C_{prev} + \Delta t / a$$ -식(3)

Δt : 프레임간 렌더링된 삼각형 개수 차
a : Δt를 C의 영역으로 변환, $a \neq 0$

a의 값을 적절히 조정하여 C가 원하는 수의 삼각형을 생성하는 조건에 도달하도록 조절함으로써, 삼각형 개수를 조절한다. 하지만 이 방법은 작은 값을 대입할 경우 원하는 삼각형개수로 수렴하는데 오랜 시간이 걸리게 되며 값이 커지게 될 경우 일정 수 이상으로 넘어가면 진동 현상을 막을 수 없다.

이와 함께 식 (1)에서 c는 고정된 프레임율을 유지하도록 하는 상수이며 이 값을 조절할 경우 삼각형 개수 변화의 정도를 조절할 수 있다. 즉 c가 작을 경우 삼각형의 수를 정밀하게 조절하지만 원하는 수에 도달하기 까지 시간이 오래 걸리며, 클 경우 원하는 단계까지 빨리 도달하게 되지만 일정 값에 도달하지 못하고 진동하는 문제가 있다. 이 두 값의 조절로 깜빡임을 감소시킬 수 있으나 지형의 굴곡이나 위치에 따라서 깜빡임의 정도가 달라지게 되므로 적절한 값을 정하는 것도 쉽지 않다.

프레임율의 일정한 유지를 위해 피드백 방식을 이용한 기존 방법의 문제점은, 이전 프레임과 다음 프레임이 급격하게 변하는 굴곡이 심한 특정 지형에 시점이 고정되었을 때 깜빡임 현상이 생긴다는 것이다. 깜빡임의 원인은 피드백 시 조절하는 값의 급격한 변화로 목표한 값으로 안정화 되지 않고 진동하게 되기 때문이다. 실험에 의하면 c=1일 때에는 진동이 생기지 않으나 c=3이상에서 급격한 삼각형 개수의 진동이 나타난다.

2.3 깜빡임 현상을 최소화하는 삼각형 개수의 조절 방법

기존의 방법에서 지형의 변화와 c의 값에 따라 깜빡임이 발생하는 문제점을 해결하기 위해, c값이 충분히 큰 상태에서도 깜빡임 현상이 생기지 않도록 하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 삼각형의 수렴 속도를 보장하면서 다양한 지형의 변화에 대해 일정한 삼각형 수를 유지하기 위해 이전 프레임의 삼각형개수와 C의 변화정도를 참조하여 C를 조절하는 방법을 제안한다. 여기서는 이웃한 프레임간의 시간 일관성을 이용하여 현재 계산된 C와 이전 값들에 대하여 최근 프레임의 C에 높은 가중치를 부여하여 재조정하는 방법을 이용하였다.

깜빡임은 삼각형 수의 진동에 따른 결과이기 때문에, 현재 Δt와 이전 Δt는 부호가 반대일 가능성이 높다. 따라서 각 프레임당 삼각형 수를 결정한 C의 값들을 평균하여 다음 프레임의 C를 정하는 데 이용함으로써 진동을 상쇄하는 효과를 얻는다. 여기에 지역성을 적용하여 현재 프레임에서 가까운 최근의 C에 높은 가중치를 적용하여 수렴속도를 보장하는 효과를 얻을 수 있다. 이것을 표현한 식은 아래와 같다.

$$C = \frac{\sum_{i=0}^{r} C_{n-i} w_{r-i}}{\sum_{i=0}^{r} w_i}$$ -식(4)

w : $w_i=i, \cdots, w_0=1$ n : n = 현재 프레임.

r = 4일 때의 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$C = \frac{C_n w_3 + C_{n-1} w_2 + C_{n-2} w_1 + C_{n-3} w_o}{w_3 + w_2 + w_1 + w_o}$$

이전 프레임의 C와 Δt를 저장하기 위해서는 참조할 프레임 수 만큼의 공간과 계산이 필요하므로 적절한 값을 정해야 한다. 여기서는 이전 4프레임을 참조하도록 r=4로 정하였다. 실험에 의하면 이 값이 가장 좋은 결과가 나왔다. 이 식으로 삼각형 수의 큰 변화량에 대해 인접프레임에서의 계산값을 참조하여 필요한 적절한 값을 적용하게 된다. 이것으로 원하는 삼각형수로 수렴속도를 보장하면서 깜빡임을 효과적으로 줄일 수 있다. 실제로 기존의 방법에서 c=1일 경우 본 논문에서 제안하는 방법과 결과에서 큰 차이가 없으나 기존방법에서 크게 깜빡임이 일어나는 c>1의 조건에서도 깜빡임이 크게 감소하는 결과를 보인다.

3. 실험 및 결과

실험을 위해 지형데이터는 2049x2049 크기의 grandcanyon 고도필드를 사용하였다. 하드웨어 환경은 Pentium4 1.7GHz, 1GB RAM, 그래픽 가속기로 Nvidia Geforce3 128RAM을 사용하여 실험하였다.

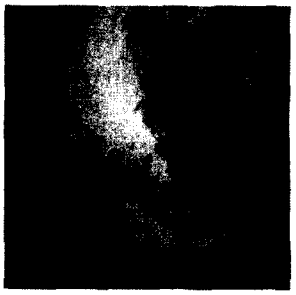

그림 2. 2049x2049 grandcanyon의 고도필드

c의 값의 변화에 따라 원하는 삼각형 수로 수렴하는 정도를 비교하면 그림과 같다. 그림에서 y 축은 이전 프레임과 삼각형개수의 차이(Δt)이고 x축은 프레임을 나타낸다. a=5000 으로 고정했다.

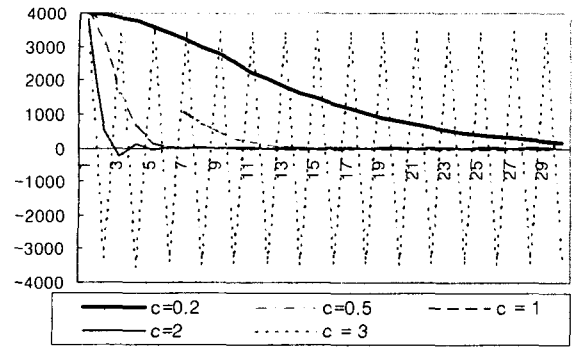

그림 3. c의 값에 따른 Δt의 변화

c 의 값이 증가함에 따라 Δt 가 0으로 수렴하는 속도가 빨라지는 것을 알 수 있으나 일정 값 이상에서 진동이 발생하는 것을 알 수 있으며 이 진동이 바로 화면의 깜빡임을 나타낸다. 반대로 c의 값을 감소시키면 안정적인 대신 변화단계에 오랜 시간이 걸린다. 이 실험에서는 c=1 일 때가 가장 최적의 결과를 나타냈다. 하지만 c=3 이상이 되면 진동이 발생했다.

다음은 c가 비교적 큰 값으로 진동이 많이 일어나는 조건일 때, 기존의 방법과 본 논문의 방법을 비교한 것이다. 위 실험에서 진동이 발생했던 값보다 좀더 높은 c=5의 값과, a=5000 으로 설정했다. 이 값은 grandcanyon지형에서 기존 방법으로는 매우 심한 진동이 발생한다.

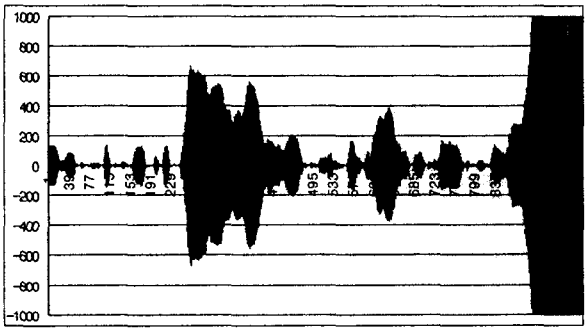

그림 4 c=5.0, a=5000 일때 Δt의 변화

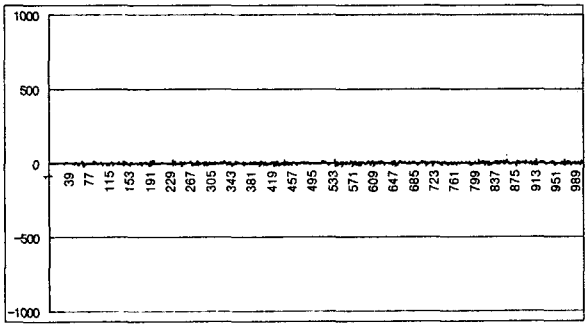

그림 5 c=5.0, a=5000, 본 논문의 방법을 적용한 후 Δt의 변화

그림4와 그림5는 1000프레임 동안 동일한 지형을 이동하며 렌더링했을 때 인접프레임과의 삼각형 차이를 나타낸 그래프이다. 그림4에서 본 논문의 방법을 적용하기 전에는 특정 위치에 대해서 큰 폭의 진동이 있으며 전체적으로 진동이 나타남을 알 수 있다. 그에 비해 그림5는 전체적으로 소폭의 진동만이 보이며 전체적으로 평활함을 알 수 있다. 이 실험의 결과는 본 논문의 방법을 적용함으로써 전체적으로 안정된 프레임율로 실시간 렌더링영상을 얻을 수 있음을 보여준다. 이 방법은 렌더링되는 매 프레임마다 적용되며 추가 비용은 무시할 만하다.

4. 결론

본 논문은 일정한 프레임 율을 유지하기 위한 방법으로 시각절두체 내의 삼각형 개수를 유지하는 방법을 구현하는 과정에서 생기는 영상의 깜빡임 문제를 해결하기 위해 기존 연구를 분석하고 좀더 개선된 결과를 위한 방법을 제안하였다. 이 방법으로 깜빡임이 생기는 지형에 대해서 수렴속도를 보장하면서 안정된 지형영상을 얻는 것이 가능했다. 향후 좀 더 다양한 경우에 대한 실험과 좀더 안정적인 삼각형개수 유지기법의 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] M. Duchaineau, M. Wolinsky, Davie E. Sigeti, Mark C. Miller, C. Aldrich and Mark B. Mineev-Weinsstein. "ROAMing Terrain: *Real-time Optimally Adapting Meshes*", SIGGRAPH. 1997. pp. 81-88

[2] P. Lindstrom, D. Koller, W. Ribarsky, Larry F. Hodges, N. faust and G. A. turner. "Real-Time, Continuous Level of Detail Rendering of Height Fields", SIGGRAPH. 1996 pp. 109-118

[3] S. Rottger, W. Heidrich, P. Slasallek, and H. 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. pp. 315-322

[4] *Thatcher Ulrich*, "*Continuous* LOD *Terrain Meshing* Using Adaptive Quadtrees" Gamasutra February 28, 2000, http://www.gamasutra.com/features/20000228/ulrich_01.htm

[5]Renato Pajarola , ETH ZÜrich, "Large Scale Terrain Visualization Using the Restricted Quadtree Triangulation" IEEE Visualization 98 (VIS'98) October 18 - 23, 1998 p. 19