(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。Int. Cl.
G06F 9/06 (2006.01)
G06F 9/455 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2006-0132519
(43) 공개일자 2006년12월21일

(21) 출원번호 10-2006-0109297
(22) 출원일자 2006년11월07일
심사청구일자 2006년11월07일

(71) 출원인 인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교

(72) 발명자 신병석
경기 안양시 동안구 갈산동 샘마을한양아파트 114동 402
장현덕
경기 시흥시 월곶동 풍림 2차 아파트 204동 106

(74) 대리인 김건우

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 오차 버퍼와 플래그 버퍼를 이용한 사진 트리에 기초한지형 시각화 방법

(57) 요약

본 발명은 오차 버퍼와 플래그 버퍼를 이용하여 사진 트리에 기초한 지형 시각화의 처리속도를 향상시킨 방법으로서, 사진 트리의 모든 노드들과 변에 대하여 보편 공간에서의 기하 오차 값을 계산하여 오차 버퍼를 초기화하는 단계, 초기화 단계에 의해 오차 버퍼에 저장된 오차 값들을 평가함으로써 특정 노드와 변이 지형 메시에 포함되어야 할지 여부를 결정하는 단계, 결정된 정보를 플래그 버퍼에 저장하는 단계, 저장된 플래그 버퍼의 정보를 정제하는 단계, 및 정제된 플래그 버퍼의 정보를 이용하여 지형 메시를 생성하는 단계를 포함하는 것을 그 특징으로 한다.

본 발명은, 오차 버퍼와 플래그 버퍼를 이용하여 시스템 메모리와 그래픽스 하드웨어 간의 노드와 변의 오차 값을 효율적으로 전송할 수 있도록 하여 많은 그래픽 연산 수행을 요구하는 일부 과정을 CPU가 아닌 GPU에서 수행될 수 있도록 함으로써, 종래의 방법들에 비해 지형 시각화에 사용되는 처리 시간을 크게 단축시킬 수 있다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

사진 트리(quadtree)에 기초한 지형 시각화 방법에 있어서,

사진 트리의 모든 노드들과 변에 대하여 보편 공간(world space)에서의 기하 오차 값을 계산하여 오차 버퍼를 초기화하는 단계;

상기 초기화 단계에 의해 상기 오차 버퍼에 저장된 오차 값들을 평가함으로써 특정 노드와 변이 지형 메시(geographical mesh)에 포함되어야 할지 여부를 결정하는 단계;

상기 결정 단계에서 결정된 정보를 플래그 버퍼에 저장하는 단계;

상기 저장 단계에서 저장된 상기 플래그 버퍼의 정보를 정제(refinement)하는 단계; 및

상기 정제 단계에서 정제된 상기 플래그 버퍼의 정보를 이용하여 지형 메시를 생성하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 2.

제1항에 있어서,

특정 노드와 변이 지형 메시에 포함될지 여부를 결정하는 상기 단계는,

2차원 화면 공간으로 투영된 2개의 연속한 상세 단계의 동일 위치의 두 정점 사이의 거리를 계산하고, 만약 상기 거리가 소정의 임계값보다 크면 하위 단계의 메시를 선택하고, 그렇지 않으면 상위 단계의 메시를 선택하는 상세 단계 선택 단계; 및

상기 2차원 화면 공간으로 투영된 상기 두 정점이 뷰 포트(viewport)에 포함되는지 여부를 검사하고, 만약 뷰 포트에 포함된다면 해당 정점을 지형 메시에 포함시키는 시각 절두체 선별 단계

를 포함하는 방법.

청구항 3.

제1항에 있어서,

플래그 버퍼를 정제하는 상기 단계는,

특정 노드에 인접한 4개의 변 중 하나라도 지형 메시에 포함될 경우 상기 특정 노드를 지형 메시에 포함시키는 단계; 및

특정 변에 인접한 상위 단계의 2개의 노드 중 하나라도 지형 메시에 포함될 경우 상기 특정 변을 지형 메시에 포함시키는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 4.

제1항에 있어서,

플래그 버퍼에 저장하는 상기 단계는, 특정 변이나 노드를 지형 메시에 포함시킬 경우에는 상기 특정 변이나 노드의 플래그 버퍼 내의 대응 위치를 활성 상태로 설정하고,

지형 메시를 생성하는 상기 단계는, 상기 플래그 버퍼 내의 대응 위치가 활성 상태로 설정되어 있는 노드와 변들만 지형 메시에 포함시키는 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 사진 트리(quadtree)를 이용하여 지형을 시각화하는 방법으로서, 보다 구체적으로는 오차 버퍼(error buffer)와 플래그 버퍼(flag buffer)(이하에서는 오차 버퍼와 플래그 버퍼를 합하여 'ef-버퍼'라고 지칭함)를 갖는 새로운 자료구조를 제안함으로써, 사진 트리를 이용하여 지형을 시각화하는 데 있어서 부하가 큰 작업의 일부를 중앙 처리 장치(Central Processing Unit; CPU)가 아닌 그래픽 처리 장치(Graphical Processing Unit; GPU)에서 처리할 수 있게 함으로써 지형 시각화의 처리속도를 향상시키는 방법에 관한 것이다.

지형 시각화는 지리 정보 시스템(Geographic Information System; GIS), 컴퓨터 게임 및 비행 시뮬레이션과 같은 응용 프로그램에서 널리 사용되고 있다. 사진 트리 기반의 연속 상세 단계(CLOD: Continuous Level-Of-Detail) 기법은 지형 데이터를 시각화하는 기법 중의 하나이다. 사진 트리 자료 구조는 상세 단계 결정과 시각 절두체 선별을 하는데 있어서 빠른 처리가 가능하여, 고화질의 영상을 비교적 빠르게 생성할 수 있다. 하지만, 사진 트리 기반의 지형 시각화 방법은 대부분의 작업이 CPU에서 수행되기 때문에 렌더링 속도가 CPU 성능에 크게 의존한다는 문제점이 있다.

일반적으로, GPU는 CPU보다 그래픽 연산에 특화되어 있어서 보다 빠르게 그래픽 처리를 할 수 있다. 또한 GPU는 CPU와 달리, 정점 프로세서와 프래그먼트 프로세서에 대한 병렬 처리가 가능하다. 따라서 그래픽 연산의 경우 CPU가 아닌 GPU를 사용하여 처리할 경우 보다 빠른 처리속도를 기대할 수 있다. 하지만, 기존의 사진 트리 구조의 경우 GPU에서는 처리될 수 없는 계층 구조로 표현되기 때문에 GPU의 그래픽 처리에 대한 상기 장점을 이용할 수 없었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 제안된 것으로서, 오차 버퍼와 플래그 버퍼(ef-버퍼)를 갖는 사진 트리 기반의 변형된 새로운 자료구조를 제안함으로써, 지형을 시각화하는 데 있어서 사용되는 그래픽 연산 중 부하가 큰 일부 연산을 CPU가 아닌 GPU에서 처리할 수 있게 함으로써, 종래의 방법에 비해 지형 시각화의 처리속도를 향상시키는 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

발명의 구성

상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른, 사진 트리에 기초한 지형 시각화 방법은,

사진 트리의 모든 노드들과 변에 대하여 보편 공간(world space)에서의 기하 오차 값을 계산하여 오차 버퍼를 초기화하는 단계;

상기 초기화 단계에 의해 상기 오차 버퍼에 저장된 오차 값들을 평가함으로써 특정 노드와 변이 지형 메시(geographical mesh)에 포함되어야 할지 여부를 결정하는 단계;

상기 결정 단계에서 결정된 정보를 플래그 버퍼에 저장하는 단계;

상기 저장 단계에서 저장된 상기 플래그 버퍼의 정보를 정제(refinement)하는 단계; 및

상기 정제 단계에서 정제된 상기 플래그 버퍼의 정보를 이용하여 지형 메시를 생성하는 단계

를 포함하는 것을 그 특징으로 한다.

이하에서는 첨부된 도면들을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 방법을 상세하게 설명하기로 한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 지형 시각화 방법의 전체 처리 흐름을 나타내는 도면이다. 지형 시각화에 사용되는 입력 데이터로서는 고도 필드 데이터가 사용될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서도, 크기가 $n \times n$ ($n = 2k + 1$, k는 사진 트리의 깊이)인 고도 필드 데이터(105)가 입력 데이터로서 사용된다. 입력 데이터인 고도 필드 데이터는 보편 공간상의 기하학적인 오차 값을 계산하는 데 사용되며, 이렇게 계산된 기하학적인 오차 값을 오차 버퍼에 저장함으로써 오차 버퍼를 초기화하게 된다(s110). 오차 버퍼가 초기화되면, 오차 버퍼에 저장되어 있는 보편 공간상의 오차 값들로부터 특정 노드나 변이 지형 메시에 포함되어야 할지 여부를 결정하게 된다(s120). 단계 s120에서 특정 노드나 변이 지형 메시에 포함되어야 할지 여부가 결정되면, 그 결정 결과는 플래그 형태(1 또는 0)로서 플래그 버퍼에 저장된다(s130). 플래그 버퍼를 갱신하는 단계가 끝나면, 지형 메시를 생성하는 도중에 발생할 수 있는 틈(crack)이나 T-junction을 피하기 위해서 플래그 버퍼를 정제하게 된다(s140). 마지막으로, 플래그 버퍼의 값을 사용하여 지형 메시를 생성함으로써(s150), 결과 영상(155)를 출력하게 된다.

도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따라 지형을 시각화하는 방법은, 오차 버퍼를 초기화하는 단계(s110), 플래그 버퍼를 정제하는 단계(s140) 및 지형 메시를 생성하는 단계(s150)는 CPU에서 수행하고, 특정 변이나 노드가 지형 메시에 포함되어야 할지 여부를 결정하는 단계(s120) 및 플래그 버퍼를 갱신하는 단계(s130)는 GPU에서 수행하는데, 많은 그래픽 연산을 요구하는 단계 s120 및 s130을 GPU에서 수행함으로써 지형을 시각화하는 처리속도를 크게 향상시키게 된다.

각 단계들에 대해서는, 도 2 내지 6을 참조하여 이하에서 상세하게 설명하기로 한다.

(1) 오차 버퍼를 초기화하는 단계(s110)

이 단계에서는, 고도 필드 데이터(105)를 사용하여 사진 트리의 모든 노드들과 변에 대해서 보편 공간에서의 기하 오차 값을 계산하게 된다. 이 오차 값들은 2차원 텍스쳐(texture)로 표현되는 오차 버퍼에 저장되어 연속 상세 단계 기법을 수행하는데 사용된다. 오차 버퍼를 초기화하기 위해서는 사진 트리의 계층 구조 탐색을 필요로 하기 때문에, 본 단계는 CPU에서 수행되어야 한다.

지형 데이터는 대부분 변하지 않기 때문에 오차 버퍼의 초기화 과정은 전처리 단계에서 지형 시각화 처리의 실제 실행 전에 미리 수행될 수 있다. 하지만 해수면 시뮬레이션과 같이 고도 값이 계속 변하는 경우에는 오차 버퍼를 매번 초기화해야 할 필요가 있을 수도 있다.

도 2는 보편 공간에서 변의 오차 값을 나타내는 도면이다. 도 2에서, (a)와 (b)는 각각 최대 세밀 단계와 그 이외의 단계에서의 변의 오차 값을 나타내고 있다. 그림에서 점선은 가장 거친 단계를, 실선은 가장 세밀한 단계를, 파선은 그 중간 단계를 각각 나타낸다.

도 2에 도시된 바와 같이, 보편 공간에서 변의 오차 값은 연속된 두 상세 단계에서 변들의 거리를 계산하여 얻어질 수 있다. 보다 거친 단계(coarser level)에서의 변의 중점($\overline{v_i}$, i = 0, 1, 2, 3)과 그 변의 중점에 해당하는 보다 세밀한 단계(finer level)의 정점(v_i, i = 0, 1, 2, 3) 사이의 거리를 계산한 것이 변의 오차 값(δ_i^e, i = 0, 1, 2, 3)이 된다.

도 3은, 도 2에 도시된 변의 오차 값을 계산하는 방법을 나타내는 도면으로서, 고도 필드의 크기가 5×5일 경우 변의 오차 값을 계산하기 위해 고도 필드로부터 데이터를 색인하고 오차 버퍼에 저장하는 방법을 보여준다. 도 3에서, (a)와 (b)는 각각 0번째 단계와 1번째 단계에서 변의 오차 값을 계산하기 위한 고도 값의 색인 방법을 나타낸다. 회색 원은 현재 단계에서의 변의 오차 값을 나타내고, 흰색 원은 상위 단계에서의 변의 오차 값을 나타내며, 화살표는 변의 오차 값을 계산하기 위해 고도 필드와 오차 버퍼에서 색인하는 위치를 보여준다.

도 4는 노드의 오차 값을 계산하는 방법을 나타내는 도면으로서, 오차 버퍼로부터 필요한 오차 값을 색인하고 계산된 노드의 오차 값을 오차 버퍼에 저장하는 방법을 보여준다. 도 4에서, (a)와 (b)는 각각 0번째 단계와 1번째 단계에서 노드의 오차 값을 계산하는 방법을 나타내고 있다. 회색 사각형은 현재 단계에서의 노드의 오차 값을 나타내고, 흰색 사각형은 보다 세밀한 단계에서의 자식 노드에 대한 오차 값을 나타내며, 화살표는 노드의 오차 값을 계산하기 위해 오차 버퍼에서 색인하는 위치를 보여준다.

노드의 오차 값은 노드에 인접한 변과 자식 노드들의 오차 값을 알아야 계산할 수 있다. 가장 세밀한 단계에서의 노드의 오차 값은 노드에 인접한 네 변의 오차 값 중 최대값을 선택하게 되며, 그 이외의 단계에서의 노드의 오차 값은 네 변의 오차 값뿐만 아니라 네 자식 노드의 오차 값들 중 최대값을 선택하게 된다.

(2) 특정 노드와 변이 지형 메시에 포함되어야 할지 여부를 결정하는 단계(s120) 및 플래그 버퍼를 갱신하는 단계(s130)

이상 살펴본 바와 같이, 오차 버퍼는 사진 트리의 모든 단계에 대해 노드의 오차 값과 변의 오차 값을 저장하는 자료구조이다. 오차 버퍼에 저장되어 있는 오차 값들은 단계 s120에서 평가되어, 특정 노드와 변이 지형 메시에 포함되어야 할지 여부를 결정하게 되며, 결정된 결과 값이 플래그 버퍼에 저장되어 플래그 버퍼를 갱신하게 된다. 단계 s120 및 s130의 플래그 버퍼를 갱신하는 과정은 계층 구조 정보가 필요 없기 때문에 GPU의 프래그먼트 셰이더로 구현될 수 있으며, 이에 따라 그 처리속도가 크게 향상될 수 있다.

단계 s120에서는, 특정 노드와 변이 지형 메시에 포함되어야 할지 여부를 결정하기 위하여, 상세 단계 선택과 시각 절두체 선별 작업이 수행될 수 있다. 고도 필드 데이터는 3 차원 기하 정보를 가지고 있기 때문에 고도 필드 데이터만으로 보편 공간상의 3 차원 정점들을 계산해 낼 수 있다. 계산되는 보편 공간상의 3 차원 정점을 2 차원 화면 공간으로 투영함으로써, 상세 단계 선택과 시각 절두체 선별 과정을 수행할 수 있다.

도 5는 연속하는 두 상세 단계간의 오차를 화면 공간으로 투영하는 모습을 보여주는 도면이다. 도 5와 같이, 화면 공간으로 투영된 두 상세 단계 간의 오차를 이용하여 상세 단계 선택을 하게 된다. 화면 공간으로 투영된 두 상세 단계 간의 오차, 즉 화면 공간으로 투영된 두 정점 사이의 거리는, 연속하는 두 상세 단계 사이를 전환할 때 최종 영상에 영향을 미치는 픽셀의 개수를 의미한다. 이 거리가 사용자에 의해 정의된 문턱 값(τ)보다 크면 하위 단계의 메시가 선택되어야 하며, 그렇지 않다면 상위 단계의 메시가 지형 메시로서 선택되어야 한다.

도 5와 같이 화면 공간으로 투영된 두 정점은, 뷰 포트(viewport)에 포함되는지 여부를 검사함으로써 시각 절두체 선별 과정에도 이용될 수 있다. 만일 두 정점이 뷰 포트에 포함된다면 해당 정점들이 시각 절두체에 포함되는 것을 뜻하므로 지형 메시에 포함되어야 한다.

상기와 같은 상세 단계 선택 과정과 시각 절두체 선별 과정을 통해 지형 메시에 포함되어야 한다고 결정된 특정 변이나 노드에 대해서는, 대응하는 플래그 버퍼의 해당 위치를 활성 상태(예컨대, '1')로 설정함으로써 지형 메시에 포함되어야 함을 표시할 수 있다.

그래픽스 하드웨어의 프레임 버퍼는 32-비트 포맷을 사용하기 때문에 8-비트만 사용하는 플래그 버퍼는 메모리의 낭비를 유발할 수 있다. 이러한 낭비는 플래그 버퍼의 한 픽셀 당 4개의 샘플을 저장함으로써 해결될 수 있으나, 투영 과정에서는 한 픽셀이 한 번만 투영되기 때문에 뷰 포트의 경계 부분에서 시각 절두체 선별이 잘못될 수 있는데, 이는 뷰 포트를 실제 크기보다 조금 더 크게 확장하여 시각 절두체 선별을 함으로써 해결할 수 있다.

(3) 플래그 버퍼를 정제하는 단계(s140)

단계 s120 및 s130을 통해 갱신된 플래그 버퍼는 제한되지 않은 사진 트리(non-restricted quadtree)이기 때문에 T-junction 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 피하기 위해, 플래그 버퍼의 정보는 다음과 같은 조건에 따라 제한된 사진 트리(restricted quadtree)로 정제(refinement)되어야 한다.

* 노드에 인접한 네 변 중 하나라도 활성화('1')되어 있으면 그 노드는 활성 상태로 설정되어야 한다.

* 변에 인접한 상위 단계의 두 노드 중 하나라도 활성화('1')되어 있으면 그 변은 활성 상태로 설정되어야 한다.

(4) 지형 메시를 생성하는 단계(s150)

정제 단계까지 끝마친 플래그 버퍼의 정보는 지형 메시를 생성하는 데 사용된다. 지형 메시는 플래그 버퍼를 이용하여 하향식으로 생성된다. 플래그 버퍼를 정제하는 단계(s140)와 지형 메시를 생성하는 단계(s150)는 계층 구조 정보를 필요로 하기 때문에 CPU에서 수행되어야 한다.

(5) 실험 결과

본 발명의 일 실시예에 따른 방법은, dual Intel Pentium Xeon 3.0GHz와 2GB의 메인 메모리를 갖는 시스템에서 실험이 수행되었다. 그래픽스 가속기는 PCI Express BUS 에 장착된 128MB의 비디오 메모리를 갖는 NVIDIA GeForce 6600GT가 사용되었다. 문턱 값(τ)은 1 픽셀로 설정하고 뷰 포트의 크기는 512 × 512로 설정하였다. Puget 데이터와 Grand-Canyon 데이터가 입력 데이터인 고도 필드 데이터로서 사용되었다. 렌더링의 성능은 시점과 방향에 따라 다르기 때문에 시점이 지형과 가까운 경우와 지형에서 멀리 떨어진 경우에 대해서 각각 실험이 수행되었다.

도 6은, 상기와 같은 조건 하에서 수행된, 본 발명의 일 실시예에 따른 실험 결과를 나타내는 도면이다. 도 6에서, 위쪽의 (a)와 (b)는 Grand-Canyon 데이터에 대한 실험 결과이고, 아래쪽의 (c)와 (d)는 Puget 데이터에 대한 실험 결과이다. 또한, 좌측의 (a)와 (c)는 시점이 지형과 가까운 경우에 대한 실험 결과이고, 우측의 (b)와 (d)는 시점이 지형에서 멀리 떨어진 경우에 대한 실험 결과이다. 각각의 그래프에서, 가로축은 실험에 사용된 데이터의 크기(n)를 나타내며, 세로축은 지형 시각화에 걸리는 시간을 msec 단위로 나타낸다.

세로축의 시간은 (플래그 버퍼에 대한) 갱신 단계, (플래그 버퍼의) 정제 단계, 및 지형 메시 생성 단계로 나누어서 각각 흰색, 검은색, 회색으로 표시되고 있다. 오차 버퍼를 초기화하는 단계는 전처리 단계로서 미리 수행될 수 있기 때문에 지형 시각화에 걸리는 시간으로 표시되지 않는다. 흰색, 검은색, 회색으로 표시된 세 단계들 중에 플래그 버퍼에 대한 갱신 단계(흰색)가 가장 많은 시간을 소요한다. 도 6에서 확인할 수 있는 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 방법은 플래그 버퍼에 대한 갱신 단계를 GPU에서 수행하여 플래그 버퍼의 갱신 시간을 매우 단축시킴으로써, 종래에 CPU 만으로 지형 시각화를 수행하는 경우보다 모든 경우에 대해서 빠른 처리속도를 나타내었다.

GPU에서 수행될 수 있는 과정은 플래그 버퍼를 갱신하는 과정, 즉 특정 변과 노드가 지형 메시에 포함되어야 할지를 결정하여 플래그 버퍼에 저장하는 과정뿐이다. 플래그 버퍼를 정제하는 과정은 두 방법 모두에서 동일하게 수행되어야 하므로 그 처리 시간은 동일하였다. 다만, 지형 메시를 생성하는 과정에서는 본 발명에 따라 GPU를 CPU와 함께 사용하는 방법이 약간 더 많은 삼각형을 생성하기 때문에 CPU만을 이용하는 종래의 방법보다 조금 더 많은 시간을 소모하는 결과를 보였다. 그러나, 이러한 증가된 소모 시간은 플래그 버퍼의 갱신 단계에서 단축된 시간에 비해 훨씬 작은 양에 불과하기 때문에 전체적으로 처리시간이 크게 단축되는 결과를 나타내었다.

이상 설명한 본 발명은 본 발명이 속한 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 다양한 변형이나 응용이 가능하며, 본 발명에 따른 기술적 사상의 범위는 아래의 특허청구범위에 의하여 정해져야 할 것이다.

발명의 효과

본 발명은, 사진 트리에 기초한 지형 시각화 과정에 있어서 오차 버퍼와 플래그 버퍼를 이용하여 시스템 메모리와 그래픽스 하드웨어 간의 노드와 변의 오차 값을 효율적으로 전송할 수 있도록 하는 것에 의해, 많은 그래픽 연산 수행을 요구하는 일부 과정을, 그래픽 연산에 특화된 GPU에서 수행될 수 있도록 함으로써, 종래의 방법들에 비해 지형 시각화에 사용되는 처리 시간을 크게 단축시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 지형 시각화 방법의 전체 처리 흐름을 나타내는 도면.

도 2는 보편 공간에서 변의 오차 값을 나타내는 도면.

도 3은 변의 오차 값을 계산하는 방법을 나타내는 도면.

도 4는 노드의 오차 값을 계산하는 방법을 나타내는 도면.

도 5는 연속하는 두 상세 단계간의 오차를 화면 공간으로 투영하는 모습을 보여주는 도면.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 테스트 결과를 나타내는 도면.

<도면 중 주요 부분에 대한 부호의 설명>

105 : 고도 필드 데이터

s110 : 오차 버퍼 초기화 단계

s120 : 지형 메시 포함여부 결정 단계

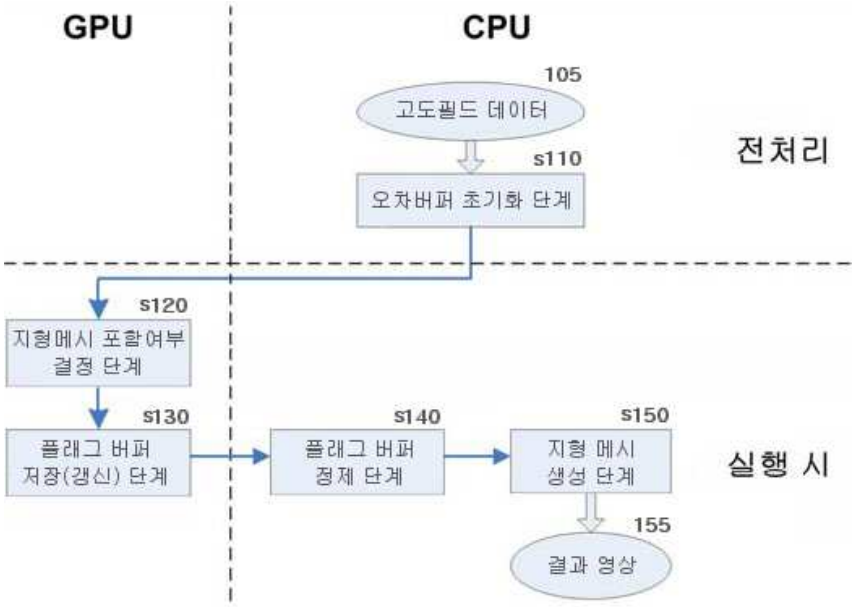
s130 : 플래그 버퍼 저장(갱신) 단계

s140 : 플래그 버퍼 정제 단계

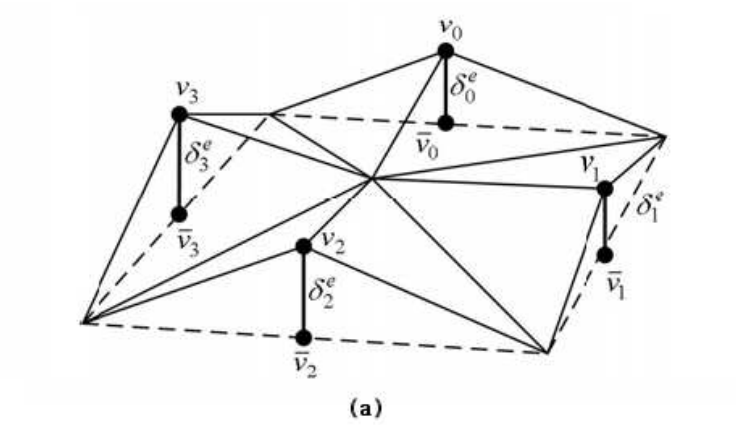
s150 : 지형 메시 생성 단계

도면

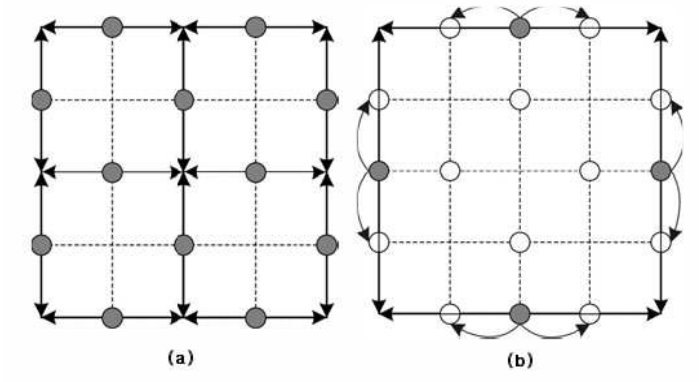
도면1



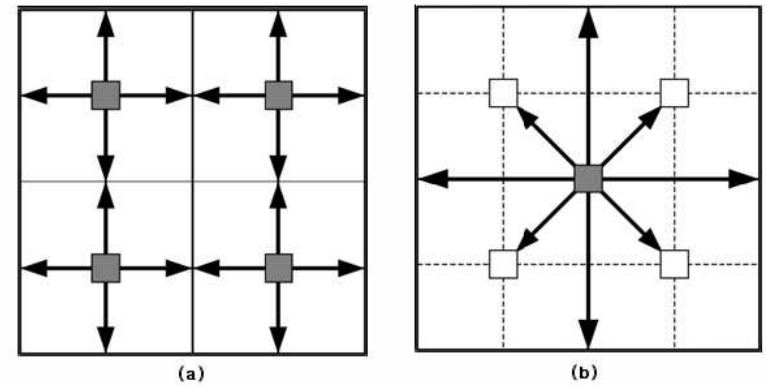
도면2


v_0
v_3
δ_0^e
δ_3^e
$\bar{v}_0$
v_1
δ_1^e
$\bar{v}_3$
v_2
δ_2^e
$\bar{v}_1$
$\bar{v}_2$
(a)
v_i'
v_i''
v_i
$\delta_i'^e$
$\delta_i''^e$
δ_i^e
$\bar{v}_i'$
$\bar{v}_i''$
$\bar{v}_i$
(b)

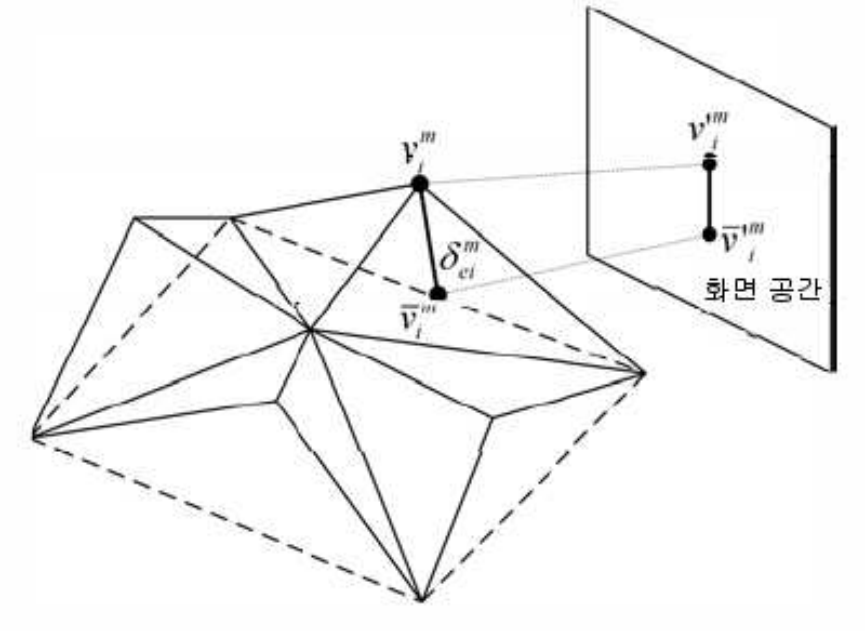
도면3


(a)
(b)

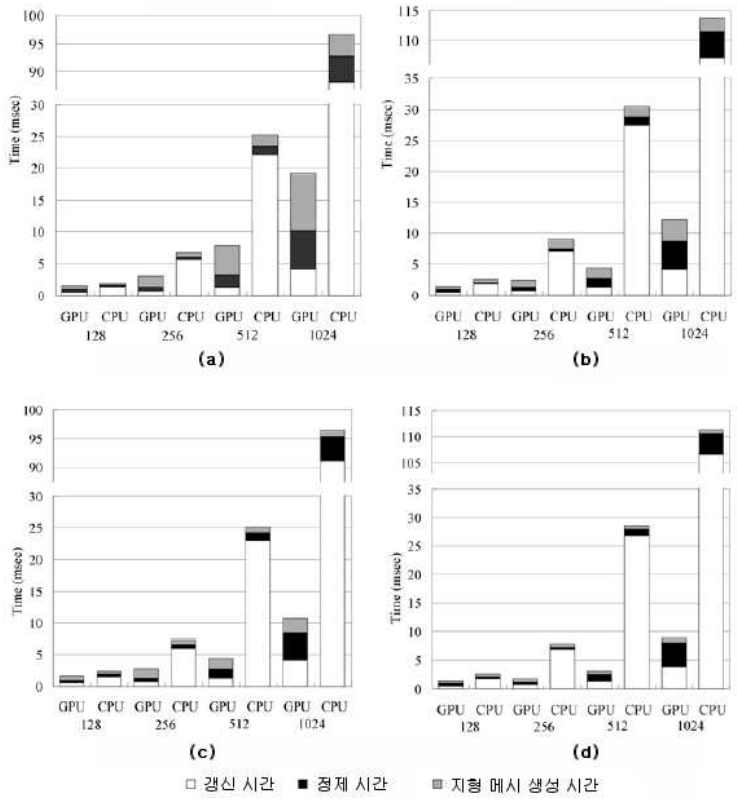
도면4


(a)
(b)

도면5


화면 공간

도면6


Time (msec)
GPU CPU GPU CPU GPU CPU GPU CPU
128 256 512 1024
(a)
(b)
(c)
(d)
□ 갱신 시간 ■ 정제 시간 ■ 지형 메시 생성 시간