

행성 규모 지리 정보의 실시간 시각화를 위한 다계층 4-8 타일 구조의 구축*

진종욱¹ · 원광연^{2**}

한국과학기술원 전산학과 가상현실 연구센터

Multiresolution 4-8 Tile Hierarchy Construction for Realtime Visualization of Planetary Scale Geological Information*

Jong-Wook JIN¹ · Kwang-Yun WOHN^{2**}

요 약

최근 우리는 항공 혹은 위성 영상 등에서 방대한 고해상도 지형 데이터를 접하고 있다. 여러 연구 및 응용에서 이러한 관심 지역의 대규모의 지리 정보 혹은 전체 행성 데이터에 대해서 실시간 시각화를 필요로 하고 있다. 널리 사용되고 있는 지형 실시간 시각화의 핵심적인 연산은 다중 상세도 수준 구조에서 참여자의 시점을 고려한 상세도 수준의 선택이다. 대규모 지리 데이터에 대해서 이러한 실시간 영상 생성을 수행하기 위해서는 실시간 영상 생성 시간 이전에 다계층 품질 계층구조를 구성하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 전체 행성 응용을 위하여 정육면체 4-8 타일 구조를 선택하였다. 이를 기반으로, 원시 지형 정보 영역의 해당하는 단말 수준의 타일 구조를 선택적으로 구성하고, 생성된 타일에 대해서 샘플링을 통하여 단말 수준의 타일을 구성한다. 로우 패스 필터를 이용하여 상향식으로 저해상도 타일을 구성하여 전체 4-8 타일 다계층 구조를 완성한다. 본 연구는 비메모리 저장소에 4-8 타일 구조를 구성하기 위한 효과적인 일련의 방법론을 구체화하였으며, 공개되어 있는 전체 화성 지형 및 영상 데이터에 대해서 실험하였다.

주요어 : 실시간 시각화, 행성 규모의 지리 정보, 다계층 품질 구조, 비-메모리 시각화

2006년 6월 1일 접수 Received on June 1, 2006 / 2006년 11월 27일 심사완료 Accepted on November 27, 2006

* 본 연구 논문은 한국 과학기술부와 문화관광부의 과제 지원을 받았다.

1 한국과학기술원 전산학과 박사과정 및 가상현실 연구센터 연구원 Virtual Reality Research Center, Computer Science department
Korea Advanced Institute Science and Technology

2 한국과학기술원 문화기술 대학원 원장 Graduate School of Culture Technology, Korea Advanced Institute Science and Technology

** 연락처 E-mail : wohn@kaist.ac.kr

ABSTRACT

Recently, Very large and high resolution geological data from aerial or satellite imagery are available. Many researches and applications require to do realtime visualization of interest geological area or entire planet. Important operation of wide-spreaded terrain realtime visualization technique is the appropriate model resolution selection from pre-processed multi-resolution model hierarchy depend upon participant's view. For embodying such realtime rendering system with large geometric data, Preprocessing multi-resolution hierarchy from large scale geological information of interest area is required.

In this research, recent Cubic multiresolution 4-8 tile hierarchy is selected for global planetary applications. Based upon the tile hierarchy, It constructs the selective terminal level tile mesh for original geological information area and starts to sample individual generated tiles for terminal level tiles. It completes the hierarchy by constructing intermediate tiles with low pass filtering in bottom-up direction. This research embodies series of efficient cubic 4-8 tile hierarchy construction mechanism with out-of-core storage. The planetary scale Mars' geographical altitude data and image data were selected for the experiment.

KEYWORDS : Realtime Visualization, Planetary Scale Geological Data, Multiresolution Structure Out-of-Core Rendering

서 론

우리는 위성 혹은 항공 영상 등을 통해서 방대한 지형 데이터를 쉽게 접하고 있으며, 이에 대한 실시간 시각화가 항공, 우주, 해운, 군사, 환경 및 엔터테인먼트 등의 여러 응용 분야에서 필요하다. 여기서의 실시간 시각화란 참여자의 입력에 반응하여 제한된 시간 안에 영상의 한 프레임을 완성하는 것을 의미한다.

실시간 다단계 세밀도 영상 생성 기법(Realtime level of detail rendering)은 실시간에 변경되는 참여자의 시점에 종속적이면서 과도하게 세밀하지 않고, 반대로 과도하게 거칠지도 않은 적절한 수준의 근사 데이터를 구성 및 선택하여 효과적으로 실시간 영상을 생성하게 된다.

참여자의 시점을 고려하여, 세밀도 모델의 변경하게되면, 영상 결과물상에서 이전 영상 프레임과 다음 영상 프레임 상에서 두드러지게 변화가 나타나는 현상을 불쑥 나타남(popping) 현상이라

고 한다. 이는 가상현실을 위한 실시간 영상에서 현실 착각과 몰입감을 저해하는 요소로서, 이를 줄이기 위한 연구가 많이 시도되고 있다.

컴퓨터의 실시간 처리 용량보다 큰 대규모 지형 데이터에 대해서는 실시간 지형 정보 시각화를 위해서 비메모리 저장소를 사용하는 다계층 지형 정보 모델의 구축이 필요하다. 참여자의 시점의 이동에 따라 부분적으로 세밀도를 높이거나 낮추어 대표되는 지형 근사 모델을 생성하는 방법이 필요하며, 더 나아가서, 불쑥 나타남 현상을 개선하기 위해 부드러운 전이가 가능한 근사 구조에 관한 연구가 필요하다.

기존의 실시간 렌더링을 위한 지형 표현 기법

1. 직각 삼각형 이진 트리

지형에 관한 실시간 시각화를 수행하는 기존의 (Duchaineau 등 1997), (Lindstrom 등 2002)

연구 등에서, 수행 시간에 적절한 근사 형상을 구성하기 위해, 직각 삼각형 이진 트리 구조(right triangle bintree)는 그림 1에서처럼 인접된 주변 영역의 연결 관계를 해치지 않고, 모델의 세밀도를 부분적으로 제어할 수 있어서, 실시간 렌더링에서 널리 사용되어 왔다.

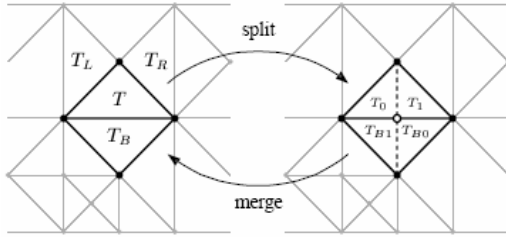


Figure 1. 직각 삼각형 이진 트리상에서 선택적 세밀도 제어 (Duchaineau 등 1997)

2. 삼각형 비정규적 연결망 구조

바둑판과 같은 정규적인 정점 위치로는 지형의 특징점을 잘 살릴 수 없는 경우가 많다. 이에 따라, 정점의 위치를 비정규적으로 조정하여, 원시 데이터를 최적으로 근사하는 메쉬를 만들어내는 일련의 구성 방법을 삼각형 비정규적 연결망 구조(triangle irregular network)라고 하며, (서혜원 1998)에 따르면, 일반적으로 Delunay 삼각화 방법을 이용하여, 원시 데이터의 정점을 하나씩 추가하는 최적화 방법으로 최적 메쉬를 구성한다. 삼각형 비정규적 연결구조는 주어진 삼각형의 개수에 원시 지형 모델을 최적으로 근사하는 삼각형 메쉬를 구성할 수 있어서, 적은 복잡도의 메쉬로 최선의 효과를 보여준다.

(Berg 등 1995)은 비정규적 연결망 구조를 이용하여 선택적 다계층 품질 구조를 구성한 연구가 있었으며, (Cignoni 등 2003a)는 최적화 방법의 계산 비용을 제한하기 위해, 직각 삼각형 이진 트리를 기반으로 전체 지형 데이터를 구분하고 개개의 직각 삼각형 구분안에는 삼각형 비정규적 연결망 구조를 사용하는 연구도 있었다.

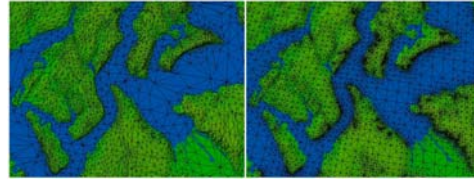


Figure 2. 왼쪽 - (Cignoni 등 2003a)의 대용량 지형 정보를 위한 TIN 구조
오른쪽 - 같은 개수의 삼각형으로 구성된 정규적 메쉬

그러나 현재의 3차원 그래픽 가속기 성능 향상의 추세에 따르면 화면상의 모든 화소에 정점을 넣은 메쉬를 실시간 영상 생성을 할 수 있으므로, 삼각형 개수를 줄여야만 했던 과거의 지형 정보의 최소 개수의 삼각형 근사 최적화 문제를 풀어야 될 이유가 현실적이지 않다.

3. 4-8 타일 구조

(Evans 등 2001)에서는 모든 정점에 있어서 정점간의 연결 관계가 4 혹은 8이 되는 4-8 직각 삼각형 비정규적 연결 구조를 제안하였으며, 이러한 직각 삼각형 이진 트리의 구조를 기반으로 긴 변을 공유하는 두 개의 직각 삼각형을 타일 혹은 다이아몬드라고 정의하고, 이를 기본 단위로 데이터베이스를 구성하는 방법이 (Zachmann 등 2003) (Hwa 등 2004, 2005)에서 제안되었다. 4-8 타일 구조 방식과 기존의 타일 기법과의 큰 차이점은 그림 3에서처럼 수준간의 주축이 회전되어 있고, 왼편의 부모와 오른편의 자식간에 포함 제약이 없다. 기존의 타일 기법에서는 4개의 자식이 모두 부모에 포함되기 때문에, 하나의 타일

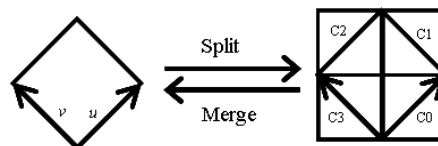


Figure 3. 4-8 타일 구조에서의 모델 세밀도 제어

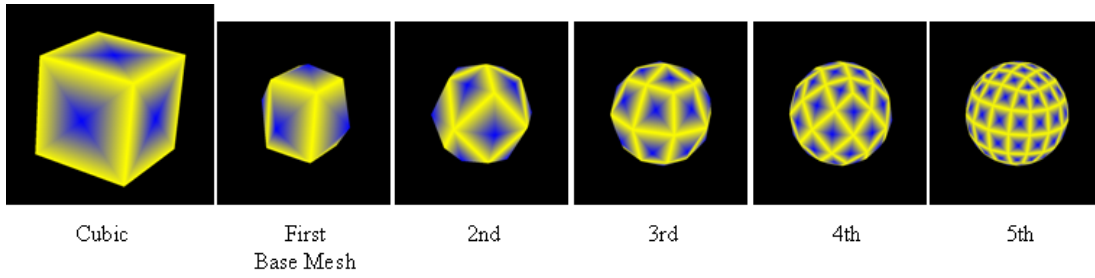


Figure 4. 전체 행성 응용을 위한 정육면체 4-8 타일 구조와 재귀적 세분화
 밝은 변은 타일의 중심을 가르는 변이다.

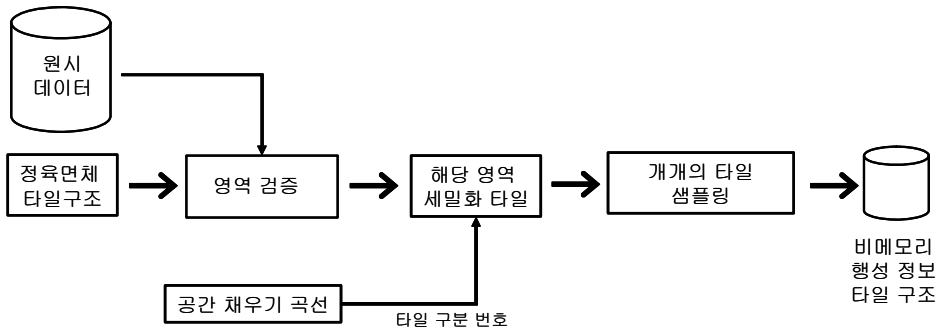


Figure 5. 행성 규모의 4-8 타일 구조 구성 시스템

의 정보량을 N^2 라 할 때, 상세도 수준의 변경시에 $N^2 \xrightarrow{\text{Split}} 4N^2$ 와 같이 정보량이 변경된다. 그러나 4-8 타일 구조에서는 수준의 변경시에, 이전의 타일 기법 대비 추가되거나 제거되는 부모 부분의 정보량이 2배 줄어들게 된다. 따라서 상세도 수준의 변경시에 이전 방식보다 부드러운 전이가 가능하다.

구형 응용을 위한 정육면체 4-8 타일 구조

본 연구에서는 구형 응용을 위하여, (Cignoni 등 2003b) (Hwa 등 2005) 연구들과 마찬가지로, 정육면체 4-8 타일 구조를 사용하였다. 정육면체의 모든 정점을 구면위에 위치시켜서 타일로 구성되는 기본 메쉬 모델을 가지고 (Lindstrom

등 2002)에서 사용한 긴 변 분할법을 적용하여, 타일의 삼각형의 긴 변을 분할하여, 변의 중심점에 새로이 생성된 정점을 두고, 이 정점을 다시 구면위에 위치시킨다. 이 과정을 반복하여 지속적인 재귀적인 분할로 구면을 근사할 수 있다. 정육면체 4-8 타일 구조는 부모 타일은 4개의 자식을 가지며 최초의 1수준의 타일을 제외하고 모든 자식 타일은 두 개의 부모를 가지게 되므로, 수준이 1 증가할 때마다 2배가 증가한다. 수준 인덱스가 i 일때 타일의 개수는 $12 \times 2^{i-1}$ 이다.

정육면체 4-8 타일 구조를 이용한 대규모 지리정보의 구축

1. 행성 4-8 타일 구조 구성

본 연구에서는 실시간 렌더링에서 널리 쓰이는

실시간 그래픽 응용 개발 규약인 (DirectX) 및 (OpenGL)의 Y상향 좌표계를 사용하여, 행성의 중심점이 원점이고 북극지점이 $\vec{Npole} = (0,1,0)$ 인 위경도 시스템을 이용하였다. 정육면체 4-8 타일 구조 구성의 시스템은 다양한 프로젝션 기법으로 표현된 원시 데이터를 일차적으로 가공하여, 통일된 Y 상향 위경도 좌표계 시스템으로 변환하여 원시 데이터를 구성하고, 구성된 원시 데이터 영역에 해당하는 정육면체 4-8 타일 구조를 부분적으로 분할하여 개개의 단말 타일들에 대해서 원시 데이터를 가지고 추출하고, 최종적으로 단말 수준에서 중간 수준의 타일들을 구성하는 일련의 과정을 수행한다.

2. 원시 데이터의 정의

본 연구에서는 전체 행성의 일부분에 해당되는 정보를 가지고 있는 복수개의 원시 데이터 집합을 얻을 수 있다고 가정한다. 지리 정보를 구축하기 전에 본 연구에서는 원시 데이터의 4가지 속성을 정의하였다. 원시 데이터의 영역 정보, 샘플링 지점간의 간격 세

밀도, 각 샘플링 지점의 정보 속성의 형식과 값의 범위등이 정의 될 수 있으며, 마지막으로 3D를 2D로 바꾸는 방법인 프로젝션 방식을 들 수 있다.

3. 부분적 타일의 생성

원시 데이터의 해당 영역의 부분적인 타일 생성 방법이 없으면, 전체 구형에 대해서 세밀화를 수행해야 하기 때문에 매우 비효율적이며, 초대형 응용을 구성시에는 그림 6과 같은 부분적인 타일의 생성방법은 필수적이다. 본 연구에서는 입력된 원시 데이터의 위경도 영역 내부에 대해서, 정육면체 4-8 타일 구조를 부분적으로 영역안에 포함되어 있는 타일에 대해서는 분할을 수행하는 것으로 원하는 다단계 수준에 맞게 세밀화를 시킨다.

4. 단말 수준의 타일 생성

본 연구에서 각각의 타일은 2차원 지역 좌표계를 가지고 있으며, 그림 7 왼쪽에서처럼 $N \times N$ 개의 지점으로 샘플 된다고 가정한다. 원시 데이

```

준비된 모든 원시 데이터에 대해서
{
    한 개의 원시 데이터를 메모리에 적재한다.
    원시 데이터의 해당 영역을 검지한다.

    해당 영역의 부분적 단말 수준의 타일을 생성한다.
    생성된 모든 타일에 대해 다음을 수행한다.
    {
        타일이 파일로 존재하는 경우에는 타일 데이터를 읽는다.
        타일의 모든 샘플링지점을 보간법으로 구성한다.

        구의 중심에서 샘플링 지점에 대한 벡터  $\vec{V}$  를 구한다.
        위경도 시스템으로 좌표계 변환한다.
        ;  $\vec{V} = (-\cos \text{Lat} \sin \text{Long}, \sin \text{Lat}, \cos \text{Lat} \cos \text{Long})$ 
        위경도 값에 원시 데이터가 존재하면 샘플링을 수행한다.
        타일 데이터를 저장한다.
    }
}

```

단말 수준 타일 샘플링 알고리즘

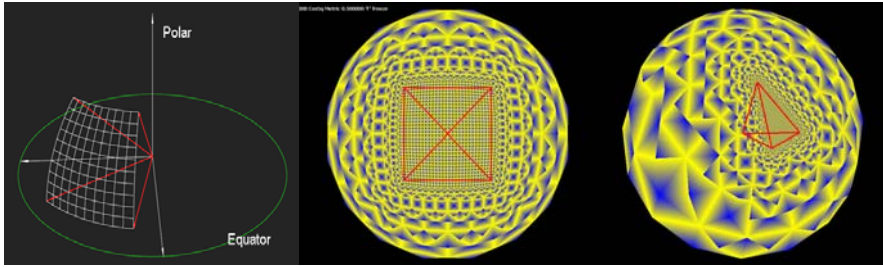


Figure 6. (왼쪽)원시 데이터의 영역과 (중앙)그에 따른 타일 세밀화의 예와 (오른쪽)극지역의 예

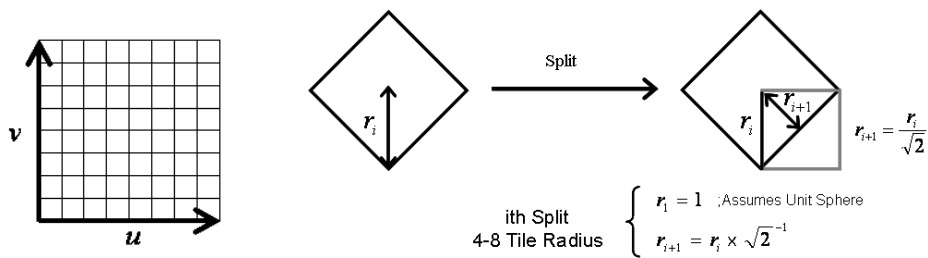


Figure 7. 타일의 2차원 좌표계 $(u, v) \in [0,1] \times [0,1]$ 와 타일의 크기와 분할된 타일의 크기의 관계식

터를 샘플하기에 충분한 단말 수준을 알아야하므로, 타일의 전역 좌표계에서의 크기를 재귀적으로 구성할 수 있다.

이에 따라 $(i+1)$ 수준의 타일의 샘플링 지점간의 간격은 $d_{i+1} = r_i(N-1)^{-1}$ 이며, 이를 지점간의 각도에 관계된 근사식으로 바꾸면, 단위원상의 부채꼴의 호의 길이에 의하여 $x_i^\circ = 180^\circ d_i \pi^{-1}$ 이다. 주어진 원시 데이터의 샘플간의 각도를 $x_{original}^\circ$

라고 할 때, $x_i^\circ \leq x_{original}^\circ$ 을 만족하면, i 수준 분할이 모든 원시 데이터의 정보 간격보다 촘촘한 샘플링을 보장할 수 있다. 실제로는 타일의 형상이 매우 비정규적이기 때문에, 부분적 타일 생성시에 모든 단말 타일의 반경의 최대값을 구하여 단말 수준을 조정하였다. 개개의 단말 타일은 타일 좌표계로부터 샘플링 2차원 격자를 구성하며, 각각의 샘플 위치의 위경도 좌표값으

로 일련의 좌표 변환을 통하여, 원시 데이터부터 구성이 가능하다.

단말 수준에서의 오차는 샘플하려는 \vec{V} 와 실제로 선택된 샘플된 지점인 \vec{V}' 간의 차이인 샘플 위치 오류 $|\vec{V} - \vec{V}'|$ 를 들 수 있으며, 원시 데이터 샘플중에서 최적의 근사 샘플을 구한다는 가정하에서, 두 벡터가 이루는 각도 ν° 는 부등식 $\nu^\circ < x_{original}^\circ$ 에 의해서 제한된다.

따라서 원시 데이터의 해상도가 높을수록 샘플 위치 오차는 줄어들음을 알 수 있다. \vec{V} 에 정확히 일치하는 \vec{V}' 를 구하기 힘들 때에 인접한 \vec{V}' 집합으로부터 보간된 데이터를 구할 수도 있다. 응용에 따라서 원시 데이터를 샘플하는 방법을 선택하는 것이 필요하다.

5. 중간 수준 타일의 샘플링

중간 수준의 타일의 샘플링에 대해서는 자식 수준에서부터 상위 수준으로의 상향식 샘플링을 하였다. 생성해야 될 부모 타일의 모든 샘플 지점에 대해서 하위 수준의 자식 타일간의 좌표계 변환을 통하여 샘플링하였으며, (Hwa 등 2004, 2005) 방식에서처럼 자식 수준의 샘플값들로부터 부모 샘플값을 구하는 로우 패스 필터를 구성하였다.

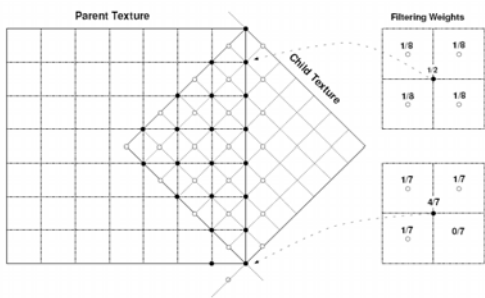


Figure 8. High Quality Low pass Filtering from (Hwa 등 2004)

로우 패스 필터를 구성하기 위해서 샘플링 지점과 인접한 4개의 자식 샘플이 추가로 필요하기 때문에 부모 타일의 모든 샘플링 지점을 보간하

여 구한 후에, 부모 타일의 샘플링 지점에 이차원 변위 $\{\pm(2 \times (N - 1))^{-1}\} \times \{\pm(2 \times (N - 1))^{-1}\}$ 를 조합하여, 부모 타일 좌표계 상에서 5개의 샘플 지점을 구할 수 있다.

최종적으로, 부모 타일 좌표계에서 한 지점인 (u,v) 가 어느 자식 타일에 속하는지 알기 위해, 2개의 선택 부등식 $u < v$ 과 $u + v > 1$ 을 구성하고, 이의 진위 여부를 가지고 자식 노드를 선정하고, 최종적으로 부모에서 자식 타일로의 2차원 좌표계 변환을 통하여 샘플을 취하였다. 예를 들어, 부모 타일 상의 샘플 지점 (u,v) 가 선택 부등식 $u < v$ 과 $u + v > 1$ 을 동시에 만족하는 경우에는 그림 9에서 자식 C2 타일에서 샘플해야 하며, 이는 일련의 좌표계 변환을 통해 수행할 수 있다. 본 연구에서는 (Hwa 등 2005)의 방법에서 부모 타일 샘플 방식에서 필요로 하는 4개의 자식 타일 정보를 일괄적으로 부모 타일 좌표계의 임의적 타일로 변환하는 과정을 제거하였고, 직접 자식 타일 정보에서 샘플링을 하기 때문에 시간 및 공간 비용상 효과적이다. 이와 같은 연산이 전체 행성 타일 정보 구성 시에 반복적으로 사용된다는 것을 감안하면, 본 연구에서 시간 및 공간

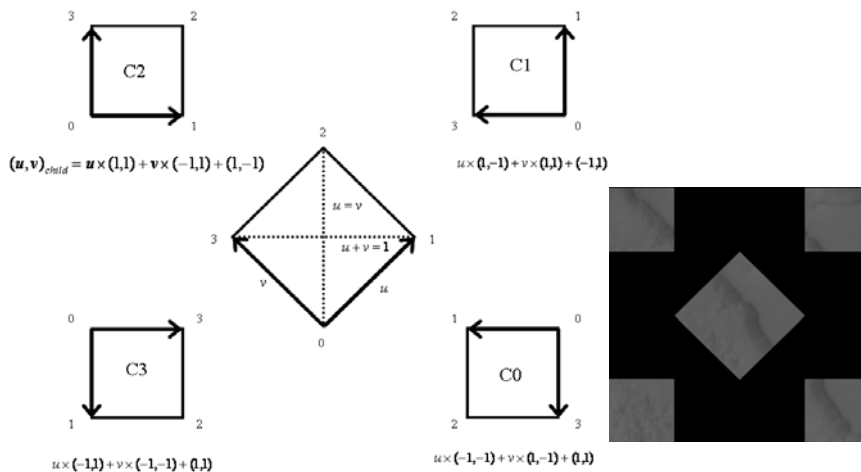


Figure 9. (왼쪽)부모 타일 좌표계(중앙)에서 자식 좌표계 변환과(오른쪽) 이에 따른 중간 수준의 타일 샘플링의 예

Table 1. (왼쪽) 상향식 중간 수준 타일 샘플링 알고리즘과 (오른쪽) 각 수준 별 타일의 개수

수준 인덱스 j 는 단말 수준 i 를 제외한 $i-1$ 수준에서 루트 수준까지 역순으로 다음을 반복한다.

```

{
  준비된 모든 원시 데이터에 대해서
  {
    원시 데이터의 영역 정보를 검지한다.
    해당 영역의 부분적  $j$  수준의 타일을 생성한다.
    모든 생성된 개개의 타일에 대하여,
    {
       $j+1$  수준의 4개의 자식 타일을 메모리로 읽어 들인다.
      타일의 2차원 좌표계의 모든 샘플링 지점을 보간하여
      생성한다.
      샘플링 지점과 추가로
       $(u, v)_{offset} \in \{\pm(2 \times (N - 1))^{-1}\} \times \{\pm(2 \times (N - 1))^{-1}\}$  을
      합산하여 5개의 샘플링 지점을 구성하고,
      각기 샘플링 지점에 대해 부등식을 이용하여,
      자식 타일을 선정하고 샘플한다.
      샘플된 값(들)에 대해서 로우 패스 필터를 수행한다.
      최종적으로 타일을 저장한다.
    }
  }
}
    
```

level	tile count
1	12
2	24
3	48
4	96
5	192
6	384
7	768
8	1536
9	3072
10	6144
11	12288
12	24576
13	49152
14	98304
15	196608
16	393216
17	786432

Table 2. 행성 데이터 베이스 원시 자료와 구성된 데이터 베이스 결과

구분	사항	원시 데이터 크기	해상도 (각도당 샘플수)	원시 데이터 파일 개수	샘플의 Bit정보
	영상 데이터	3.86 GB	256	32	8Bit
	고도 데이터	2.19 GB	128	18	16Bit
구분	사항	생성된 구조 크기	구성된 구조 수준	타일 해상도	구성된 전체 타일 개수
	영상 데이터	27.35GB	17	128^2	1,572,852
	고도 데이터	12.5GB	15	128^2	393,206

복잡도 차원에서 효율적으로 개선이 이루어졌다고 본다.

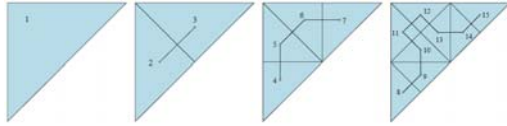


Figure 10. Sierpinski 곡선과 이진 트리 인덱싱 (Hwa 등 2004)

6. 공간 채우기 곡선

생성된 타일을 어떻게 인덱싱하여, 효과적으로 비메모리 공간에 저장할 것인가에 대해서는 공간 채우기 프랙탈의 일종인 Sierpinski 곡선을 이용하였다. Sierpinski 곡선은 재귀적 분할이 가능한 구조적(Hierarchical) 곡선이다. 여기에 추가적으로 이진 트리의 배열 인덱싱 기법을 적용하여 곡선상에서 연결된 지점은 연속된 인덱스로 구성할 수 있다. 이로서 인접된 타일의 접근 근접성(Access Locality)을 저장 공간에 직접 표현할 수 있는 효과적인 표현 방법이 될 수 있다. 구조적 곡선상의 인덱스를 타일에 맵핑하는 과정은 기존의 (Hwa 등

2004)기법을 이용하였다. 이로서 생성된 인덱스는 타일에 유일한 인덱스로 지정되어 지리 정보 데이터베이스에 저장할 수 있게 되며, 실제 구성상으로는 파일 시스템의 Path와 파일명으로 사용되었다.

화성 지리 정보의 구축

본 연구의 응용으로서, 공개된 화성 데이터에 적용하여, 시각화를 위한 지리 정보 데이터베이스를 구성하였다. 논문 작성 시점에서 화성의 행성 영상 데이터는(NASA JPL Malin Space Science Systems)에서 제공하고 있으며, (Nat'l aeronautical and space administration)에서 레이저 측정에 의한 고도계를 제공하고 있다. 생성된 화성 지리 정보는 표 2와 같다.

결론 및 향후 과제

대형 행성 규모의 실시간 시각화 응용 문제를 풀기 위하여, 실시간 응용시에 품질 상의 장점을 가지는, 4-8 타일 구조가 최근 연구되고 있으며, 본 연구에서는 행성 수준의 데이터를 수용할 수 있는 정육면체에 기반한 행성

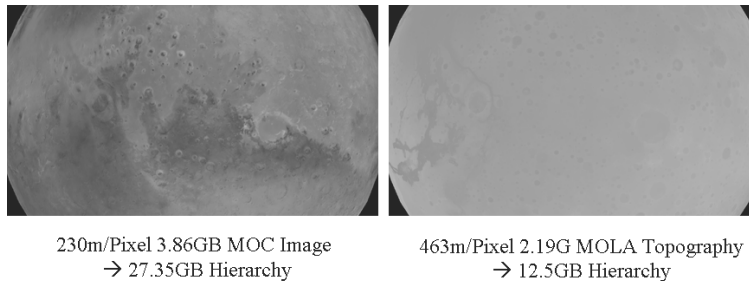


Figure 11. 화성 영상 데이터와 고도 데이터

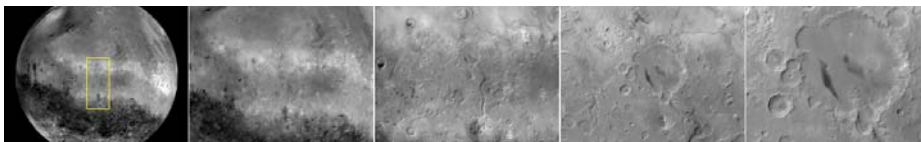


Figure 12. 화성의 Gusev crater 접근 영상 (영상 데이터)

규모 4-8 타일 구조 구성 방법론을 연구하였다. 이러한 구성 방법론에 따르면, 원시 데이터의 샘플링 간격으로 결정된 구조의 수준에 따라서 비메모리 저장소의 크기가 결정되는 다계층 지형 정보 모델이 구성되었으며, (진중욱, 원광연 2006)의 실험 결과로 동영상의 구성해본 결과로는 추가적인 영상 기술의 도움이 없이도 선택 모델의 변경 시에도 영상상에서 매우 부드러운 전이가 이루어졌음을 알 수 있었다. 향후 과제로는 행성 규모의 지리 정보에 대해, 고품질의 실시간 시각화를 구체화하기 위해서 비메모리 저장소를 효과적으로 관리하는 연구가 필요하며, 지구의 고해상도 지형 데이터를 구축하는 것을 들 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 Korea Ministry of Science and Technology(과제번호 M10329110001-03B4311-00110)와 Korea Ministry of Ministry of Culture & Tourism(과제번호 1-05-4005-001-2401-00-0008)에 의해 부분적으로 지원을 받았음. **KAGIS**

참 고 문 헌

서혜원, 원광연. 1998. 지형물의 실시간 렌더링을 위한 다단계 모델 생성과 제어 알고리즘의 분석 및 성능 평가. 한국과학기술원 전산학과 석사학위 논문. 5-8쪽.

진중욱, 원광연. 2006. 실시간 시각화를 위한 행성 규모 지리정보의 구축. 한국지리정보학회 춘계 GIS 워크숍 및 학술대회:479-486.

Gabriel Zachmann and Elmar Langetepe. 2003. Geometric Data Structures for Computer Graphics SIGGRAPH 2003 Tutorial 16:9.

Lok M. Hwa and A. Duchaineau. Mark 2004. Adaptive 4-8 Texture Hierarchies. Proc.IEEE Visualization:219-226.

Lok M. Hwa and A. Duchaineau. Mark 2005. Real-Time Optimal Adaptation for Planetary Geometry and Texture: 4-8 Tile Hierarchies.

IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics Volume 11:355-368.

Mark De Berg and Katrin T.G. Dobrindt. 1995. On Levels of Detail in Terrains. Proceedings of the eleventh annual symposium on Computational geometry:426-427.

Mark Duchaineau, Murray Wolinsky, David E. Sigeti, Mark C. Miller, Charles Aldrich, and Mark B. Mineev-Weinstein. 1997. ROAMing terrain: real-time optimally adapting meshes. IEEE Visualization Proceedings of the 8th conference on Visualization '97:81-88.

Paolo Cignoni, Fabio Ganovelli, Enrico Gobbetti, Fabio Marton, Federico Ponchio, and Roberto Scopigno. 2003a. BDAM - Batched Dynamic Adaptive Meshes for High Performance Terrain Visualization. Computer Graphics Forum, 22(3):505-514.

Paolo Cignoni, Fabio Ganovelli, Enrico Gobbetti, Fabio Marton, Federico Ponchio, and Roberto Scopigno. 2003b. Planet-Sized Batched Dynamic Adaptive Meshes (P-BDAM). In Proceedings IEEE Visualization:147-155.

Peter Lindstrom and Valerio Pascucci Lawrence. 2002. Terrain Simplification Simplified: A General Framework for View-Dependent Out-of-Core Visualization. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 8(3):239-254.

W. Evans, D. Kirkpatrick, and G. Townsend William Evans. 2001. Right-Triangulated Irregular Networks. Algorithmica: Special Issue on Algorithms for Geographical Information '2001 30(2):264-286.

NASA JPL Malin Space Science Systems. 2002. Mars Atlas Revisited: The MGS MOC Wide Angle Map of Mars, http://www.msss.com/mars_images/moc/moc_atlas/.

Nat'l Aeronautical and Space Administration, 2003. MOLA Data Set, <http://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mgs/megdr.html>.

DirectX <http://www.microsoft.com/directx/>.

OpenGL <http://www.opengl.org/>. **KAGIS**