

# 지형 렌더링 품질향상을 위한 기하모핑 크랙 제거 기법

주진천<sup>0</sup> 김상희  
국방과학연구소  
jcju@add.re.kr<sup>0</sup> falcon@add.re.kr

## Geomorphing Crack Elimination Technique for Improving Terrain Rendering Quality

Jin-Chun Ju<sup>0</sup> Sang-Hee Kim  
Agency for Defense Development

### 요 약

위성기술의 발달로 대규모의 고해상도 지형정보 생성이 가속화되고, 사실적 지형묘사 요구는 더욱 높아지고 있으므로 대규모 지형자료를 효율적으로 처리하여 실제감(realism)을 주는 실시간 렌더링 기법이 필수적이다. 본 연구에서는 지형 셀의 쿼드트리 구조를 기반으로 시각 거슬림 현상을 최소화하기 위한 연속적인 다단계 상세도 기법 및 기하모핑 기법을 적용할 때 발생할 수 있는 기하모핑 크랙을 제거하기 위한 확장된 기법을 제안한다.

### 1. 서 론

임무리허설, 비행훈련 시뮬레이션, 3차원 상황도 시스템 등의 응용분야에서는 고도자료(Digital Elevation Model, DEM)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 그래픽처리의 부담을 줄이면서 사용자에게 실제감을 주는 실시간 렌더링을 위한 효율적인 다단계 상세도 기법이 필수적이다[4,5,6].

본 연구에서는 시각 거슬림을 최소화하기 위한 쿼드트리 기반의 연속적인 다단계 상세도(Continuous Levels of Detail) 기법 및 에러기준(error metric) 기반의 기하모핑(Geomorphing) 기법을 적용할 때 발생할 수 있는 기하모핑 크랙(crack)을 제거하기 위한 확장된 기하모핑 크랙 제거 기법을 제안한다.

쿼드트리는 그림 1에서 볼 수 있듯이 4개의 꼭지점과 4개의 중간점 및 하나의 중심점으로 구성되어 있다.

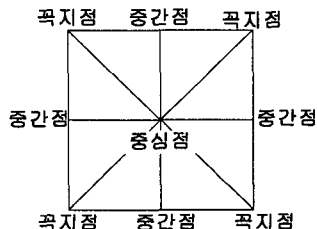


그림 1. 쿼드트리의 구조

또한 쿼드트리는 그림 2와 같이 자식, 부모, 조부모, 증조부, 고조부 등의 조상으로 재귀적으로 나누어 지는 형태를 가지고 있다.

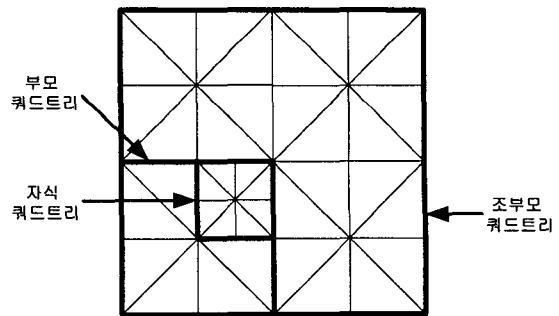


그림 2. 쿼드트리의 재귀적 형태

### 2. 관련 연구

Röttger[7]는 시점에서의 거리와 지형 굴곡도에 의한 에러기준으로 이웃한 노드간의 해상도 차이를 1이하로 제한하여 파핑(popping)을 에러기준 기반의 기하모핑으로 크게 줄였고 기하모핑 크랙을 제거하기 위해 그림 1과 같은 쿼드트리 구조상의 중심점과 중간점을 고려하여 중심점과 중간점에서 발생하는 기하모핑 크랙을 제거하였다. 그러나 쿼드트리 꼭지점에서 발생하는 기하모핑 크랙을 고려하지 않음으로써 기하모핑 크랙이 발생하였다.

### 3. 확장된 기하모핑 크랙 제거 기법

#### 3.1 파핑과 기하모핑

파핑 현상은 그림 3과 같이 다단계 상세도가 변함으로써 고도가  $v_b$ 에서  $v_c$ 로 갑자기 튀는 현상을 가리킨다.

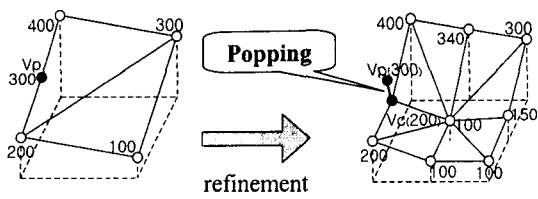


그림 3. 파핑 현상

파핑 현상을 제거하기 위한 기법 중 기하모핑 기법이 널리 이용된다[6,7,8,9]. Rottger는 기하모핑을 위해 식 1과 같은 에러 기준( $f$ )을 기반으로 그림 3의  $v_p$ 와  $v_c$  사이를 선형적으로 보간한 새로운 값들인  $v_g$ 를 식 2와 같이 생성하였다.

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

여기에서  $d$ 는 쿼드노드의 한 변 길이,  $G$ 는 최소 전역 해상도 상수,  $c$ 는 에러규모 조절변수,  $d2$ 는 연속된 해상도 레벨간의 최대 에러를 나타낸다.

$$v_g = v_p + b(v_c - v_p), \quad b = [0.0, 1.0] \quad \text{식 2}$$

여기에서  $b$ 는 혼합요소로서,  $b = 2(1 - f)$ 이다.

### 3.2 기하모핑 크랙

기하모핑 적용시 문제는 그림 4와 같이 두 개의 쿼드트리들이 인접해 있을 때 그 사이의 중간점에서 서로 다른 혼합요소( $b$ )를 사용함으로써 기하모핑 크랙이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 Rottger[7]는 양쪽 쿼드트리 중간점의 혼합요소로 두 쿼드트리들의 최소 혼합요소를 사용하였다.

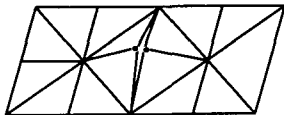


그림 4. 인접한 쿼드트리 중간점의 기하모핑 크랙

### 3.3 또 다른 기하모핑 크랙

실험을 통해 살펴본 결과 쿼드트리들의 중간점에 대한 기하모핑 크랙은 제거되었지만 또 다른 기하모핑 크랙이 꼭지점에서 발생하였다. 꼭지점에서 발생하는 경우는 그림 5와 같이 부모 중간점과 자식 꼭지점이 인접한 경우와 조상(부모, 조부모 등) 중심점과 자식 꼭지점이 인접한 경우로 나누어 볼 수 있다.

먼저, 부모 중간점과 자식 꼭지점이 인접한 경우 부모 중간점은 부모 쿼드트리의 혼합요소를 사용하고 자식 꼭지점은 자식 쿼드트리의 혼합요소를 사용함으로써 기하모핑 크랙이 발생한다. 또한, 조상 중심점과 자식 꼭지점이 인접한 경우 조상 꼭지점은 조상 쿼드트리의 혼합요소를 사용하고, 자식 꼭지점은 자식 쿼드트리의 혼합요소를 사용함으로써 기하모핑 크랙이 발생한다.

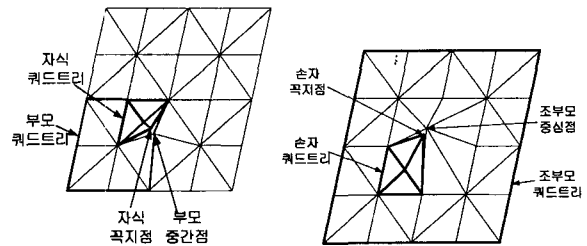


그림 5. 부모 중간점과 자식 꼭지점이 인접한 경우와 조부모 중심점과 손자 꼭지점이 인접한 경우

### 3.3 확장된 기하모핑 크랙 제거 기법

꼭지점에서 발생하는 기하모핑 크랙을 제거하기 위해 본 연구에서 제안하는 기법은 다음과 같다.

첫째, 자식 꼭지점과 부모 중간점이 인접한 경우로, 그림 6과 같이 꼭지점  $a$ 와  $d$ 에 해당된다.

자식 꼭지점 중 점  $a$ 를 기하모핑할 경우, 식 2의 파라미터로  $v_p$ 의 값은  $a$ 를 포함한 부모 에지의 중간 고도값을 선택한다.  $v_c$ 는 점  $a$ 의 고도값을 이용한다. 혼합요소는 자식 쿼드트리와 아닌 부모와 인접한 부모의 쿼드트리 중 최소 혼합요소를 선택한다. 이로써 점  $a$ 에서 발생하는 기하모핑 크랙을 제거할 수 있다. 점  $d$ 의 경우도 동일한 방법을 사용하면 크랙이 제거된다.

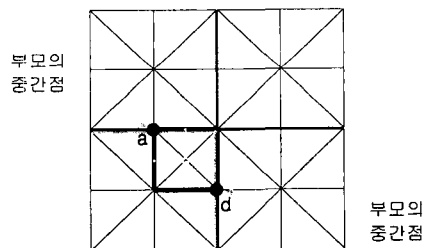


그림 6. 자식 꼭지점과 부모 중간점이 연관된 경우

둘째, 자식 꼭지점과 조상 중심점이 인접한 경우로, 그림 7의 꼭지점  $b$ 와  $c$ 의 경우이다. '조상'이라는 표현을 쓴 이유는 기하모핑 크랙이 부모, 조부모, 증조부, 고조부 등 모든 조상에서 발생할 수 있기 때문이다. 꼭지점  $b$ 는 조부모 중심점과 자식(손자) 꼭지점이 연결된 경우이고, 꼭지점  $c$ 는 부모 중심점과 자식 꼭지점 중심이 연결된 경우이다.

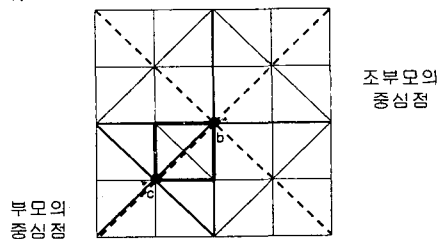


그림 7. 자식 꼭지점과 조상 중심점이 연관된 경우

자식 꼭지점 중 점  $b$ 를 기하모핑할 경우, 식 2의 파라미터로  $v_b$ 의 값은 점선으로 표시된 두 조부모 대각선의 중간 고도값 중 최소값을 선택한다.  $v_c$ 는 점  $b$ 의 고도값을 그대로 사용한다. 혼합요소는 자식 쿼드트리 가 아닌 조부모 쿼드트리의 혼합요소를 사용한다. 이로써 기하모핑 크랙을 제거할 수 있다. 점  $c$ 를 기하모핑할 경우도 이와 동일하게 제거할 수 있다.

이상과 같이 꼭지점에서 발생하는 기하모핑 크랙을 제거함으로써 쿼드트리의 노드 상에서 발생할 수 있는 모든 기하모핑 크랙을 제거하였다.

4. 실험 결과

4.1 실험 환경

본 실험에서 사용한 영상은 20×20km 대전 지역의 SPOT 위성 영상이다. 사용된 정사영상 텍스처는 10m 해상도의 2048×2048 정사영상이고, 고도자료는 20m 해상도의 1024×1024 DEM이다.

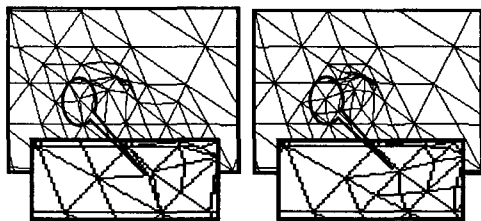
4.2 실험 결과

그림 8a는 꼭지점에서 발생하는 기하모핑 크랙을 제거하기 전의 영상이고, 그림 8b는 기하모핑 크랙을 제거한 후의 영상이다.



(a) 제거 전 영상 (b) 제거 후 영상  
그림 8. 기하모핑 크랙 제거 전 후의 영상

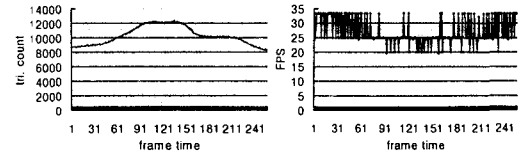
그림 9는 그림 8에 대한 쿼드트리이다. 그림 9a는 기하모핑 크랙이 제거되기 전의 쿼드트리 구조이고, 그림 9b는 제거된 후의 쿼드트리 구조이다.



(a) 제거 전 쿼드트리 (b) 제거 후 쿼드트리  
그림 9. 기하모핑 크랙 제거 전 후의 쿼드트리 구조

그림 10은 렌더링 시 프레임 시간이 증가함에 따라, 삼각형 개수와 FPS(frame per second)가 변화하는 차트이다. 본 실험에서 삼각형 개수가 고도의 증감에 따라 8000~12000개 정도로 변화되고, 이 때 FPS는 20에서 33

까지 증감함을 알 수 있다.



(a) 삼각형 개수 (b) FPS

그림 10. 렌더링 시 삼각형 개수와 FPS

본 실험은 펜티엄IV 1.6GHz, 256MB RDRAM, GeForce2 MX 400 그래픽 가속기가 장착된 일반 PC에서, Windows 운영체제를 기반으로 Visual C++ 6.0과 OpenGL 1.1 라이브러리를 사용하여 구현한 결과이다.

5. 결론 및 추후 연구방향

본 논문에서는 기하모핑 시 발생하는 기하모핑 크랙을 제거하기 위해 쿼드트리 노드 상의 중간점뿐만 아니라, 꼭지점까지도 고려하여 모든 기하모핑 크랙을 제거함으로써 영상 품질을 향상시킬 수 있었다.

향후 대상 지역의 광역화, 영상의 고해상화(10m 흑백 영상은 1m 흑백 영상으로, 20m 컬러 영상은 수m 컬러 영상으로), DEM의 정교화(20m에서 수m급으로)로 인하여 효율적인 메모리 관리 기법의 연구가 필요하고, 대규모의 지형지물이 존재할 때 성능 향상을 위한 occlusion 컬링 기법 등의 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [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] Jin-Chun Ju, Sang-Hee Kim, Gye-Sung Park, "A Geomorphing crack Elimination Technique for Improving Terrain Rendering Quality", KIMST in korea, pp. 447 - 451, Sep. 2002.
- [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] Mark Duchaineau, Murray Wolinsky, et al, "ROAMing Terrain: Real-time Optimally Adapting Meshes", IEEE Visualization '97 Proceedings, 1997.
- [9] David Cline and Parris K. Egbert, "Terrain Decimation through Quadtree Morphing", IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol. 7, No. 1, 2001.