

마칭 큐브의 Skinny Triangle 제거

김용훈*, 김구진***

*경북대학교 컴퓨터학부

**교신저자

paul2522@naver.com, kujinkim@gmail.com

Skinny Triangle Removal for Marching Cubes

Yong-Hun Kim*, Ku-Jin Kim***

*School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University

**Corresponding Author

요 약

마칭 큐브 알고리즘은 등밀도 곡면을 추출하는 과정에서 skinny triangle을 자주 생성한다. Skinny triangle은 한 변의 길이 또는 한 개의 내각이 기준치 이하인 삼각형으로서, 곡면을 처리할 때 여러 문제를 발생시킨다. 본 논문에서는 마칭 큐브 알고리즘에서 고려되는 15가지의 복셀 종류에 따라 skinny triangle을 제거할 수 있는 방법을 제안한다.

1. 서론

의료 영상 (medical image), EM 맵 (electron microscopy map) 등의 볼륨 데이터 (volume data)는 3차원 밀도 맵 (density map)으로 고려될 수 있다. 3차원 밀도 맵은 3차원 공간을 그리드 (grid)로 균일하게 분할하여 각 그리드 정점마다 밀도 값이 주어진 형태로 가정할 수 있다.

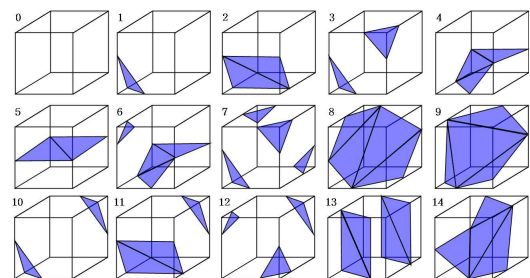
마칭 큐브 알고리즘 (marching cube algorithm) [1]은 3차원 밀도 맵에서 윤곽 수준 (contour level)로 주어진 값과 동일한 밀도 값을 갖는 위치 정보를 곡면으로 시각화 하는 방법이다. 밀도 맵을 복셀 (voxel)로 분할하여 삼각형 메쉬 (triangular mesh) 형태의 등밀도 곡면 (isosurface)을 추출하며, 1987년에 제안된 이후 현재까지 다양한 방향에서 알고리즘을 개선하는 연구가 수행되어 왔다 [2-3].

Skinny triangle은 등밀도 곡면을 구성하는 삼각면 (triangular face)이 기준치 (threshold)보다 짧은 길이의 에지(edge)를 가지거나 삼각면의 내각이 기준치보다 작은 경우를 말하며, 좁고 긴 삼각면이나 매우 작은 삼각면을 통칭한다. Skinny triangle이 포함된 경우, 등밀도 곡면에 대한 기하학적인 계산을 수행할 때 오류가 발생하기 쉬우며, 이를 방지하기 위해 skinny triangle을 제거하는 연구가 수행되어 왔다.

본 논문에서는 마칭 큐브 알고리즘을 적용하는 과정에서 기준치 이하의 짧은 길이의 에지를 갖는 skinny triangle을 정점으로 축소하여 제거하는 알고리즘을 제안한다.

2. 복셀의 종류

밀도 맵에서 복셀을 구성하는 8개의 정점이 각각 윤곽 수준 값보다 크고 작은 지의 여부에 따라 복셀의 종류는 $2^8 = 256$ 개로 구분된다. 마칭 큐브 알고리즘은 회전과 대칭을 통해 중복되는 경우를 제외하여 15 종류의 복셀로 분류되는데 [1], 본 논문에서는 이들을 case 0-14로 칭한다 (그림 1 참조).



(그림 1) 복셀의 종류

3. Skinny Triangle의 제거 알고리즘

복셀의 종류 중에서 case 0과 5를 제외한 나머지는 1개 이상 4개 이하의 skinny triangle을 포함할 수 있다. 복셀 내부의 삼각면들은 여러 삼각면이 연결된 패치 (patch)에 포함되거나, 인접한 삼각면이

없는 독립적인 상태이다. 따라서, skinny triangle은 패치에 포함되거나 독립적으로 존재할 수 있다.

Case 0과 5를 제외한 각 복셀의 종류에 대해 skinny triangle을 제거하는 알고리즘을 제안한다. 모든 복셀을 한 번씩 방문하여, 복셀의 종류에 따라 다음의 기준에 맞게 skinny triangle을 제거한다.

1) 독립적인 skinny triangle은 가장 근접한 복셀의 정점으로 축소함.

2) Skinny triangle이 패치에 포함되는 경우, 기준치보다 짧은 에지가 제거되는 곳에 근접한 정점으로 축소시키고, 해당 정점을 기준으로 나머지 삼각면을 연결함.

Skinny triangle을 포함할 수 있는 복셀의 종류를 다음과 같이 분류한다. Case 1, 3, 7, 10, 12와 같이 skinny triangle과 에지를 공유하는 인접한 삼각면이 없거나, 또는 case 2, 5, 11, 13과 같이 skinny triangle이 한 개의 인접한 삼각면을 갖는 경우, case 4, 6과 같이 skinny triangle이 포함된 패치(patch)가 3개의 삼각면으로 구성되는 경우, case 8, 9, 14와 같이 skinny triangle이 포함된 패치가 4개의 삼각면으로 구성된 경우로 분류하여 skinny triangle을 제거하는 알고리즘을 제안한다.

3.1 인접한 삼각면이 없는 skinny triangle의 경우

Case 1, 3, 7, 10, 12에 해당하며, 이 경우 skinny triangle의 각 정점은 이들과 가장 근접한 복셀의 정점으로 축소시킨다 (그림 2 참조)

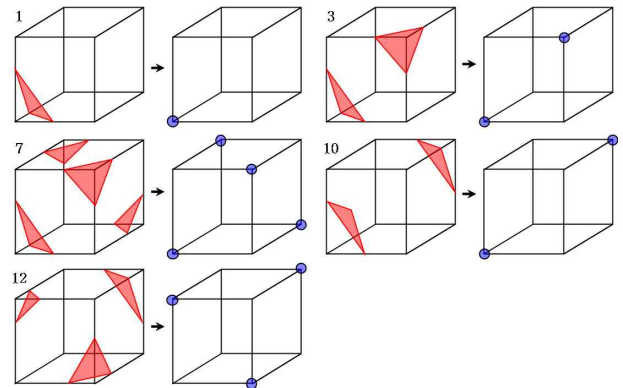
3.2 Skinny triangle을 포함하는 패치가 두 개의 삼각면으로 구성된 경우

Case 2, 5, 11, 13는 skinny triangle이 두 개의 삼각면으로 구성된 패치에 속하는 경우이다. Case 5는 삼각면을 구성하는 모든 에지의 길이가 복셀의 한 변의 길이 이상이므로 skinny triangle이 발생하지 않는다.

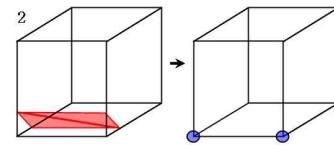
Case 2는 패치에 속한 두 개의 삼각면이 모두 skinny triangle인 경우와 한 개만 skinny triangle인 경우로 분류한다. Case 2에 두 개의 skinny triangle이 존재하는 경우는 skinny triangle의 기준치 이하 길이의 에지를 각각 정점으로 축소한다 (그림 3(a) 참조). Case 2에 한 개의 skinny triangle이 존재하

는 경우에는 길이가 기준치 이하인 에지가 한 개의 정점이 되도록 축소하여 skinny triangle을 제거한다 (그림 3 (b) 참조).

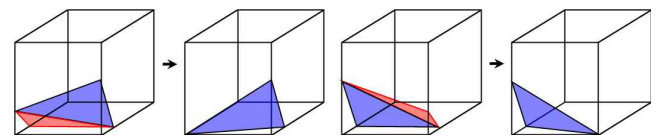
Case 11은 case 2와 같은 형태의 패치에 인접한 삼각면이 없는 한 개의 삼각면이 추가된 것이고 (그림 4 (a) 참조) Case 13은 case 2와 같은 패치가 2개인 상태이다 (그림 4 (b) 참조). 따라서, case2 와 유사한 방법으로 skinny triangle을 제거한다.



(그림 2) 인접한 삼각면이 없는 skinny triangle의 제거

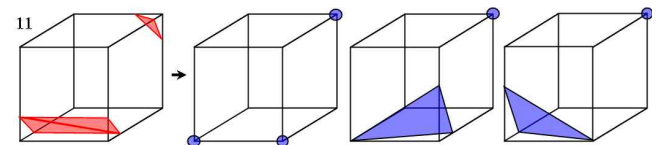


(a)

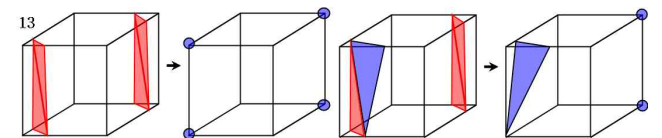


(b)

(그림 3) Case 2의 skinny triangle 제거

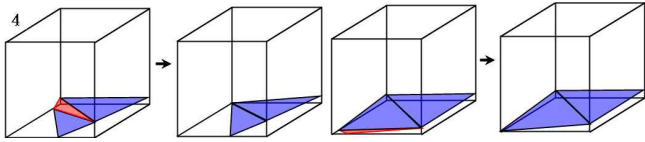


(a)

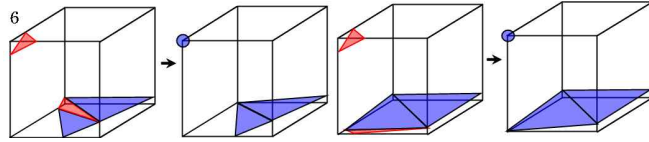


(b)

(그림 4) Case 11, 13의 skinny triangle 제거



(그림 5) Case 4의 skinny triangle 제거



(그림 6) Case 6의 skinny triangle 제거

3.3 Skinny triangle을 포함하는 패치가 3개의 삼각면으로 구성된 경우

Case 4와 6에 해당된다. Case 4의 skinny triangle은 패치의 삼각면과 두 개의 에지를 공유하거나, 한 개의 에지를 공유하는 경우로 구분할 수 있다. 양쪽 경우 모두 길이가 짧은 에지와 근접한 정점으로 skinny triangle을 축소하여 제거한다 (그림 5 참조).

Case 6은 case 4와 같은 패치에 독립적인 삼각면 한 개가 추가된 상태이다 (그림 6 참조). 이에 따라 case 4와 같은 방법을 적용하고, 독립된 삼각면이 skinny triangle인 경우에는 한 개의 정점으로 축소하는 방법을 적용한다.

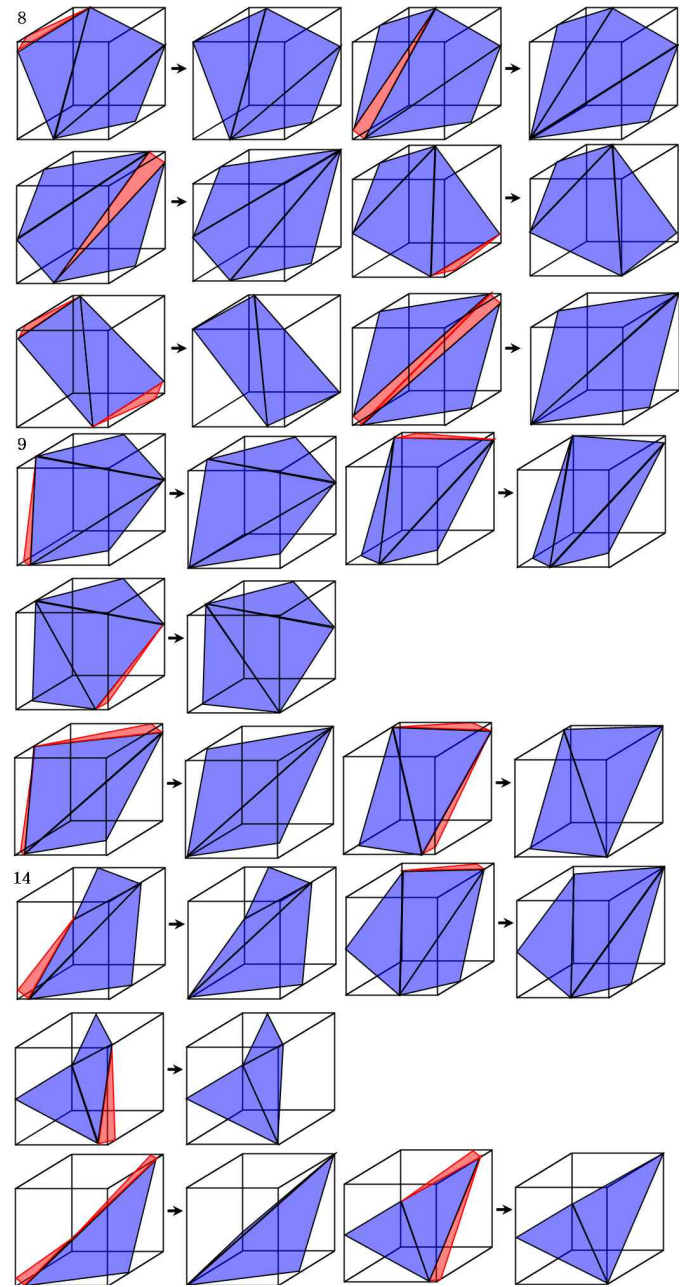
3.4 Skinny triangle을 포함하는 패치가 4개의 삼각면으로 구성된 경우

Case 8, 9와 14에 해당된다. Case 9, 14는 서로 에지를 공유하는 skinny triangle이 발생하지 않는다. Case 8에서는 에지를 공유하는 skinny triangle 두 개가 발생할 수 있고, 제거되는 에지가 복셀 내부에만 영향을 주므로 모든 skinny triangle을 짧은 에지와 근접한 정점으로 축소하여 제거하는 방법을 적용한다 (그림 7 참조).

4. 실험 결과

제안된 알고리즘은 현재까지 case 1, 2, 3, 5, 7, 10, 11, 12에 대해 구현되었다. 실험을 통해 skinny triangle이 제거된 예를 그림 8에서 제시한다. 그림 9의 좌측 열은 skinny triangle을 포함한 상태이고, skinny triangle을 적색 영역으로 표시하였다. 그림 9의 우측 열은 skinny triangle을 제거한 상태를 보

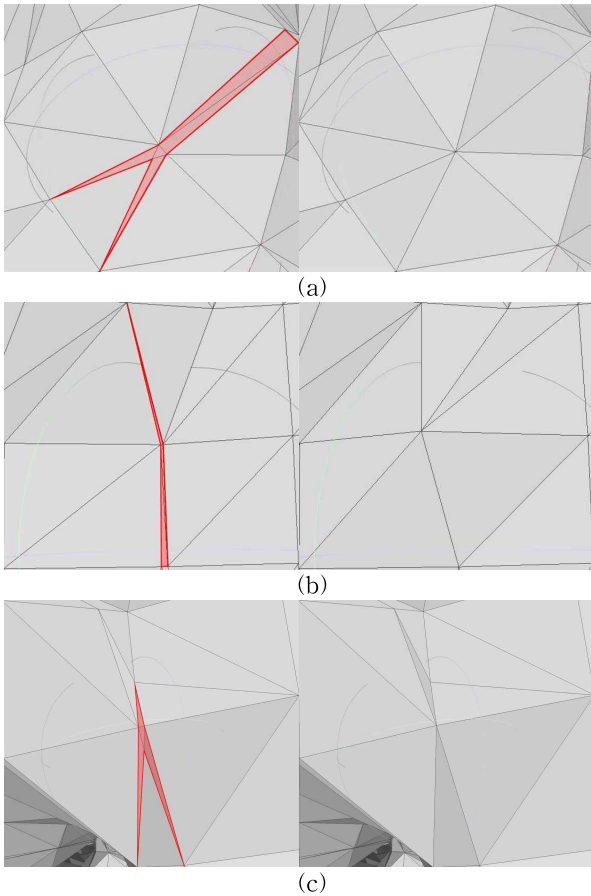
인다.



(그림 7) Case 8, 9, 14의 skinny triangle 제거

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 마칭 큐브 알고리즘을 적용하는 과정에서 skinny triangle을 포함할 수 있는 복셀을 분류하고, 복셀의 종류에 따라 기준치보다 짧은 에지를 가진 skinny triangle을 제거하는 알고리즘을 제안하였다. 향후에 아직 구현되지 않은 case들에 대해 구현을 완료하고, 내각이 기준치 이하로 정의된 skinny triangle의 제거 알고리즘을 개발할 예정이다.



(그림 8) Skinny triangle의 제거 예 (a) case 1, (b) case 2, (c) case 3과 10.

감사의 글

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020R1A2C1008912).

참고문헌

- [1] W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm," ACM Comput. Graph., vol. 21, no. 4, pp. 163 - 169, 1987.
- [2] C.A. Dietrich, C.E. Scheidegger, J.L.D. Comba, L.P. Nedel and C.T. Silva, "Marching cubes without skinny triangles," Computing in Science and Engineering, vol. 11, no. 2, pp. 82 - 87, 2009.
- [3] T.F. Leal, A.B.M. Peixoto, C.I.G. Silva, M. de Dreux and C.A. de Moura, "Local changes in marching cubes to generate less degenerated triangles," Proceedings of GRAPP 2015, pp. 143-149.