

선택적인 이산 마칭큐브의 확장

정지혜 김창현
고려대학교 컴퓨터학과
{jhchung, chkim}@cgvr.korea.ac.kr

Enhancement of Selective Discretized Marching Cube

Ji-Hye Chung Chang-Hun Kim
Dept. of Computer Science & Engineering, Korea University

요약

본 논문에서는 Marching Cubes(MC)의 알고리즘을 이용하여 3차원 모델을 빠르게 복원하기 위한 방법을 제안한다. MC 알고리즘은 대용량의 데이터를 복원하기 때문에 많은 수의 복셀로부터 등가면을 추출하는데 오랜 시간이 걸린다. 또한 많은 수의 삼각형 패치 생성은 빠른 렌더링을 수행할 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 등가면 추출 및 형성시간을 단축하고 형성된 등가면을 통합하는 과정을 통해 실행시간과 렌더링 시간을 단축할 수 있는 방법을 제안함으로써 MC의 문제점을 해결한다.

1. 서론

라인지 데이터나 의료영상 데이터를 사실적으로 표현하기 위해 고안된 MC(Marching Cubes) 알고리즘[4]은 등가면 추출을 통해 고품질의 이미지를 생성할 수 있는 실용적인 알고리즘이다. MC 알고리즘은 구현이 비교적 쉽고 방대한 양의 데이터를 원본에 가깝게 복원할 수 있기 때문에 의학분야 처럼 고품질의 모델이 요구되는 분야에서 활용되고 있다.[3][7]

그러나 MC 알고리즘은 광범위하게 사용됨에도 불구하고 몇 가지 단점을 지니고 있다. 고품질의 모델을 복원하기 위해 많은 삼각형 패치를 형성하기 때문에 렌더링 시간이 지연되고 MC에서 제안한 15개 삼각형 위상[그림 2]의 불일치로 인한 모델의 변형과 같은 문제점이 바로 그것이다.

본 논문에서는 등가면 추출 및 형성시간을 단축하고 형성된 등가면을 통합하는 과정을 통해 실행시간과 렌더링시간을 단축할 수 있는 방법을 제안함으로써 MC의 문제점을 해결한다.

2. 기존연구

MC의 문제점을 해결하기 위해 그동안 많은 연구가 진행되어 왔다.

DiscMC(Discretized Marching Cubes) [5]은 등가면을 형성하는 과정에서 MC에서 이용한 선형보간 방법 대신 중앙보간 방법을 이용함으로써 등가면의 형성시간을 단축시킨다. 또한 Freeman's Chains 알고리즘을 이용하여 인접한 등가면을 통합 함으로써 렌

더링 시간을 단축시킨다. 그러나 DiscMC에서 사용한 등가면 통합방법은 인접한 등가면을 통합하기 때문에 최종 형성되는 삼각형 패치가 균일하게 형성되지 않는 단점이 있다.

TM(Type Merging) 알고리즘[6]은 MC 알고리즘으로 등가면을 형성한 후에 형성된 등가면의 타입을 각각 정의하여 테이블을 형성한다. 테이블에 따라 같은 타입의 등가면을 통합해 줌으로서 삼각형 패치수를 줄이는 방법을 이용한다. 그러나 TM은 MC보다 긴 실행시간을 요구하는 단점이 있다.

Selective DiscMC(Selective Discretized Marching Cubes) [2]는 MC 알고리즘을 등가면이 형성되는 복셀에 대해서만 적용한다. 등가면 추출 시 중앙 보간법을 사용함으로써 등가면 추출 및 형성시간을 단축시킨다. 그러나 최종 형성되는 삼각형 패치수는 MC와 같기 때문에 렌더링 시간단축의 한계가 있다.

이외에도 Octree를 기반으로 삼각형 통합을 수행하는 Octree-Based Decimation of Marching Cubes Surfaces [8] 방법과 Octree Isosurface Codification Based on Discrete Planes[1] 방법이 제안되었다. 이상의 방법들은 각각 높은 비율의 통합을 수행하지만 최종 실행시간이 오래 걸린다. 본 논문에서는 Selective DiscMC 알고리즘을 확장하여 등가면 추출 및 형성시간을 단축하고 등가면의 타입에 따른 통합을 수행함으로써 삼각형 패치 수를 최고 50%까지 줄이는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 방법은 렌더링시간을 단축할 수

있는 장점이 있다

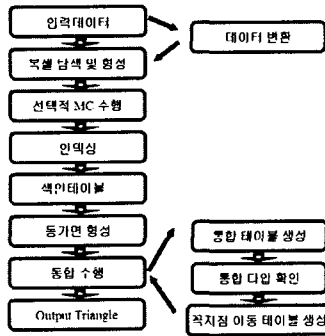
3. 제안 시스템의 특징

3.1 시스템 순서도

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 그림 1에서 나타난 바와 같이 Selective DiscMC를 확장한 알고리즘이다

우선 레인지 데이터 혹은 CT 데이터를 읽어들이 메모리에 저장한다. 레인지 데이터의 경우 점 데이터를 바이트 단위로 읽어들이 후 가상의 슬라이스 데이터로 구성될 수 있도록 데이터 타입을 재구성한다.

읽어들인 데이터에 로컬 복셀(voxel)을 형성하고 복셀을 구성하는 8개 꼭지점들의 밀도값(intensity)을 읽어 사용자가 정의한 기준값(threshold)과 비교한다. 이 과정을 통해 로컬 복셀 내에 등가면이 존재하는 지를 파악하고, 등가면이 존재하는 복셀만을 선택하여 밀도값이 동일한 등가면을 추출한다. 각각의 로컬 복셀에 대해 등가면 타입정보와 꼭지점 위치정보를 저장한다. 선택된 모든 복셀 내에 등가면의 타입을 추출하여 인접한 복셀 내에 동일한 타입을 가진 등가면이 존재할 경우 꼭지점의 위치를 이웃하는 복셀의 같은 위치로 옮겨 통합을 수행한다. 통합이 이루어져 형성된 등가면의 꼭지점 위치정보, 삼각형의 개수 그리고 삼각형 패치에 대한 법선 벡터를 구하여 입력받은 데이터를 3차원으로 복원한다.



[그림 1] 시스템 순서도

3.2 DiscMC의 선택적 적용

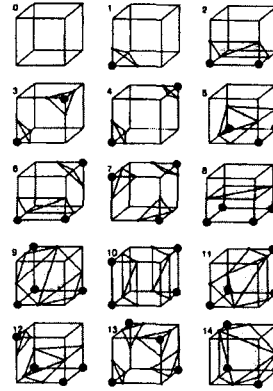
읽어들인 2장의 슬라이스를 통해 로컬 복셀을 형성하고 복셀의 8개 꼭지점의 밀도값을 읽어들이는다. 그리고 사용자가 정의한 기준값으로 복셀의 8개 꼭지점의 밀도값을 비교한다. 이때, 꼭지점의 밀도값이 기준값보다 크면 등가면 위에 존재하는 꼭지점이므로 on으로 지정하고, 기준값보다 밀도값이 작은 꼭지점에 대해서는 등가면 아래에 위치하는 꼭지점이므로 off로 지정한다. 각 복셀의 꼭지점의 on-off를 판단하여 그림 2의 0번 혹은 그와 대칭인 경우에 해당하는 복셀에 대해서는 더 이상의 알고리즘을 수행하지 않고 다음 복셀로 진행한다.

대부분의 경우, CT 데이터나 레인지 데이터의 외부 표면을 구성하는 복셀에 등가면이 존재하고 그 안쪽의 복셀은 빈 복셀로 구성된다. 등가면이 존재하는 복셀들만 선택하여 알고리즘을 적용함으로써 등가면 추출시간을 단축할 수 있다.

선택된 복셀에 대해 중앙 보간을 이용해 등가면을 형성한다. 선형 보간보다 중앙 보간의 계산량이 적기 때문에 빠르게 등가면을 형성할 수 있다.

한편, 이미지를 구성하고 있는 복셀의 크기가 매우 작기 때문

문에 선형 보간으로 복원된 이미지와 중앙 보간법으로 복원된 이미지 차이는 매우 근소하다



[그림 2] MC에 의해 형성된 등가면

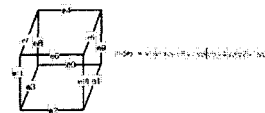
3.3 타입에 기반한 등가면 통합

MC를 이용하여 모델을 복원할 경우 인접 지역에 비슷한 형태의 삼각형 패치가 분포한다. 본 논문에서는 작고 비슷한 삼각형 패치들을 하나의 큰 삼각형 패치로 통합함으로써 이미지 품질의 손실을 최소화하고 생성되는 삼각형 패치수를 줄여가는 방법을 제안한다.

그림 2와 같이 MC에서 제안한 15가지 삼각형 패치를 기반으로 통합 가능한 삼각형 패치를 분류하여 통합 데이터를 형성한다[표 1].

[표 1] 삼각형 패치 통합 테이블

타입	통합 방향	모서리 값
0	X 축	15, 3925, 170, 255, 863, 928, 1013, 3082, 3167, 3232, 3840, 3925
1	Y 축	85, 255, 3840, 4010.
2	X_Y 축	102, 153, 3942, 3993
3	Y_X 축	204, 3891, 51, 4044



[그림 3] 복셀 모서리의 인덱싱

통합을 하기 위해 우선 로컬 복셀 타입을 결정한다. 그림 3의 복셀 모서리 인덱싱에 따라 각 복셀의 모서리에 등가면을 구성하는 삼각형 꼭지점이 있을 경우 1을 할당하고 꼭지점이 없을 경우 0을 할당한다. 인덱싱된 정보를 10진수로 변환하여 각 복셀의 모서리 값을 결정한다. 각 복셀 모서리 값에 따라 등가면의 타입이 결정된다[표 1]. 각 복셀의 통합방향과 타입을 결정 후 인접한 세계의 복셀 내에 존재하는 등가면의 타입과 통합방향이 동일할 경우 통합을 수행한다. 같은 타입이 많이 몰려있는 곳을 한꺼번에 통합하는 것은 균일한 삼각형 패치를 형성하기 어렵고 효율적으로 모델을 복원할 수 없기 때문에 인접한 세계의 복셀에 대해서만 통합을 수행한다. 각각의 등가면이 중앙 보간으로

형성되었기 때문에 인접 등가면끼리의 통합과정에서 이곳남을 방지할 수 있다.

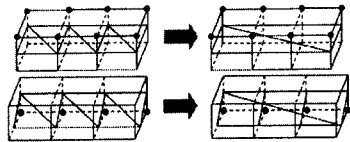
15가지 삼각형 패치의 꼭지점 위치를 기반으로 통합하는 과정에서 꼭지점은 x, y, xy, yx축을 따라 이동한다. 이동경로는 그림 3의 인덱싱 정보를 기반으로 표 2와 같이 정의된다.

표 2를 이용하여 통합이 결정된 복셀의 꼭지점은 인접 복셀의 같은 위치로 이동시킨다(그림 4).

끝으로 통합된 등가면의 꼭지점 위치정보와 법선 벡터값을 계산하여 렌더링을 수행한다

[표 2] 통합 수행 시 꼭지점 이동경로

통합방향	이동 모서리
x	e7→e5, e8→e9, e11→e10, e3→e1
y	e4→e6, e0→e2, e8→e11, e9→e10
xy	e5→e4, e1→e0, e7→e4, e3→e0
yx	e1→e10, e2→e3, e5→e4, e6→e7



[그림 4] 삼각형 통합 시 꼭지점 이동경로

4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘은 SGI의 CPU 400MHz MIPS R 12000, Memory 256MB 인 환경에서 C로 구현하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 여러 종류의 데이터를 복원하면서 기존의 MC와 Selective MC에서 모델을 복원하는데 걸리는 시간과 생성되는 삼각형 패치의 개수를 비교, 분석해 보았다.

**CAT는 105x 152 x 198로 구성된 레인지 데이터이고 *HPLOGO는 236 x 150 x 64 로 구성된 CT 데이터 이다.

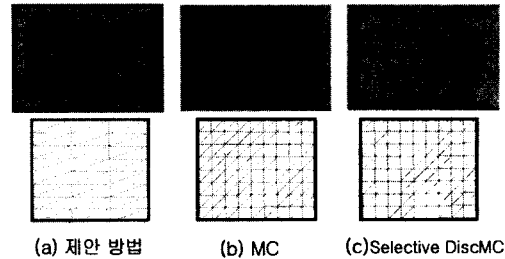
표 3을 보면 각각의 데이터에 대해 생성된 삼각형 패치의 개수가 MC와 Selective MC는 동일하고 본 논문에서 제안한 방법은 최고 50%정도 적은 개수로 모델을 복원한다. 기존의 통합 알고리즘은 MC보다 빠르게 모델을 복원하는데 어려움이 있었으나 본 논문에서 제안하는 방법은 이미지 품질의 손실을 최소화하면서 렌더링 시간도 단축하는 효과를 얻을 수 있다. 데이터가 클수록 많은 통합 과정을 거치기 때문에 높은 비율의 삼각형 패치 수를 줄일 수 있고 상대적으로 빠르게 모델을 복원하는 효과를 얻을 수 있다. 이와 같은 결과는 의료영상 데이터와 같이 큰 데이터에서 본 논문에서 제안한 알고리즘이 효과적으로 활용될 수 있음을 보여준다

[표 3] 알고리즘에 따른 수행시간, 삼각형 패치 개수 비교

알고리즘	*HPLOGO		**CAT	
	삼각형개수	시간(sec)	삼각형개수	시간(sec)
Selective DiscMC확장	157,180	9.03	19,118	8.73
MC	244,196	12.59	48,654	13.09
Selective DiscMC	244,196	9.27	48,654	8.28

그림 5는 236 x 150 x 64의 CT 이미지를 복원했을 때의 결과이다. 하단의 삼각형 패치는 복원 결과 단면을 보여준다.

삼각형 패치 형태를 보듯이 통합과정을 통해 큰 삼각형 패치로 복원하였으나 실제 복원 결과의 품질 차이는 크게 나타나지 않는다.



[그림 5] 복원된 이미지와 단면 비교

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 MC와 Selective MC 알고리즘을 개선하여 모델을 복원하는데 이미지의 품질 손실을 최소화하고 복원 속도를 빠르게 할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 선택된 복셀에 대해 DiscMC 알고리즘을 수행함으로써 등가면 추출 시간을 단축시킨다. 또한 비슷한 삼각형 패치로 구성된 부분의 삼각형 패치를 통합하여 MC나 Selective DiscMC에서 생성된 삼각형 패치 수보다 적은 개수로 모델을 복원함으로써 렌더링 시간을 단축시킨다. TM이나 DiscMC와 같은 기존의 통합 알고리즘은 수행시간이 길게 걸리는 단점을 개선하였고 통합 수행 비율은 기존 연구와 비슷하다.

향후 연구과제로는 보다 적은 개수의 슬라이스 이미지로부터 모델을 복원하기 위해 보간법을 개선하고자 한다. 통합을 통해 발생가능한 계단형상을 부드럽게 표현하고 모서리와 같이 날카로운 특징을 살릴 수 있는 방법도 연구하고 있다

6. 참고문헌

[1] Imma Boada "An Octree Isosurface Codification Based on Discrete Planes", Computer Graphics. Spring Conference on 2001 pp.130~137
 [2] Ji-Hye Chung and Chang-Hun Kim " Selective Discretized Marching Cubes" 한국 정보과학회 가을 학술 발표 논문지 2001.10 pp.547 ~ 549
 [3] Toyohisa Kaneko and Yuuki Yamamoto "Volume-preserving Surface Reconstruction from Volume Data" Image Processing 1997. Proceedings. International Conference pp.281 ~ 287
 [4] W. Lorence and H.Cline "Marching Cubes : High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", in SIGGRAPH '87 Proceeding, 1987 pp.163~169
 [5] C. Montani, R.Scateni and R.Scopigno "Discretized Marching Cubes" '94 Visualization Proceedings, IEEE Conference on 1994 pp.281~287
 [6] Kwang-Man Oh and Kyu-Ho Park "A Type-Merging Algorithm for Extracting an Isosurface from Volumetric Data", Visual Computer 1996 pp.406 ~ 419
 [7] C. Rocchini, P. Cignoni, F. Ganovelli, C. Montani, P. Pingi, R. Scopigno " Marching Intersections : an Efficient Resampling Algorithm for Surface Management" International Conference on Shape Modeling and Application(SMI 2001), Genova Italy
 [8] Raj Shekhar "Octree-Based Decimation of Marching Cubes Surfaces", Proceedings of Visualization '96 pp.335 ~ 342