

분해 모델링 기법을 이용한 절삭 시뮬레이션 시스템 개발

김용현*(건국대 대학원 기계설계학과), 고성림(건국대 기계항공공학부)

Development of the cutting simulation system with decomposition Algorithm.

Y. H. Kim(Mechanical Eng. Dept. Kon-kuk Univ.), S. L. Ko(Mechanical Eng. Dept., Kon-kuk Univ.)

ABSTRACT

This paper develops an octree-based algorithm for machining simulation. Most commercial machining simulators are based on the Z map model, which has several limitations in terms of achieving a high level of precision in five-axis machining simulation. Octree representation being a three-dimensional (3D) decomposition method, an octree-based algorithm is expected to be able to overcome such limitations. With the octree model, storage requirement is reduced. Moreover, recursive subdivision is processed in the boundaries, which reduces useless computations. The supersampling method is the most common form of antialiasing and is typically used with polygon mesh rendering in computer graphics. The supersampling technique is being used to advance the efficiency of the octree algorithm.

Key Words : CAM(캠), NC Verification(NC 코드 검증), Machining simulation(모의 가공), Z map(Z 맵), Octree(옥트리), Antialiasing(안티앨리어싱), Supersampling(수퍼샘플링)

1. 서론

CAM 소프트웨어에서 생성되는 NC Code 를 이용하여 가공을 수행하는 경우 가공 중에 발생하는 절삭력의 급작스러운 변화는 제품 뿐만 아니라 공작기계에도 치명적인 결과를 초래한다. 따라서 실제 가공을 수행하기에 앞서 모의 가공을 통한 NC Code 의 검증이 필수적이다. 대부분의 상용 CAM System 의 NC Code 검증 및 시뮬레이션 모듈은 Z map 을 기반으로 하고 있다. Anderson¹에 의해 제안된 Z map 은 일종의 cell decomposition 모델링 기법으로서, 자료구조의 단순성과 완결성으로 인하여 계산 속도가 빠르고 오류 발생의 가능성이 상대적으로 낮다는 장점을 갖고 있다. 그러나 메모리 구조의 특성상 정밀도를 높이기 어렵기 때문에 곡면의 경사가 심한 측벽 가공이나 고속가공과 같이 가공량이 매우 작을 경우에는 큰 오차가 발생한다는 한계가 존재한다. 또한 5 축 가공 시뮬레이션 등 3 차원 공간상의 물체를 표현하는 데에도 많은 제약이 따른다.

Z map 에 존재하는 구조적인 단점을 보완하기 위한 다양한 연구들이 수행되었다.^{2,3,4} 특히, Lee⁴ 등

이 제안한 Enhanced Z map 모델은 그래픽 시뮬레이션에 주로 사용되는 antialiasing 방법을 적용하여 메모리 사용량을 늘리지 않고서도 정밀도의 향상을 가능하게 하였다.

3 차원 Decomposition 모델은 공간상의 3 차원 물체를 cubic 의 집합으로 표현하는 방식으로, 어떠한 복잡한 형상의 물체도 표현할 수 있다는 장점을 갖는다. Voxel 이 동일한 크기의 cubic 으로 object 를 표현하는 방식이라면, Octree 모델은 공간 분할 방식을 달리함으로써 상대적으로 Object 의 표현에 필요한 메모리를 감소시켰다. 또한 3 차원 모델링 방식이므로, Z map 모델이 갖는 공간 제약의 문제점을 해결할 수 있다는 특성을 갖는다.

본 연구에서는 Octree 알고리즘을 이용한 절삭 시뮬레이션 시스템을 구현하였다. Octree 알고리즘을 적용한 가공 시뮬레이터를 Visual c++를 이용하여 개발하고, 절삭 영역 예측을 수행하였다. 정밀도의 향상과 계산시간의 단축을 위하여 Octree 모델에 supersampling 기법을 적용한 모델을 개발하고, 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하였다. 또한 상용 software 에서 주로 사용되는 conventional Z map 과 Z map 에 supersampling 기법을 적용한

Enhanced Z map 모델과의 비교를 통하여 그 성능을 검증해 보았다.

2. Octree Model

2.1 Octree 의 개요

Octree 는 recursive subdivision 에 기반한 표현방식으로 표현하고자 하는 object 를 서로 다른 크기의 cubic 집합으로 표현한다. 즉, object 의 경계부분에서만 계속해서 분할작업을 해줌으로써 불필요한 메모리 점유와 계산시간을 줄이면서 정밀도의 향상이 가능한 모델링 방식이다.

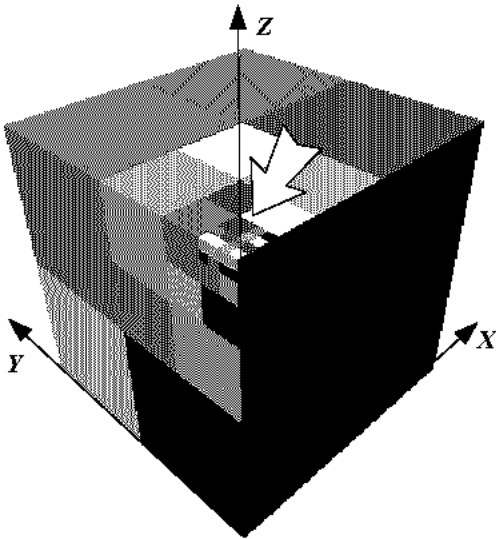


Fig. 1 Concept of an Octree Model

2.2 Definition

Octree 를 표현하기 위해서는 fig. 1 과 같이 표현하고자 하는 전체 영역을 완전히 둘러싸는 Root Octree 를 정의한다. 그리고 Root Octree 를 octant 라 불리는 8 개의 동일한 크기의 cube 로 나눈다.

Octree 의 Node 는 BLACK(Full), WHITE(Empty) 그리고 GRAY(Partial)의 3 가지 타입으로 분류된다. 각각의 octant 를 검사하여 object 가 octant 를 완전히 점유하고 있으면 Black(full), 점유하고 있지 않으면 White(empty), 부분적으로 점유하고 있다면 Gray 로 설정한다. 이 중 Object 가 부분적으로 cell 을 점유하고 있는 gray cubic 에서만 회귀적으로 분할이 진행되게 된다. 분할은 octant 가 object 에 의해 완전히 점유되거나 (BLACK Node), 최소 허용 cube 크기

보다 영역의 크기가 작아지는 경우에 종료된다.

Fig. 1 은 이와같은 Octree 의 분할과정을 보여준다. 화살표로 표시된 부분이 표현해야하는 object 가 존재한다면, 표현하고자 하는 영역에 대해서만 분할 종료조건이 만족할때까지 분할이 일어나게 된다. 분할이 종료되면 노드가 8 개의 트리모양의 데이터 구조를 갖게된다.

2.3 Octree 모델 생성 알고리즘

NC Code 로부터 절삭영역을 탐색하여 octree 모델을 생성하는 알고리즘은 다음과 같다. 우선 절삭영역 전체를 둘러싸는 Root octree 를 정의한다. 대개의 경우 한번의 공구경로는 Root octree 의 일부분에서 절삭을 수행하게 된다. 따라서 해당 경로에서 실제 절삭이 일어나는 일부 영역(sub region)을 찾아낸 후 우선 node type 에 대한 check 없이 분할을 진행한다. 실제 절삭이 수행되는 영역까지 분할한 다음에는 공구 경로의 실루엣 곡선을 이용하여 해당 cube 에서 절삭이 일어났는지의 여부를 판별해주게 된다. 절삭이 일어난 경우는 white 로, 절삭되지 않은 영역은 black 으로 node type 을 설정한다. 공구 경로 영역이 cube 의 일부를 점유하고 있는 경우에는 cube 의 크기가 최소허용 크기보다 큰 경우에는 계속 분할이 진행되고 그렇지 않으면 분할을 종료한다. 연속적으로 일어나는 공구 경로에 대하여 계속해서 임시 옥트리 객체를 생성하여 이전 경로에 대한 옥트리와의 불리안 연산을 통해서 옥트리 모델을 완성해가게 된다. 소재 제거량은 white node 의 영역을 계산해줌으로써 구해준다. Fig. 2 에 알고리즘의 플로우차트를 나타내었다.

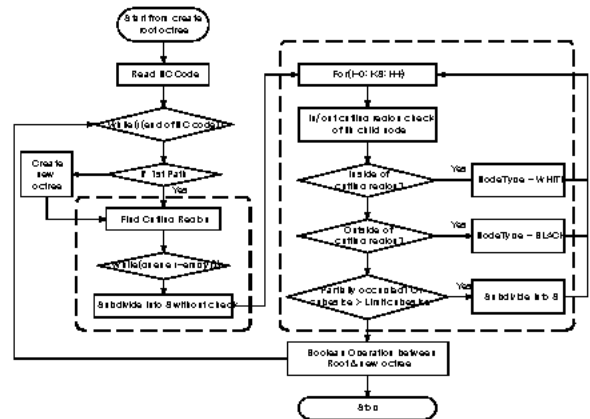


Fig. 2 Flowchart for octree algorithm

3. Supersampling Method 와 Octree

3.1 Antialiasing & Supersampling Method

아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어줄 때 낮은 주파수로 샘플링을 하면 신호 왜곡 현상이 나타나는데 이러한 현상을 **aliasing** 이라고 한다. 이미지의 경우에는 가장자리가 톱니바퀴처럼 들쭉날쭉 계단과 같은 효과가 나타나는 것을 뜻한다. 즉, Fig. 3(b)에서 보여지는 바와 같이 테두리 부분에서 거친 계단 현상이 나타난다.

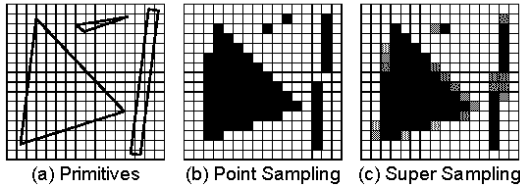


Fig. 3 Comparison between aliased and antialiased image.

Note that the square area represents each pixel

이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 방안이 제시되었는데, 기본적인 아이디어는 도형을 픽셀의 중심에서만 검출하는 대신에 각 픽셀의 면적에 대하여 도형이 얼마나 넓게 분포하고 있는지 계산하여 그 영향을 전체 픽셀에 평균값으로 반영하는 것이다.^{5,6} 이러한 기법을 **antialiasing** 이라 한다.⁷

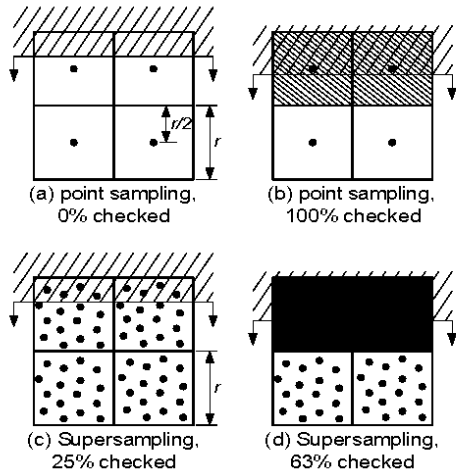


Fig. 4 Increase of resolution at each pixel by supersampling algorithm. Note that the square area represents one pixel ($r = \text{grid size}$)

Supersampling 은 이러한 **antialiasing** 의 대표적인 알고리즘이다. 이 기법은 각 픽셀에서 두 개 이상의 검출점에서 도형의 위치를 검출하고, 검출된 계산치의 평균값으로 그 픽셀을 표현하는 방식이다. Fig. 4 에 point sampling 방식과 super sampling 방식의 차이점을 보여주고 있다. Point sampling 방식에서

는 최대 $\text{grid size} / 2$ 만큼의 오차가 존재하게 된다 (Fig. 4(a),(b)). 오차를 줄이기 위해서 grid size 를 줄이면 계산시간과 메모리 소모가 있게 된다. Fig. 4(c),(d)에서와 같이 supersampling 기법에서는 동일한 grid size 내에 검출점의 개수를 증가시켜서, 검출된 만큼을 퍼센트로 반영해주게 된다. 이 방법은 동일한 메모리 크기에서 정밀도를 증가시킬 수 있다는 장점을 갖는다.

3.2 Supersampling techniques with decomposition model

전술한 바와 같이 decomposition modeling 방식에서는 높은 정밀도를 얻기 위해 grid size 를 감소시키면, 계산시간과 메모리 사용량이 급격하게 증가하게 된다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 간단한 Z map 에 supersampling 기법을 적용한 연구가 이미 수행되었다.⁴ 선행 연구를 기초로, 본 연구에서는, Octree model 에 supersampling 알고리즘을 적용하였다. 즉, 정밀도에 영향을 미치는 공구의 경계부분에서만 검출점의 개수를 늘려주어 정밀도의 향상과 계산시간의 효율성을 꾀하였다.

4. 절삭 시뮬레이션에의 적용

본 연구에서는 Octree 알고리즘을 이용한 절삭 시뮬레이션 모듈을 Visual C++로 개발하였다. 개발된 프로그램의 검증에 위하여 측면 절삭에 대한 절삭 시뮬레이션을 수행하였다. 사용한 공구는 4Φ Flat endmill 이다. Axial depth는 3mm, 공구 경로 간격은 1mm ~ 4mm 로 증가시켰다. 2 차원 모델과 3 차원모델과의 비교를 위하여 Z map, Enhanced Z map, Octree 와 Advanced Octree 의 4 개의 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 5 에는 수행된 시뮬레이션의 공구 경로가 나타나있다.

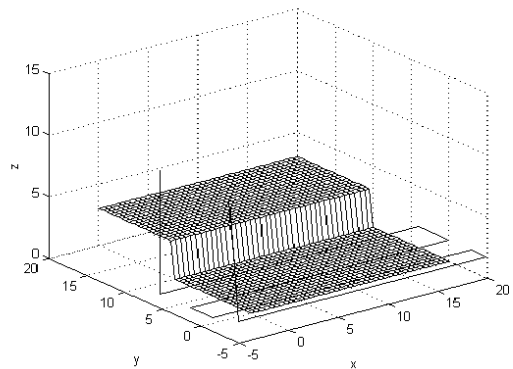


Fig. 5 Tool path for the verification of simulation system

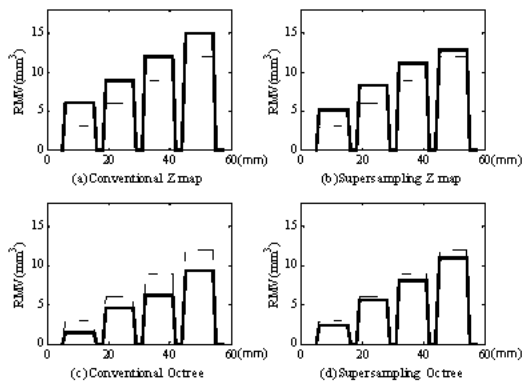


Fig. 6 Simulated material removal volume in according to the unit length of a tool movement at grid size 1mm

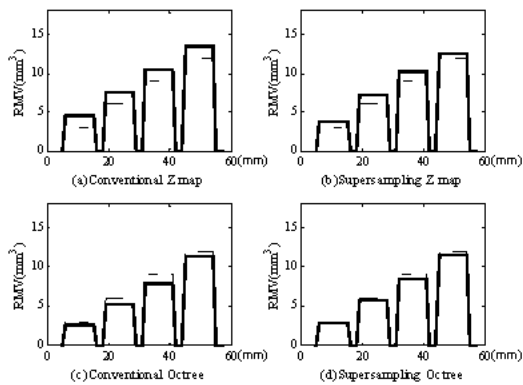


Fig. 7 Simulated material removal volume in according to the unit length of a tool movement at grid size 0.5mm

Fig. 6 과 7 에는 주어진 조건에서 절삭 가공을 수행하였을때의 소재 제거량의 예측 결과가 나타나 있다. 점선으로 표시된 그래프는 주어진 공구 경로에 대한 절삭영역의 해석치이다. Grid Size 가 1mm 인 경우 2 개의 2 차원 모델은 *overestimate* 되었다(Fig. 6(a),(b)), 3 차원 모델은 *underestimate* 되었다(Fig. 6(c),(d)). Grid size=1mm 에서 주목할만한 예측결과는 Octree 모델에 *supersampling* 알고리즘을 적용한 경우이다. 다른 3 개의 모델이 비교적 큰 예측 오차를 나타내고있는 반면 *supersampling* 이 적용된 octree 모델은 해석치와 근사한 예측결과를 보여준다. 다른 모델들을 이용하여 동일한 정밀도를 얻기 위해서는 Grid size 를 0.3 ~ 0.1mm 정도로 줄여주어야 한다. Fig. 7 은 Grid size 0.5mm 에서의 예측 결과이다. 모델에 따라 정도의 차이는 있지만, Grid size 를 감소 함시킴으로써 오차량이 줄어들음을 알 수 있다.

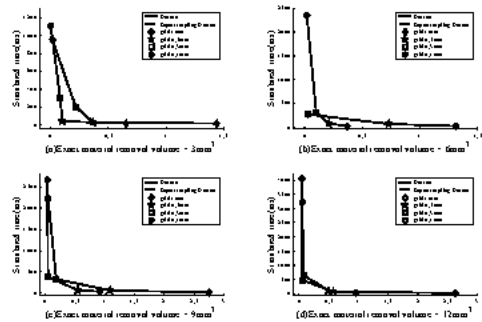


Fig. 8 Error and computation time between Octree and Octree with *supersampling* model

Fig. 8 에는 Grid Size 에 따른 절삭량 예측의 편차와 예측에 소요되는 시간이 나타나 있다. *Supersampling* 을 적용한 Octree 모델은 Octree 모델에서 동일한 예측결과를 얻기위해서 소요되는 시간보다 3~20 배정도 빠른 결과를 얻을 수 있었다. 한편 Grid size 를 줄여주면 정밀도는 향상되지만 계산 소요시간이 기하급수적으로 증가함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 Octree 알고리즘을 이용한 절삭 시뮬레이션 시스템을 개발하고, 검증을 수행하였다. 또한 Octree 의 정밀도향상을 위해 *supersampling* 이론을 적용하였다.

2 개의 Octree 모델 모두 2 차원 모델링 방식인 Zmap 보다 우수한 예측결과를 얻을 수 있었다. 특히 Octree 에 *supersampling* 기법을 적용한 경우에는 비교적 큰 grid size(1mm)에서 상대적으로 빠른 시간에 높은 정밀도의 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 grid size 를 줄여주게되면 정밀도의 개선에 비해 소요시간이 기하급수적으로 늘어나게 된다.

제안된 모델은 메모리와 계산시간의 낭비없이 정밀도를 향상시킬 수 있음을 검증하였다.

참고문헌

1. R. O. Anderson, *Computer Aided Design*, Vol. 10/2, pp. 231-237, 1978.
2. Wang, W. P. and Wang, K. K. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Dec., 6 (12), 8-17, 1986.
3. Van Hook, *Computer Graphics*, Aug., 20(4), 15-20, 1986
4. LEE, S.K and Ko, S.L *J. of Materials Processing Technology*, pp. 608-617, 2002
5. Crow, *Comm. ACM*, Vol. 20/11, pp. 799-805, 1977
6. Cook, *ACM Trans. on Graphics*, Vol 5/1, pp.51-72, 1986
7. Anthony C., *IEEE CG & A, Jan.*, pp.80-88, 1996