

옥트리에 기반한 5 축 가공 시뮬레이션을 위한 연구

김용현^{*}(건국대 대학원 기계설계학과), 고성림(건국대 기계항공공학부)

Research for the 5 axis machining simulation system with Octree Algorithm.

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

ABSTRACT

The overall goal of this thesis is to develop a new algorithm based on the octree model for geometric and mechanistic milling operation at the same time. 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. To achieve a high level of accuracy, fast computation time and less memory consumption, the advanced octree model is suggested. By adopting the supersampling technique of computer graphics, the accuracy can be significantly improved at approximately equal computation time. The proposed algorithm can verify the NC machining process and estimate the material removal volume at the same time.

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 에 존재하는 잠재적인 오류가능성은 제품의 생산성, 품질, 비용 등에 손실을 가져오게 된다. 특히 최근 가공 기술의 발달로 널리 행하여지고 있는 고속가공은 고속 회전 고속 이송으로 소재를 제거하기 때문에 급작스러운 절삭력의 변화는 제품 뿐만 아니라 공작 기계에도 치명적인 결과를 초래하게 된다. 따라서 소재 제거율(Material Removal Rate)을 일정하게 유지하면서 가공을 진행하는 것이 매우 중요하다. 이런 이유로 CAM 시스템에서 모의 가공을 수행하고, NC Code 의 에러 유무를 검증하는 기능의 중요성이 점점 더 커지고 있는 실정이다.

대부분의 상용 CAM System 의 NC Code 검증 및 시뮬레이션 모듈은 Z map 을 기반으로 하고 있다. Anderson¹ 에 의해 제안된 Z map 은 자료구조의 단순성과 완결성으로 인하여 계산 속도가 빠르고 오류 발생의 가능성이 상대적으로 낮다는 장점을 갖고 있다. 그러나 메모리 구조의 특성상 정밀도를

높이기가 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} 그 중 Wang² 은 Z 축으로 여러개의 값을 갖는 것을 허용하는 Extended Z map 을 제안하였다. 따라서 3 차원 공간상의 복잡한 형상의 표현, 5 축 가공 시뮬레이션 등을 가능하게 하였다. 또한, 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 5 축 가공 시뮬레이션에 적합한 절삭 가공 시뮬레이터를 개발하고자 한다. 기존 Z map 모델이 갖고 있는 공간상의 표현 제약을 극복하기 위하여 Octree 모델을 기반으로 한 절삭 시뮬레이션 시스템을 구현하였다. 개발된 알고리즘은 Visual c++를 이용하여 구현하였고, 절삭 영역 예측을 수행하였다. 정밀도의 향상과 계산시간의 단축을 위하여 Octree 모델에 supersampling 기법을 적용한 모델을 개발하고, 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하였다. 특히 Z map 모델에서 예측이 불가능한 가파른 경사도를 갖는 절삭에 대한 시뮬레이션을 수행함으로써 개발된 모듈이 Z map 의 한계를 극복할 수 있음을 밝혔고, 5 축 가공에도 효율적으로 사용될 수 있으리라 기대된다.

2. Octree Model

2.1 Octree 의 개요

Octree 는 recursive subdivision 에 기반한 표현 방식으로 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.

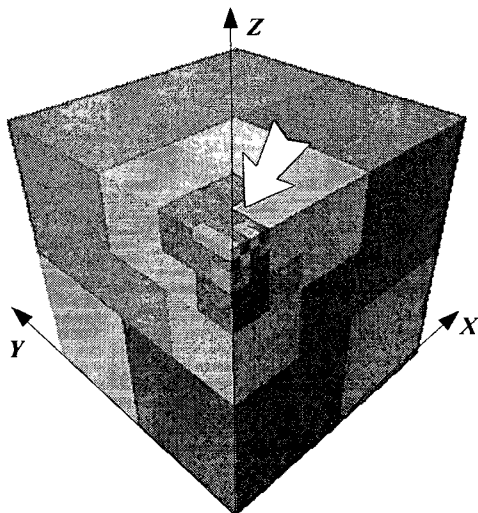


Fig. 1 Concept of an Octree Model

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 크기보다 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.

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. 2(b)에서 보여지는 바와 같이 테두리 부분에서 거친 계단 현상이 나타난다.

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

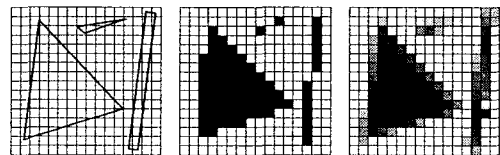


Fig. 2 Comparison between aliased and antialiased image
Note that the square area represents each pixel

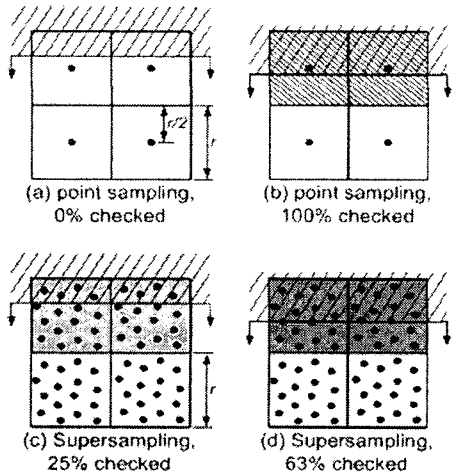


Fig. 3 Increase of resolution at each pixel by supersampling algorithm. Note that the square area represents one pixel ($r = \text{grid size}$).

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. 3 에 point sampling 방식과 supersampling 방식의 차이점을 보여주고 있다. Point sampling 방식에서는 최대 grid size / 2 만큼의 오차가 존재하게 된다 (Fig. 3(a),(b)). 오차를 줄이기 위해서 grid size 를 줄이면 계산시간과 메모리 소모가 있게 된다. Fig. 3(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 모델에 supersampling 알고리즘을 적용하였다. 즉, 정밀도에 영향을 미치는 공구의 경계부분에서 검출점의 개수를 늘려주어 정밀도의 향상과 계산시간의 효율성을 꾀하였다.

4. 절삭 시뮬레이션에의 적용

본 연구에서는 기존의 Z map 의 한계점을 보완

하고 5 축 가공에 적용 가능한 시뮬레이션의 개발을 위해 Advanced Octree 모델을 개발하였다. Advanced Octree 모델은 Octree 모델에 supersampling 알고리즘을 적용하여 보다 빠른 계산시간내에 정밀한 가공량 예측이 가능하도록 한 것이다. 제안된 모델은 visual c++를 이용하여 개발되었다. 개발된 모듈의 검증과 최적 시뮬레이션 조건을 찾기 위해 다양한 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 기존의 모델과의 성능 비교를 위하여 Z map, Enhanced Z map(이하 E.Z map), Octree 와 Advanced Octree 의 4 개의 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

4.1 pick feed 1mm 인 경우

Fig. 4 는 지름 4φ Flat 앤드밀로 1mm 간격의 pick feed 로 가공한 결과이다. 실선은 각 모델별 예측결과이고 점선은 정확도에 의한 결과이다. Cell size 1mm 에서 Z map 과 E.Z map 은 모두 첫번째 질삭량이 overestimate 되었음을 알 수 있다(Fig.4 (a),(b)). Octree 모델도 제대로 질삭량을 예측하지 못함을 확인할 수 있다 (Fig.4 (c)). 반면 Advanced Octree 인 경우는 비교적 정확도에 가까운 결과를

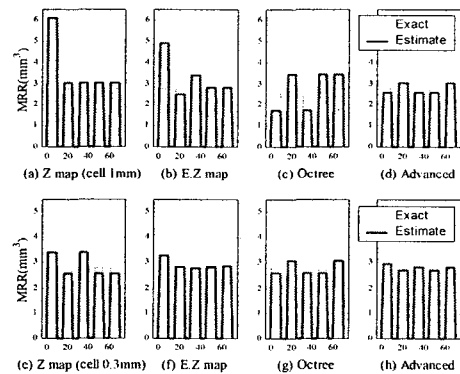


Fig. 4 Simulated MRV according to the unit length of a tool movement at a pick feed of 1mm

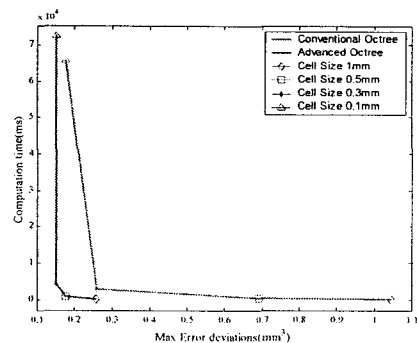


Fig. 5 Relationship between computation time and accuracy of simulation using the octree model and the advanced octree model.

얻을 수 있었다 (Fig.4 (d)).

Fig. 4 (e) ~ (h)는 cell size 0.3mm 에서의 예측 결과이다. 모델에 따라 정도의 차이는 있지만, cell size 를 감소함시킴으로써 오차량이 줄어들을 알 수 있다. Fig. 5 에는 cell size 에 따른 절삭량 예측의 편차와 예측에 소요되는 시간이 나타나있다. Advanced Octree 모델은 Octree 모델에서 동일한 예측결과를 얻기위해서 소요되는 시간보다 3~20 배정도 빠른 결과를 얻을 수 있었다. 한편 cell size 를 줄여주면 정밀도는 향상되지만 계산소요시간이 기하급수적으로 증가함을 알 수 있다.

4.2 Steep slope machining

89° 정도의 가파른 경사의 절삭 시뮬레이션을 수행할 경우 Z map 모델은 제대로 예측을 수행하지 못하는 것으로 알려져있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 경사에 대한 절삭 시뮬레이션을 수행하였다. Table 1 에는 시뮬레이션 조건이 나타나있다. Ideas CAM 을 이용하여 모델링과 절삭을 위한 NC Code 를 추출하였다.

Fig. 6 은 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 노란색 막대 그래프는 정확해에 의한 결과이고 검정색 막대 그래프는 예측 결과이다. Cell size 0.5mm 인 경우(Fig. 6(a)-(d)) Z map, E.Z map 그리고 Octree 모델은 모두 제대로 절삭량을 예측하지 못하고 있다. 반면 Advanced Octree 인 경우는 비교적 정확하게 예측하고 있음을 알 수 있다. 한편 Cell size 를 0.3mm 로 줄인 경우(Fig. 6(e)-(h)), Z map 은 여전히 제대로 예측을 수행하지 못하고 있다. E.Z map 은 그 예측의 오차가 크고, Octree 역시 오차가 비교적 크게 발생함을 확인할 수 있다. 이 경우 Advanced Octree 인 경우는 정확해에 근사한 예측 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 7 은 가공면의 모습이다.

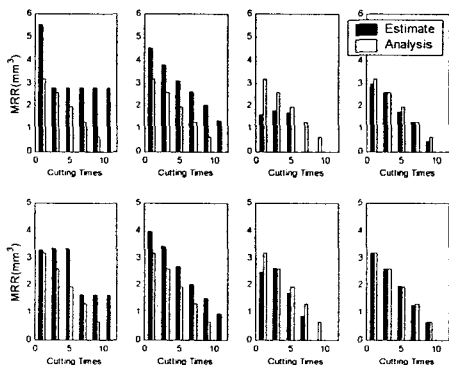


Fig. 6 Simulated MRV according to the unit length of a tool movement using the octree model and the advanced octree model in a steep slope machining.

Table 1 Simulation condition

A steep slope machining	
Tool	Dia 6mm Flat endmill
Inclination angle of slope	89°
Radial depth	0.6 ~ 0.1mm
Axial depth	6.5 ~ 6.7mm
Cell size	1mm, 0.5mm, 0.3mm

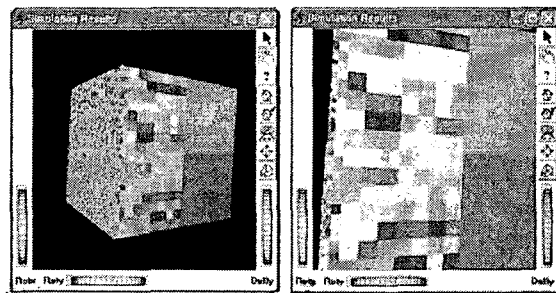


Fig. 7 Visualization in Steep slope machining at cell size 0.3mm

5. 결론

본 연구에서는 5 축 가공에 적용 가능한 절삭 시뮬레이터를 위하여 Advanced Octree 모델을 제안하였다. Advanced Octree 모델은 Octree 모델에 슈퍼 샘플링 알고리즘을 적용한 모델로서 상대적으로 빠른 시간에 높은 정밀도의 결과를 얻기위한 모델이다. 시뮬레이션 결과 Advanced Octree 모델이 다른 모델 대비해 상대적으로 큰 cell size 에서도 비교적 정확한 예측이 가능함을 알 수 있었다. 특히 89°의 가파른 경사면에서도 예측이 수행됨으로써 기존의 Z map 모델의 단점을 보완할 수 있는 효율적인 모델임을 보였다.

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, No. 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