

Enhanced Z map 을 이용한 절삭 공정 시뮬레이션 시스템의 개발

이상규*(건국대 대학원 기계설계학과), 고성림(건국대 기계설계학과)

Development of Machining Simulation System using Enhanced Z Map Model

Sang-Kyu Lee(M.D.P.E. Dept. KKU Graduate School), Sung-Lim Ko(M.D.P.E. Dept., KKU)

ABSTRACT

The paper discusses new approach for machining operation simulation using enhanced Z map algorithm. To extract the required geometric information from NC code, suggested algorithm uses supersampling method to enhance the efficiency of a simulation process. By executing redundant Boolean operations in a grid cell and averaging down calculated data, presented algorithm can accurately represent material removal volume though tool swept volume is negligibly small. Supersampling method is the most common form of antialiasing and usually used with polygon mesh rendering in computer graphics. The key advantage of enhanced Z map model is that the data structure is same with conventional Z map model, though it can acquire higher accuracy and reliability with same or lower computation time. By simulating machining operation efficiently, this system can be used to improve the reliability and efficiency of NC machining process as well as the quality of the final product.

Key Words : Computed Aided Manufacturing (컴퓨터 원용 제작), Z Map Model (Z 맵 모델), Machining Process Simulation (절삭 가공 시뮬레이션), NC Code Verification (NC 코드 검증)

1. 서론

절삭가공에 의하여 생산되는 제품의 품질과 생산성은 가공에 사용된 NC 코드의 품질에 의하여 결정된다. 생산성을 향상시키고 무인가공을 실현하기 위해서는, 실제 가공전에 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 가공량과 절삭거동을 예측함으로써 NC 코드의 절삭조건을 최적화하여야만 한다.

Z map 은 anderson 에 의해 처음 소개된 이후,⁽¹⁾ 여러가지 장점으로 인하여 NC 코드의 시뮬레이션과 최종형상의 예측에 광범위하게 이용되어 왔다.⁽²⁾ 자료구조의 단순성과 완결성으로 인하여 계산속도가 상대적으로 빠르고 오류의 발생가능성이 낮기 때문에 공구경로의 생성에도 이용되고 있으나,⁽³⁾ 메모리 구조의 특성상 정밀도를 높이기가 어렵기 때문에, 곡면의 경사가 심한 측벽 가공이나 고속가공과 같이 가공량이 매우 작을 경우에는 큰 오차가 발생한다는 한계가 존재한다.

이 때문에, Z map 은 주로 최종형상의 예측에만

이용되고 있으며, 가공 중의 절삭거동을 완전하게 예측하기 위한 대안으로 CSG 나 B-Rep 방식에 기초한 Solid Modeling 을 이용한 시뮬레이션 시스템⁽⁴⁾이 최근 시도되고 있으나 피삭재의 형상이 복잡할수록 계산시간과 메모리 사용량이 급격히 증가하며 적용이 어렵고 오류가 발생하기 쉽다는 단점이 있다.⁽⁵⁾

따라서 본 연구에서는 기존의 Z map 모델에 존재하는 단점을 보완하여 가공량을 쉽게 검출할 수 있는 Enhanced Z map 을 제안한다.

2. Enhanced Z map Model

기존의 Z map 모델을 이용하여 Boolean 연산을 수행할 경우, Fig. 1 과 같이 각각의 grid 의 중앙에서만 검출이 이루어진다. 따라서, Fig.1(a)과 같이 공구가 일정한 속도로 아래쪽으로 움직인다고 가정할 때, 정확한 가공량은 점선과 같이 표현되지만 Z map 을 통하여 검출된 가공량은 계단형으로 직선과 같이 큰 오차가 발생한다. 이 때, 계산정밀도를 증

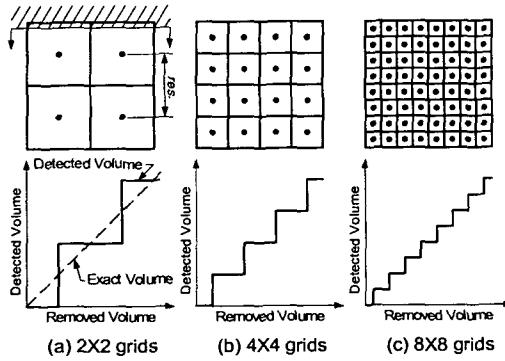


Fig. 1 Relations between resolution of Boolean operation and grid size in conventional Z map model

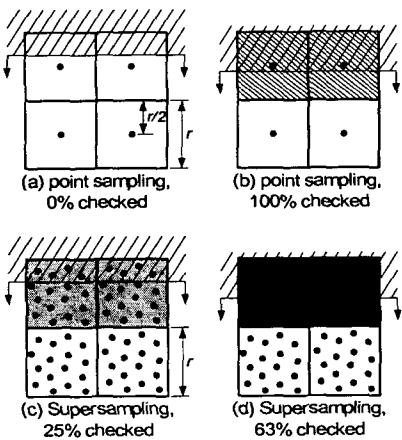


Fig. 2 Increase of resolution at each pixel by supersampling algorithm. Note that the square area represents one pixel ($r = \text{grid size}$)

가시시키기 위해서는 grid size 를 감소시켜야 하는데, Fig.1(b,c)에서 보듯이 계산의 정밀도가 2 배, 4 배 증가할 때 grid 의 개수는 4 배, 16 배로 기하급수적으로 증가하게 되는 것을 알 수 있다. 이러한 grid 수의 급격한 증가는 메모리의 사용과 계산시간이 급격히 증가함을 뜻하며, 이로 인하여 Z map 의 해상도를 증가시키기 위해서는 많은 비용이 소요된다.

이 때문에 Z map 을 이용한 simulation 의 수평 정밀도는 Fig.2(a)에서 볼 수 있듯이 항상 grid size/2 의 최대 오차를 갖게 되며, 이러한 문제가 발생하는 근본 원인은 각 grid 에 단 하나의 검출점이 존재하기 때문에 발생하는 aliasing 효과에 기인하므로, Fig.2(c)와 같이 하나의 grid 에 여러 개의 검출점을 배치하여 공구의 움직임을 검출하면 해상도를 크게 높일 수 있다. 이 때, 각 검출점에서 검출된 공구 형상의 평균값을 최종 데이터로 저장하게 되면 기존의 Z map 에 비하여 해상도를 크게 증가시킬 수 있다.

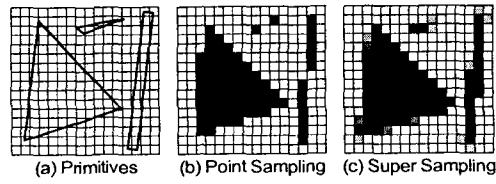


Fig. 3 Comparison between aliased and antialiased image.

Note that the square area represents each pixel

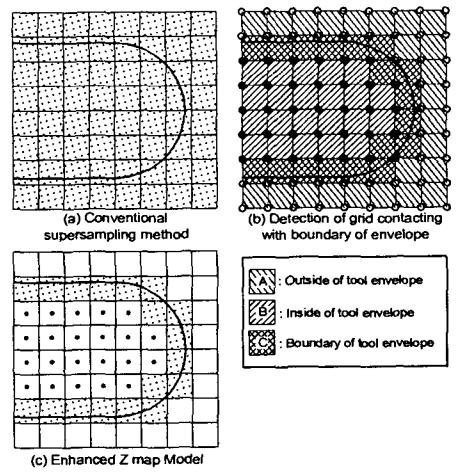


Fig. 4 Enhanced Z map model by adopting supersampling algorithm into tool envelope boundary

컴퓨터 모니터의 경우에도 Z map 과 마찬가지로 이산화된 개개의 픽셀들의 집합으로 연속적인 도형을 표현한다. 각각의 픽셀들은 Fig.3(a)와 같이 일정한 간격을 두고서 위치하고 있기 때문에 도형의 위치를 오차없이 정확하게 표현하는 것은 불가능하다. Z map 과 마찬가지로 도형이 각 픽셀의 중심부를 지날 때만 화면에 나타내면 Fig.3(b)의 경우와 같이 테두리가 흡사모양으로 거칠게 표현되기 때문에 직선이라고 보기 어렵워진다.

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^(6,7).

이러한 방법을 antialiasing 이라 하며, 테두리가 불분명해지고 원래 도형보다 확장되어 보인다는 단점은 있지만, 도형의 형상이 픽셀에 미치는 영향이 정확하게 고려되고 시각적으로도 훨씬 미려하기 때문에 현재 대부분의 graphic library 와 video adapter 에 기본적인 화면개선 알고리즘으로 표준화되어 장착되어 있는 설정이다⁽⁸⁾.

이러한 antialiasing 방법에는 다양한 알고리즘이

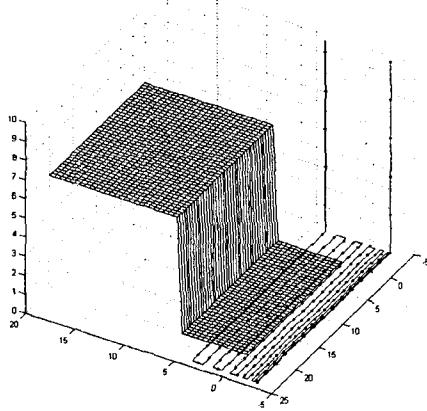


Fig. 5 Simulation of milling process using end mill in parallel cut with incremental pick feed (dia.= 6mm, pick feed = 0.1~1.1mm, axial depth = 6mm)

제안되어 있으나, 그 구현이 비교적 쉽고 간단하면서도 뛰어난 성능을 보여주는 대표적인 알고리즘으로 supersampling 이 있다. 이 기법은 각 픽셀에서 두 개 이상의 검출점에서 도형의 위치를 검출하고, 검출된 계산치의 평균값으로 그 픽셀을 표현하는 방식이다. 이러한 원리를 Z map에 그대로 적용하면, 최종 형상이나 가공 중의 Boolean operation에 있어서 훨씬 향상된 결과를 얻을 수 있다.

3. NC 코드를 이용한 시뮬레이션 및 결과

일반 NC 코드로부터 공구 이송경로를 추출하여 공구의 형상과 피삭재의 형태에 따라 절삭가공을 시뮬레이션하기 위해 Fortran 을 이용하여 simulation program 을 제작하였다. 직교 운동이 대부분을 차지하는 NC 코드의 특성상 공구이송방향에 대하여 경사진 형태로 검출을 위한 점들을 배치하였으며, 우수한 예측성을 얻을 수 있는 점의 개수를 찾기 위하여 비교분석을 16 개로 선정하였다.

개발된 프로그램의 타당성을 검증하기 위하여 Fig.5 와 같은 수평측벽가공시의 가공량 시뮬레이션을 실시하였다. aliasing 의 특성상 input 과 output 간의 비에 따라 오차의 경향이 크게 달라지므로 공구 이송경로간 거리를 0.1mm 부터 0.1mm 씩 1.1mm 까지 증가시켰다. 이 때, 실제 가공시 공구의 이송경로와 피삭재의 형상은 3 차원 곡면을 이루게 되므로 매우 복잡해지는데, 직선이송시에는 하나의 이송길이가 너무 길어서 순간적인 변화를 반영하기가 어렵고 곡선이송시에는 반대로 이송길이가 너무 짧아서 계산된 결과치의 신뢰성이 너무 떨어지는 문제가 존재한다. 이 때문에 공구의 이송을 Fig.5 의

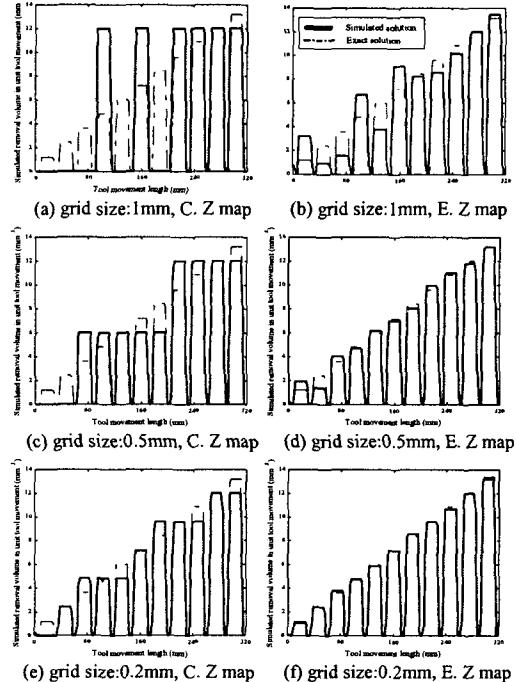


Fig. 6 Simulated material removal volume rate in according to unit length of tool movement with conventional Z map and enhanced Z map model

공구경로에 나타난 점과 같이 일정한 단위길이에 대하여 계산해준다.

시뮬레이션 결과를 살펴보면 grid size 의 크기에 따라 기존의 Z map model 을 이용한 결과와 개선된 Z map model 을 이용한 결과 사이에 큰 차이가 존재하는 것을 알 수 있다. Fig.6 에서 점선은 해석적 방법으로 구한 정확한 가공예측 결과이다. grid size 가 0.5mm 에서 1.0mm 로 상대적으로 큰 경우 기존의 방법으로 얻은 예측 결과는 Fig.6(a,c)오차가 매우 크고 grid size 에 의하여 크기가 결정되는 뚜렷한 계단형을 보인다는 특징이 있다. 또한 pick feed 가 작은 초기의 가공에서는 전혀 가공을 검출하지 못하였다. 이에 반하여 개선된 Z map 모델을 이용한 예측 결과는 Fig.6(b,d)와 같이 가공량이 작을 경우 오차가 상당히 크긴 하지만, 전체적으로 훨씬 나은 정확도를 얻고 있다.

grid size 가 0.2mm 로 매우 작은 경우에도 기존의 방법으로는 Fig.6(e)와 같이 pick feed 가 0.1mm 인 경우에 대하여 가공을 검출하지 못하였으나, 개선된 방법을 이용하면 Fig.6(f)와 같이 매우 정확한 근사해를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 기존의 방법을 이용한 경우에는 가공을 검출하지 못하는 오류가 생기기 쉬우며, 시뮬레이션 결과로는

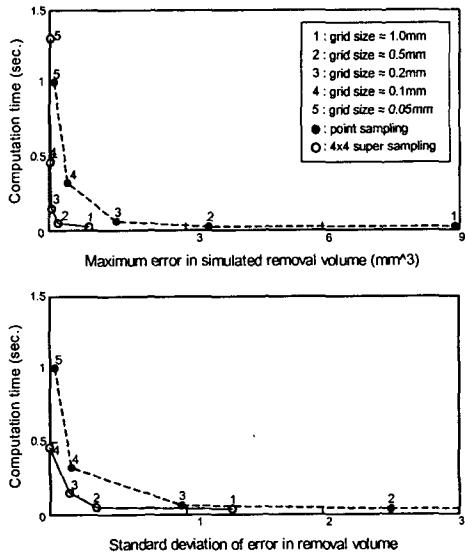


Fig. 7 Relations between computation time and standard deviation of error and maximum error between conventional Z map model and enhanced Z map model

가공이 이루어지지 않는다는 잘못된 판단을 유도할 수 있으므로 절삭조건의 최적화에 사용하기 위해서는 반드시 해결해야 한다.

grid size에 따른 계산성능은 개선된 모델에서 월등하게 우수한 것으로 나타났으나 계산시간과 정확도와의 관계를 알아보기 위하여 Fig.7과 같은 도표를 이용한다. 기존의 방법을 이용한 실험결과는 검은 점으로 나타냈으며, 개선된 방법은 흰 점으로 나타내었다. 각 점 위의 숫자는 grid size를 나타낸다. Fig.5와 같은 형태의 가공을 수행하기 위한 NC 코드를 시뮬레이션 하기 위하여 1초 이내의 짧은 시간이 소요된 것을 알 수 있다.

Fig.7(a)는 시뮬레이션에 소요된 계산시간과 최대오차와의 관계를 각각의 grid size에 따라 나타낸 그림이다. 그래프의 아래쪽으로 위치할수록 계산시간이 짧고 왼쪽에 있을수록 최대오차가 작으므로 x-y축에 가까울수록 보다 바람직한 결과라 말할 수 있다. 따라서 개선된 Z map을 이용한 결과가 전반적인 계산효율면에서 우수하다고 말할 수 있으며 기존의 방법에 비하여 5~10배 이상 향상된 결과를 얻을 수 있다.

최대오차가 계산의 정확성을 대표한다고 볼 수 있다면, 오차의 표준편차값은 예측의 신뢰성과 안정성을 나타내어 준다. Fig.7(b)에 나타난 바와 같이 개선된 Z map을 이용하는 경우가 기존의 방법에 비하여 안정성 또한 2~3배 가량 향상된 것으로 나타났다.

4. 결론

이상의 연구를 통하여 가공공정의 효율적인 시뮬레이션을 위하여 개선된 Z map을 이용한 절삭공정 시뮬레이션 프로그램을 제작하였다. 알고리즘의 개선을 위해서는 컴퓨터 그래픽에서 널리 사용되는 antialiasing 기법의 하나인 supersampling을 이용하였다.

개발된 프로그램은 기존의 방법에 비하여 정밀도는 5~10배, 안정성은 2~3배 가량 개선되었으며, Z map의 최대 장점인 단순한 데이터 구조를 그대로 유지하고 있다. 따라서, 개발된 알고리즘은 기존의 Z map을 이용한 연구나 상용 프로그램의 구조에 아무런 변화 없이 추가 적용할 수 있으므로, 간단하고 저렴하게 효율을 큰 폭으로 증대시킬 수 있다.

참고문헌

1. R. O. Anderson, "Detecting and eliminating collisions in NC machining", Computer Aided Design, Vol. 10/2, pp. 231-237, 1978
2. Zeki Yazar, Karl Friedrich Koch, Tom Merrick, Taylan Altan, "Feed rate optimization based on cutting force calculations in 3-axis milling of dies and molds with sculptured surfaces", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 34/3, pp. 365-377, 1994
3. Byoung K. Choi, Dae H. Kim, Robert B. Jerard, "C-space approach to toolpath generation for die and mold machining", Computer Aided Design, Vol. 29/9, pp. 657-669, 1997
4. W. P. Wang, K. K. Wang, "Geometric modeling for swept volume of moving solids", IEEE CG&A, Vol 6, pp. 8-17, 1986
5. A. D. Spence, Y. Altintas, "A solid modeler based milling process simulation and planning system", Trans. of ASME : J. of Engineering for Industry, Vol. 116, pp. 61-69, 1994
6. F. C. Crow, "The aliasing problem in computer generated shaded images", Comm. ACM, Vol. 20/11, pp. 799-805, 1977
7. R. L. Cook, "Stochastic sampling in computer graphics", ACM Trans. on Graphics, Vol. 5/1, pp. 51-72, 1986
8. Anthony C. Barkans, "Hardware assisted polygon antialiasing", IEEE CG & A, Jan., pp.80-88, 1991