

쾌속조형을 위한 효과적인 경사절단 알고리즘 개발

공 용해, *엄 태준, *주 영철, 안 덕상
순천향대학교 정보기술공학부, *순천향대학교 기계공학과
전화 : 041-530-1346 / 핸드폰 : 017 - 410- 3466

A Tangential Cutting Algorithm for Rapid Prototyping

Yong Hae Kong, *Tae Jun Eom, *Yung Cheol Joo, Dug Sang Arn
Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University,
*Department of Mechanical Engineering, Soonchunhyang University
E-mail : ads29@dreamwiz.com

Abstract

Rapid Prototyping(RP) systems, that fabricate objects with slicers, typically bear staircase artifacts when slices has a certain degree of thickness. A tangential cutting algorithm is developed in order to remove surface distortion as well as to generate smooth laser-cutting trajectory. For this, an energy function is defined with tangential line length and distance between tangential line and middle contour. Then, the energy is minimized to generate effective tangential line segments. The proposed algorithm is tested and verified on 3D object samples and the results show that the generated tangential lines effectively approximate layer surface and make laser trajectory smooth.

I. 서론

RP 시스템은 3D모델을 표준 STL 파일로 변환한 후,

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(20000199호) 지원으로 수행되었음.

각 층을 가공하여 층단위로 적층된 가공체를 후처리하여 3D 물체를 완성한다[1, 2, 3]. 3D 모델을 2차원 수직절단 가공하여 차례로 적층해 가는 성형방식을 층단위 성형방식이라 하는데, 층단위 성형방식에 의해 가공된 물체의 표면은 계단형 윤곽을 가진다. 이러한 문제는 슬라이스(slice) 층의 두께를 얇게 하여 완화할 수 있으나 많은 시간과 비용을 요구한다.

본 연구는 수직절단이 가지는 단점을 보완하고자 경사절단 방법으로 각 층을 가공하도록 함으로써 계단형 윤곽 등의 표면 왜곡 문제를 해결하고자 하였다. 또한 이 방법은 레이어의 두께를 보다 두껍게 할 수 있으므로 가공시간을 크게 단축시킬 수 있다. 수직절단 방법은 단면의 외곽선 정보만을 요구하지만, 경사절단 방법은 인접한 두 개의 단면의 외곽선 정보뿐만 아니라 위·아래 단면의 외곽을 연결한 레이어의 표면정보를 필요로 한다. 또한 레이어를 경사절단 하기 위해서는 역학적으로 움직이는 레이저빔의 특성을 고려하여 레이어의 표면을 재구성해야한다. 레이저빔의 적절한 움직임을 고려하면서 레이어의 외곽 표면을 묘사하기 위해 본 연구는 위·아래 단면의 외곽을 연결하는 경사절단 선분을 사용하였다. 레이저의 궤적을 경사절단 선분들의 집합으로 구성하게 되면 레이어의 표면을 근사함과 동시에 레이저빔의 움직임을 부드럽게 유지할 수 있게 된다.

본 연구는 레이저의 운동특성과 레이어 표면의 근사화를 고려한 경사절단 선분집합을 최적화하기 위해 에너지 함수를 정의하였다. 에너지 함수는 경사절단 선

분의 길이와 경사절단 선분과 중간 단면의 점의 거리로 정의되고, 이를 최소화함으로써 최적화 된 경사절단 선분집합을 구하고자 하였다. 본 논문은 2장에서 단면 구현에 의한 레이어 구성을, 3장에서 경사절단 선분 추출 방법을 설명하였다. 4장에서 구현 및 실험 결과를 보였으며, 5장에 결론을 기술하였다.

II. 단면에 의한 레이어 생성

단면은 물체와의 교차평면이다. 반면 레이어는 일정한 높이를 가진 2개의 슬라이싱 평면과 물체의 교차에 의해 만든다. 교차점을 찾기 위해 우선 슬라이싱 평면과 패킷의 어떤 선분이 교차하는가를 알아야 한다. 평면방정식 $f(x, y, z)$ 와 점 $P(x, y, z)$ 는,

- (1) 점 P가 평면상에 존재하면 $f(P) = 0$ 이고,
- (2) 점 P가 평면보다 위쪽에 존재하면 $f(P) > 0$ 이고,
- (3) 점 P가 평면보다 아래쪽에 존재하면 $f(P) < 0$ 인 관계

를 가진다. 따라서 패킷(facet)의 선분의 양 끝 값을 평면의 방정식에 대입하여 얻은 두 값을 곱한 결과가 음수이면 이 선분은 평면과 교차함을 알 수 있다.

이렇게 교차 선분을 선택한 후, 그 교차선분에서 이진 탐색을 수행하여 교차점을 구한다. 레이어는 인접한 두 개의 단면으로 구성된다. 단면은 주어진 높이에서의 3D 형상의 교차평면이고 레이어는 위·아래 단면으로 이루어진다. 그림 1은 인접한 단면으로부터 레이어가 생성되는 것을 보여준다. 이때 레이어의 두께는 사용되는 성형재료의 두께에 따라 결정된다.

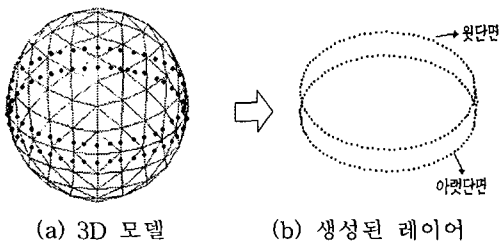


그림 1. 인접한 단면에 의한 레이어 생성

III. 경사절단 선분추출 방법

레이어로부터 3D 모델의 표면을 복원하는 대부분의 알고리즘은 레이어를 삼각 패킷 형태로 묘사한다[4]. 두께를 가지는 층 단위로 성형하는 RP 시스템의 레이

저범은 패킷 형태의 레이어 표면을 따라 움직이기에는 많은 부하가 인가되어 부적절할 뿐만 아니라 성형된 표면 형태가 타일타일이 된다.

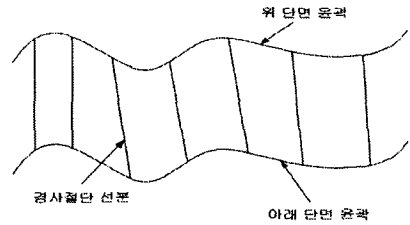


그림 2. 경사절단 선분

하나의 경사절단 선분은 그림 2에서 보이듯이 위·아래 단면윤곽을 연결한다. 이러한 경사절단 선분은 마치 기차 레일의 침목처럼 위·아래 단면윤곽을 따라가며 레이어를 묘사함으로써 레이저빔의 궤적을 실현가능하도록 부드럽게 한다.

경사절단 선분추출 알고리즘은 에너지 함수를 이용하여 전개할 수 있다. 이를 위해 위·아래 단면 윤곽들간의 점들을 우선 일대일 대응시키고, 위에서 정의된 에너지 함수를 최소화시킬 수 있도록 대응되는 점들을 재배치하여야 한다. 레이어 표면에 보다 충실한 근사하기 위해 추가적인 슬라이싱에 의해 3D 형상으로부터 중간 단면을 추출한다. 그림 3에서와 같이 경사절단 선분의 길이는 레이어 표면의 부드러운 정도에 영향을 주고, 경사절단 선분과 중간 단면의 점과의 거리는 레이어 표면의 근사화 정도에 영향을 주게 된다.

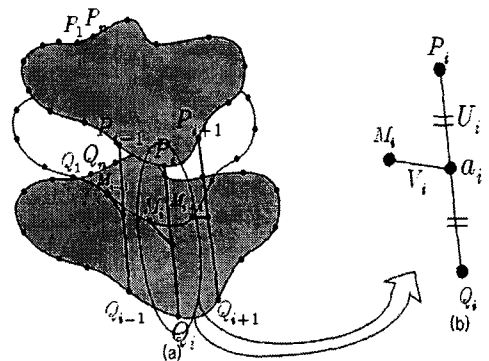


그림 3. 레이어와 경사절단 선분

따라서, 에너지 함수는 경사절단 선분의 길이와 경사절단 선분과 중간 단면의 점과의 거리로 정의하고, 경사절단 선분의 길이 최소화 에 의해 레이저빔의 움직

임을 매끄럽게 해주고, 중간 단면의 점과의 거리 최소화
화에 의해 레이어의 표면을 최대한 근사화하고자 한
다. 그림 3에 사용된 기호들은

- P_i : 윗단면 윤곽의 i 번째 좌표(x_{P_i}, y_{P_i})의 점,
- Q_i : 아랫단면 윤곽의 i 번째 좌표(x_{Q_i}, y_{Q_i})의 점,
- M_i : 중간 단면 윤곽의 i 번째 좌표(x_{M_i}, y_{M_i})의 점,
- \overline{U}_i : P_i 와 Q_i 를 연결하는 경사선분,
- \overline{V}_i : 경사절단 선분의 중간점과 M_i 거리

이다.

i 번째 경사절단 선분의 에너지는

$$E_i(P_i, Q_i) = \frac{1}{2} (K_V V_i^2 + K_U U_i^2) \quad (1)$$

로 표시된다. 여기서

$$V_i = \sqrt{(x_{M_i} - \frac{x_{P_i} + x_{Q_i}}{2})^2 + (y_{M_i} - \frac{y_{P_i} + y_{Q_i}}{2})^2} \quad (2)$$

는 U_i 의 중간점과 중간단면의 점과의 거리이다. 그리고,

$$U_i = \sqrt{(x_{P_i} - x_{Q_i})^2 + (y_{P_i} - y_{Q_i})^2} \quad (3)$$

는 위·아래 단면을 연결하는 경사절단 선분의 거리이다. 상수 K_V 와 K_U 은 에너지 함수 함수의 수렴율을 결정하기 위한 가중치이다. 식 (2)와 (3)을 식(1)에 대입하면, 에너지 E_i 는

$$E_i(P_i, Q_i) = \frac{1}{2} K_V \left[\sqrt{(x_{M_i} - \frac{x_{P_i} + x_{Q_i}}{2})^2 + (y_{M_i} - \frac{y_{P_i} + y_{Q_i}}{2})^2} \right]^2 + \frac{1}{2} K_U \left[\sqrt{(x_{P_i} - x_{Q_i})^2 + (y_{P_i} - y_{Q_i})^2} \right]^2 \quad (4)$$

가 되고, 총 에너지 함수 E 는

$$E = \sum_{i=1}^n E_i(P_i, Q_i) \quad \text{for } i=0, \dots, n \quad (5)$$

이다.

총 에너지 함수 E 가 최소화된다는 것은 모든 경사절단 선분이 최대한 짧아지고, 중간 단면에 근접하게 됨을 의미한다. 에너지 E 의 최소화는 급강하법(gradient descent method)에 의해 추구되는데, 점 Q_i 에 대한 E_i 의 편미분 함수

$$\frac{\partial E_i}{\partial Q_i} \approx \frac{\Delta E_i}{\Delta Q_i} = \left[\frac{E_i(P_i, Q_i + \Delta Q_i) - E_i(P_i, Q_i)}{\Delta Q_i} \right] \quad (6)$$

는 점 Q_i 의 작은 변화 ΔQ 에 의한 근사식으로 표현된다.

본 연구에서는 위·아래 단면의 점들을 등 간격으로 윤곽선을 따라 초기화시킨 후, 아랫단면의 점들만을 급강하법에 의해 윤곽을 따라 이동시킴으로써 최적 경사절단 선분 집합을 구하고자 하였다. 그림4 에서 보는 것처럼 i 번째의 경사절단 선분의 최적을 위해서, 원래의 위치 Q_i 와 인접한 두 점 $Q_i + \Delta Q$ 와 $Q_i - \Delta Q$ 를 구한다. Q_i 와 $Q_i + \Delta Q$ 의 에너지를 식(6)을 이용하여 구한다. 다른 점에 대해서도 동일한 방법으로 에너지 차이를 구한다. 구한 두 에너지 차이를 비교하여 점 Q_i 를 에너지가 보다 크게 줄일 수 있는 방향으로 ΔQ 만큼 이동시킨다. 이 과정을 n 개의 점에 대해 각각 반복적으로 적용된다.

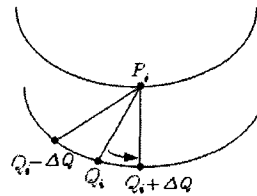


그림 4. 점 Q_i 의 이동

에너지 함수의 급강하법을 이용한 경사절단 선분을 최적화 알고리즘을 표1에 보였다. 그림 5(a)에 레이어에서의 경사절단 선분의 초기상태를 보였다. 그림 5(b)는 표1의 최적화 알고리즘의 적용된 결과로서 경사절단 선분들이 3D 모델의 레이어 표면이 적절히 근사됨과 동시에 레이저빔의 부드러운 동작이 가능하게 함을 보인다.

표 1. 경사절단 선분 추출 알고리즘

1. 위, 아래, 중간 단면 윤곽을 일정한 간격으로 n 개의 점을 선택한다. 이때 윗단면, 중간단면 점들은 고정하고, 아랫 단면의 점들은 위치가 변화된다.
2. i 번째 경사절단 선분에 대해서 점 Q_i 와 두 범위 $Q_i + \Delta Q, Q_i - \Delta Q$ 에 대해 식(6)을 이용하여 에너지 값을 구한다.
3. 에너지 변화가 최소화된 방향으로 점 Q_i 를 ΔQ 만큼 이동한다.
4. 단계 2와 3을 모든 n 개의 점에 대해 적용한다.
5. 에너지의 변화가 임계값 이하가 될 때까지 단계 2, 3, 4를 반복한다.

IV. 구현 및 실험 결과

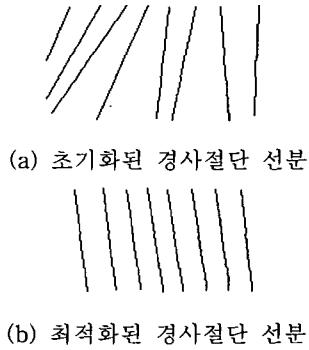


그림 5. 경사절단 선분의 최적화

그림 6(a)는 구형상의 일부분인 한 레이어의 초기 경사절단 선분들을, 그림 6(b)는 최적화 후의 최종 경사절단 선분들을 보여준다. 그림 6(a)의 초기상태 보다 그림 6(b)의 최종상태가 더욱 규칙적인 경사절단 선분 패턴을 보여줌으로써 3D 모델의 레이어를 적절히 근사하면서 레이저빔의 운동에 적합한 궤적을 만들어내었다. 그림 7은 그림 6의 레이어에 대한 경사절단 선분 최적화 과정에서 에너지가 지속적으로 감소하는 과정을 보인다. 여기서 한번의 스위프(sweep)은 모든 경사절단 선분에 대해 30회의 위치 조정함을 의미한다.



그림 6. 구의 레이어에 대한 경사절단 최적화 결과

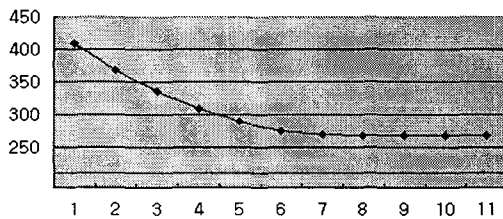


그림 7. 급강하법에 의한 총 에너지 변화

V. 결론

본 연구는 3D 물체를 층단위로 가공하는 RP 시스템의 계단형 요철 문제점을 해결하기 위해 레이어의 표면을 최대한 근사화하고, 레이저빔의 운동성에 적합하도록 하기 위하여 레이어의 절단면을 경사지도록 구성하는 경사절단 선분집합을 구하는 알고리즘을 제안하였다. 3D모델의 표면을 근사하는 경사절단 선분을 최적화하기 위해 경사절단 선분의 길이와 경사절단 선분과 중간 단면의 점들의 거리로써 에너지 함수를 정의하고 급강하법에 의해 이를 최적화 하였다.

제안된 알고리즘을 3D모델 샘플로 테스트한 실험 결과, 구해진 경사 선분이 레이어의 표면을 효과적으로 근사화하고, 레이저빔의 절단 궤적을 부드럽게 구성하여 동역학으로 적합하도록 하였다. 본 연구는 어닐링(annealing)등의 기법을 사용해 복잡한 3D 모델의 근사화 및 궤적 최적화에 보다 효과적으로 경사절단 선분집합을 구하는 방법들을 연구 중에 있다.

참고문헌

[1] 조인행, 허정훈, 이동훈, 강희석, "rapidWorks98 - Development of CAD System for Rapid Prototyping", 한국 CAD/CAM학회, '98 학술발표회 논문집, pp. 183-188, 1998.

[2] 조인행, 송용익, 노경환, 이진우, "Development of sheet Deposition Rapid Prototyping System", 한국 정밀공학회, '98 춘계학술대회논문집, pp. 921-926, 1998.

[3] 최 광일, 이 관행, "등고선 간격과 수직 방향 특징 선을 이용한 RP파트의 Adaptive 단면화 방법", '98한국 CAD/CAD학회 학술발표회 논문집 pp. 429-435, 1998.

[4] Christiansen, H. N. And T. W. Sederberg, "Conversion of Complex Contour Line Definitions into Polygonal Element Mosaics," Computer Graphics, 13, pp. 187-192, 1978.

[5] National Institut of Technology of Standards and Technology, Department of Commerce the Initial Graphics Exchange specitour Lines," IBM J. Res. Dev. 19, pp. 2-11, 1975.

[7] Wang, Y. F. And J. K. Aggarwal, "Surface Reconstruction and Representatiofication(IGES) Version 5.1, 1991.

[6] Keppel, E, "Approximating Complex Surfaces by Triangulation of Conn of 3-D Scenes," Pattern Recognition, Vol. 19, No. 3, pp. 197-207, 1986.