

시뮬레이티드 어니얼링을 이용한 경사선분 추출 알고리즘의 개발

천 인국^{*}, 김 승우^{*}, 방 재철^{**}, 이 효진^{*}

*순천향대학교 정보기술공학부, **순천향대학교 신소재화학공학부

A Tangential Cutting Algorithm using Simulated Annealing

In Kook Chun^{*}, Seung Woo Kim^{*}, Jae Cheol Bang^{**}, Hyo Jin Lee^{*}

*Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

E-mail : chunik@sch.ac.kr, seungwo@sch.ac.kr, bear1526@hanmail.net

**Devision of Material Engineering, Soonchunhyang University

E-mail : bangjc@asan.sch.ac.kr

요약

충 단위로 가공하는 RP(Rapid Prototype) 시스템에서 가공되는 물체의 표면에서는 계단형의 윤곽이 나타난다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 경사절단 방법으로 3D 모델을 가공하여 기존의 가공방법에 의해 발생하는 계단형 윤곽 모습과 표면 왜곡 등의 문제를 보완할 수 있다. 최적의 경사선분의 집합을 구하기 위해 경사절단 선분의 길이와 중간층 점의 거리를 정의하여 이를 최소화하는 에너지 함수를 구현한다. 그러나 이 방법은 경사절단 선분이 에너지가 작아지는 방향으로만 움직이기 때문에 레이어의 윤곽이 복잡한 경우 최적의 위치가 아닌 다른 위치에서 더 이상 움직이지 않는 국부적 최적해(Local Minima)가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 국부적 최적해를 벗어나기 위해 경사절단 선분 추출 알고리즘에 시뮬레이티드 어니얼링(Simulated Annealing) 방법을 적용하였다. 제안된 방법으로 테스트한 결과 복잡한 레이어 윤곽에서 생길 수 있는 국부적 최적해가 어느 정도 해결되었다.

1. 서론

RP(Rapid Prototyping)는 컴퓨터에 저장된 3차원 형상모델의 기하학적 자료로부터 그 물리적인 모형 형상을 신속하게 조형해 내는 것이다.

제조업분야에서는 RP 시스템을 시제품의 개발 기간을 단축하고, 제품 개발 초기 단계에서 설계상의 오류나 부적합한 요인을 조기에 발견하기 위해 사용한다 [1][2]. 대부분의 RP 시스템은 STL(Stereolithography)이라는 설계정보 교환 표준 모델을 사용한다. STL은 설계된 제품형상의 기하학적인 정보를 평면삼각형(패싯)들의 근사화된 집합으로 표현한 것이다. RP 시스템

은 3차원 CAD상의 모델을 STL파일로 변환한 후 3D 모델을 2차원 가공하여 충 단위로 차례로 쌓아나간다. 마지막으로 충 단위로 소결, 표면처리 하는 후처리에 의해 3D 물체가 완성된다[3]. 이러한 성형방식을 충 단위 성형방식이라고 한다.

충 단위 성형방식에 의해 가공된 물체의 표면에는 계단형 윤곽 모습을 볼 수 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 경사절단 방법으로 3D 모델을 가공하여 기존의 가공 방법에 의해 발생하는 계단형 윤곽 모습과 표면 왜곡 등의 문제를 보완할 수 있다. 또한 이 방법은 레이어의 두께를 두껍게 하여 가공 시간을 단축시킬 수 있다. 절단궤적이 2D 단면의 외곽을 따르는 일반적인 RP 시스템과 달리, 레이어를 경사절단하기 위해서는 역학적으로 레이저 빔이 움직일 수 있는 궤적이 요구된다. 레이저의 궤적은 레이어의 윤곽

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(20000199호) 지원으로 수행되었음.

표면으로 정의된다. 레이저빔의 적절한 움직임을 고려하면서 최적의 레이어의 외곽 표면을 묘사하기 위해 경사절단 선분을 이용하였다. 최적의 경사절단 선분의 집합을 구하기 위해 경사절단 선분의 길이와 중간층 점의 거리를 정의하여 이를 최소화하는 에너지 함수를 구현한다. 구현된 알고리즘은 위단면의 경사점을 고정하고 아랫단면의 경사점을 이동하여 에너지 값이 최소인 경사점을 찾는다. 그러나 경사절단선분이 에너지가 작아지는 방향으로만 움직이기 때문에 레이어의 윤곽이 복잡한 경우 최적의 위치가 아닌 다른 위치에서 더 이상 움직이지 않는 경우가 발생하게 된다. 이 부분을 국부적 최적해(Local Minima)라고 부른다.

본 연구에서는 이러한 국부적 최적해를 벗어나기 위해 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing)을 경사선분 추출 알고리즘에 적용하였다.

2장에서는 단면 구현에 의한 레이어의 구성에 대해 설명하였고, 3장에서는 경사절단 선분의 추출을 설명하였다. 4장에서는 시플레이티드 어니얼링을 이용한 국부적 최적해 해결에 대해 설명하였고 5장에서 구현 및 실험 결과를 보였다. 마지막으로 6장에서는 결론을 기술하였다.

2. 단면 구현에 의한 레이어 구성

단면은 물체와의 교차평면이다. 반면 레이어는 일정한 높이를 가진 2개의 슬라이싱 평면과 물체의 교차에 의해 만든다. 교차평면은 입력된 STL 파일로부터 슬라이싱 평면과 교차되는 패싯(Facet) 선분의 교차점의 집합이다.

레이어는 인접한 2개의 단면으로 구성된다. 단면은 주어진 높이에서의 3D 형상의 교차 평면이고 레이어는 위·아래 단면으로 이루어진다. 그럼 1은 인접한 단면으로부터 레이어가 생성되는 것을 보여준다. 이때 레이어의 두께는 사용되는 성형 재료의 두께에 따라 결정된다.

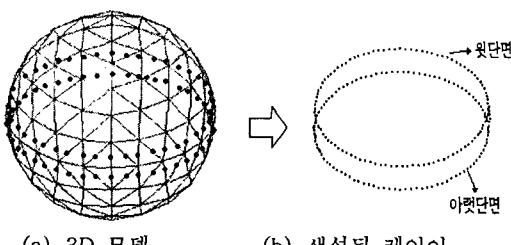


그림 1. 위정화 단체에 의한 헤이어 쟈켓

3. 경사절단 선분 추출

하나의 경사절단 선분은 그림 2에서 보이듯이 위·아래 단면윤곽을 연결한다. 이러한 경사절단 선분은 마치 기차 레일의 침목처럼 위·아래 단면윤곽을 따라 가며 레이어를 묘사함으로서 레이저 힘의 궤적을 실현 가능하도록 부드럽게 연결되도록 최적화되어야 한다.

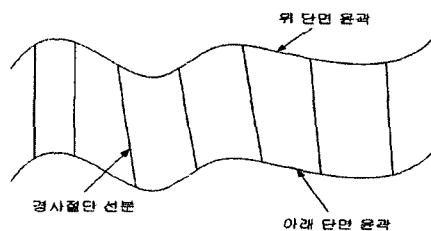


그림 2. 경사절단 선분

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

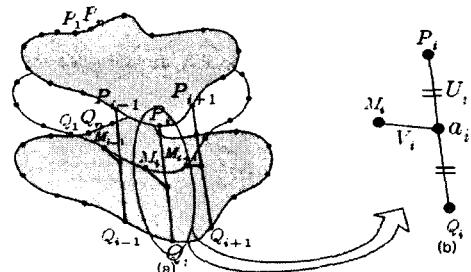


그림 3. 레이어와 경사절단 션부

따라서, 에너지 함수는 경사절단 선분의 길이와 경사절단 선분과 중간 단면의 점과의 거리로 정의 하고, 경사절단 선분의 길이 최소화에 의해 레이저 빔의 움직임을 매끄럽게 해주고, 중간 단면의 점과의 거리 최소화에 의해 레이어의 표면을 최대한 균사화 하고자 한다.

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 : 중간단면 윤곽의 i 번째 좌표(x_{M_i}, y_{M_i})의 점,
 U : P_i 와 Q_i 를 연결한 경사선분,
 V : 경사절단 선분의 중간점과 M_i 의 거리

이다. i 번째 경사절단 선분의 에너지는

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

로 표시된다. 상수 K_V 와 K_U 은 에너지 함수 함수의 수렴률을 결정하기 위한 가중치이다.

총에너지 함수 E 는

$$E = \sum_{i=1}^n E_i(P_i, Q_i) \quad \text{for } i=0, \dots, n \quad (2)$$

이다.

총에너지 함수 E 가 최소화 된다는 것은 모든 경사절단 선분이 최대한 짧아지고, 중간 단면에 근접하게 될을 의미한다. 에너지 E 의 최소화는 급강하법(gradient descent method)에 의해 복구되는데, 점 Q_i 에 대한 E 의 편미분

$$\frac{\partial E_i}{\partial Q_i} \approx \frac{\Delta E_i}{\Delta Q_i} = \left[\frac{E_i(P_i, Q_i + \Delta Q) - E_i(P_i, Q_i)}{\Delta Q_i} \right] \quad (3)$$

은 점 Q_i 의 작은 변화 ΔQ 에 의한 근사식으로 표현된다. 위·아래 단면의 점들을 등 간격으로 윤곽선을 따라 고정시키고, 아래 단면의 점들은 윤곽을 따라 이동된다.

그림4에서 보는 것처럼 i 번째의 경사절단 선분의 최적을 위해서, 원래의 위치 Q_i 와 인접한 두 점 $Q_i + \Delta Q$, $Q_i - \Delta Q$ 를 구한다. Q_i 와 $Q_i + \Delta Q$ 의 에너지 차이를 식(3)을 이용하여 구한다. 다른 점에 대해서도 동일한 방법으로 에너지 차이를 구한다. 구한 두 에너지 차이를 비교하여 점 Q_i 를 에너지가 최소인 방향으로 ΔQ 만큼 이동 시킨다. 이 과정을 n 개의 점에 대해 각각 반복적으로 적용된다.

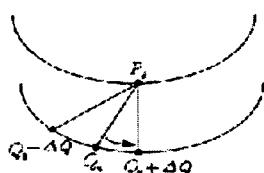
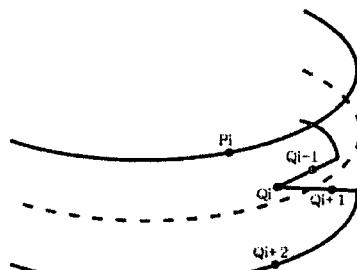


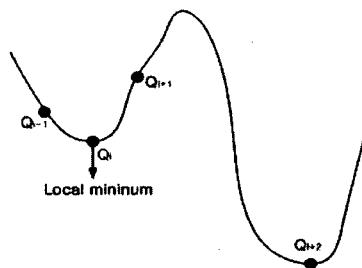
그림 4. 점 Q_i 의 이동

4. 국부적 최적해 해결을 위한 시뮬레이터드 어니얼링의 적용

앞에서 구현된 에너지 함수에서는 그림 5(a)와 같이 복잡한 형태의 레이어 윤곽에서 문제점이 발생한다.



(a)Local Minima가 발생할 수 있는 레이어



(b)각 점에 대한 에너지량

그림 5. 국부적 최적해

그림 5(b)는 그림 5(a)의 경사점 위치에 따른 경사선분의 에너지 값을 보여준다. 임의의 경사점 Q_{i-1} 가 결정되면 에너지 함수를 이용하여 최적의 경사점을 찾는다. 그림 5(b)에 나타난 최적의 해는 경사점 Q_{i+2} 일 때이다. 앞에서 구현된 경사선분 추출 알고리즘은 경사선분의 에너지 값이 작아지는 방향으로만 이동되기 때문에 문제가 발생하게 된다. 경사점 Q_i 에서 식(3)을 적용하게 되면 $Q_i + \Delta Q$ 와 $Q_i - \Delta Q$ 에서 모두 에너지 값이 증가하게 되므로 이 위치를 최적해라고 추측하여 더 이상 이동하지 않는다. 이러한 위치를 국부적 최적해라고 한다.

우리는 이러한 국부적 최적해를 해결하기 위해 시뮬레이터드 어니얼링을 이용하였다. 시뮬레이터드 어니얼링은 국부적 최적해에 빠질 가능성을 줄이기 위

해서 최적이 아닌 해의 수락도 어느 정도의 확률로 수용하는 방법이다[4]. 그럼 6은 본 논문에서 사용한 시뮬레이티드 어니얼링 알고리즘을 보여주고 있다. 먼저, 시뮬레이티드 어니얼링 과정을 제어하는 변수인 온도(temperature)를 초기화 시켜준다. 임의의 경사점으로 경사선분의 에너지를 구하고, ΔQ 만큼 경사점을 이동시키고 경사선분의 에너지를 구하여 비교한다. 이동시킨 경사점의 에너지가 원래의 에너지보다 작을 경우, ΔQ 만큼 이동시키고, 그렇지 않을 경우는 주어진 확률에 의해 ΔQ 만큼 이동시킨다. 수용 확률 m 은

$$m = e^{\frac{-\Delta E}{T}} \quad (4)$$

이다.

여기서 T 는 온도이고, ΔE 는 Q_i 와 $Q_i + \Delta Q$ 의 에너지 값의 차이이다. m 값의 범위는 [0..1]사이이다. 온도가 높을수록 m 이 1에 가까워지며 에너지가 높은 위치로 이동할 확률이 높아지게 된다. 그리고 온도감소 상수를 이용하여 온도를 감소시킨다. 온도가 계속 감소되다가 일정 수준 이하가 되면 에너지가 높은 위치로의 이동 확률이 낮아지게 되며 시뮬레이티드 어니얼링을 종료한다. 이 방법을 n 개의 점에 대해서 반복한다.

온도감소 상수는 적절한 범위(0.95~0.999) 내에서 정해주는 것이 좋다. 온도감소 상수가 너무 작게 되면 시뮬레이티드 어니얼링이 너무 빨리 끝나 해가 좋질 못하고, 너무 크면 들인 시간에 비해 효율이 좋지 않다.

1. 온도(T)를 초기화 한다.
2. 점 Q_i 에서 확률로 ΔQ 나 $-\Delta Q$ 로 이동할지 결정한다. 그리고 점 Q_i 와 이동한 점과의 에너지 차이를 구한다.
3. 에너지를 비교하여 에너지가 감소하면 점 Q_i 의 위치를 ΔQ 만큼 이동시킨다.
4. 그렇지 않을 경우, 수용 확률 $m = e^{\frac{-\Delta E}{T}}$ 를 이용하여 랜덤 값보다 클 경우 ΔQ 만큼 이동하고 그렇지 않을 경우 원래의 위치로 돌아온다.
5. 2~4번의 단계를 정해진 순서만큼 반복한다.
6. 2~5의 단계를 n 개의 점에 대해 각각 적용한다.

그림 6. 시뮬레이티드 어니얼링 알고리즘

5. 실험 및 결과

본 실험에서는 국부적 최적해 해결을 위한 시뮬레이티드 어니얼링의 적용을 위하여 윤곽이 복잡한 레이어를 생성하였다.

그림 7(a)는 최적화 알고리즘을 이용하여 최적화 한 단면을 보여준다. 그림에서는 국부적 최소해가 발생하였다. 그림 7(b)는 이를 해결하기 위해 시뮬레이티드 어니얼링을 적용한 레이어의 단면이다.



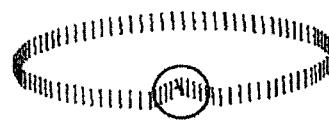
(a) 시뮬레이티드 어니얼링을 적용하지 않은 경사절단 선분



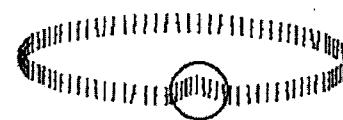
(b) 시뮬레이티드 어니얼링을 적용한 경사절단 선분

그림 7.3D Model에 대한 실험 결과

그림 8(a)는 에너지 함수를 적용한 3D model의 일부분인 한 레이어의 경사절단 선분을, 그림 8(b)는 시뮬레이티드 어니얼링을 적용한 한 레이어의 경사절단 선분을 보여주고 있다.



(a) 시뮬레이티드 어니얼링을 적용하지 않은 레이어



(b) 시뮬레이티드 어니얼링 적용한 레이어

그림 8. 3D model에 대한 실험 결과

6. 결론

총 단위로 가공하는 RP(Rapid Prototype) 시스템에서 가공되는 물체의 표면에서는 계단형의 윤곽이 나타난다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 경사절단 방법으로 3D 모델을 가공하여 기존의 가공방법에 의해 발생하는 계단형 윤곽 모습과 표면 왜곡 등의 문제를 보완할 수 있다. 레이저빔의 움직임을 고려하면서 최적의 레이어의 외곽 표면을 묘사하기 위해 경사절단 선분을 이용한다. 최적의 경사선분의 집합을 구하기 위해 경사절단 선분의 길이와 중간층 점의 거리를 정의하여 이를 최소화하는 에너지 함수를 구현한다.

그러나 이 방법은 경사절단 선분이 에너지가 작아지는 방향으로만 움직이기 때문에 레이어의 윤곽이 복잡한 경우 최적의 위치가 아닌 다른 위치에서 더 이상 움직이지 않는 국부적 최적해가 발생하게 된다.

본 연구에서는 국부적 최적해를 벗어나기 위해 경사절단 선분 추출 알고리즘에 시뮬레이티드 어니얼링 방법을 적용하였다.

제안된 방법으로 복잡한 레이어 윤곽에서 생길 수 있는 국부적 최적해가 어느 정도 해결될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 레이어의 윤곽이 매우 복잡한 경우에는 국부적 최적해를 벗어날 확률이 줄어들었다. 앞으로는 시뮬레이티드 어니얼링에 의해 해결되지 않은 복잡한 레이어의 윤곽에서의 국부적 최적해를 벗어날 수 있는 방법에 대해서 연구할 것이다.

【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, 송용억, 노경환, 이건우, "Development of sheet Deposition Rapid Prototyping System", 한국 정밀공학회, '98 춘계학술대회논문집, pp.921_926, 1998.
- [3] 최광일, 이관행, "등고선 간격과 수직 방향 특징 선을 이용한 RP파트의 Adaptive 단면화 방법", '98 한국 CAD/CAM학회 학술발표회 논문집 pp. 429-435, 1998.
- [4] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi, "Optimization by Simulated Annealing," Science, Vol. 220, No. 4598, pp. 671-680, May. 1983.
- [5] Christiansen, H. N. And T. W. Sederberg, "Conversion of Complex Contour Line Definitions into Polygonal Element Mosaics," Computer Graphics, 13, pp 187-192, 1978.
- [6] National Institut of Technology of Standards and Technology, Department of Commerce the Initial Graphics Exchange specification(IGES) Version 5.1, 1991.
- [7] Keppel, E, "Approximating Complex Surfaces by Triangulation of Contour Lines," IBM J. Res. Dev. 19, pp. 2-11, 1975.
- [8] Wang, Y. F. And J. K. Aggarwal, "Surface Reconstruction and Representation of 3-D Scenes," Pattern Recognition, Vol. 19, No. 3, pp 197-207, 1986.