

유전자 알고리즘을 이용한 쾌속조형 경사절단 알고리즘

이효진*, 천인국*, 공용해*, 김승우*, 주영철**, 엄태준**, 방재철***
순천향대학교 *정보기술공학부, **기계공학과, ***신소재 화학공학부
e-mail:bear1526@hanmail.net

A Tangential Cutting Algorithm for Rapid Prototype System using Genetic Algorithm

Hyo-Jin Lee*, In-Cook Chun*, Yong-Hae Kong*, Seungwoo Kim*,
YoungCheol Joo**, Taijoon Um**, JaeCheol Bang***

*Division of Information Technology Engineering, **Department of Mechanical Engineering,
***Division of Material and Chemical Engineering, Soonchunhyang University

요 약

기존 쾌속조형시스템의 단점을 보완하기 위해 본 연구팀에서 개발한 쾌속조형시스템 수직절단에 의해 층별 성형할 경우 가공된 물체의 표면에 계단형 표면과 같은 왜곡현상이 발생한다. 이러한 왜곡 현상을 보완하기 위해 수직절단이 아닌 경사절단하여 계단형 윤곽과 같은 표면 왜곡의 문제점을 보완하고자 한다. 최적의 경사절단선분을 구하기 위해 경사절단선분의 길이와 중간층 점의 거리를 정의하여 이를 최소화하는 에너지 함수를 구현하였다. 에너지를 최소화하기 위한 알고리즘으로 급강하법을 사용하였으나, 이 방법은 에너지가 작아지는 방향으로만 움직이기 때문에 물체의 윤곽이 복잡할 경우 최적이지 아닌 다른 위치에 귀착하는 지역적 최적해가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 지역적 최적해를 벗어나 최적의 경사절단선분을 찾기 위해 유전자 알고리즘을 사용하였다. 유전자 알고리즘을 사용할 경우, 급강하법에서 발생하였던 지역적 최적해 문제가 해결되어 최적의 위치를 찾을 수 있었다.

1. 서론

쾌속조형시스템은 컴퓨터로 만든 3D 형상의 데이터를 물리적인 형상으로 빠르게 조형하는 시스템이다[1]. 대부분의 RP시스템은 폴리머소재의 재료를 사용함으로써 다양한 재료를 사용할 수 없다. 또한 아주 얇은 두께로 재료를 가공하여 제작에 많은 시간이 소요된다[2]. 이러한 단점을 보완하고자 본 연구팀에서 개발한 쾌속조형시스템 기존의 액상이나 분말 형태의 재료 대신 다양한 재료가 사용 가능하고 주어진 3D형상의 데이터를 가지고 임의의 성형 방향에 대해 단면 데이터를 근사적으로 표현한 후, 모형을 주어진 두께로 층별 성형하여 제작하는 시스템이다. 그러나 두께를 가진 층을 수직 절단하여 적층하면 3D형상의 표면에 계단형과 같은 표면 왜곡

이 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 단면의 경계선을 경사절단하게 되면 원 형상에 가깝고 부드러운 표면 제작을 갖는 3D형상을 만들 수 있다.

본 논문에서는 경사면에 맞추어 부드럽게 레이저 제작을 생성할 수 있는 쾌속조형시스템을 개발하기 위해 최적 경사절단선분 추출 알고리즘을 연구하였다. 경사절단선분 추출 알고리즘은 최적의 경사절단선분의 집합을 구하기 위해 위·아래 단면을 연결한 경사절단 선분의 길이와 중간단면과의 길이를 정의하고 에너지 함수를 구현하여 이를 최소화하는 알고리즘이다. 에너지 함수를 최소화하기 위해 급강하법 (gradient descent method)을 적용하였지만, 에너지 함수의 값이 작아지는 방향으로만 이동하기 때문에 3D형상의 표면이 복잡할 경우에 지역적 최적해 (local minima) 문제가 발생한다. 이러한 지역적 최적해 문제를 해결하기 위해 최적 경사절단선분 추출 알고리즘에 유전자 알고리즘을 적용하였다. 유전자

본 연구는 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대 BIT 무선부품연구센터(R12-2002-052-04004-0)의 지원에 의한 것입니다.

알고리즘은 자연의 진화과정을 모방하여 최적해를 탐색하는 알고리즘이다.

본 논문에서는 금강하법과 유전자 알고리즘을 적용하여 최적 경사절단선분 추출 알고리즘을 구현하였으며, 경사절단선분의 추출에 대한 효율성을 알아보기 위해 두 알고리즘을 이용하여 에너지 값을 비교·분석하였다.

2. 경사절단선분 추출 알고리즘

2.1 단면정보에 의한 레이어의 생성

개발된 쾌속조형시스템은 두께를 가지고 있는 재료를 레이저로 경사 절단하여 적층하는 시스템이다. 일반적인 쾌속조형시스템에서는 슬라이스 단면정보만을 이용하지만, 경사 절단을 위해서는 단면 정보뿐만 아니라 표면정보도 필요하다. 표면정보를 표현하기 위해서 슬라이싱으로 구해진 인접한 두개의 단면을 연결하여 레이어를 생성한다. 레이어의 두께는 사용되는 성형 재료의 두께에 따라 결정된다. 그림 1은 인접한 두개의 단면으로부터 레이어가 생성된 모습을 보여주고 있다.

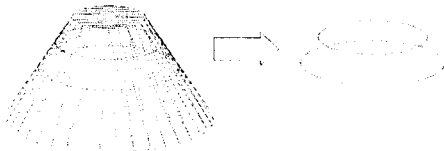


그림 1. 인접한 단면에 의한 레이어 생성

2.2 경사절단선분

레이저의 수직절단에 의한 원형상의 왜곡 현상을 보완하여 표면을 원형상과 근사화하고, 레이저의 움직임을 부드럽게 하기 위해 그림 2와 같이 경사절단선분으로 묘사한다. 하나의 경사절단선분은 위·아래 단면을 연결하며, 연결된 경사절단선분은 기차레일의 침목처럼 단면 윤곽을 따라가며 레이어를 묘사함으로써 레이저의 궤적을 부드럽게 한다.

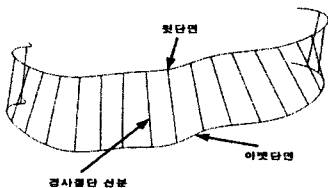


그림 2. 경사절단선분

2.3 에너지 함수

경사절단선분 추출 알고리즘은 에너지 함수를 이용하여 전개한다. 이를 위해 위·아래 단면 윤곽들 간의 점들을 일대일 대응시키고, 레이어의 표면을 보다 원형상과 가까워지도록 추가적인 슬라이싱에 의해 중간단면을 추출한다. 그림 3에서 보이는 경사절단선분의 길이는 레이어의 표면의 부드러운 정도에 영향을 주고 경사절단선분과 중간단면 점과의 거리는 레이어의 표면 근사화 정도에 영향을 준다.

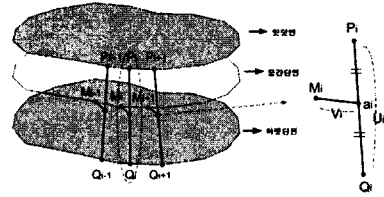


그림 3. 레이어와 경사절단 선분

그림 3에 사용된 기호들은

- P_i : 윗단면 윤곽의 i 번째 좌표(x_{Pi}, y_{Pi})의 점,
- Q_i : 아랫단면 윤곽의 i 번째 좌표(x_{Qi}, y_{Qi})의 점,
- M_i : 중간단면 윤곽의 i 번째 좌표(x_{Mi}, y_{Mi})의 점,
- U : P_i 와 Q_i 를 연결한 경사절단선분,
- V : 경사절단 선분의 중간점과 M_i 의 거리이다.

에너지 함수는 경사절단선분의 길이와 경사절단선분과 중간단면 점과의 거리로 정의한다. i 번째 경사절단선분의 에너지는

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

로 구할 수 있다. 상수 K_v 와 K_U 는 에너지 함수의 수렴률을 결정하기 위한 가중치이다.

총 에너지 함수 E 는

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

이다.

총 에너지 함수 E 가 최소화 된다는 것은 모든 경사절단 선분이 최대한 짧아지고, 중간 단면에 근접하게 됨을 의미한다.

3. 지역적 최적해 해결을 위한 유전자 알고리즘의 적용

3.1 지역적 최적해(local minima)

경사절단선분 추출 알고리즘은 정의된 에너지함수

에 의해 대응되는 점들을 최소화시킬 수 있도록 재배치함으로써 이루어진다. 점들을 재배치하기 위해 에너지 함수에 급강하법을 적용하였다. 급강하법은 현재의 위치에서 ΔQ 나 $-\Delta Q$ 만큼 이동하여 현재의 위치보다 에너지 값이 작아지는 방향으로만 위치를 이동시킨다. 에너지 값을 비교하기 위해서 점 Q_i 에 대한 E_i 의 편미분함수를 구해야 한다. 점 Q_i 에 대한 E_i 의 편미분함수

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

는 점 Q_i 의 작은 변화 ΔQ 에 의한 근사식으로 표현된다. i 번째의 경사절단선분을 추출하기 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 에너지 차이를 식 (3)을 이용하여 구한다. 다른 점에 대해서도 동일한 방법으로 에너지 차이를 구한다. 두 에너지 차이를 비교하여 점 Q_i 의 에너지가 보다 작아지는 방향으로 ΔQ 만큼 이동시킨다. 급강하법 (gradient-descent method)을 이용한 경사절단선분 추출 알고리즘의 경우, 알고리즘은 간단하지만 에너지가 작아지는 방향으로만 이동하기 때문에 복잡한 형태의 레이어에 적용할 경우 최적의 위치가 아니지만 더 이상의 에너지 감소가 불가능한 위치에 귀착하는 경우가 발생한다. 이 부분을 지역적 최적해라고 한다.

3.2 유전자를 이용한 경사절단선분 추출 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연의 진화과정을 모방하여 최적해를 탐색할 수 있는 새로운 기법으로 초기값과 무관하면서도 전역적 최적해를 도출할 수 있으며, 상관관계 및 종속관계가 심한 다수의 변수를 동시에 탐색할 수 있는 장점을 지니고 있다[3]. 최적화하고자 하는 문제를 유전자 알고리즘에 적용하기 위해서는 문제의 해가 될 가능성이 있는 것을 유전자적 표현방법으로 나타내야 한다. 본 논문에서는 경사절단선분 추출 알고리즘에 유전자를 적용하기 위해 레이어 윤곽에 따른 위치를 유전자 개체로 설정하고, 표현하는 방법으로는 이진 벡터를 사용한다. 유전자 알고리즘을 적용하는 방법은 우선 레이어의 아랫단면의 윤곽의 전체 길이를 구한다. 윤곽의 길이는 실수이며 이진 벡터로 표현하기 위해서 정수로 변환한다. 벡터의 길이는 요구되는 정밀도에 의해 좌우된다. 실수 값을 유전자 개체로 표현하는 방법은 우선, 윤곽의 길이에 10^n 을 곱한다. 여기서 10^n 은 정밀도

를 나타내며, n 이 커질수록 정밀도가 높아진다. 그리고

$$2^{m-1} < L \times 10^n \leq 2^m \quad (L : \text{윤곽의 길이}) \quad (4)$$

를 이용하여 유전자의 길이를 결정한다. 유전자의 길이가 정해지면 b 개의 초기 개체군을 생성해야 한다. 개체군은 유전자의 길이 범위 내에서 임의로 초기화 된다. 초기화된 개체는 단면 윤곽내의 위치를 알기 위해 실수로 변환하여야 한다. 개체를 윤곽의 전체 길이 범위내의 실수로 변환하기 위한 식은

$$x = x' \cdot \frac{L}{2^m - 1} \quad (5)$$

이다. x' 는 유전자 개체의 이진 벡터 값이며, x 는 식(5)에 의해 변환된 실수 값이다. 그림 4는 하나의 개체를 윤곽 내에 위치하는 좌표로 변환하는 과정을 보여준다.

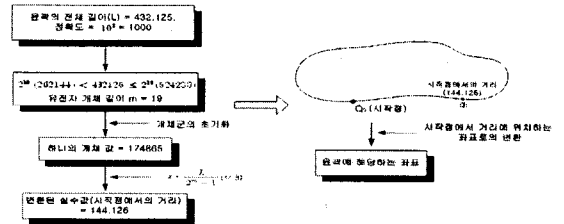


그림 4. 개체의 이진 벡터 정수로 변환

구해진 $x \cdot y$ 좌표를 식(1)에 대입하여 에너지 값을 구한다. 여기서 식(1)은 각 개체를 평가하는 평가함수가 된다. 평가되어진 개체들에 에너지가 작은 순서대로 우선순위를 부여한다. 그리고, 유전 연산자와 선택 메카니즘을 이용하여 b 개의 개체를 다음 세대로 선택·재생한다. 유전 연산자는 교배와 돌연변이를 사용한다. 다음세대는 우선순위가 높은 개체 순으로 선택되며, 교배와 돌연변이는 확률에 의해 발생한다. 교배점과 돌연변이의 위치는 임의로 선택되어지며, 교배·돌연변이 대상 역시 임의로 선택되어진다.

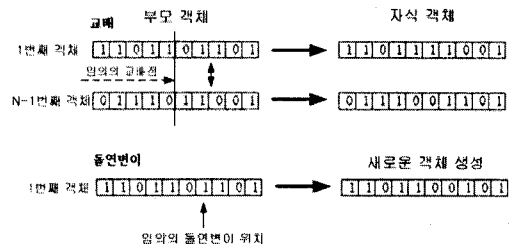


그림 5. 교배와 돌연변이 과정

4. 실험 및 결과

3D 모형에서 단면을 적층할 때 발생하는 표면 왜곡문제를 해결하고 레이저의 구동에 적합한 표면을 생성하기 위해 슬라이스 된 임의의 한 단면으로 경사절단선분 추출 알고리즘을 적용하여 실험을 하였다. 그림 6은 실험에 사용된 3D 모델이다.



(a) 모델 A (b) 모델 B

그림 6. 실험에 사용된 3D 모델

우선 급강하법을 이용하여 에너지 값의 변화를 조사하였고 본 논문에서 제시한 유전자 알고리즘을 이용하여 에너지 값의 변화를 조사한 후, 최종적으로 생성된 경사절단 선분 패턴을 비교·분석하였다. 그림 7는 실험에 사용된 3D 모델의 하나의 레이어이며, 경사절단선분의 초기상태와 에너지 값을 보여주고 있다. 그림 8과 9는 3D모형을 급강하법과 유전자 알고리즘을 적용하여 실험한 결과이다. 급강하법을 사용할 경우 지역적 최적해가 발생하였고, 유전자 알고리즘을 사용하여 이를 해결할 수 있었다.



(a) Energy : 900.288635 (b) Energy : 300.285248

그림 7. 경사절단선분의 초기 상태



(a) 급강하 : 790.302734 (b) 유전자 : 742.193452

그림 8. A모형의 에너지 비교



(a) 급강하 : 2.944197 (b) 유전자 : 0.115104

그림 9. B모형의 에너지 비교

5. 결론

기존 폐속조형시스템의 단점을 보완하기 위해 본 연구팀에서는 폐속조형시스템을 개발하였다. 이 시스템에서 물체의 단면을 레이저로 수직절단 할 경우 물체의 표면에는 계단형과 같은 표면 왜곡현상이 나타난다. 이러한 표면 왜곡현상을 보완하기 위해 경사절단선분을 사용하였다. 경사절단선분은 물체의 표면을 원형상에 가깝고, 레이저의 궤적을 부드럽게 할 수 있다. 최적의 경사절단선분을 찾기 위해 에너지 함수를 정의하여 경사절단선분 추출 알고리즘을 구현하였다. 최적의 경사절단선분을 추출하기 위해 급강하를 이용하였으나, 복잡한 형태의 레이어에서 지역적 최적해가 발생하는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 지역적 최적해를 벗어나 최적해를 찾기 위해 유전자 알고리즘을 적용한 경사절단선분 추출 알고리즘을 구현하였다. 유전자 알고리즘을 적용할 경우, 급강하법에서 발생하였던 지역적 최적해를 벗어나 최적해를 찾음을 실험을 통해 알 수 있었다. 다만, 유전자 알고리즘의 세대가 증가할수록 정확한 최적해를 찾을 수 있지만 시간이 오래 걸리는 단점이 있었다.

참고문헌

- [1] J.D.Cawley, A.Heuer, W.S.Newman, and B.B. Mathewson, "Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials," American Ceramic Society Bulletin, Vol.75, No.5, pp.75, 1998
- [2] 고민국, 엄태준, 주영철, 공용해, 천인국, 방재철, 김승우, "다종재료용 폐속 임의형상가공시스템의 개발," 2001년 대한전기학회/대한전자공학회 시스템 및 제어분야 합동 추계학술대회 논문집, pp.311-316, Nov. 24, 2001.
- [3] David E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley, 1989.
- [4] Nicol N. Schraudolph and Richard K. Belew, "Dynamic Parameter Encoding for Genetic Algorithm", Machine Learning, Vol. 9, pp. 9-21 Kluwer Academic, 1992.
- [5] R. L. Hope, P. A. Jacobs and R. N. Roth, "Rapid Prototyping with Slope Surfaces," rapid prototyping journal, Vol.3, No. 1, pp. 12-19, 1997.