

수직 방향과 오버행을 고려한 3D 프린팅 방향 최적화

박지영, 신화선
전자부품연구원 멀티미디어 IP 연구센터
e-mail : {jyp, l544}@keti.re.kr

3D Printing Orientation Optimization Based on Upright Orientation and Overhang

Jiyoung Park, Hwa Seon Shin
Multimedia IP Research Center, Korea Electronics Technology Institute

요 약

본 연구에서는 3D 객체의 수직 방향(upright orientation)과 오버행(overhang) 면적을 고려하는 3D 프린팅 방향 최적화 방법을 제안한다. 모든 메시 법선들을 세 그룹으로 분류함으로써 객체의 수직 방향을 계산한 후, 객체의 무게 중심과 3D convex hull 을 사용하여 세 개의 후보 방향을 결정한다. 각 후보 방향에 대하여 오버행 메시 면적을 계산하고 최소 면적을 갖는 후보를 최종 프린팅 방향으로 결정한다. 후보 방향들을 적용하여 회전시킨 모델을 Cura 에서 로드하여 프린팅 시간을 가측정한 결과, 제안 방법에 의해 최적화된 방향이 가장 짧은 시간이 소모되는 것으로 나타났다.

1. 서론

3D 프린팅에서 객체의 방향은 출력 시간과 출력 품질에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이다[1]. 그러나 현재 3D 프린팅 S/W 들은 대부분 방향 최적화 기능을 제공하지 않으며 실제 Cura[2]의 경우 객체의 평평한 면이 바닥에 닿도록 방향을 조정해주는 ‘Lay Flat’ 기능을 제공하지만 안정성이나 오버행 등의 출력 결과물에 있어 중요한 요소를 고려하지 않는다. 적층 조형(Layered Manufacturing) 분야에서 객체 방향 설정에 관련한 기존 연구들 살펴보면 표면 오차, 안정성(stability), 출력 시간, 서포트(support) 양 등을 고려한 평가 함수를 통해 최적 방향을 결정하는 것이 일반적이다[3]. 최근에는 객체 내부의 응력(stress) 분석을 통해 외력에 강한 방향을 계산하는 방법이 발표된 바 있다[4].

본 연구에서는 객체의 수직 방향(upright orientation)과 오버행(overhang) 면적을 고려한 방향 최적화 방법을 제안한다. 객체의 수직 방향은 객체 인식 분야에서 활발히 연구되는 주제로서 객체의 기능과 중력의 영향을 고려하여 가장 자연스럽게 놓여질 수 있는 방향으로 정의된다. 제안 방법은 수직 방향을 사용함으로써 객체를 자연스러운 자세로 설정할 수 있고, 동시에 오버행 면적을 고려함으로써 출력 시간을 단축할 수 있다.

2. 3D 객체 방향 최적화

본 연구에서는 수직 방향과 안정성을 고려하여 3개의 후보 방향을 결정한 후, 각 방향에 대한 오버행

메시 면적을 계산하여 최종 방향을 결정한다.

먼저 [5]에서 제안된 방법을 사용하여 객체의 수직 방향을 계산한다. 즉, 모든 메시의 법선 방향을 검사하여 총 세 그룹으로 클러스터링 하고 세 개의 서로 직교하는 축을 계산한다($X = [x_1, x_2, x_3]$). 다음으로 객체에서 실제 바닥에 닿는 면을 알아내기 위해 모델의 3D convex hull 을 계산하고 모델의 무게 중심 점을 convex hull 의 각 메시 방향으로 투영(projection)하여 교차점을 검사한다. 교차점이 메시 내부에 위치하는 경우 해당 메시의 법선 방향이 객체가 안정적으로 놓일 수 있는 방향이라고 판단한다. 이렇게 선정된 총 T 개의 방향(u_i)들 중에서 이전 단계에서 계산된 3 개 축에 가장 가까운 방향($\hat{X} = [\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3]$)을 결정한다(1).

$$\hat{x}_i = \arg \max_{u_i} (x_i \cdot u_i), i \in \{1, 2, 3\} \text{ and } t \in \{1, \dots, T\} \quad (1)$$

다음으로 각 후보 방향(\hat{X})에 대해 오버행 메시의 면적(a_k)을 계산하여 총 면적이 가장 작은 후보 방향(\hat{x}_t)을 최종 프린팅 방향으로 결정한다(2). 오버행 메시는 각 후보 방향(\hat{x}_t)과 메시 법선 방향(n_k)의 내적을 통해 판단한다. 단, 바닥 면에 해당하는 메시는 오버행 메시에서 제외시킨다. 즉, 메시의 무게 중심 점과 바닥 면과의 수직 거리가 프린팅 레이어 두께보다 큰 경우에만 해당 오버행 메시의 면적(a_k)을 합하여 총 면적을 계산한다.

$$I = \arg \min_i \sum a_k, \text{ where } |x_i \cdot n_k| > 0, \quad (2)$$

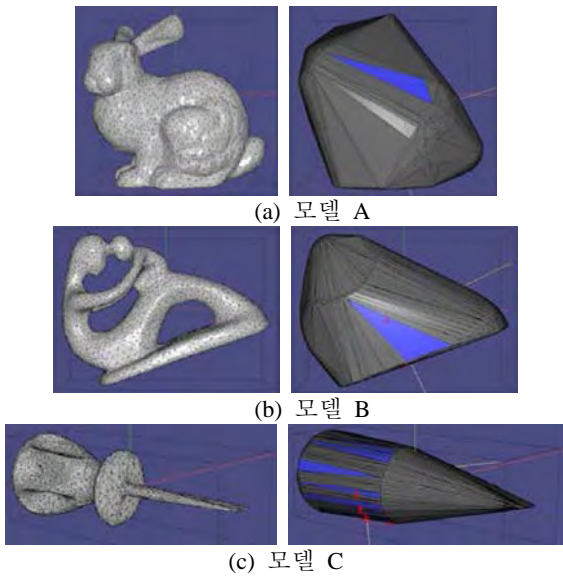
$$i \in \{1, 2, 3\} \text{ and } k \in \{1, \dots, K\}$$

3. 구현 및 실험 결과

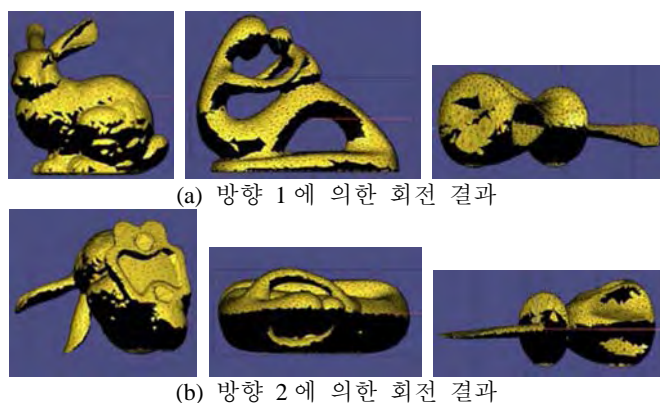
구현에는 기하 연산 엔진 Libigl[6]과 MS Visual Studio 2013 을 사용하였다. 방향 최적화 후의 출력 속도를 Cura15.04 를 사용하여 확인하였다.

(그림 1)은 총 세 개의 3D 모델과 그에 대한 convex hull 을 보여준다. Convex hull 에서 안정적인 방향에 해당하는 메시를 파란색으로 표시하였다. (1)을 통해 계산된 세 개의 후보 방향으로 회전한 모델은 (그림 2)와 같다. (그림 2(a))가 최종 프린팅 방향으로 회전한 결과를 나타낸다. 모델에서 오버행 메시는 검정색으로 표시하였다.

각 후보 방향으로 회전한 객체를 Cura 에서 로드하여 예상 프린팅 시간을 확인한 결과는 (표 1)과 같다. (방향 1)이 최종 프린팅 방향에 해당하며 3 개 모델에 대해 모두 가장 짧은 프린팅 시간이 소모되는 것으로 나타났다.



(그림 1) 3 개 모델(좌)에 대한 convex hull 모델(우)



(a) 방향 1 에 의한 회전 결과

(b) 방향 2 에 의한 회전 결과



(c) 방향 3 에 의한 회전 결과

(그림 2) 3 개 모델의 최종 프린팅 방향(a)과 나머지 두 방향(b, c)으로 회전된 모델

<표 1> Cura 에서 측정된 프린팅 시간

Model	Support type	Everywhere	Touching buildplate	None
A	방향 1*	35h41m	35h4m	32h57m
	방향 2	37h19m	37h19m	33h25m
	방향 3	37h59m	37h59m	33h38m
B	방향 1*	26h9m	23h54m	23h11m
	방향 2	27h36m	27h24m	23h42m
	방향 3	27h43	27h17m	23h35m
C	방향 1*	1h26m	1h26m	1h17m
	방향 2	1h28m	1h28m	1h16m
	방향 3	1h44m	1h44m	1h31m

4. 결론

본 연구에서는 객체의 수직 방향과 오버행 면적을 고려하는 3D 프린팅 방향 최적화 방법을 제안하였다. 제안 방법은 객체를 자연스럽게 안정적으로 놓여지게 함과 동시에 프린팅 시간을 단축하는 방향을 자동으로 계산할 수 있다는 장점을 가진다. 향후 다양한 모델에 대한 실험을 통해 제안 기법에 대한 검증이 수행될 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [R-20150224-000258, 국내 보급형 3D 프린터 맞춤형 스마트 슬라이서 개발]

참고문헌

- [1] D. Frank and G. Fadel, "Expert system-based selection of the preferred direction of build for rapid prototyping processes," *J Intell Manuf*, vol. 6, no. 5, pp. 339–345, 1995.
- [2] Cura, <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>
- [3] P. M. Pandey, N. Venkata Reddy, and S. G. Dhande, "Part deposition orientation studies in layered manufacturing," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 185, no. 1–3, pp. 125–131, 2007.
- [4] N. Umetani and R. Schmidt, "Cross-sectional Structural Analysis for 3D Printing Optimization," in *SIGGRAPH Asia 2013 Technical Briefs*, pp. 5:1–5:4, 2013.
- [5] K. Hildebrand, B. Bickel, and M. Alexa, "Orthogonal slicing for additive manufacturing," *Computers & Graphics*, vol. 37, no. 6, pp. 669–675, 2013.
- [6] Libigl, <http://libigl.github.io/libigl/>