

자유형상의 파라메트릭 변형을 위한 조정 다각형 생성

박현풍⁰ 이관행
광주과학기술원 기전공학과
{baram⁰, lee}@kyebek.kjist.ac.kr

Control Net Generation for Parametric control of freeform shape

Hyunpung Park⁰ Kwan H. Lee
Department of Mechatronics, Kwangju Institute of Science and Technology

요 약

특징 형상의 조합으로 표현될 수 없는 자유 형상을 가진 제품이 늘어남에 따라 자유형상을 효율적으로 변형시키는 기법이 필요하다. 여러 가지 자유형상 변형기법(FFD) 가운데에서 자유 형상을 파라메트릭하게 컨트롤하기 위해서는 조정 다각형 기반의 형상 변형 기법이 적합하다. 이에 따라 본 연구에서는 FFD 기법을 적용하여 자유형상 모델을 파라메트릭하게 컨트롤하기 위해 입력 모델에 대한 조정 다각형을 자동으로 생성하는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 크게 기본 조정 다각형 생성과 조정 다각형 최적화 단계로 나누어진다. 기본 다각형 생성에서는 1)입력모델을 직교 3방향에 투영, 2)투영된 결과에 대해 2차원 조정 다각형을 생성, 3)2차원 조정 다각형을 조합하여 3차원 기본 조정 다각형 생성의 단계를 거친다. 조정 다각형 최적화 단계에서는 기본 조정 다각형에 에지 및 면 연산자를 적용하여 입력 모델에 더욱 근사하는 최종 조정 다각형을 생성한다. 예제에서는 제안된 알고리즘을 통해 자동으로 생성된 조정다각형을 자동차 모델에 적용하여 모델의 형상을 변화시킨 결과를 보였다.

1. 서론

지금까지 산업 제품들은 특징형상의 조합으로 표현되는 모델들이 대부분이었다. 그러나 근래에는 모델링 기술의 발달과 소비자의 요구에 의해 심미적 곡면을 갖는 자유형상 모델이 많이 개발되고 있다. 이에 따라 자유형상을 효율적으로 다루기 위한 기술이 요구되고 있다. 이러한 자유형상 모델링 기법은 주로 그래픽스 분야에서 많이 연구되었으나 최근에는 이를 제품 개발에 적용하는 사례가 늘고 있다.

자유형상 모델을 생성하는 기법은 크게 1)실제 시제품을 만든 후 이로부터 캐드 모델을 복원하는 전산 역설계 기술, 2)각각의 곡면을 직접 정의하고 조합하는 기법, 3)이미 존재하는 3 차원 모델을 변형하여 원하는 모델을 생성하는 자유형상 변형 기법(FFD) 등으로 나눌 수 있다. 이들 가운데 FFD 기법은 잘 정의된 모델을 이용하여 이로부터 파생된 여러 가지 새로운 모델을 만들 수 있으므로 매우 효율적이며, 본 연구에서 대상으로 하는 모델링 기법이다.

특징형상의 조합으로 표현된 모델의 경우 특징형상의 치수를 변경하여 새로운 모델을 생성하는 파라메트릭 설계 기법이 가능하다. 폴리곤으로 이루어진 자유형상 모델의 경우 이와 같은 파라메트릭 모델 변형 기법은 개발되어 있지 않다.

자유형상 모델을 파라메트릭하게 컨트롤하기 위해서는 사용자가 치수(파라미터)를 부여하기 쉽도록 자유형상이 표현되어야 한다. 폴리곤으로 구성된 자유형상은 설계정보를 갖고 있지 않으므로 이러한 파라미터 정보를 부여하는 것이 불가능하다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 자유형상 모델을 근사하는 조정다각형을 생성하고, 이 조정 다각형을 파라메트릭하게 컨트롤하여 내부의 자유형상을 변형하는 방법을 제안하였다. 특히 본 논문에서는 주어진 자유형상 폴리곤 모델로부터 조정 다각형을 자동으로 생성하는 알고리즘을 중점적으로 다루고 있으며, 조정 다각형 변경에 따른 내부 형상의 변형은 FFD 기법을 적용함으로써 가능하다.

2. Background

2.1 자유형상 변형 (FFD)

여러 가지 FFD 기법들 중에서 가장 널리 사용되는 조정 다각형 기반의 FFD 기법은 Sederberg 와 Parry [1] 에 의해 처음 제안되었다. 변형하고자 하는 대상을 균일한 격자 속에 넣은 후 격자점을 움직임에 따라 내부에 있는 모델의 형상을 변형하는 방법이다. 격자 속의 한 점에 대해서 국부 좌표 (u,v,w) 를 계산한 후 trivariate Bernstein polynomial 을 이용해 변경된 격자 속에서의 위치를 계산하는 방식이다. 그림 1 은 FFD 기법을

적용하여 실린더 모델을 변형하는 예를 보여주고 있다.

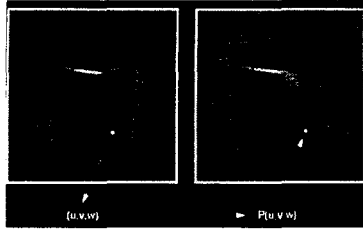


그림 1. 조정 다각형을 이용한 형상 변형 [1]

대부분의 격자 기반 FFD 기법은 convex 형태의 조정 다각형을 이용하고 있으며, 임의 형태의 조정 다각형을 사용하는 기법도 제안된 바 있다(참고문헌 [2],[3]). 하지만 파라메트릭 컨트롤을 목적으로 하는 조정 다각형을 생성하는 방법에 대한 연구는 수행된 바가 없다.

3. 조정 다각형 생성

3.1 전체 알고리즘

알고리즘은 크게 두 단계로 구성된다. 첫번째 단계에서는 조정 다각형의 기본 형상이 생성되고 두 번째 단계에서는 기본 형상을 수정하여 입력 모델에 보다 근접하는 최종 조정 다각형을 생성한다. 기본 조정 다각형 생성을 위해서는 입력 모델을 적절한 좌표축 방향으로 투영하여 2 차원 조정다각형을 만든 후 이를 다시 조합하여 3 차원 조정 다각형을 생성한다. 두번째 단계에서는 기본 조정 다각형과 입력 모델과의 차이를 계산하여 빈 공간을 줄이기 위해 적절한 에지 및 면 연산을 수행하게 된다. 전체 알고리즘은 아래와 같으며, 자세한 설명은 다음 절들에 기술되어 있다.

(단계 1) - 기본 조정 다각형 생성 create a base model

입력: 폴리곤 모델 M, 거리 공차 Td, 영역 공차 Ta

1. 입력모델에 대해 Oriented bounding box와 Minimal volume bounding box를 구하여 모델에 적절한 좌표계 계산
2. 계산된 좌표계의 세 축 방향으로 모델을 직교 투영
3. 투영된 형상의 윤곽선 추출 및 2차원 조정 다각형 생성
4. 계산된 2차원 조정 다각형들을 extrude 한 후 intersection하여 기본 조정 다각형 생성

(단계 2) - 기본 조정 다각형의 최적화

6. 기본 조정다각형의 각 에지/면에 대해 부근의 빈 영역 계산
7. 모든 영역이 영역공차보다 작으면 끝
8. 영역공차보다 큰 경우 빈 영역이 가장 큰 곳에 에지 또는 면 연산자를 적용하여 조정 다각형을 변경함
9. 6-8 과정을 반복함

3.2 모델 방향 조정

일반적으로 제품 모델의 경우 직교 3 방향 투영을 통해 제품의 형상을 가장 잘 유추할 수 있는 직교 좌표계가 정의될 수 있다. 이러한 좌표계를 계산하기 위해 본 연구에서는 oriented bounding box (OBB) 또는 minimal volume bounding box (MVB)를 사용한다.

그림 2 는 좋은 방향과 그렇지 않은 방향을 보여주고

있다. OBB 와 MVB 가운데 적절한 것을 사용자가 선택하여 바운딩 박스의 수직 3 방향을 모델의 새로운 좌표계로 설정한다.

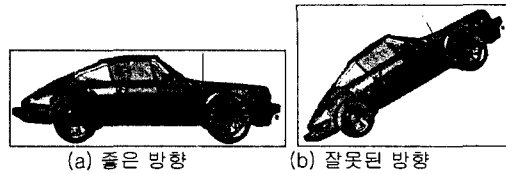


그림 2. 모델의 방향성

3.3 모델 투영 및 2D 조정 다각형 생성

3.3.1 투영 및 윤곽선 생성

새로운 모델 좌표계가 설정되면 대상 모델을 좌표계의 3 방향에 수직투영한 후 투영된 형상의 외곽선을 추출한다. 외곽선 추출을 위해서는 그래픽스 분야의 렌더링에 사용되는 rasterization 기법을 이용한다. 즉, 입력 모델의 각 에지를 rasterization 한 후 최외곽의 연결된 점(pixel)들을 탐색하는 기법을 사용한다. 이때 계산 효율성을 위하여 mask 기법이 적용된다.

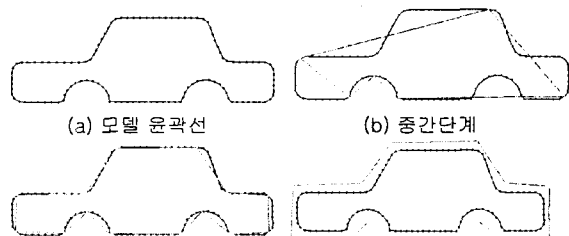
3.3.2 2D 조정 다각형 생성

세 좌표축방향으로 투영되어 추출된 외곽선을 이용하여 2 차원 조정 다각형을 생성한다. 높은 곡률을 가지는 부위를 연결한 사각형에서 시작하여 모델과의 차이가 주어진 공차 안에 들 때까지 새로운 조정점이 추가된다. 전체 알고리즘은 아래와 같다.

Td: 거리공차, Tc: 곡률공차, Ta: 데시메이션 각도 공차,
La: 조정다각형의 한계각, CPL: 조정 다각형

1. 곡률이 최대인 점 P0 선택 및 P0로부터 일정 거리 이상의 점들 중 곡률이 최대인 점 P1 선택
2. CPL에 P0, P1 추가
3. Pi, Pi+1 에 의해 구분되는 모델 구간에 대해 선분 Pi, Pi+1 과의 거리 차이 비교: Td 보다 크면 최대 거리를 가지는 점 Pnew를 CPL에 추가(선분 Pi, Pi+1 삭제, 선분 Pi, Pnew와 선분 Pnew, Pi 추가)
4. 조정점 CPi의 양쪽 에지의 노말 벡터 각도차이가 Ta 보다 작으면 CPi 삭제
5. CPj의 내각이 La보다 작으면 이웃 에지를 분할한 후 CPj 삭제
6. CPL과 모델간의 차이가 Td안에 들 때까지 3,4,5를 반복
7. Td만큼 CPL을 오프셋시킴

그림 3은 2 차원 조정 다각형 생성 예를 보여주고 있다.

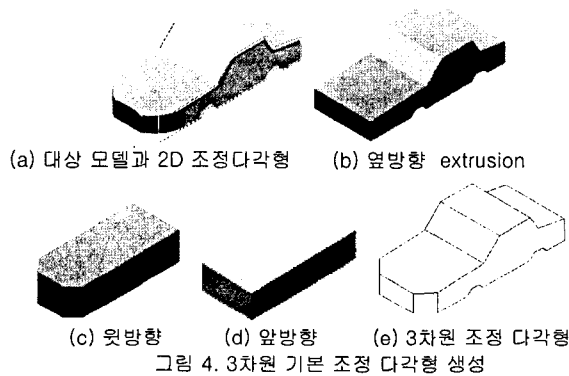


(c) 공차조건을 만족한 결과 (d) 오프셋 결과
그림 3. 2차원 조정 다각형 생성 예

3.4 3D 조정 다각형 생성

좌표축 3 방향에 대해 2 차원 조정 다각형이 생성되면 이들을 조합하여 3 차원 기본 조정 다각형을 생성한다. 2 차원 조정 다각형을 축방향으로 extrusion 시킨 후 교집합을 구하면 입력 모델을 근사하는 기본 조정 다각형을 구할 수 있다. 그림 4는 기본 조정 다각형 생성 예를 보여주고 있다.

그림 4(a)는 대상 모델과 이에 대한 직교 3 방향의 2 차원 조정 다각형을 보여주고 있다. 그림 4(b)(c)(d) 모델 좌표계의 세 방향으로 2 차원 조정 다각형을 extrusion 한 결과이며, 이를 조합하여 3 차원 조정 다각형을 생성한 결과가 그림 4(e)에 보여지고 있다.



3.5 3D 조정 다각형 refinement

대부분의 제품 모델은 기본 조정 다각형만으로도 충분히 사용 가능하다. 하지만 투영방식의 단점인 작은 형상이 큰 형상에 의해 가려지는 경우가 발생할 수도 있다. 이를 보완하기 위하여 기본 조정 다각형을 수정하는 방법이 필요하며, 이는 에지 및 면 연산자를 통해 해결할 수 있다.

각 면과 에지에 대해서 부근의 빈 영역의 크기를 계산한 후 이들 가운데 가장 큰 값을 가진 면과 에지에 대해서 적절한 모델 변경 연산을 수행한다. 그림 5는 이러한 면/에지 연산자들의 예를 보여주고 있다.

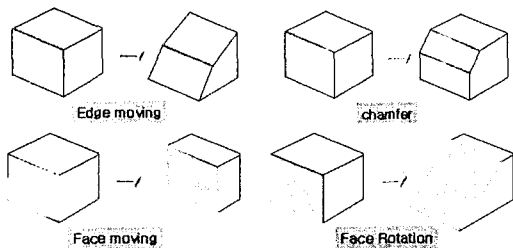


그림 5. 면 및 에지 연산자의 예

4. 조정 다각형 생성 및 형상 변형 예

본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용하여 조정 다각형을 생성하고 형상을 변형한 예는 그림 6과 같다.

대상이 되는 폴리곤 모델은 그림 6(a)와 같으며, 그림 6(b)에서는 생성된 조정 다각형 및 파라메트릭 변형을 위해 부여한 구속 조건의 예가 보여지고 있다. 조정 다각형 에지의 평행 이동 및 조정 다각형면의 이동 및 스케일링 조절을 통해서 새로운 형상의 모델이 생성된 결과가 그림 6(c)와 (d)에 보여지고 있다.

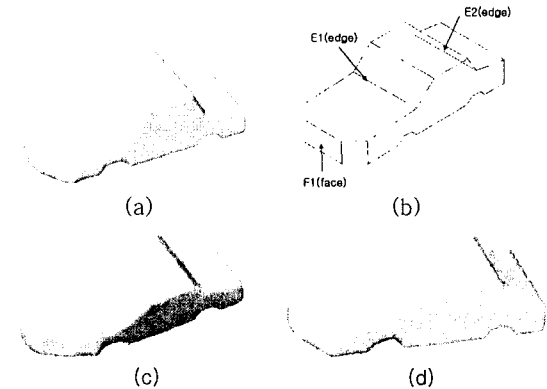


그림 6. 조정 다각형 컨트롤을 통한 모델 생성 (a) 입력 모델 (b) 생성된 조정 다각형 및 구속 조건의 예 (c) F1의 평행 이동 및 스케일링 (d) E1과 E2의 평행 이동

5. 결론

본 연구에서는 자유형상 폴리곤 모델의 파라메트릭 컨트롤을 위해 대상 모델에 대한 조정 다각형을 자동으로 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 생성된 조정 다각형에 치수 조건을 부여하여 모델을 변형하는 예를 보였다. 기존의 특징 형상 기반의 구속 조건 해결 기법을 제안된 조정 다각형에 적용한다면 보다 효율적인 자유형상 컨트롤이 가능할 것으로 기대된다.

또한 이러한 자유형상 모델의 파라메트릭 컨트롤 기법을 개발함에 따라, 하나의 잘 정의된 제품 모델로부터 새로운 모델을 자동으로 생성하는 설계 지원 시스템의 기반을 구축하게 되었다(참고문헌 [4]).

참고문헌

- 1.T. W. Sederberg, and S. R. Parry, "Free-Form Deformation of Solid Geometric Models", Proceedings of SIGGRAPH '86, Computer Graphics, pp. 151-159, August 1986
- 2.Sabine Coquillart, "Extended freeform deformation: A sculpturing tool for 3D geometric modeling". Proceedings of SIGGRAPH '90, Computer Graphics, pp. 187-196, August 1990.
- 3.Ron MacCracken and Kenneth I. Joy, "Free-Form Deformations With Lattices of Arbitrary Topology", Proceedings of SIGGRAPH '96, Computer Graphics, pp. 181-190, 1996
- 4.박현풍, 이관행, "형상 설계 지원 시스템 개발", 2003 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 257~262