

Reverse Engineering 기술을 적용한 복합면의 재구성 정보 추출을 위한 연구

서지한¹ · 이홍철¹ · 손영태¹ · 박세형²

¹고려대학교 산업공학과 / ²KIST CAD/CAM 연구센터

The Study on Reconstruction of Composite Surfaces by Reverse Engineering Techniques

Jihan Seo¹ · Hongchul Lee¹ · Youngtea Shone¹ · Sehyung Park²

In reverse engineering area, the reconstruction of surfaces from scanned or digitized data is being developed, but geometric model of existing objects is not available in industries. This paper presents the new approach to the reconstruction of surface technique. A proposed methodology finds base geometry and blends surface between them. Each based geometry is divided by tri-angular patches which are compared with their normal vector for face grouping. Each group is categorized analytical surface such as a part of cylinder, sphere and cone, and plane shapes to represent the based geometry surface. And then, each based geometry surface is implemented to the infinitive surface. Infinitive surface's intersections are trimmed by boundary representation model reconstruction. This method has several benefits such as time efficiency and automatic functional modeling system in reverse engineering. Especially, it can be directly applied 3D fax and 3D copier.

1. 서론

최근 Reverse Engineering(RE)은 Geometric Modeling 분야에서 가장 활발히 연구가 진행되고 있다. 이 Reverse Engineering은 전형적으로 측정자료를 이용하여 curve를 형성하고 curve fairing작업을 거쳐 무수히 많은 자료 중 형상을 구현하기 위한 필수적 자료 외에 자료를 제거하는 data reduction 단계를 거쳐 면(face)을 형성하고 그 면(face)을 Fairing하여 최종적으로 정형화된 면을 형성하게 된다. 이 정형화된 자료의 Model을 이용하여 가공에 이용하거나 급속조형기술에 적용하여 생산현장에서 Mock-up 등의 제작 등에 응용되고 있다. 특히, 자동차 산업에서 나무 또는 Clay 모델을 만드는 경우뿐만 아니라 전자부품, 항공기 동체의 Mock-up 제작, 의학용 기기 등에 많이 적용되고 있다.

과거의 방법론으로 reverse engineering은 측정자료 (data)를 토대로 각각의 곡선(curve)으로 형성한 다음 각각의 곡선(curve)을 filtering하여 오차를 줄이고 이들을 data reduction하여 자료(data)량을 줄이게 된다. 자료(data)량은 컴퓨터 내부의 계산시간과 저장공간에 직접적인 영향을 미치게 되므로 data reduction은 아

주 중요하다. 이렇게 data reduction된 자료를 이용하여 curve fairing을 하여 굴곡을 줄인 후 그 곡선(curve)의 자료(data)를 이용하여 면을 형성하고 이들 면에 대하여 fairing작업을 하여 면을 정형화한 후 모델을 형성하고 이 모델은 가공 또는 Rapid Prototyping(RP) 기술이 적용되어 조형물을 완성하게 된다. <그림 1>에서와 같이 위의 방법론은 일반화된 제안이다(박상근, 1993). 이 방법론은 절차상의 많은 작업이 중복되어 있고 자동적으로 형상을 인식할 수 없게 되므로 3D fax 등에 적용할 수 없다. 이런 이유에서 새로운 방법론의 제안이 필요시되었다.

현재 복합적인 면으로 구성된 형상들을 정형화하여 재구성하는 부분의 연구가 활발히 진행되고 있는데 크게 edge-based와 face-based의 두 가지 방법론으로 접근할 수 있다(Asey and Scuria, 1993).

Edge-based방법은 일정한 boundary, 즉 edge들을 찾아내고 그 사이에 존재하고 있는 면(face)들을 정의함으로써 면(face)을 형성하는 점 좌표 $f=(x, y, z)$ 를 이용하여 형상을 재구성하는 것이다. Edge-based의 연구 중 free-form object의 edge loops에 의하여 일정한 boundary를 찾아내고 이 edge의 전체 또는 부분의 패치(patch)들을 패치(patch)구조에 따라 curve를 잘라서 trimming을

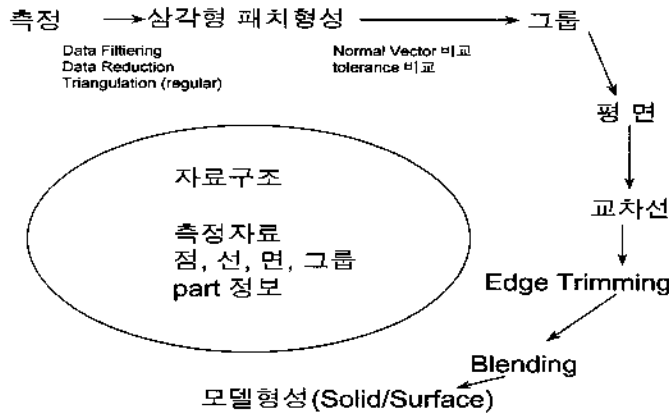


그림 1. 본 연구의 절차 및 내용.

하게 되므로 면(face)을 형성하는 방법이다. 이 방법론은 형상을 재구성하는 데 절차상 다소 복잡하고 형상을 인식해 내는 방법 중 edge를 찾아내는 부분이 추가 되어 computer vision 등의 기술에 의존적이라는 단점을 가지고 있다(Tomas, 1998). Face-based 방법은 일정한 면(face)을 기본으로 하여 그 평면들의 형상을 정의하고 그들의 무한평면을 구현함으로써 각각의 복합면 사이에 교차점을 trimming하여 최종적으로 boundary, 즉 edge를 찾아내어 형상을 재구성하는 것이다. 이 방법론은 아직 제한된 연구가 현실적으로 구체화되어 있지 않다. 이런 연구들과 더불어서 측정을 하게 되면 점(point)자료의 수가 무수히 많아짐으로써 컴퓨터를 사용하여 처리하는 데 시간적, 공간적인 제약을 받게 된다. 따라서 일정한 면(face) 내 점좌표의 자료 분포에 따라 밀도가 많은 부분, 즉 굴곡이 심한 부분이라 판단하여 자료들을 보존하고 밀도가 적은 부분, 즉 굴곡이 적은 평면에 가까운 자료라 판단하여 점좌표에 의한 자료들을 줄이는 방법을 통하여 수많은 측정자료를 줄이는 data reduction의 연구들이 진행되고 있다(Fischer, 1998). 실질적으로 측정된 점 좌표 자료는 수없이 많기 때문에 효율적인 방법, 즉 실제 형상을 유지하는 상태에서 자료의 양을 줄이는 작업은 computing time과 memory space 측면에서 중요한 관건이라 할 수 있다.

본 연구에서는 face-based 방법으로 측정데이터를 이용하여 일정한 형상의 자료를 이용하여 삼각형 패치(triangular patch)를 구현하고 구현된 삼각형 패치(triangular patch)의 normal vector를 이용하여 동일한 면이라 정의할 수 있는 면들의 그룹(group)들로 분할하고 그 그룹(group)들을 이용하여 형상을 자동적으로 재구성하는 알고리즘과 결과를 제안하고자 한다. 또한, 은 기존의 방법론은 대다수가 user-interactive에 의해 여러 절차를 반복하고 최종적으로 부분적인 재구성 문제를 해결하였다(박상근, 1993). 본 연구에서는, user-interactive한 방법보다 제한적 면(평면, 실린더, 콘, 구)들에 재구성을 할 수 있는 약점이 있지만

3D fax의 응용부분에서는 모든 형상과 색깔의 정보 등이 자동으로 전송되어 상대방에 의해 인식되어야 하므로 user-interactive 한 방법을 적용할 수 없으므로 자동적인 방법에 의해 재구성하였다(주재형, 1998).

2. 본 연구의 기본 개념

가공물의 대부분 형상은 복합면에서 면과 면 사이에 blending에 의하여 구성되어 있고 또 그런 형상을 기본 형상으로 하여 구멍(hole)이 있다든지 2차적 가공이 수행된다.

본 연구에서 제안된 알고리즘도 일부면(평면, 실린더, 콘, 구)의 복합면을 중심으로 일반적인 Reverse Engineering의 절차를 토대로 보다 절차상의 축소를 할 수 있고 동시에 3D fax의 적용을 위해 자동적인 면의 인식을 할 수 있는 새로운 방법을 제안했다. 본 연구에서는 <그림 1>에서 보는 것과 같이 측정자료(data)를 이용하여 filtering, data Reduction 단계를 거친 후에 삼각형 패치(triangular patch)를 형성한 후 이 각각의 삼각형 패치(triangular patch, face)들의 normal vector를 비교하여 그룹(group)으로 분할하게 되고 이 그룹들의 평균(average) 무한평면을 얻는다. 그리고 다음 각각의 평면들의 교차선(intersection line)에 의해 trimming하고 난 후에 이들 평면 사이를 blending하여 줌으로써 solid 모델을 형성하게 되고 이를 이용하여 가공 또는 Rapid Prototyping(RP) 기술을 적용하여 조형물을 제작하게 된다. <그림 1>과 <그림 2>는 위에서 언급한 것과 같이 본 연구의 절차와 내용들에 관하여 도식하였으며 전체적인 구성요소인 데이터 베이스의 내용과 application을 작성하기 위한 알고리즘의 절차에 대하여 표현하였다.

본 연구에서 삼각형 patch를 형성한 후 그것을 이용하여 normal vector값을 비교하여 그룹화(grouping)하고 그룹(group)들

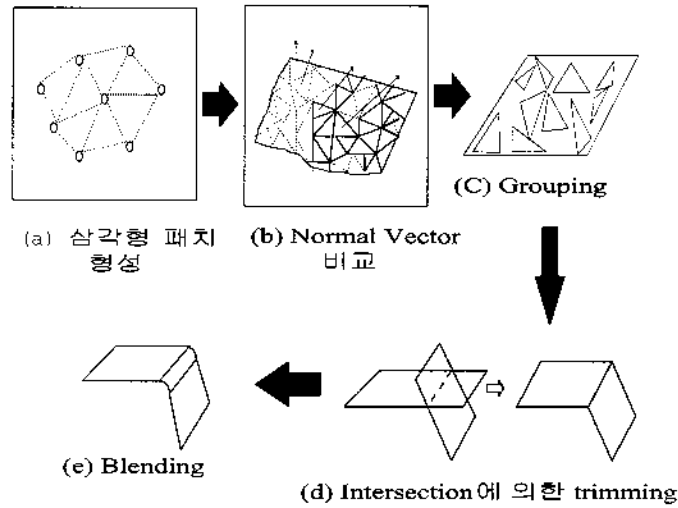


그림 2. 각 절차에 따른 복합면 재구성도.

을 중심으로 평면, 실린더, 콘, 구의 일부 또는 전부에 해당되는 면인지를 그 유형에 따라 판단하고 면들의 무한평면을 구현하여 면과 면 사이를 trimming하여 최종적으로 복합면을 재구성하게 된다.

3. 복합면 재구성의 절차와 내용

2절에서 본 연구에서 제안한 face-based의 새로운 방법론인 복합면을 재구성하는 절차를 단계별로 설명한다.

3.1 용어 및 기호 정의

본 연구에서 사용되는 용어 또는 기호를 아래와 같이 정의한다.

- 점의 집합(point set) = $\{p1, p2, p3, \dots, pm\}$, px : 점(point)
- 선의 집합(edge set) = $\{e1, e2, e3, \dots, en\}$, ex : 선(edge)
- 면의 집합(face set) = $\{f1, f2, f3, \dots, fm\}$, fx : 면(face), 즉 삼각형 패치
- 그룹의 집합(group set) = $\{g1, g2, g3, \dots, gm\}$, gx : 그룹(group)

$\frac{fx}{|fx|}$: 특정한 면(face)의 normal vector
 $\frac{f1}{|f1|} \cdot \frac{fx}{|fx|}$: $f1$ 과 fx 의 normal vector의 inner product

ϵ : normal vector의 inner product의 tolerance, 즉 normal vector의 (x, y, z) 좌표와 (x, y, z) 로서 측정에 사용되는 오차율에 따라 다르게 정의할 수 있는 상수값

3.2 제안한 알고리즘의 절차

본 제안된 알고리즘의 절차를 아래에서 단계별로 설명한다.

1 단계: 면(face), 즉 삼각형 패치를 형성하는 절차로서 $px \in ex, py \in ex$ 이고 $ex \in fx, ey \in fx$, 그리고 $ez \in fx$ 이다. fx 는 선(edge)들이 일정한 방향성을 지니고 있으며 normal vector의 값을 가지고 있다. <그림 2>의 (a)는 1단계를 그림으로 설명하고 있다.

2 단계: <그림 2>의 (b)에서와 같이 normal vector의 값에 의해 그룹화(grouping)를 하게 되는 단계로서 $\frac{f1}{|f1|} \cdot \frac{fx}{|fx|} \leq \epsilon$ 에 의해 그룹화하게 되는데 만일 $f1 \in gx$ 이면 $fx \in gx$ 이다.

3 단계: <그림 2>의 (c)에서 보는 바와 같이 각각의 정의된 그룹들의 평균(average) normal vector값을 계산하고, 그 평균(average) normal vector값에 의해 면의 유형에 따라 평면, 실린더, 콘, 구의 구분을 하게 된다. 즉, 다시 말해서 그룹(group)에 의해 서브그룹(sub-group)을 평면, 실린더, 콘, 구로 분할하고 전체를 하나의 파트(part)로 연결하여 전체 복합면을 구현한다.

4 단계: 각각의 면 유형에 따라 무한면을 구현하고 면들의 교차점(intersection)을 trimming하여 좁으므로써 최종

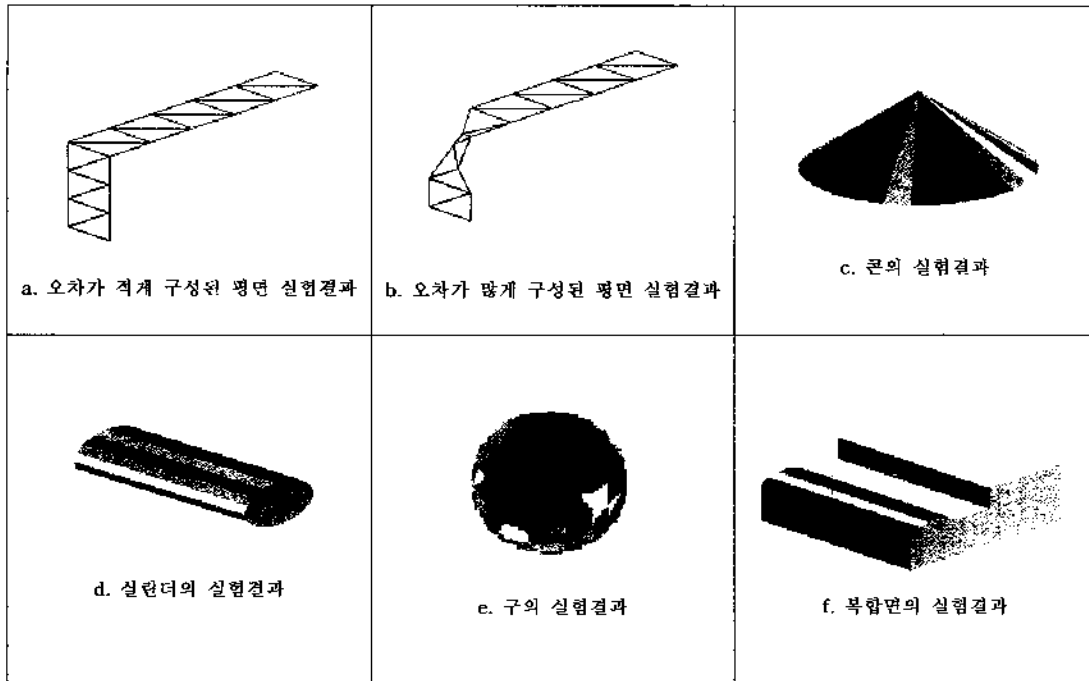


그림 3. 각각의 경우에 대한 실험 결과.

적인 복합면 재구성 정보를 얻을 수 있다. <그림 2>의 (d)는 교차점에 의해 trimming하는 단계를 설명하고 있다.

3.3 자료 구조

본 시스템 자료구조는 일반적인 3차원 모델러를 참조하였으며 삼각형 패치로 구성된 face(triangular patch)를 이용하고 서로간의 normal의 inner product를 구하여 특정한 범위의 그룹(group)으로 분류함으로써 평면을 인식하기 위한 기능을 추가하기 위해 그 기능에 맞도록 형상정보와 위상정보로 구분하였다. 위상정보는 실제값을 가지고 있지는 않고 주소만을 기억하게 되는데 파트(part), 그룹(group), 면(face), 선(edge)으로 구성되어 있다. 파트(part)는 동일한 평면을 생성하기 전에 모든 face들을 포함하고 있으며, 각각의 그룹들로 분할되고 나서는 각 그룹들에 의해 면(face)은 관리되고 각 그룹들은 상위 개념인 part에 연결된다. 이 파트(part)에는 서브 파트(sub-part)로서 평면, 실린더, 콘, 구를 가지고 있다. 그룹(group)은 동일한 평면이라고 간주되는 face들의 모임으로써 각각 face들 간의 탐색을 하기 위하여 서로 연결시켜 주었다. 면(face)은 공간상의 일정한 삼각형 패치(triangular patch)를 구성하고 있으며 면(face)의 방향에 따라 선(edge) 3개를 연결하였고 이 방향은 normal vector의 방향을 특정한 방향으로 유지시켜줌으로써 face 간의 normal vector 비교가 편리하며, 특히 face-list는 face들의 관리상 편의를 제공하기 위해 사용하였다. 뿐만 아니라 그룹(group)이 초기에 몇 개가 존재하는지 모르는 상황에 그룹(group)을 나누는 데 알

고리증상의 편리함을 제공한다. 선(edge)은 방향성을 갖고 있으며 방향은 항상 시작에서 끝을 향하여 이 방향이 동일하도록 구성하고 있다.

형상정보는 점(point)의 좌표, 즉 3차원의 좌표값으로 정의되는 요소로, 본 데이터 구조에서는 시스템의 점자료(point data)를 입력받아 공간상의 위치를 정의하는 형상 데이터만 관리되는 점 자료(point data)로 구성되어 있다.

4. 결과

제안한 알고리즘을 Visual C++로 구현하였고 GUI환경은 Open GL을 이용하여 화면에 출력할 수 있도록 개발하였다. 위의 개발된 시스템의 검증을 위하여 실험용 평면 자료들을 이용하여 검증한 결과는 아래의 그림과 같이 나타났으며 대체적으로 구현된 알고리즘은 평면에 인식을 잘하고 있다고 평가된다. <그림 3>의 a와 b는 본 연구의 결과로서 두 가지 평면 실험용 자료(data)를 실험하여 얻은 결과로서 서로 다른 평면이라 인식이 되는 삼각형 패치(데이터베이스상의 이름인 face들의 색깔을 다르게 출력하여 구분하였다. <그림 3>의 a, b는 동일한 조건이나 a의 실험은 측정 자료에 오차를 더 포함하였다. a, b에서 보는 것과 같이 두 개의 면이 다른 색상으로 나타나므로 그룹화가 잘 되고 있음을 알 수 있다. 콘, 실린더, 구, 실린더와 평면 복합면의 실험 결과는 <그림 3>의 c, d, e, f 순으로 나타나 있으며 이들은 각각을 면을 그룹화하여 평균면에 따라 색상을 다르게 나타내었고 이들 각각은 면의 유형을 판단하는

정보가 된다. <그림 3>에서 c의 콘과 d의 실린더, e의 구 결과 화면에서와 같이 평균 평면이 색상별로 잘 구현됨을 알 수 있다. <그림 3>의 f는 복합면에서의 그룹화(grouping) 실험 결과로서 각각의 단위 형상과 같이 그룹화(grouping)가 잘 이루어짐을 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서 제안한 방법론인 측정자료를 이용하여 점(point) 자료를 연결하여 선(edge)정보를, 선(edge)정보는 면(face)을 형성하고, 이들 면은 제안된 알고리즘에 의해 그룹화(grouping)하고 이들은 그룹(group)정보를 가지게 된다. 또한 이들 그룹은 각각의 평면, 실린더, 콘, 구들의 정보유형에 따라 또 하나의 서브파트(sub-part)를 구성하고 이들은 하나의 파트(part)를 형성하게 된다. 이렇게 하여 최종적으로 복합면 재구성에 관련된 정보의 추출이 가능하게 되고 자동적으로 각각의 절차가 진행되므로 3D fax에 응용이 가능하다. 본 연구에서 제한적으로 일부면(평면, 실린더, 콘, 구)의 복합면에 대해서 연구가 되었고 좋은 결과를 얻을 수 있었으나 자유곡면을 포함하고 있는 복합

면에 대하여 연구가 필요하다.

참고문헌

- 박상근(1993), 삼차원 공간상의 불규칙한 점군을 보간하는 모델링에 관한 연구, *기계설계학과 석사학위 논문*, 서울대학교.
- 주재형(1992), Superimposing color and texture on 3D mock-up via optimal projection of 2D images, *기계공학과 석사학위 논문*, 고려대학교.
- Asey, S. and Scuria, P. (1993), Rapid prototyping for artificial body parts, *Mechanical Eng.*, 145, 50-53.
- Farin, G. (1995), *Curve and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide*, Third Edition, Academic Press Inc., Harcourt Brace Jovanovich, 157-188.
- Fischer, A., Bar-Yoseph, P. and Hod, Y. (1998), Real-time mesh generation based on multi-resolution quadtree, *Israel-Korea Geometric Conference*, 17-19.
- Schroder, W., Zarge, J. and Lorensen, W. (1992), Decimal of triangular meshes, *Computer Graphics, SIGGRAPH '92 Conference Proceedings*, 26(2), 65-70.
- Tomas, V. (1998), Reverse engineering: Sequence point clouds of free-form and regular objects, *Israel-Korea Geometric Conference*, 29-31.
- Tomas, V., Ralph, R. M. and Jordan, C. (1997), Reverse engineering of geometric models—an introduction, *Computer Aided Design*, 29(4), 255-268.



서지한

Illinois대를 거쳐 고려대학교 산업공학과 박사

현재: 명지전문대 공경과에 재직

관심 분야: Geometric Modeling, Reverse Engineering, Expert System



손영대

인하대학교 기계공학과에서 학사, 석사를 취득하였고 현재 고려대학교 산업공학과 박사 과정에 재학중이며 KIST CAD /CAM 연구센터에 근무하고 있다.

관심 분야: Geometric Modeling, RP, Expert System, Intelligent CAD



이홍철

1983년 고려대 산업공학과 학사

1988년 미국 Univ. of Texas 산업공학과 석사

1993년 미국 Texas A&M Univ. 산업공학과 박사

현재: 고려대학교 산업공학과 부교수

관심 분야: CIM, 정보 시스템, Web 응용 등



박세형

서울대 기계설계학과에서 학사, Cornell대에서 석사를 취득하였고 KAIST 생산공학과에서 박사를 취득하였다.

현재: KIST CAD/CAM 연구센터 책임연구원

관심 분야: Geometric Modeling, RP, Expert System, Intelligent CAD