

가상 공간 디자인을 위한 3차원 목표곡선을 이용한 곡면 변형

(Surface Deformation by using 3D Target Curve for Virtual Spatial Design)

권정훈[†] 이정인[†] 채영호^{**}
(Jung Hoon Kwon) (Jeong In Lee) (Young Ho Chai)

요약 2차원 평면 입력을 통한 모델링에서는 입력 값을 3차원 데이터로 바꾸기 위한 기능과 메뉴들이 필요하지만 가상공간 디자인을 위한 3차원 입력 시스템은 입력 값을 곧바로 3차원 데이터로 변환될 수 있다. 하지만 3차원 입력시스템에서 효율적인 곡면 모델링 방법, 특히 곡면 변형 방법은 제안되지 않고 있다. 본 논문에서는 기존의 변형방법이 3차원 입력시스템에서 적용되었을 때 발생할 수 있는 문제점을 제시한다. 그리고 디자이너가 접근하기 쉬운 목표곡선을 이용한 변형을 제안한다. 이와 같은 3차원 목표곡선을 이용한 변형을 통해 디자이너가 보다 쉽게 3차원 입력시스템에 접근하여 가상공간 스케칭 및 디자인을 구현할 수 있다.

키워드 : 가상 디자인, 공간 스케칭, 곡면 직접 변형, 목표곡선, NURBS

Abstract 2D input data have to be converted into 3D data by means of some functions and menu system in 2D input modeling system. But data in 3D input system for virtual spatial design can be directly connected to the 3D modeling data. Nevertheless, efficient surface modeling and deformation algorithm for the 3D input modeling system are not proposed yet. In this paper, problems of conventional NURBS surface deformation methods which can occur when applied in the 3D input modeling system are introduced. And NURBS surface deformation by 3D target curves, in which the designer can easily approach, are suggested. Designer can efficiently implement the virtual spatial sketching and design by using the proposed deformation algorithm.

Key words : Virtual design, Spatial sketching, Surface direct deformation, Target curve, NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline)

1. 서론

지금까지 제품의 생산 과정에서 디자이너의 제품 디자인과 실제 생산되는 제품의 디자인은 독립적인 과정이었다. 디자이너의 스케치는 제품의 개념을 잡아주는 도구일 뿐이었고 제품의 생산을 위해서는 별도의 모델링 과정을 거쳐야만 했다. 최근에 이러한 과정을 하나로 통합하기 위한 시도들이 제안되고 있고 이는 디자이너

에게 가상 스케칭을 통해서 모델링에 쓰일 수 있는 데이터를 직접 디자인하게끔 한다. 컴퓨터를 이용한 3차원 모델링이 개발된 이후로 입출력 장치는 마우스와 키보드 등 평면 입출력에 머무르지 않고 지속적으로 발전되어 왔다. 타블렛(Tablet)과 3D 마우스 등의 입력 인터페이스가 개발되었지만 타블렛은 2차원 평면이라는 제한이 있었고 3D 마우스는 조작이 어렵다는 단점이 있었다. 본 논문에서는 디자이너가 평소 자신의 드로잉 습관을 그대로 활용하면서 3차원 공간상에서 보다 빠르게 자신의 생각을 3차원 모델로 표현하게 해주는 목표곡선을 이용한 곡면 변형 알고리즘을 제안한다. 3차원 인터페이스를 통해 입력된 다수의 정점을 이용해 정해진 수의 제어점을 가진 곡면을 변형하기 위해 곡면 기저함수의 의사역행렬을 통해 제어점의 변화량을 역산하는 방법을 이용하였다.

· 본 연구는 서울시 산학연 협력사업(과제번호 10570)으로 구축된 서울 미래형 콘텐츠컨버전스 클러스터 지원으로 수행되었습니다.

† 비회원 : 중앙대학교 영상공학과
guessyetts@hotmail.com
velab_jeongin@hotmail.com

** 종신회원 : 중앙대학교 영상공학과 교수
yhchai@cau.ac.kr

논문접수 : 2006년 2월 9일
심사완료 : 2006년 8월 31일

곡면 변형 알고리즘 분야에 있어 지금까지 제시된 알고리즘은 격자를 이용한 변형이나 한점을 이용한 직접 변형 또는 목표 곡면을 이용한 변형 등이 있다. 하지만 디자이너는 선을 이용해 물체의 윤곽을 잡는 과정을 통해 스케치를 하기 때문에 기존에 제시된 알고리즘은 디자이너의 드로잉 습관을 반영하지 못하고 제한된 알고리즘을 사용하기 위한 방법을 따로 익혀야만 했다. 따라서 디자이너는 평면 스케칭에서의 자신의 표현능력을 3차원 모델링에서는 제대로 발휘할 수 없었다. 디자이너가 2차원 평면에서 스케치 하던 습관대로 3차원 공간에서 곡선을 이용해 곡면을 변형할 수 있다면 자신의 생각을 표현하기가 용이할 것이다. 또한 평면에서 스케치한 그림을 3차원 모델로 구현하는데 드는 시간과 비용 또한 절감될 것이다. 제한된 알고리즘은 디자이너에게 익숙한 2D 드로잉 습관을 3차원 곡면구현과 변형에 그대로 반영할 수 있도록 3차원 입력시스템에서 곡선의 입력을 통해 자유롭게 곡면을 변형하는 방식으로, 디자이너가 가상공간에서 3차원 모델링을 보다 쉽고 자유롭게 진행하는데 도움을 준다.

본 논문의 2장에서는 공간 스케칭 시스템과 곡면 변형 알고리즘에 관한 관련연구를 알아보고, 3장에서 목표 곡선을 이용한 곡면 변형 알고리즘을 소개하고 그 예를 보여준다. 4장에서 제한한 알고리즘을 공간 스케칭 시스템에 적용한 실험사례를 얼굴모델링을 통하여 증명하고 5장에서 결론과 함께 향후 진행방향을 기술한다.

2. 관련연구

2.1 가상공간 디자인 인터페이스

가상공간 디자인 인터페이스는 이전까지 사용되던 마우스 태블릿 등의 2차원 평면 인터페이스에서 벗어나 3차원 공간상에서 직접 데이터를 입력하고 입력된 데이터로 만들어진 영상을 3차원의 영상으로 직접 확인할 수 있는 장치를 말한다.

SketchUp[1]은 주로 건축과 인테리어 디자이너에 유용한 스케치 프로그램이다. 3차원 공간에서 선과 면 등 각종 객체를 손쉽게 스케치하는 방식을 택하여 사용자가 원하는 형상을 종이에 연필로 그리듯 쉽게 디자인할 수 있고 일반적인 그래픽 도구의 인터페이스와 비슷하여 사용법이 비교적 어렵지 않다. 그러나 3차원 물체를 그리기 위해 대부분 밀고 당기는 기능으로 표현되기 때문에 캐릭터, 제품 디자인과 같은 복잡하고 정교한 모델링이 요구되는 분야에서는 제약이 따른다.

Free Drawer[2]는 3차원 몰입형 가상환경에서 스플라인 곡선을 기반으로 하는 스케치 도구이다. 종이에 선을 그리듯 3차원 공간에서 의 선을 드로잉하고 3차원 B-spline 보간법을 이용하여 3차원 면으로 확장시켜 나

간다. 정확한 선의 입력을 위하여 3차원 공간 뿐 아니라 가상의 평면을 설정하여 선을 투영하여 진행할 수 있다.

Surface Drawing[3]은 3차원 물체 생성 시 손의 모양과 여러 3차원 입력도구를 적극적으로 활용하여 독창적인 3차원 입력방식을 제안하고 있는 시스템이다. 사용자는 위치추적 장갑을 착용하여 몰입형 인터랙티브 가상 환경에서 손을 움직여 면을 생성한다. 규격화된 입력체계와 복잡한 기능에서 벗어나 손의 자연스러운 움직임을 면에 적용하여 3차원 입력방식에 익숙하지 않은 사용자도 직관적으로 손쉽게 난해한 면을 생성할 수 있다.

SpaceDesign[4]은 ARCADE[5]에서 발전된 자유 곡선과 곡면 생성을 위한 가상환경 기술이다. 각 디자인 단계별로 기능을 구체적으로 구성하여 컨셉 디자인에서부터 목업과 프리젠테이션까지 전 디자인 과정에 이용할 수 있다. 3D 입/출력 장치와 3D CAD 시스템을 통합한 프로그램으로 3D 입력 장치를 이용한 시각적 피드백을 기반으로 자연스러운 3D 인터랙션 인터페이스기술을 보여준다.

이 외에도 Quicksketch[6], VSculpt[7] 등 다양한 형태의 가상공간 인터페이스가 제안되고 있다.

2.2 곡면변형 알고리즘

3차원 모델을 변형하는 알고리즘은 크게 모델을 포함하는 격자의 변형을 통해 모델의 변형을 유도하는 간접 변형과 모델의 표면에 직접 데이터를 입력하는 직접 변형으로 나눌 수 있다. 격자를 이용한 자유형태 변형[8]은 간접변형의 가장 기본적인 형태를 제안했지만, 평행육면체 형태의 격자만을 사용할 수 있었다. 확장된 격자를 이용한 변형[9]과 임의의 격자를 이용한 변형[10]은 평행육면체가 아닌 형태의 격자를 제안하여 보다 다양한 형태의 격자를 사용할 수 있도록 하였다. 하지만 격자를 사용한 간접변형은 많은 시간이 소비되며 사용하기 어려운 단점이 있다.

자유형태 변형에서의 직접조작[11]은 임의의 NURBS 모델을 사용자가 직접 움직여 변형할 수 있는 직접 변형 알고리즘이다. 곡면의 한 점 또는 영역을 직접 변형할 때 물체의 변형에 해당하는 제어점의 변화량을 의사역행렬(pseudo inverse)을 통해서 역산하는 방법을 제시했다. 단순원형구간을 이용한 변형[12]은 원 형태의 변형구간을 이용해서 변형을 제어하는 방법을 제시한다. 제한점의 반경내에 B-spline 기저함수를 정의하고 반경내의 정점이 그에 따라 변형된다.

곡면 기반 변형[13]에서는 넓스 곡면에서 부분적인 변형, 곡선에 대한 조각을 수행하기 위해 변형되는 구간을 지정하고 해당 구간의 형태를 변형한다. 변형이 될 모양이 주어지면 변형이 일어날 구간과 모양을 유지시킬 구간을 정의한 후 변형이 일어날 구간의 모양을 주어진

목표점으로 변형시킴으로서 변형을 표현한다. 수식을 이용한 영역 변형[14]은 입력된 변형값에 다양한 수식을 통한 보간법을 적용함으로써 영역 내부의 변형 방법을 다양화 하는 방법을 사용하였다. 곡선 분석을 이용한 곡면 모델링[15]은 2차원 평면에서의 곡선 입력을 이용해 3차원 모델의 일부를 변형하는 방법이다. 입력된 곡선은 하나의 패턴으로 정의되고 이를 분석함으로써 곡면을 주어진 패턴에 맞게 변형하는 알고리즘이다. 평면에서의 입력을 패턴으로 정의한 뒤 곡면을 변형하기 때문에 곡면을 세밀하고 다양한 형태로 변형하기 힘들다.

위에 제시된 알고리즘은 사용자가 원하는 형태로 3차원 모델을 변형하는데 큰 문제가 없다. 하지만, 제안된 알고리즘을 사용하기 위해서는 변형의 방법을 다시 익혀야 하고 원하는 결과를 얻기 위해서는 많은 시행착오를 거쳐야만 한다. 또한 디자이너가 개념설계를 할 때 모델의 변형을 위해 위의 도구들을 사용하게 되면 지금까지 평면 스케치에서 사용하던 드로잉 능력을 제대로 발휘하지 못하는 문제점이 있다. 평면에서의 선을 이용한 드로잉 습관을 곡면 변형의 목표곡선으로 활용하면 평면스케치에서와 같이 선을 이용해 모델의 윤곽을 잡는 과정이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 디자이너의 드로잉 능력을 가상 디자인에서 그대로 사용할 수 있는 목표곡선을 이용한 곡면 변형 알고리즘을 제안한다.

3. 3차원 목표곡선을 이용한 곡면 변형 알고리즘

컴퓨터의 사용자 인터페이스는 이제 2차원 평면에서 벗어나 3차원 공간을 향해 가고 있다. 하지만 현재 3차원 공간 인터페이스는 아직 디자이너가 쉽게 접근할 수 없는 영역이다. 목표곡선을 이용한 곡면 변형은 평면의 스케치북에서 그림을 그리던 드로잉 능력을 3차원 공간에서 그대로 활용할 수 있게 하는 알고리즘이다.

3.1 의사역행렬을 이용한 NURBS 곡면 직접 변형

본 논문에서는 곡선 입력을 통한 NURBS 곡면의 변형을 위해 다수의 점을 이용한 의사역행렬을 사용한다. 변형점의 수와 제어점의 수가 같을 경우 기저함수 행렬이 정방행렬을 이루어 역행렬을 구할 수 있지만 변형점의 수가 제어점의 수보다 많거나 적다면 의사역행렬을 사용하여 제어점의 변화량을 구하게 된다.

NURBS 곡면[16]은 제어점과 노벡터로 구성되어 있다. 각각의 제어점은 3차원의 좌표를 가지며 u , v 두 방향으로 배열되고, 두 방향에 각각의 노벡터가 정의된다. 식 (1)은 u , v 방향의 제어점이 각각 n , m 개인 곡면을 정의하는 식이다.

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) P_{i,j} \quad (1)$$

가장 기본적인 형태인 한 점의 변화량을 이용한 의사

역행렬에서 곡면위의 한 점의 변화량 Δq 는 제어점의 변화량을 ΔP , 제어점의 기저함수를 N 이라고 할 때 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta q_0 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u_0) N_{j,q}(v_0) \Delta P_{i,j} \quad (2)$$

$\Delta P_{i,j}$ 는 제어점의 변화량이고, $N_{i,p}(u_0)$ 와 $N_{j,q}(v_0)$ 는 각각 u 방향과 v 방향의 q_0 점에 따른 기저함수를 나타낸다. Δq_0 는 곡면위의 한 점에서 변형하고자 하는 변화량을 나타낸다. 곡면위의 한 점을 변형한다고 할 때, Δq_0 가 주어지고 그에 따른 u_0 , v_0 값을 이용해 $N_{i,p}(u_0)$, $N_{j,q}(v_0)$ 값이 결정된다. 제어점의 변화량 ΔP 를 구하기 위해서는 곡면위의 변화량 Δq_0 와 행렬 N 의 의사역행렬 N^+ 의 곱을 이용해 구하고 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta P_{i,j} = N_{i,p}^+(u_0) N_{j,q}^+(v_0) \Delta q_0 \quad (3)$$

$y = Bx$ 로 표현되는 선형방정식에서 임의의 위치 x_0 에서의 의사역행렬 B^+ 는 $x_0 = B^+y$ 를 만족하는 행렬이다. B 은 $m \times n$ 행렬일 때, $B = CD$ 인 행렬 B, C, D 에서 각 행렬의 계수는 k 이고 C 는 $m \times k$, D 는 $k \times n$ 행렬이다. 이 때, B 의 의사역행렬 B^+ 의 일반식은 식 (4)와 같다.

$$B^+ = C^T(CC^T)^{-1}(D^T D)^{-1} D^T \quad (4)$$

다수의 점에서의 의사역행렬은 변형에 필요한 모든 점을 포함하는 제어점과 그에 따른 기저함수의 식으로 쓸 수 있다. 곡면위의 점 $q_{k,i}$ 은 u , v 방향으로 같은 매개 변수값을 갖는 정방행렬을 나타낸다. $q_{k,i}$ 의 변화량 $\Delta q_{k,i}$ 는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta q_{k,i} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u_0) N_{j,q}(v_0) \Delta P_{i,j} \quad (5)$$

위 식을 이용해 제어점의 변화량 $\Delta P_{i,j}$ 를 구하기 위해서는 한점을 이용한 변형에서와 마찬가지로 기저함수 N 으로 구성된 행렬 N 의 의사역행렬 N^+ 를 이용한다. 의사역행렬 N^+ 를 이용해 $\Delta P_{i,j}$ 를 구하는 식은 식 (6)과 같다.

$$\Delta P_{i,j} = N_{i,p}^+ N_{j,q}^+ \Delta q_{k,i} \quad (6)$$

위의 의사역행렬을 이용한 제어점의 변화량 계산을 이용해 입력된 곡선을 포함하는 곡면으로 변형하게 된다.

3.2 목표 곡선을 이용한 곡면 변형 알고리즘

이 알고리즘은 3차원 공간에서 사용자로부터 입력된 곡선을 이용해 곡면의 일부를 변형하기 위한 알고리즘이다. 사용자는 가상공간에서 모델을 디자인하기 위해 평면의 스케치북에 그림을 그리듯 공간에서 변형하고자 하는 모양대로 선을 그리고, 입력된 곡선위의 각 점을 곡면변형의 목표점으로 하는 의사역행렬을 이용해 곡면을 변형하게 된다.

3차원 목표곡선을 이용한 곡면 변형의 순서는 그림 1과 같다. 먼저 변형할 곡면을 선택하면 그 곡면으로부터 표본 정점정보를 추출한다. 이 정점정보는 의사역행렬에서 변형값을 갖는 표본곡면으로 사용된다. 표본 정점정보 추출에 쓰이는 매개변수 u, v 값을 이용해 의사역행렬에 사용될 기저함수를 계산한다. 추출되는 정점의 개수가 많아질수록 보다 입력값에 가까운 정확한 변형이 가능하지만 계산시간이 늘어나는 단점이 있다. 반면에 추출되는 정점의 개수가 적어지면 의사역행렬의 결과값이 발산할 수도 있다.

다음 3차원 입력시스템으로부터 시스템의 완드를 이용해 곡선입력을 받는다. 완드로부터 입력되는 정보는 현재 완드의 위치와 방향이다. 완드를 통해 입력된 곡선은 위치와 방향을 갖는 정점들의 배열로 이루어진다. 입력된 곡선은 각 정점의 방향을 이용해 곡면에 투영하고 투영된 지점을 기점이라 한다. 완드의 방향이 곡면과 만나지 않을 경우에는 곡면위의 가장 가까운 점으로 투영되게 된다. 또한 입력된 곡선에서 정점의 개수가 일정수 이하일 경우에는 곡선 보간을 통해 일정수 이상의 정점을 갖도록 가상의 목표점을 생성한다. 평면에서의 스케치 과정은 면의 생성과 변형을 포괄한다. 본 논문은 변형을 의도하는 스케치 과정 중 입력되는 목표곡선을 대상으로 기 구현된 곡면을 변형하는 알고리즘이기 때문에 입력된 목표곡선을 변형 및 선택하는 과정은 포함되지 않는다. 입력된 목표곡선을 통한 변형이 사용자가

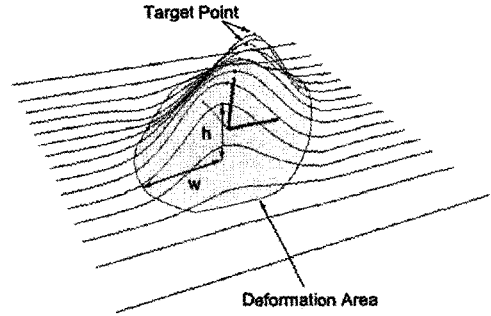


그림 2 기점과 변형영역

원하는 형태가 아닐 경우 목표곡선을 추가 입력하여 변형을 누적시키거나 원상태에서 재시도 할 수 있다.

곡면에 투영된 곡선의 기점은 표본곡면과 연결되게 된다. 기점을 중심으로 변형 영역을 정의하고 변형 영역 내부의 표본 정점과 연결된다. 변형 영역 내부의 표본 정점은 반드시 가장 가까운 하나의 기점과 연결된다. 그림 2는 입력된 곡선 위의 점들이 곡면에 투영됐을 때 기점을 중심으로 한 변형 영역을 표시한 그림이다. w 는 기점으로부터의 변형 영역을 나타내고 h 는 기점에서 입력된 목표점까지의 변화량을 나타낸다.

3차원 입력 시스템에서 완드를 이용해 목표점과 방향을 입력하면 곡면에서 변형이 될 지점인 기점을 찾기 위해 다음과 같은 알고리즘을 사용한다.

한 개의 목표점과 곡면이 있을 때(그림 3(a)) 목표점을 전체 좌표의 원점으로 이동하는 변환행렬(그림 3(b))과 목표점의 방향(Target Normal)을 z 축의 음의 방향으로 회전하는 변환행렬(그림 3(c))을 이용해서 목표점과 곡면의 위치를 같이 변환한다. 만약 목표점의 위치에서 목표점의 방향으로 진행했을 때에 곡면 위를 지난다면 변환을 수행한 후에 곡면위의 적어도 한 점은 z 축을 지난다. 이 때 z 축을 지나는 곡면 위의 점의 u, v 값을 그 목표점에 해당하는 기점의 u, v 값으로 한다. 이 방법은 공간에서 직선과 곡면사이의 교차점사를 하는 것보다 계산시간이 짧고 기점을 보다 빠른 시간에 찾을 수 있는 장점이 있다.

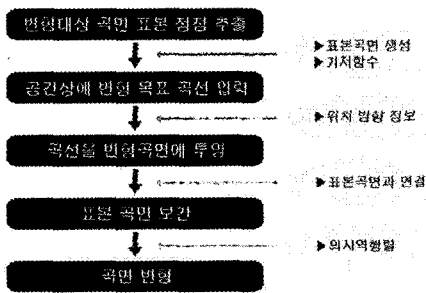
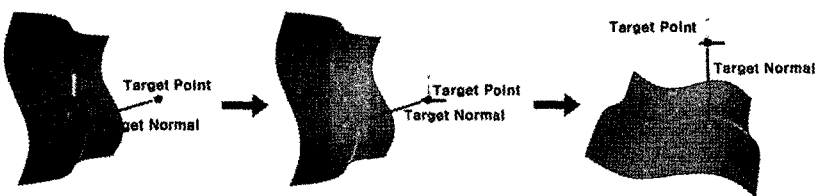


그림 1 곡면 변형 과정



(a) 목표점의 위치와 방향 (b) 목표점을 원점으로 이동 (c) 목표점을 Z축 방향으로 회전

그림 3 기점 찾기 알고리즘

기점은 현재 위치로부터 목표점까지를 변형값으로 갖고 기점과 연결된 변형 영역 내부의 다른 표본정점들은 부드럽고 연속적인 변형값을 위해 인접 기점의 변형값을 다항식 보간법을 사용하여 보간한다. 곡면의 차수와 같거나 곡면의 차수보다 높은 차수의 다항식으로 표본 곡면을 보간하면 곡면의 연속성을 유지하면서 의사역행렬의 계산 결과가 발산하지 않고 적절한 결과값을 얻을 수 있다. 기점으로부터의 변형값 x, y, z 를 각각 보간하여 변형영역 내의 모든 표본정점의 변형값을 계산한다. 보간된 표본 정점정보의 변형값과 기저함수의 의사역행렬을 이용해 곡면 제어점의 변화량을 구한다. 제어점의 변화량을 곡면에 적용하면 곡면의 변형을 구할 수 있다.

3.3 곡면변형의 예

다음은 앞 절에서 설명한 곡선을 이용한 곡면 변형 알고리즘을 이용해 실제 변형을 구현한 결과의 예를 보여준다. 사용자의 입력에 따라 한 점 또는 소수의 점을 입력받았을 경우와 곡선을 입력받았을 경우에 대한 그림을 나타내고 있다. 그림 4는 한 점을 목표점으로 입력했을 경우 곡면의 변형을 구현한 그림이다. 그림 4(a)는 원래의 곡면이고 4(b)는 입력된 목표점과 목표점이 투영된 기점으로부터의 변형영역을 나타낸 그림이다. 4(c)는 변형영역 내부의 표본정점을 기점을 중심으로 보간한 값이며 4(d)는 보간된 표본정점의 변형값에 맞게 의사역행렬을 통해 곡면을 변형한 그림이다.

사용자로부터 곡선이 아닌 두개의 점을 입력 받았을 경우 두 점을 잇는 직선을 입력받은 것으로 가정하고 곡면을 변형한다. 두 점 사이에 정해진 개수의 목표점이 입력된 것으로 간주하고 입력된 직선에 의해 곡면을 변형하게 된다. 그림 5는 두 점을 입력했을 경우 곡면을 변형하는 그림이다. 입력된 두 목표점 사이에 임의로 정해진 수의 가상 목표점을 생성하고 두개의 입력된 목표점을 이용해 가상 목표점을 직선 보간한 뒤 가상 목표점을 곡면에 투영해 곡면 변형을 수행한다.

사용자로부터 세 점 이상의 소수의 점을 입력받을 경우 입력된 점을 경유하는 곡선을 입력받은 것으로 가정

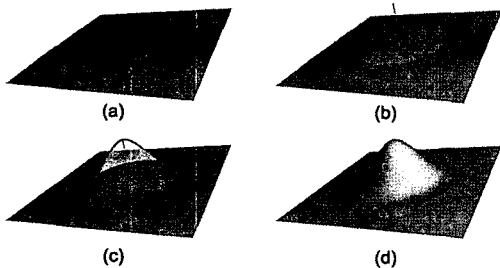


그림 4 한 점을 이용한 변형

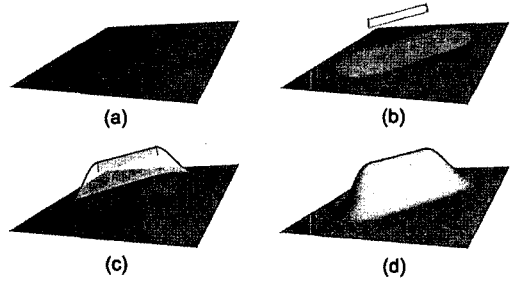


그림 5 두 점을 이용한 변형

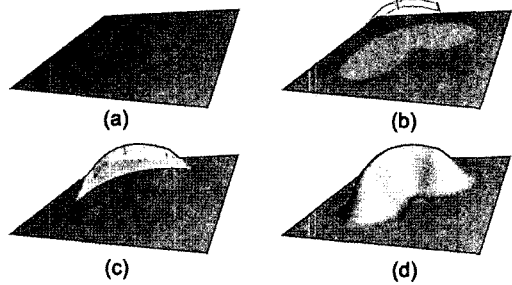


그림 6 세 점을 이용한 변형

하고 변형을 수행한다. 입력된 점을 NURBS 곡선 보간을 통해 새로운 곡선을 생성한 뒤 생성된 곡선을 곡면 변형에 필요한 목표곡선으로 곡면을 변형한다. 그림 6은 세 점을 이용한 곡면변형을 수행한 그림이다.

곡선입력을 이용한 변형은 앞에서 제시한 방법대로 변형을 수행한다. 입력된 곡선의 각 정점은 위치와 방향을 갖고 곡면에 투영된 뒤 곡면의 투영된 지점을 변형한다. 그림 7은 곡선을 이용한 변형의 예를 보여주고 있다. 먼저 입력된 곡선의 각 목표점을 곡면에 투영하고 투영된 기점을 중심으로 가까운 표본 정점을 연결한다. 표본 정점들은 연결된 기점에서 목표점까지의 변화량에

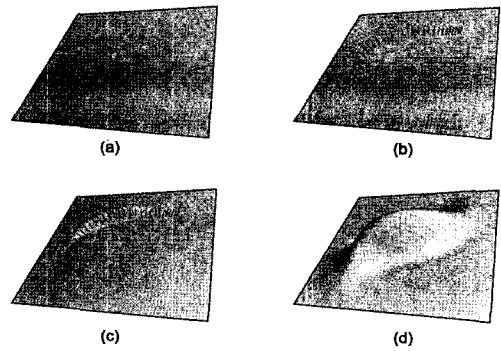


그림 7 곡선 입력을 이용한 변형

따라 보간된 뒤에 의사역행렬을 통해 곡면을 보간하게 된다.

입력된 곡선이 겹쳐지거나 꼬이는 경우에도 변형은 입력에 따라 이루어진다. 그림 8은 평평한 NURBS 곡면을 한번의 곡선 입력을 통해 변형한 그림이다. 입력된 곡선이 중간에 겹치더라도 곡면의 변형에 영향을 끼치지 않는 것을 볼 수 있다.

그림 9, 10, 11은 두 번의 입력을 통해 NURBS곡면을 변형한 그림이다. 입력된 두개의 곡선이 겹칠 경우의 변형을 보여주고 있다. 각각 서로 다른 변형영역을 가지고 있기 때문에 변형 결과가 다른 것을 볼 수 있다. 9는 좁은 변형영역으로 변형을 수행한 결과이고, 11은 넓은 변형영역으로 변형을 수행한 결과이다. 두 번의 입력이 서로 겹치더라도 사용자의 의도대로 곡면이 변형되는 것을 볼 수 있다.

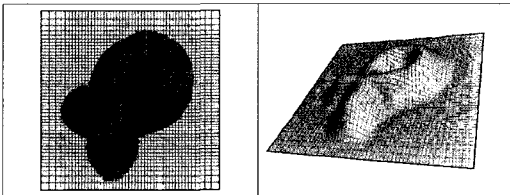


그림 8 겹쳐진 곡선 입력

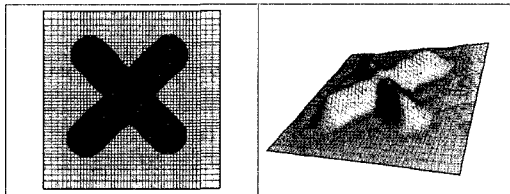


그림 9 좁은 변형 영역

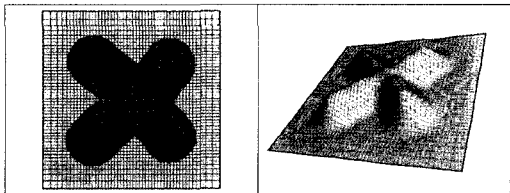


그림 10 중간 변형 영역

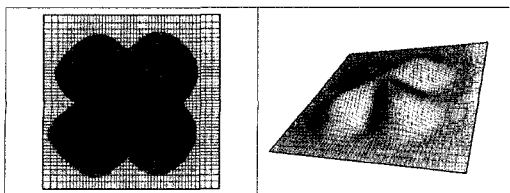


그림 11 넓은 변형 영역

4. 실험 결과

이 장에서는 3차원 입력 시스템을 이용해 앞 장에서 구현한 알고리즘을 직접 실행한 결과를 보여준다. 3차원 입력 시스템으로는 Free Drawer[2]와 같이 HMD(head mounted display)와 유선 입력장치를 이용하거나 본 연구에서 쓰인 몰입형 가상환경 시스템과 같이 프로젝터를 통한 디스플레이와 적외선 반사 마커를 부착한 무선 완드를 이용한 시스템 등이 있다. 적외선 발광 다이오드를 이용해 손과 머리의 위치를 추적[17]하는 장치 및 두대의 카메라를 통해 입력된 영상을 직접 3차원 좌표로 변환[18]하는 방법 등 다양한 3차원 입력 인터페이스와 관련된 연구가 진행되어 왔다.

그림 12에서 소개하는 몰입형 가상환경 시스템[19]은 적외선 카메라 트래킹이 적용된 후방투영 듀얼 디스플레이 환경을 이용하여 3차원 공간상에 그림을 그리고 [20] 사용자 움직임에 따라 여러 시점에서 입체적으로 물체를 볼 수 있는 장치이다. 이 시스템을 이용해 3차원 목표곡선을 이용한 곡면 변형을 구현하였다. 직각으로 이루어진 두 개의 화면에 편광필터가 사용된 프로젝터를 각각 두개씩 사용함으로써 입체 영상을 볼 수 있고, 편광안경과 완드(wand)에는 각각 두 개씩의 적외선 반사 마커를 사용하고 적외선 발광다이오드와 적외선 카메라를 이용해 사용자와 완드의 위치를 추적함으로써 3차원 입력을 통한 모델링 작업을 수행할 수 있도록 한다. 전원이 필요한 적외선 발광 다이오드를 편광안경과 완드에 직접 부착하지 않아서 착용장치의 무게를 줄이고 사용자의 활동성을 높일 수 있도록 하였다. 그림 12(a)는 가상환경 시스템의 실제 모습이고 12(b)는 시스템을 이용해 곡면을 생성하는 모습을 그린 상상도이다.

그림 13은 제시한 알고리즘을 통해 얼굴형태를 제작한 예이다. 그림 13(a)의 기본적인 형태에서 그림 13(b), (d), (f), (h)의 4번의 곡선 입력을 통해 그림 13(i), (j)에서와 같은 얼굴형태의 모델을 완성하는 그림을 보여주고 있다. 사용자가 입력한 곡선은 그림 13(b), (d), (f), (h)에서 그려진 일련의 방향 선분의 끝점을 잇는 선이고, 변형 영역은 음영부분으로 표시되어 있다.

다음은 위의 3차원 입력 시스템을 이용해 목표곡선을 이용한 곡면 변형 알고리즘을 실제 모델링에 적용한 예이다. 그림 14는 가상 디자인 시스템에서 알고리즘을 적용한 얼굴 모델을 측면과 정면에서 본 그림이고, 곡면은 u, v 방향으로 각각 13, 14개의 제어점으로 구성되어 있다. 3차원 입력시스템을 이용해 1회의 곡선 입력을 받은 그림으로서 대략적인 사람의 얼굴 형태에서 코를 그리는 작업이다. 그림 14(b)의 선분들은 입력된 곡선의 각 정점의 위치로부터 완드의 방향으로 그려졌고, 선분의 오른쪽 끝점을 잇는 실루엣은 사용자가 입력한 변형 목

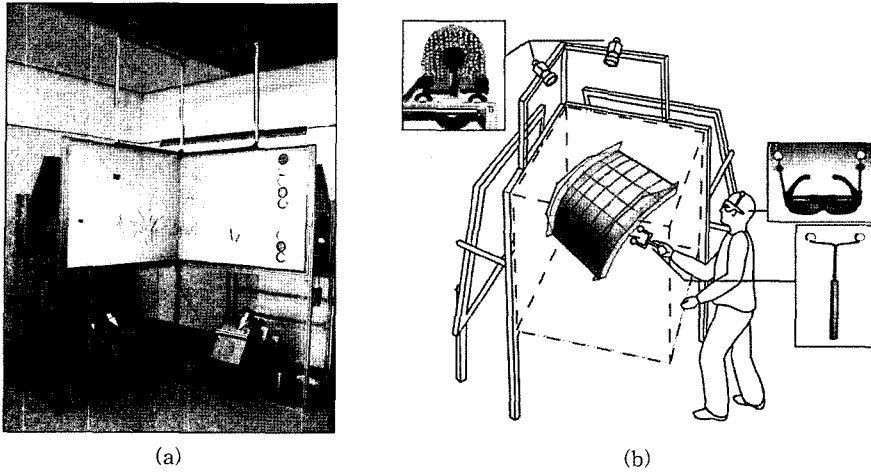


그림 12 3차원 공간입력 인터페이스

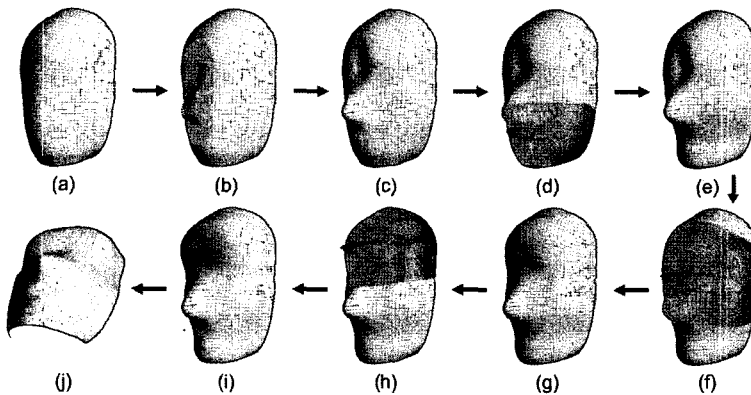


그림 13 곡선 입력을 통한 얼굴 변형

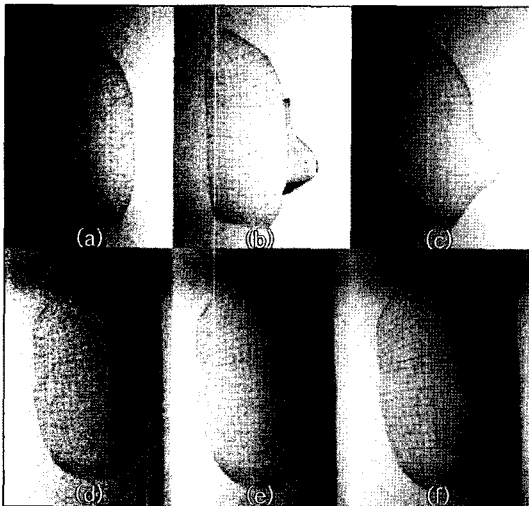


그림 14 목표곡선을 이용한 변형

표 곡선이다.

그림 14(a), (b), (c)는 측면에서 본 그림이고 그림 14(d), (e), (f)는 정면에서 본 그림이다. 그림 14(a), (d)는 곡선을 입력하기 전의 형태이고 14(b), (e)는 곡면 위에 코 형태의 변형을 위해 한 개의 곡선을 입력한 그림이다. 입력된 곡선에서 정점의 방향이 얼굴의 앞쪽에서 얼굴을 향하고 있기 때문에 정면에서 본 그림에서는 정점의 투영방향을 나타내는 선이 보이지 않는 것을 알 수 있다. 그림 14(c), (f)는 입력된 곡선을 목표곡선으로 하여 곡면을 변형한 결과이다.

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 디자이너가 3차원 모델링에서 보다 직관적인 작업을 수행할 수 있도록 3차원 공간 입력 인터페이스를 이용한 곡선 입력을 통해 NURBS 곡면을 변형하는 알고리즘을 개발하고 이를 통해 가상공간에서의

3차원 곡면의 변형을 구현하였다. 제안된 알고리즘은 NURBS곡면 기저함수의 의사역행렬을 통해 직접 곡면을 변형할 수 있도록 구현되었고, 변형된 곡면은 추가적인 정보 없이 기존의 곡면과 동일하게 이후의 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 그리고 곡선을 입력 했을 때와 같이 많은 수의 정점에서뿐만 아니라 한 점이나 소수의 점을 입력했을 경우에도 곡선을 입력한 것과 같이 변형을 수행하도록 하여 사용자의 의도를 충분히 파악할 수 있도록 하였다.

디자인의 드로잉 기술은 모델의 창의성과 독창성을 구분짓는 중요한 요소이다. 본 연구에서 개발된 곡선입력을 통한 곡면 변형은 디자이너가 평면에서 익힌 드로잉 기술을 3차원 공간에서도 그대로 사용할 수 있도록 고안되어서 3차원 모델링에서 디자이너의 드로잉 기술을 극대화할 수 있다.

본 연구에서 제안된 알고리즘을 기반으로 디자이너를 위한 실시간 모델링 도구에서 사용자가 직관성과 접근성을 기대할 수 있게 된다. 추후 연구에서 개선되어야 할 사항으로는 보다 다양한 공간 방식을 통해 사용자의 의도에 더욱 가까운 변형을 구현할 수 있도록 해야 할 것이며, 눈 벡터나 가중치의 변화를 통해 다양한 변형을 표현할 수 있도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Last Software, Inc. "SketchUp," <http://www.sketchup.com>.
- [2] Wesche, G., Seidel, H., "FreeDrawer-A Free-Form Sketching System on the Responsive Workbench," Proceedings of VRST 2001, Banff, Alberta, Canada, pp. 167-174, 2001.
- [3] Schkolne, S., Pruett, M., & Schroder, P., "Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools," Proceedings of SIGCHI 2001, ACM Press, Seattle, WA, USA, pp. 261-268, 2001.
- [4] Fiorentino, M., Amicis, R., Monno, G., Stork, A., "Spacedesign : A Mixed Reality Workspace for Aesthetic Industrial Design," DIMeG, Politecnico di Bari, Italy, GRIS, Universitat Darmstadt, Germany, Proceedings of Mixed and Augmented Reality, pp. 86-318, 2002.
- [5] Stork, A., Amicis, R., "ARCADE," Institut Graphische Datenverarbeitung, Germany, <http://www.igd.fraunhofer.de/igd-a2/projects/Arcade/index.html>.
- [6] Beat D. Bruderlin, "Sketch-based Design," Computer Graphics Group, Dept. of Computer Science and Automation, Technical University of Ilmenau, Germany, <http://rabbit.prakin.f.tu-ilmenau.de/qs sketch.html>.
- [7] Frederick W. B. Li, Rynson W.H. Lau, "VSculpt: A Distributed Virtual Sculpting Environment for Collaborative Design," Department of Computer Science, City Univ. of Hong Kong, China, IEEE Transactions on multimedia, pp. 570-580, 2003.
- [8] Sederberg, T. W., Parry, S. R., "Free-Form Deformation of Solid Geometric Models," Proceedings of SIGGRAPH '86, Computer Graphics, Vol. 20, No. 4, pp. 151-160, 1986.
- [9] Coquillart, S., "Extended Free-Form Deformation: A Sculpturing Tool for 3D Geometric Modeling," Proceedings of SIGGRAPH '90, Computer Graphics, pp. 187-196, 1990.
- [10] MacCracken, R., Joy, K. I., "Free-Form Deformations With Lattices of Arbitrary Topology," Proceedings of SIGGRAPH '96, Computer Graphics, pp. 181-188, 1996.
- [11] Hsu, W. M., Hughes, J. F., & Kaufman, H., "Direct Manipulation of Free-Form Deformations," Proceedings of SIGGRAPH '92, Computer Graphics, Vol. 26, No. 2, pp. 177-184, 1992.
- [12] Borrel, P., "Simple Constrained Deformation for Geometric Modeling and interactive Design," ACM Transaction on Graphics, Vol. 13, No. 2, pp. 137-155, 1994.
- [13] Zheng, J. M., Chan, K. W., Gibson, I., "Surface Feature Constraint Deformation for Free-form Surface and Interactive Design," Proceedings of 5th ACM symposium on Solid Modeling and applications, pp. 223-233, 1999.
- [14] Hua, J., Qin, H., "Free-Form Deformation via Sketching and Manipulating Scalar Fields," Proceedings of the 8th ACM symposium on Solid modeling and application, pp. 328-333, 2003.
- [15] Zelinka, S., Garland, M., "Modeling with Curve Analogies," Proceeding of SIGGRAPH '03, Sketches & applications, p. 1, 2003.
- [16] Piegl, L., Tiller, W., The NURBS Book(Second Edition), Springer, 1997.
- [17] Klaus, D., Hanno, W., "Real-Time Hand and Head Tracking for Virtual Environments Using Infrared Beacons," Lecture Notes In Computer Science, Vol. 1537, pp. 113-127, 1998.
- [18] Bouguet, J. Y., "Camera Calibration Toolbox for Matlab," Computer Vision Research Group, Dept. of Electrical Engineering, California Institute of Technology, Pasadena, USA, http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html
- [19] Ryu, C. R., Cho, Y. H., Chai, Y. H., "Development of an Immersive VR Display System for 3D Digital Art," Proceedings of Computer Graphics, Imaging and Visualization 2004, pp. 93-98, Penang, Malaysia, Jul. 26-29, 2004.
- [20] Choi, H. W., Chai, Y. H., "Interactive sketching and styling algorithm based on 3D free hand strokes," Proceedings of Korea CAD/CAM Society, pp. 1146-1151, Jan. 27-29, 2005.



권 정 훈

중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
1994년 중앙대학교 기계공학사. 1994년~
1998년 LG산전(주) 공구사업UNIT. 2001
년 중앙대학교 영상공학석사. 2006년 중
앙대학교 영상공학박사. 관심분야는 가상
환경, 물리기반 모델링



이 정 인

중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
2004년 중앙대학교 기계공학사. 2006년
중앙대학교 영상공학석사. 관심분야는 가
상환경



채 영 호

중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
부교수. 1989년 중앙대학교 기계공학사
1989년~1992년 (주)삼성전기 캐드캠실
연구원. 1994년 SUNY at Buffalo 기계
공학석사. 1997년 Iowa State Univer-
sity 기계공학박사. 1998년~1999년 중앙
대학교 기계공학부 조교수. 1999년~현재 중앙대학교 첨단
영상대학원 부교수. 관심분야는 가상 디자인, 물리기반 모델
링, 햅틱스