

공간격자의 내부정점 조합에 의한 가상 개념 스케치용 곡면 모델링 알고리즘

(A Surface Modeling Algorithm by Combination of Internal
Vertexes in Spatial Grids for Virtual Conceptual Sketch)

남 상 훈[†] 김 학 수[†] 채 영 호^{**}
(Sang-hoon Nam) (Hark-soo Kim) (Young-ho Chai)

요 약 디자이너가 생각 하는 모델을 3차원 입력 장치를 사용하여 공간상에서 스케치를 할 경우 상대적으로 깊이 방향의 위치를 정확히 입력하기 어렵기 때문에 원하는 모델을 단시간에 그리기 어렵다. 본 논문에서는 2차원 스케치에서 습관적으로 사용하는 다중, 반복 스트로크를 공간 스케치 시스템에 적용하여 입력 위치의 에러를 보정함과 동시에 효율적으로 개념상의 모델을 실체화 할 수 있는 모델링 알고리즘을 제안한다. 디자이너는 곡면을 그리기 위하여 스트로크를 입력한 후 바로 그 결과를 확인할 수 있으며, 추가적인 스트로크를 입력할 때마다 곡면은 변형되고 자신이 원하는 형태로 변형되는 지 확인하면서 새로운 스트로크를 입력할 수 있다. 이를 위하여 드로잉 공간을 격자 형태의 공간으로 나누고, 각각의 격자 내부에는 격자안에서 이동이 자유로운 내부 정점을 정의하여 드로잉 공간에서의 데이터를 단순화 하였다. 이 정점을 인접격자와의 상호관계 패턴으로 정의하여 디자이너가 의도한 개념상의 모델을 효과적으로 3차원 모델로 구체화 하는 3차원 공간 스케치 시스템을 구현하였다.

키워드 : 가상 개념 스케치, 곡면 모델링, 상호 작용 기술, 가상현실

Abstract In case of sketching a conceptual model in 3D space, it's not easy for designer to recognize the depth cue accurately and to draw a model correctly in short time. In this paper, multi-strokes based sketch is adopted not only to reduce the error of input point but to substantiate the shape of the conceptual design effectively. The designer can see the drawing result immediately after stroking some curves. The shape can also be modified by stroking curves repeatedly and be confirmed the modified shape in real time. However, the multi-strokes based sketch needs to manage the great amount of input data. Therefore, the drawing space is divided into the limited spatial cubical grids and the movable internal vertex in each spatial grid is implemented and used to define the surface by the multi-strokes. We implemented the spatial sketching system which allows the concept designer's intention to 3D model data efficiently.

Key words : Virtual conceptual sketch, Surface modeling, Interaction technique, Virtual reality

· 본 논문은 2007년도 정부의 재원으로 한국과학재단(No. R01-2007-000-20283-0)과 2006년도 중앙대학교 교수연구연구비의 지원을 받아 수행된 연구임

[†] 학생회원 : 중앙대학교 첨단영상대학원
sanghunnam@gmail.com
harksu@gmail.com

^{**} 종신회원 : 중앙대학교 첨단영상대학원 교수
yhchai@cau.ac.kr

논문접수 : 2008년 7월 3일
심사완료 : 2008년 12월 31일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제36권 제3호(2009.3)

1. 서 론

상상 속의 3차원 모델의 형상을 디지털화하기 위해서는 여러 시점에서 2차원 형태로 개념 스케치를 한 후, 이 스케치를 바탕으로 다양한 모델링 도구를 사용하여 3차원 데이터로 만드는 것이 일반적이다. 3차원 모델을 상상하는 것과 스케치 및 모델링하는 작업이 별도로 서로 다른 인력에 의해 이루어지면서 원래 의도하였던 모델과 상이한 형상이 모델링 되고, 이를 일치시키기 위하여 수없이 많은 반복수정이 이루어진다. 이 때문에 모델을 상상하는 사람이 타고난 재능과 숙련이 필요한 개념

스케치와 복잡한 3차원 모델링 도구의 도움을 받지 않고 손쉽게 모델링을 구현하게 하려는 다양한 시도가 이루어지고 있다.

디자이너의 생각이 담긴 2차원 형태의 스케치를 3차원 모델로 자동화 하는 방식이 계속 연구되고 있는데, 도면상에 그려진 완성된 2차원 스케치 모델의 이미지를 선과 점으로 구분하고 기하학적 정보를 이용하여 면을 인식하고 3차원 모델을 생성한다[1,2]. 단순한 형태의 모델에서는 3차원 모델로의 변환이 잘 이루어지지만, 2차원 스케치에서 보이지 않는 모델의 숨겨진 부분에 대한 모호함이 있을 경우와 홀을 가지고 있는 모델에 대해서는 3차원 모델 변경에 어려움을 가지고 있다. 또한, 2차원 상에서 점과 선을 이용하여 스케치를 진행하면, 2차원 입력 장치의 움직인 궤적 정보와 입력장치의 속도와 각도의 변화를 추가 정보로 이용하여 모델의 모서리와 꼭지점을 구분하여 3차원 모델을 생성한다[3]. 모서리와 꼭지점 생성을 통한 3차원 모델 재구성 방식은 자유 곡면 생성에 어려움을 가지고 있다. 자유 곡면을 이용한 Teddy의 경우에는 그려진 2차원 스케치의 외곽선을 분석하고 확장하여 두께 정보를 생성하여 3차원 모델을 생성하기도 한다[4,5]. 하지만, 2차원 스케치를 이용하여 3차원 데이터를 만들어 내는 방식은 입력 받지 않은 정보를 자동으로 생성하기 때문에 디자이너가 생각하지 않은 다른 형태의 모델로 생성될 가능성을 가지고 있다.

창의적 개념스케치를 하는 디자이너에게 3차원 CAD 및 모델링 도구는 복잡하고 직관적이지 않다. 또한, 공학적 사고로 모델링을 하는 엔지니어에게 개념디자인 및 스케치는 철저하게 다른 작업으로 생각되어 왔다. 개념 스케치를 하는 디자이너에게 손쉽게 3차원 모델링을 할 수 있게 하고 모델링 엔지니어에게 개념설계를 접근할 수 있는 환경으로 3차원 공간에서 직접 스케치하면서 모델링 하는 환경을 생각할 수 있다.

3차원 공간 드로잉의 경우에는 공간 입력 데이터의 정밀도가 상대적으로 중요하지 않은 예술작품과의 연결을 통한 시도가 이루어 졌으며[6], 점차 산업적인 이용을 위하여 부정확하게 그려진 드로잉 데이터를 분석하고 3차원 기본 도형으로 변환하여 CAD 모델로 변경하는 연구가 진행되어 왔으나 자유 곡면을 포함하는 모델 생성에는 적합하지 않다[7]. 3차원 모델의 설계를 위해서는 정확한 3차원 입력 데이터를 필요로 한다.

3차원 개념 스케치에서 2차원 입력 장치를 사용하면 3차원을 표현하기 위해서 시점의 변환에 따라 2차원 입력장치 위치와 방향과 3차원 공간상의 위치와 방향의 불일치에서 오는 오차가 생기게 된다. 3차원 공간 입력장치를 사용하는 경우에는 입력장치와 입력모델의 일치감으로 인하여 직관적인 스케치가 가능하게 된다. 하지

만, 3차원 공간 입력장치의 입력 데이터는 심도 신호(Depth cue)의 부정확한 인지로 인한 깊이 방향 위치 오차가 항상 존재한다[8,9].

3차원 공간 입력장치가 디자이너에게 용이하게 사용되기 위해 여러 장비들이 개발되어 적용 되었다. 사람의 익숙함을 이용하기 위해 장갑에 센서를 장치하여 드로잉에 사용하기도 하며 지우개 형태의 물체를 이용하여 지우는 역할을 하는 등 입력의 편리성을 지원하기도 하며, 위치 입력의 오차를 줄이기 위해서 햅틱 입력장치를 이용하여 디자이너가 그림을 그릴 때 반작용을 주는 방법도 사용되고 있다[10,11]. 이러한 장비들은 유선상으로 연결되어 있거나 특정 위치에 고정되어 있어 디자이너의 자유로운 움직임이 제한되어 진다.

본 논문에서도 공간 스케치 시스템에서 디자이너의 직관적인 스케치를 위하여 3차원 입력장치를 사용하였다. 또한, 디자이너가 2차원 평면상에서 스케치를 하는 방식과 같이 하나의 곡선을 그리기 위해 여러 번의 스트로크의 반복입력을 통해 곡선을 그리고 변형하는 방식을 이용하였다. 먼저 입력된 곡선은 다음에 그려지는 곡선의 위치와 형태에 따라 두 개의 곡선이 합쳐지기도 하고 연결되기도 한다[12,13]. 이를 통해 깊이 방향 오류 입력을 최소화할 수 있고 원하는 형상의 구원이 용이해진다. 하지만, 여러 번 겹쳐져서 그려지는 곡선 및 곡면은 일 회 입력에 의한 드로잉 데이터 보다 불필요한 정보를 포함한 많은 양의 데이터를 가지고 있기 때문에 이를 분류 정제하는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 드로잉 입력공간을 격자형태로 나누고 격자 단위로 입력 데이터를 처리하여 곡면을 생성하기 위한 계산 량을 획기적으로 줄이고 추가되는 스트로크에 의해 기 구현된 곡면은 실시간으로 수정되는 방식을 제안하였다. 옥트리(Octree)처럼 격자의 계층구조를 변화시키지 않고 격자내부 정점위치를 변화시켜 곡면모델의 다각형화를 구현한다. 이를 이용하여 마칭큐브[14]와 유사하게 격자간의 입력 점의 분포와 조합의 패턴에 따라 원하는 곡면을 그려내는 개념 스케치 모델링 도구를 제안하였다.

논문의 내용은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 입력 스트로크의 형태와 이를 저장하고 표현하는 격자공간에 대해 설명한다. 3장에서는 입력되어 정제된 격자 내부점을 조합하여 곡면을 만드는 모델링 도구를 제안한다. 그리고 4장에서는 모델링 도구의 외부 입력 환경과 모델링 사례를 설명하고 5장에서 결론과 향후 진행 방향에 대하여 기술하였다.

2. 공간 격자와 다중 스트로크

2.1 공간 격자와 격자 내부정점

2차원 평면 위에 스케치를 하는 경우 먼저 중심이 되는 선을 그린 후 중심선들 간의 비율과 위치를 확인하면서 추가로 선들을 그려서 최종형태를 완성하게 된다. 그림 1(a)와 같은 평면 상의 곡선을 그리려고 할 때, 생각하고 있는 곡선을 완성하기 위하여 반복 입력의 결과로 그림 1(b)와 같이 다수의 포인트 데이터를 입력하게 된다. 이 점들을 이용하여 곡선을 구현할 때, 모든 점을 보간 하면 스케치의 특성상 의도 하지 않는 데이터가 많을 경우 원하지 않는 곡선이 생성되므로 적합하지 않다.

이 점들을 제어점으로 근사할 경우에도 이를 움직이며 곡선을 수정해야 하기 때문에 직관적인 그림을 그릴 수가 없어 공간 스케치에 적용하기에는 적합하지 않다. 그림 1(c)와 같이 입력 데이터가 분포되어 있을 경우 3차 곡선으로 근사하면 디자이너가 의도와 유사하게 곡선이 생성되는 것을 볼 수 있다. 하지만 스케치 입력은 의도 곡선의 근사목표가 스케치 대상에 따라 수시로 변하기 때문에 피팅에 한계가 있다. 또한 의도 곡선과 많은 오차를 갖는 이상점(Outlier)을 제거하기에 용이한 RANSAC[15]을 이용한 추정방법도 실시간 입력에 의한 실시간 수정을 필요로 하는 스케칭 시스템에 적용하기에는 적절치 않다.

다중 입력되는 스트로크가 근접한 위치에서 반복적으로 입력되는 현상을 고려하여 입력 평면을 일정한 격자로 나누고 그림 1(d)와 같이 각 격자 안에 있는 입력데이터의 평균을 대표 포인트로 사용하여 3차 곡선으로 근사하면 전체 입력 점을 이용한 것과 유사한 형상의 곡선을 그릴 수 있다. 격자를 이용하는 경우에는 격자분배 및 평균 등의 추가적인 계산이 필요 하지만 곡선 생성에서는 데이터 양이 감소하여 계산량이 줄어들게 된다. 그림 1의 792개의 입력점을 MATLAB을 이용하여 3차 곡선으로 근사 한 결과 그림 1(c)의 경우 12.665ms의 계산 시간이 걸리게 된다. 그림 1(d)의 경우 격자를

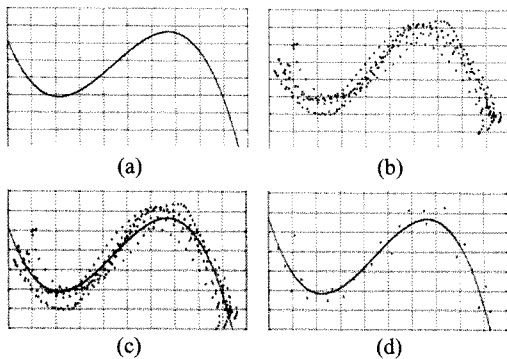
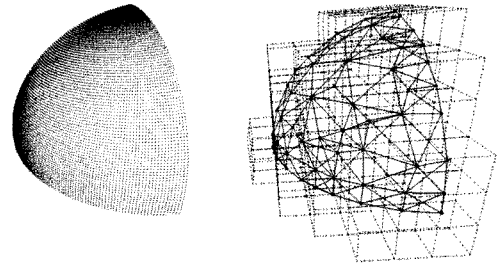
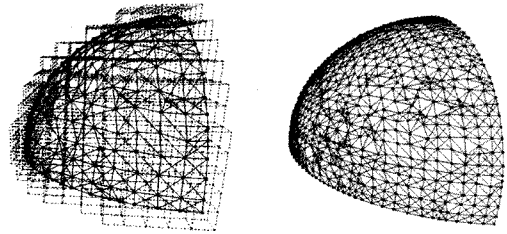


그림 1 다중 스트로크와 의도된 곡선 생성



(a) 8281 Pts (original points) (b) 72 Pts (cubic size: 4)



(c) 253 Pts (cubic size: 2) (d) 869 Pts (cubic size: 1)

그림 2 여러 격자 크기에 따른 1/8 구 모델

계산하는데 0.933ms의 계산이 추가되지만, 전체적으로는 9.436ms가 소요되어 그림 1(c)의 경우보다 3.229ms가 줄어들게 된다.

이와 같이 평면 스케치를 격자 단위 입력으로 디지털화하는 방법을 공간 스케치에 적용하여 3차원 입력에 따른 곡면을 그리고, 추가적인 스트로크 입력으로 곡면 형상을 변화시키는 동시에 반복 입력에 따른 위치 오차를 줄이는 효과를 갖게 한다. 또한, 격자 내부 정점을 사용하는 방법을 이용하면 입력된 많은 점들을 단순화 할 수 있다. 구의 1/8을 나타내는 그림 2(a)는 8281개의 점으로 이루어져 있다. 입력 점들을 격자 크기 4로 지정할 경우 8281개의 점들은 72개의 격자들 안에 들어가게 되며 각 격자들의 내부 정점을 연결한 경우 그림 2(b)와 같이 구성된다. 격자 크기를 2로 지정할 경우 그림 2(c)와 같이 253개의 격자로 구성되며, 격자 크기를 1로 지정할 경우 그림 2(d)와 같이 869개의 격자로 구성된다.

그림 2와 같이 격자를 작게 만들수록 계산 할 격자의 수는 늘어나지만 정밀도는 향상된다. 이를 이용하여 가상 개념 스케치에서 모델의 정밀도의 필요성에 따라 격자의 크기를 조절하여 사용할 수 있다.

2.2 가변 내부 정점과 다중 스트로크

그림 3(a)와 같이 입력 장치의 움직임에 따라 여러 개의 점이 격자 안에 입력되는 경우 그림 3(b)와 같이 각 격자당 하나의 내부 정점을 입력을 조합하여 정의하며 실제 곡면의 정점으로 사용한다. 이 내부 정점은 격자의 중심점이 아니며, 입력된 점들의 조합에 의하여 계

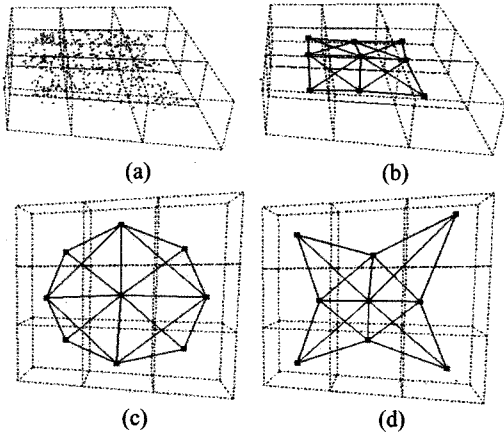


그림 3 격자 안의 움직이는 내부 정점

산되며 그림 3(c)(d)와 같이 내부 점점이 격자 안에 자유롭게 배치될 수 있기 때문에 같은 격자로 다양한 곡면을 표현할 수 있게 된다.

시간차를 두고 입력하는 위치 데이터는 순서, 위치 및 자세에 따라 다른 가중치를 가지게 된다. 예를 들어 가장 먼저 그린 스트로크를 가장 추상적인 스트로크라고 하면, 이를 바탕으로 추가 스트로크를 이용하여 목표 쪽으로 수정해 나가게 되므로 유사 위치의 입력의 경우 처음 보다 나중에 들어오는 스트로크에 가중치를 두는 경우가 많다. 그림 4와 같이 디자이너의 처음 스트로크가 들어오면 처음 스트로크의 입력 값의 평균 위치 A가 내부 정점이 된다. 추가적인 스트로크가 그려지면 추가된 스트로크의 평균 위치가 B가 생성되며, 이전 내부정점 A와 추가된 내부정점 B가 다른 가중치를 가지고 내적 되어 새로운 내부정점 C가 생성된다.

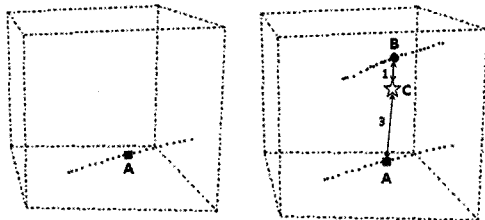


그림 4 다중 스트로크에 의한 내부 정점 계산

공간 격자 방식은 유사 데이터가 많을 경우 계산량을 줄이는 결과를 가져오지만, 세부적인 묘사에 대한 단점이 있다. 하지만, 본 시스템은 가상의 개념을 형상화하는 개념 모델링 도구이기 때문에 해당 개념의 필요정밀도에 따라 격자의 크기를 다르게 사용하여 해결할 수 있다.

2.3 유효 격자의 판단

공간상에 그리려는 곡선이 그림 5(a)와 같이 단순하게 연결된 격자에만 입력 스트로크가 지나가는 경우에는 의도한 곡선을 쉽게 그릴 수 있다. 하지만, 그림 5(b)와 같이 입력 데이터가 격자 간의 경계 부근이거나, 입력 오차 또는 노이즈에 의하여 주변 격자들도 들어갈 수 있다. 이 경우 그림 5(c)와 같이 입력된 점들이 있는 모든 격자가 드로잉에 사용되어, 디자이너가 의도한 하나의 선으로 그려지지 않는다. 디자이너가 의미를 부여한 A점들과 의도하지 않은 B점들을 구분하여야만 그림 5(d)와 같이 하나의 선으로 표현할 수 있다.

의도한 곡선을 그리기 위해서는 먼저 디자이너가 입력한 스트로크에서 목표곡선을 구현 할 유효격자를 판단해야 한다. 그림 6(a)와 같이 하나의 선이 그려지는 동안 입력되는 데이터가 가운데 4개의 블록을 모두 채울 경우 선의 방향성이 모호한 면 형태가 된다. 이 때 입력 가중치가 제일 작은 1을 무시하면 예상되는 선을

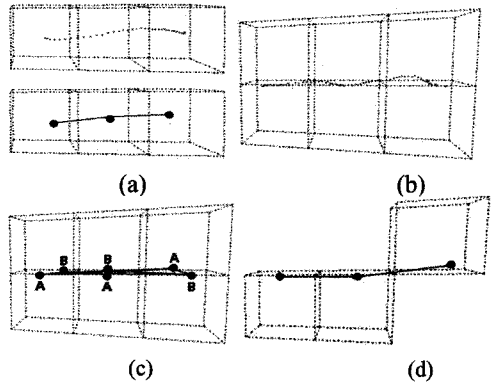


그림 5 유효한 격자의 판단

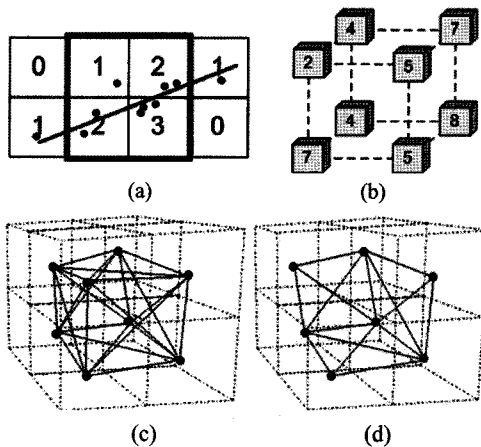


그림 6 위치 입력에러에 의한 모호한 유효격자 형태

구현 할 수 있다. 이와 마찬가지로, 3차원 공간상에서는 그림 6(b)와 같이 인접 8개의 격자가 모두 채워져 있을 때 모호성을 가지게 된다. 8개의 격자를 모두 사용하여 곡면을 만들면 그림 6(c)와 같이 방향성이 없는 입체형태 모양을 가지게 된다. 이를 평면에서와 유사하게 가중치가 제일 낮은 격자를 무시함으로써 그림 6(d)와 같이 곡면의 구현이 가능하다. 이와 같이, 격자 기반 모델링은 디자이너의 의도에 맞게 모델링에 사용될 유효 격자를 사전에 판단함으로써 모델링 시 발생할 수 있는 모호성을 최소화할 수 있다.

새로운 스트로크를 입력할 때 유효 격자 안에 이미 곡면이 생성되어 있을 경우는 기존 곡면을 새로운 스트로크로 수정을 가해 새로운 곡면으로 변형시킨다. 그림 7(a)에서와 같이 추가의 스트로크에 의해서 B격자가 선택되고 내부정점이 생성되며, 이와 상관관계에 있는 A 격자의 내부정점과 서로 다른 가중치(w)를 가지고 내적되어 새로운 점 C를 만들어 낸다. 새로운 점 C가 A 격자에 위치할 경우 그림 7(a)와 유사한 곡면이 생성되고, 점 C가 B격자에 위치할 경우 그림 7(b)의 그림과 같다. 이와 같이 유효 격자를 결정하는 경우에도 기존에 그려진 데이터들과 새로 그려진 데이터들의 조합을 통해 새로운 곡면을 생성하게 된다.

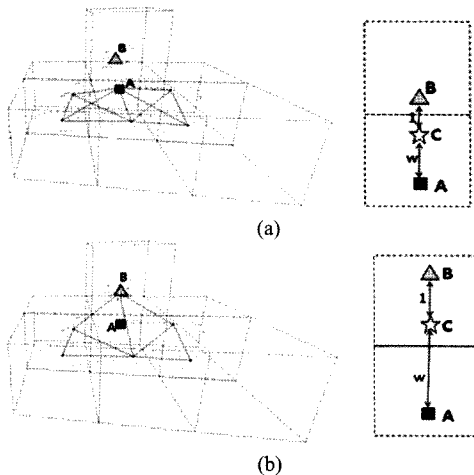


그림 7 곡면 생성에 필요한 유효한 격자 선택

3. 인접 격자간 관계와 다각형 생성

2장에서 개념스케치를 위한 곡면생성을 위해 입력된 위치 및 자세 데이터를 기준으로 곡면을 포함 할 격자들을 선별하는 방법을 제시하였다. 본 장에서는 선별된 의미가 있는 격자의 내부 정점의 위치를 계산하고 이를 연결하여 곡면을 생성하기 위하여 중심격자와 이웃 격

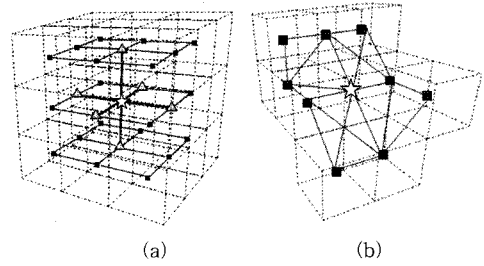


그림 8 인접 격자

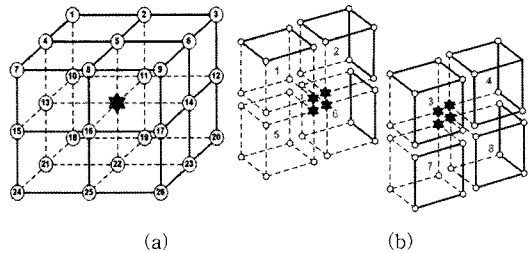


그림 9 인접 격자 26개와 8개의 격자 블록

자와의 관계와 다각형 생성을 연결하는 규칙을 제안한다.

드로잉 공간을 동일한 크기의 격자로 나누게 되면 그림 8(a)와 같이 별 모양으로 표시된 중심 격자의 주위에는 26개의 이웃 격자들이 존재한다. 그림 8(b)와 같이 이웃 격자들 중 입력된 점을 가지고 있는 선별된 격자의 위치에 따라서 생성되는 면의 형태가 결정된다. 공간을 동일한 크기의 격자로 나누었기 때문에 이웃격자들의 개수는 항상 26개로 동일하며, 그로 인하여 나타날 수 있는 다각형의 종류는 유한하고 형태는 반복되어 나타난다.

이웃 격자들의 위치에 따른 형태를 분석하기 위하여 그림 9(a)와 같이 이웃 격자들을 중심격자를 기준으로 상대 위치에 따라 1부터 26까지의 번호로 지칭한다. 곡면 생성에 필요한 다각형 데이터를 얻기 위하여 입력이 있는 격자를 각각 중심격자로 생각하고 주위에 입력이 있는 이웃격자가 있는지를 검사한다. 주위의 입력이 있는 이웃 격자들의 위치로 곡면이 어느 방향 성분을 가지고 있는지를 예측할 수 있다. 하지만, 중심 격자를 중심으로 26개의 이웃격자들을 이용하여 반복적으로 나타나는 패턴들은 구분할 경우 너무 많은 수의 패턴의 형태가 나타난다.

그림 9(a)의 주변 26개 격자를 그림 9(b)와 같이 8개의 블록으로 나누고, 이 중 한 블록의 입력 격자 패턴을 정리하여 나머지 블록에 대칭으로 적용하였다. 입력자의 의도에 맞도록 모호하거나 드로잉에 사용되지 않을 격자들을 정리한 후에 나타나는 격자의 형태는 그림 10과

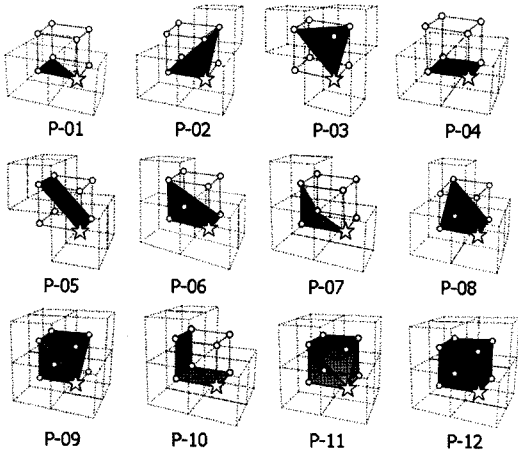
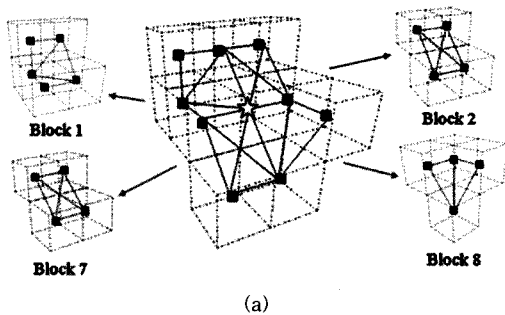


그림 10 한 격자 블록에 가능한 12가지 다각형 패턴



(a)

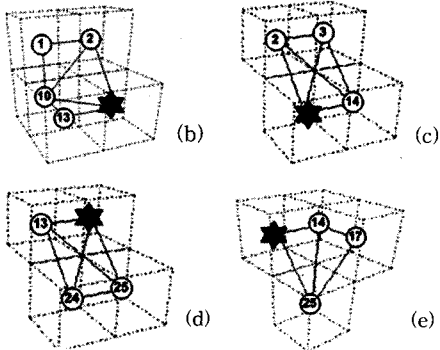


그림 11 다각형 패턴에 따른 삼각형 세트

같이 12개의 패턴으로 정리된다.

한 블록을 구성하는 8개의 격자들 중에서 입력이 있는 3개의 격자들이 주위에 모여 있으면 최소한의 다각형(삼각형)을 만들 수 있다. 그림 10에서 보는 바와 같이 P-01, P-02, P-03은 8개의 격자 중에서 3개의 격자에 입력이 있을 경우 나타나는 패턴이며, P-04~P-08은 4개, P-09는 5개, P-10, P-11은 6개, P-12는 7개의 격자들에 입력이 있을 경우에 나타날 수 있는 패턴이다.

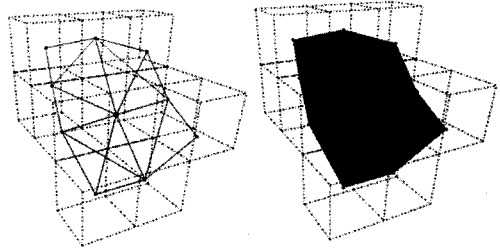


그림 12 네 개의 패턴 조합으로 구현된 다각형

그림 11(a)와 같은 입력이 있을 경우, 중심격자를 기준으로 이웃 격자들의 입력 유무를 조사하면 [1-3,10,13,14,17,24,25] 위치의 격자에 입력 데이터가 있다는 것을 알 수 있다. 다각형을 그릴 패턴을 적용할 블록은 그림 11(a)와 같이 [1,2,7,8] 블록임을 알 수 있다.

그림 11(b)의 1번 블록에 속해 있는 입력이 있는 이웃격자는 [1,2,10,13]이며, 이는 P-09번의 다각형 패턴을 가지고 있다. 드로잉 다각형 테이블에서 P-09번 패턴을 구성하는 3개의 삼각형 꼭지점 세트인 (0-10-13), (0-2-10), (10-2-1)이 연결된 3개의 삼각형을 보여준다. 같은 방법으로 그림 11(c),(d)는 P-05 패턴을 적용하여 인접 격자 [2,3,14]를 갖는 2블록의 경우에는 (0-14-3), (0-3-2)의 삼각형 꼭지점 세트를, [13,24,25]를 갖는 7블록에서는 (0-13-24), (0, 24, 25)의 삼각형 꼭지점 세트를, 8블록 [14,17,25]에서는 P-08 패턴을 이용하여 (0-25-14), (14-25-17)의 삼각형 꼭지점 세트를 지정하여 그림 12와 같이 최종 다각형을 구현한다.

4. 공간 스케치 입력과 구현 사례

4.1 공간 위치, 자세 입력용 적외선 추적

가상의 공간에서 스케치 작업을 하기 위해 필요한 정보는 3차원 공간상의 위치정보와 자세정보이다. 위의 두 정보를 획득하기 위하여 사용한 공간 스케칭 시스템의 하드웨어 구성은 그림 13과 같이 두 개의 적외선 카메라(O_R, O_L)와 세 개의 적외선 반사 마커(X_1, X_2, X_3)를 이용하여 공간 입력 시스템을 구성하였다.

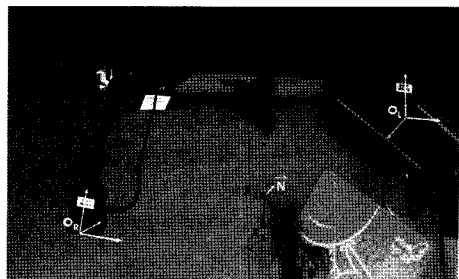


그림 13 공간 스케치 시스템

완드의 3차원 데이터 획득은 먼저 두 개의 적외선 카메라에서 들어오는 영상 신호에서 특징점 추출을 통하여 적외선 반사 마커 중심의 2차원 픽셀 좌표를 획득한다. 하나의 마커를 가지고 있는 완드의 위치 데이터는 영상에서 추출된 픽셀 좌표와 카메라 보정 데이터를 이용하여 삼각측량 방식을 이용하여 계산될 수 있지만, 완드의 자세 정보를 얻기 위해서는 그림 13과 같이 최소한 3개의 마커 좌표를 획득해야 완드의 위치 정보(T_X, T_Y, T_Z)와 자세정보($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)를 얻을 수 있기 때문에 마커들과의 대응관계를 설정하기 위하여 추가적인 방법을 사용하였다.

두 개의 카메라에서 획득한 영상을 이용하여 3차원 좌표를 획득하는 방법은 삼각측량 방식을 사용한다. 3차원 공간상의 한 점 P는 $\bar{X}_R = [X_R \ Y_R \ Z_R]^T$ 과 $\bar{X}_L = [X_L \ Y_L \ Z_L]^T$ 이고, 두 개의 카메라 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\bar{X}_L = R\bar{X}_R + T \quad (1)$$

여기서, $\bar{x}_r = \bar{X}_R/Z_R = [x_r \ y_r \ 1]^T$ 이고 $\bar{x}_l = \bar{X}_L/Z_L = [x_l \ y_l \ 1]^T$ 이라 하면, 삼각 측량은 (\bar{x}_l, \bar{x}_r) 로 3차원 좌표 (\bar{X}_l, \bar{X}_r) 를 계산 하는 과정이므로 식 (1)을 다시 쓰면,

$$Z_L \bar{x}_l = Z_R R \bar{x}_r + T \quad (2)$$

으로 표시되고, $\bar{\alpha}_R = -R\bar{x}_r$ 이라고 할 때, Z_R 은 식 (3)과 같이 표현된다[16].

$$Z_R = \frac{\|\bar{x}_l\|^2 \langle \bar{\alpha}_R, T \rangle - \langle \bar{\alpha}_R, \bar{x}_l \rangle \langle \bar{x}_l, T \rangle}{\|\bar{\alpha}_R\|^2 \|\bar{x}_l\|^2 - \langle \bar{\alpha}_R, \bar{x}_l \rangle^2} \quad (3)$$

완드의 자세정보를 계산하기 위해서는 3개의 마커의 좌표(X_1, X_2, X_3)를 이용해서 완드의 법선 벡터(\vec{N})를 계산해야 하며, 이를 위해서는 먼저 영상의 3개의 마커를 각각을 구분해야 한다. 하지만, 2차원 영상에서 보여지는 3개의 마커 좌표 만으로는 좌측과 우측 카메라 영상의 대응되는 마커를 알 수 없다. 두 개의 2차원 영상에서 여러 개의 마커(X_1, X_2, X_3, \dots)의 대응 관계를 정의 하기 위해서는 에피폴라 기하학을 이용하여 두 영상의 대응점을 최소자승법을 이용하여 구하는 방법이 일반적이다. 하지만, 두 개 이상의 마커가 모두 한 개의 에피폴라 라인 위에 존재 한다면, 두 점의 대응 관계를 정의 하는 것은 쉽지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 아래 3단계의 작업을 거쳐 3개의 마커 좌표의 대응 관계를 찾아내었다.

첫째로 에피폴라 기하학을 이용하여 좌측과 우측 2개

의 카메라 영상에서 각각의 마커들과 대응되는 후보 군을 설정 하고, 식 (1)~(3)을 이용하여 후보 군의 3차원 마커 좌표를 계산한다. 둘째로, 계산된 3차원 마커 좌표들 사이의 거리를 계산하여 실제 완드의 마커 사이의 거리와 유사한 정도에 따라 후보 군의 범위를 좁힌다. 마지막으로, 세 개의 점으로 이루어지는 평면의 법선 벡터(\vec{N})를 구하여 이전 프레임의 법선 벡터와의 변화량을 계산하고 이를 이용하여 최종 좌표를 결정한다. 최종 좌표에서 구해진 완드의 위치 정보(T_X, T_Y, T_Z)와 자세 정보($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)를 공간 스케치의 입력데이터로 사용한다.

4.2 공간 스케치 구현사례

그림 14는 적외선 추적용 통한 공간 입력 시스템을 이용하여 공간 스케치를 이용하는 곡면 모델링 방식의 진행 사항을 보여준다. 그림 14(a)와 같은 모양의 신발을 모델링 하는 경우, 그림 14(b)와 같이 모델의 일부분부터 그려나가게 되어 그림 14(c),(d)와 같이 드로잉을 확장해 나가며 초기 모델을 완성시킨다. 초기 모델 생성 시에는 전체적인 형상과 비율을 맞추는 데 비중을 두게 된다. 그림 14(e)와 같이 원하는 부분에 스트로크를 추가함으로써 원하는 형태로 모델을 변형시키면서 그리고자 하는 모델에 점점 더 가까워 질 수 있음을 보여준다.

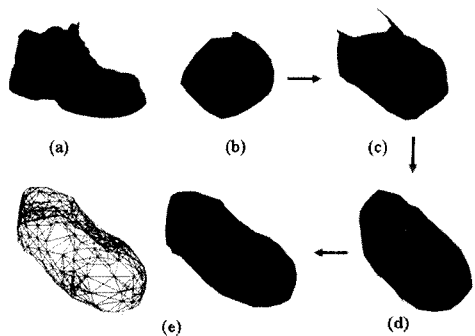


그림 14 모델 스케치 과정

그림 15는 카메라의 특정 부분들을 모델링 한 결과를 보여준다. 그림 15(a) 형태의 카메라의 A부분을 그림 15(b)와 같이 모델링 하였으며, B부분을 그림 15(c)와 같이 모델링 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 디자이너가 모델을 스케치 할 때 머릿속에 가지고 있던 형상을 여러 번의 스트로크를 통하여 모델로 구체화 하는 것을 공간 스케치에 적용하였다. 다중 스트로크 입력을 통해 발생하는 많은 데이터를 실시간으로 처리하기 위하여 드로잉 공간을 격자 기반의 네

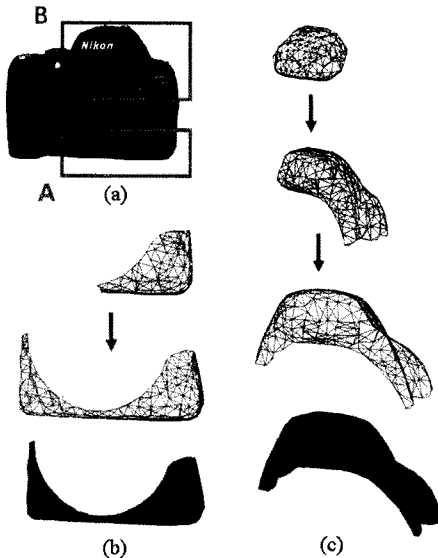


그림 15 부분 모델 스케치 과정

이타 구조로 나누어 입력을 일정하게 제한하였다. 격자에 위치가 가변적인 내부 정점을 사용함으로써 제한된 격자 기반의 데이터 구조로 다양한 형태의 곡면을 생성할 수 있도록 하였다. 또한, 격자 기반의 데이터 구조를 이용하여 곡면 생성시 이웃 격자들의 위치에 따라 유사한 형태가 반복되는 것을 이용하여, 반복되는 다각형 형태를 정의하고 다각형 패턴 테이블을 만들어 사용함으로써 실시간 드로잉이 가능하도록 하였다.

디자이너가 공간상에서 자유롭게 스케치를 하기 위하여, 입력 장치로는 두 대의 적외선 카메라와 세 개의 적외선 반사 마커로 이루어진 무선 완드를 이용하였다. 입력되는 곡선을 포함하는 격자와 이웃 격자들의 관계를 이용하여 디자이너가 의도하지 않거나 의도가 미약한 점들을 배제하고 유효한 입력으로 계산된 수정된 모델을 실시간으로 보여준다. 이를 통하여 디자이너는 공간상에 그려진 모델을 확인 하면서, 자신이 의도한 모델에 좀 더 가깝게 다음 스트로크를 입력하게 된다.

전체 드로잉 공간을 동일한 격자 크기로 나누어 전체적인 모델의 형태를 나타내는데 유용하게 사용할 수 있어 개념설계를 위한 도구로 적절하게 사용될 수 있다. 하지만 상대적으로 세밀한 부분의 표현이 용이하지 않다. 옥트리등을 이용한 격자의 계층구조화를 통하여 세밀한 부분의 표현을 자유롭게 할 수 있으면 좀 더 유용한 스케치 시스템이 될 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] P. A. C. Varley and R. R. Martin., "A system for

constructing boundary representation solid models from a two-dimensional sketch - frontal geometry and sketch categorization," *Proceedings of GMP*, pp. 13-32, 2000.

- [2] J. Grimstead and R. R. Martin, "Creating solid models from single 2D sketches," *Proceedings of the third ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*, pp. 675-685, 1995.
- [3] M. Masry, D. J. Kang and H. Lipson, "A freehand sketching interface for progressive construction of 3D objects," *Computers and Graphics*, Vol.29, pp. 563-575, 2005.
- [4] T. Igarashi, S. Matsuoka, and H. Tanaka, "Teddy: a sketching interface for 3D freeform design," *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, pp. 409-416, 1999.
- [5] A. Nealen, T. Igarashi, O. Sorkine, and M. Alexa, "FiberMesh: designing freeform surfaces with 3D curves," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.26, 2007.
- [6] D. Keefe, D. Acevedo, T. Moscovich, D. H. Laidlaw, and J. LaViola, "CavePainting: a fully immersive 3D artistic medium and interactive experience," *Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp. 85-93, 2001.
- [7] H. Diehl, F. Muller and U. Lindemann, "From raw 3D-sketches to exact CAD product models - concept for an assistant-system," *Proceedings of EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, pp. 137-141, 2004.
- [8] M. Fiorentino, G. Monno, P. A. Renzulli, and A. E. Uva, "3D pointing in virtual reality: experimental study," *Proceedings of XIII ADM - XV INGEFRAF International Conference on Tools and Methods Evolution in Engineering Design*, 2003.
- [9] D. Bowman, D. Johnson, and L. F. Hodges, "Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol.10, pp. 75-95, 2001.
- [10] S. Schkolne, M. Pruet, and P. Schroder, "Surface Drawing: creating organic 3D shapes with the hand and tangible tools," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 261-268, 2001.
- [11] D. F. Keefe, R. C. Zeleznik and D. H. Laidlaw, "Drawing on air: input techniques for controlled 3D line illustration," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.13, No.5, pp. 1067-1081, 2007.
- [12] T. Fleisch, F. Rechel, P. Santos, and A. Stork, "Constraint stroke-based oversketching for 3D curves," *Proceedings of Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, 2004.
- [13] L. B. Kara, C. M. D'Eramo and K. S. LeHong, "Pen-based styling design of 3D geometry using concept sketches and template models," *Proceedings of ACM Solid and Physical Modeling*, pp.

149-160, 2004.

- [14] W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm," *Proceedings of ACM SIGGRAPH '87*, pp. 163-169, 1987.
- [15] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," *Communications of the ACM*, pp. 381-395, 1981.
- [16] E. Trucco and A. Verri, "Introductory Techniques for 3-D Computer Vision," *Prentice Hall*, pp. 162-166, 1998.



남 상 훈

중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 박사과정. 1999년 중앙대학교 기계설계학사. 2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학 석사. 2002년~2007년 ㈜한마로 연구원. 2007년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 박사과정. 관심분야는 가상

스케치, DRM



김 학 수

중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 박사과정. 2000년 건양대학교 컴퓨터공학사. 2002년 건양대학교 정보전자공학 석사. 2002년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 박사과정. 관심분야는 영상처리, 컴퓨터비전, 가상 환경



채 영 호

중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 교수. 1989년 중앙대학교 기계공학사. 1989년~1992년 (주)삼성전기 캐드캠실 연구원. 1994년 SUNY at Buffalo 기계공학 석사. 1997년 Iowa State University 기계공학박사. 1998년~1999년 중앙대학교 기계공학부 조교수. 1999년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 교수. 관심분야는 가상 디자인, 물리기반 모델링, 햅틱스