

3차원 삼각형 메쉬에 대한 사용자 의도 기하학적 특징 추출

유관희* 하종성**

*충북대학교 컴퓨터 교육과 및 정보산업공학과

**우석대학교 컴퓨터공학과

e-mail:khyoo@cbucc.chungbuk.ac.kr

User-Steered Geometric Features Extraction for 3D Triangular Meshes

Kwan-Hee Yoo* Jong-Sung Ha**

*Dept. of Computer Education and Dept. of Information
Industrial Engineering Chungbuk National University

**Dept. of Computer Engineering, Woosuk University

요 약

본 논문은 2차원 이미지상에서 사용자 의도에 따른 에지를 효과적으로 찾기 위한 다양한 알고리즘(인공 가위 기법, 라이브 와이어 기법, 라이브 레인 기법, 인헨스드레인 기법)들을 3차원 삼각형 메쉬상에서 기하학적 특징을 추출하기 위해 적용할 때 주요하게 고려해야 할 사항을 논의하고 이들 사항을 고려한 수정된 알고리즘들을 제안한다. 제안된 이들 알고리즘들을 사용하여 주어진 3차원 삼각형 메쉬상의 기하학적 특징을 사용자 의도대로 찾은 결과를 가시적으로 보여준다.

1. 서론

디지털 영상 분할과 합성을 위해 필수적으로 요구되는 사항이 주어진 영상으로부터 빠른 시간에 정확한 에지를 검출하는 것이다. 지난 수년 동안 효과적이고 효율적으로 영상에서 에지를 검출하기 위한 다양한 방법들이 제시되었다[1,3,6,7].

최근들어 디지털 콘텐츠의 다양화로 영상 뿐만 아니라 3차원 공간상에 삼각형 메쉬로 구성된 객체들이 디지털 콘텐츠로 포함되기 시작하였다. 영상에서의 에지 검출이 중요한 문제인 것처럼 3차원 삼각형 메쉬에서도 주요 기하학적 특징을 검출하는 것이 매우 중요한 문제이다. 이들 메쉬에서도 영상에서처럼 주요 기하학적 특징을 찾기 위한 방법은 크게 사용자 의도에 의한 방법과 그렇지 않은 방법이 있다. 후자의 가장 대표적인 방법이 기하학적 스네이크(Geometric Snakes) 기법으로 사용자가 준 입력 점을 이용하여 외부 힘과 내부 힘의 조합으로 메쉬에서의 주요 기하학적 특징을 자동으로 찾아 가는 방법이다[5]. 이 방법은 2차원의 스네이크 방법을 메쉬상에서 확장하여 설계되었다. 그러나 이 방법에서

사용자가 제공한 입력 점은 주요 특징을 찾기 위한 안내점 정도로 밖에 사용되지 않아 사용자가 원하는 기하학적 특징이 검출되지 않을 수도 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 사용자의 의도를 충분히 반영한 기하학적 특징을 검출하는 기법을 제시하고자 한다. 삼각형 메쉬에서 사용자 의도에 의한 주요 기하학적 특징을 찾기 위한 방법은 아직까지 제시되지 않았으며, 유관희[10]에 의해 제시된 선택된 커서가 메쉬상의 주요 특징을 나타내는 정점으로 옮겨가는 기하학적 스네핑(geometric snapping)을 이용하여 주요 특징의 일부를 찾을 수 있었다. 그러나 이 방법이 궁극적인 해결책이 아니기 때문에 본 논문에서는 영상에서의 스네이크 기법을 확장하여 Lee 등[5]이 제시한 기하학적 스네이크 기법에서처럼 영상에서 가장 대표적으로 사용되는 사용자 의도 에지 검출 방법들을 먼저 조사하고 이들 방법을 3차원 삼각형 메쉬에 적용하였을 때 가장 중요하게 고려해야 할 사항을 논의하고 수정한 후 추가적으로 처리해야 하는 작업이 무엇인지를 제시하고자 한다.

2. 영상에서의 사용자 의도 기법들

영상에서 사용자 의도 에지 검출을 위한 대표적인 방법은 Mortensen 등[7]이 제시한 인공 가위 법(Intelligent Scissors)으로 그들은 먼저 픽셀을 정점으로, 픽셀간의 인텐시티(intensity) 차이를 에지의 가중치를 갖는 그래프로 영상 정보를 표현하였다. 선택된 픽셀을 시작점으로 하여 모든 픽셀로 가는 가중치 그래프를 만든 후, 그 시작 정점으로부터 모든 정점으로 가는 최단 경로를 다이나믹 프로그래밍(DP: dynamic programming) 기술을 이용하여 찾아 그 시작 정점으로부터 사용자가 원하는 정점까지의 최단 경로의 일부가 영상의 주요 에지임을 제시하였다. 그러나 최단 경로가 항상 에지가 아니기 때문에 후처리를 해야 하는 문제점을 가지고 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 Falcao 등[3]은 라이브 와이어(Live Wire)와 라이브 레인(Live Lane) 기법을 제시하였다. 라이브 와이어에서는 주요 특징 점 정보를 사용자가 미리 입력하게 한 후, 입력된 정점 순서대로 특정 정점에 대해 Mortensen 등[7]이 제시했던 기법을 이용하여 가중치 그래프를 만들어 최단 경로를 구한다. 그리고 다음으로 선택된 정점에서 역으로 가중치 그래프의 시작점까지 최단 경로를 찾아 이를 에지의 일부로 저장한다. 이러한 작업을 모든 정점에 처리한 후, 에지로 기록된 정보를 연결하면 사용자가 원하는 에지가 검출될 수 있다. 그러나 이 방법에서는 한 정점에서 모든 정점으로 가는 최단 경로를 매번 구해야 하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 라이브 레인에서는 특정한 윈도우 영역에 존재하는 점들만을 고려하여 가중치 그래프와 최단 경로를 구하였고 그 그래프에서 에지를 추출하였다. 그 후 Kang 등[1]은 특정한 윈도우 영역의 주요 부분만을 고려하여 좀더 빠르게 에지를 검출하는 인헨스드 레인(enhanced lane)을 제시하였다.

3. 제안된 알고리즘

본 논문에서는 제 2장에서 소개한 영상에서 사용자가 의도한 대로 주요 특징을 찾는 기법을 적용하여 3차원 공간상에 정의된 삼각형 매쉬에서 주요 기하학적 특징을 찾기 위한 방법을 소개한다. 일반적으로 3차원 공간상의 삼각형 매쉬는 그 자체가 정점과 이들 정점을 연결하는 에지들로 구성된 그래프이다. 이러한 그래프에 대해 인공 가위법, 라이브 와이어, 라이브 레인 및 인헨스드 레인 기법을 적용하기

위해서는 우선적으로 그래프의 에지상에 가중치를 계산할 수 있어야 한다. 이를 위해 먼저 정점에 대한 인텐시티(intensity)를 구하고, 구해진 이들 값을 이용하여 정점 p로부터 정점 q로 가는 가중치 즉 비용함수를 구한다.

3.1 정점의 인텐시티와 정점간 비용함수

본 논문에서는 유관회[10]에 의해 제시된 기법을 사용하여 정점의 인텐시티와 정점간 비용함수를 구하였다. 그는 인텐시티를 계산하기 위해 먼저 그래프의 각 정점에 대해 Lee 등[5]와 Kwak 등 [4]에 의해 제시된 기법으로 근사 곡률을 먼저 계산하여 그 값을 그래프 정점의 인텐시티로 부여하였다. 분명 이미지 스냅샷에서도 언급한 것처럼 근사적인 곡률 계산뿐만 아니라 객체 특성으로 인해 극단적인 곡률이 존재할 수 있게 되고 이로 인해 잡음이 발생할 수 있다. 그는 이를 해결하기 위해 이미지에서처럼 삼각형 매쉬상의 정점 $P=(p_x, p_y, p_z)$ 에 대한 곡률을 P에 이웃한 정점들의 곡률에 대해 식 1과 같이 가우시안 스무딩 필터를 적용한 결과들의 합으로 다시 정의한다.

$$G[dx, dy, dz] = \frac{e^{-\frac{(dx^2+dy^2+dz^2)}{2h^2}}}{2\phi h^2} \quad (1)$$

정점 P에 인접한 정점 $Q=(q_x, q_y, q_z)$ 라 할 때, 식 1에 존재하는 벡터 (dx, dy, dz) 는 $(p_x - q_x, p_y - q_y, p_z - q_z)$ 이다. 일반적으로 가우시안 필터에서 h 값이 작으면 고려되는 필터의 폭이 좁고 크면 넓어짐을 의미하므로 정점 P에 이웃한 정점의 수에 따라 h 값을 다르게 주었다. 그는 이웃한 정점의 수가 7이하이면 0.85로 w를 주었고, 16개 이하이면 1.7로, 36 이하이면 2.5로, 그 이상이면 3.5로 w를 주었다.

이제 주어진 정점 p로부터 다른 정점 q으로 이동하는데 소요되는 비용 $cost(p, q)$ 도 유관회[10]에 의해 제시된 기법을 사용하였다. 그는 삼각형 매쉬 상에서 라플라시안 제로 교차($f_z(p)$), 곡률 방향($f_d(p, q)$)과 곡률 크기($f_g(q)$)를 이용하여 다음과 같이 비용함수를 정의하였다.

$$cost(p, q) = w_z f_z(p) + w_d f_d(p, q) + w_g f_g(q) \quad (2)$$

식 2에서 w는 대응하는 특징 함수의 가중치를 나타내며 본 논문에서는 각각 $w_z=0.43$, $w_d=0.43$ 과 $w_g=0.14$ 로 주었다. 일반적으로 라플라시안 제로 교차는 이미지상의 특정한 픽셀이 주요 특징을 나타내

는 에지에 존재하는지를 나타내기 위해 사용된다. 다시 말해 에지에 존재하면 1 그렇지 않으면 0으로 정의한다. 그도 이와 유사하게 정점 p 가 주요 특징을 표현하고 있는지 아닌지에 따라 그 값을 부여하였으며, 경험적으로 구해진 근사 곡률이 2보다 크면 주요 특징을 표현하는 것으로 정의하였다. 일반적으로 좀더 큰 곡률을 갖는 정점이 주요 특징을 표현하고 있으므로 곡률 방향을 나타내는 함수 $f_d(p, q)$ 는 q 의 곡률에서 p 의 곡률을 뺀 값으로 정의된다. 이 함수 값이 0보다 크면 p 에서 정점 q 로 옮겨갈려는 특성이 있으며, 그렇지 않으면 q 로 이동하지 않으려는 특성을 갖고 있다. 마지막으로 곡률 크기를 나타내는 함수 $f_g(q)$ 는 정점 q 에서의 곡률을 의미한다.

3.2 사용자 의도 기하학적 특징 추출 알고리즘

지금부터 영상에서 제시된 사용자 의도 에지 추출 알고리즘을 메쉬상에 적용하기 위한 기법을 소개한다. 먼저 3.1절에서 소개된 정점의 인텐시티와 정점간의 비용함수를 이용하여 인공 가위법 알고리즘을 그대로 메쉬를 표현하는 그래프 G 에 그대로 적용해 볼 수 있다(이를 기하학적 인공 가위법이라 한다). 다시 말해 사용자가 그래프상에서 정점 s 를 선택하였다고 하자. 제 3.1절에 소개된 비용함수를 이용하여 그래프 G 에서 정점 s 로부터 모든 정점으로 가는 최단 경로를 다이나믹 프로그래밍을 이용하여 구한다. 이러한 상태에서 사용자가 원하는 정점 t 를 선택하면 ($s-t$)간의 최단 경로가 사용자가 의도한 주요 기하학적 특징을 표현한다. 그러나 좀더 정밀한 기하학적 특징을 추출하기 위해 사용자가 여러 정점을 차례대로 부여할 수 있다. 이를 적용하기 위해 영상에서 라이브 와이어가 제시된 것과 같이 본 논문에서도 같은 방식으로 기하학적 특징을 추출하였다. 사용자가 선택한 정점을 차례대로 ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_k$)라 하자. s_1 으로부터 모든 정점으로 가는 최단 경로를 구한 후, s_2 로부터 s_1 로 가는 최단 경로를 찾는다. 그 경로를 $ge(s_1, s_2)$ 라 하자. 같은 방법으로 s_2 로부터 $ge(s_2, s_3)$ 를 구한다. 다른 모든 정점에 대해 위의 과정을 반복 적용하여 $ge(s_i, s_{i+1})$ 를 구한다. 여기서 $i=1, \dots, k-1$ 이다. 그렇게 구해진 경로들을 처음부터 끝까지 연결한 경로, 즉 $ge(s_1, s_2)+ge(s_2, s_3)+\dots+ge(s_{k-1}, s_k)$ 가 우리가 추출하고자 하는 메쉬상에서의 기하학적 특징이다. 이러한 기법을 기하학적 라이브 와이어라 하겠다. 그러나 이 방법은 사용자

가 선택한 정점의 수가 많으면 많을수록 매번 모든 정점을 고려해야 하기 때문에 기하학적 특징을 추출하는데 많이 시간이 소요된다. 라이브 와이어에서 에지 추출을 위한 시간을 단축하기 위해 일정한 크기를 갖는 윈도우(window) 영역내에 존재하는 픽셀들만을 이용하여 그래프를 구했던 것과 유사한 방법으로 본 논문에서는 기하학적 라이브 와이어를 개선하기 위해 주어진 특징한 정점으로부터 다른 정점까지의 최단 경로의 길이를 기준으로 사용하였다. 이를 기하학적 라이브 라인이라 한다.

3.3 추출된 기하학적 특징의 후처리

제 3.2절에서 소개한 기하학적 인공 가위법, 기하학적 라이브 와이어, 기하학적 라이브 라인 기법을 이용한 메쉬상의 주요 특징 정보는 선택된 정점들과 이들 정점간에 존재하는 최단 경로를 연결한 열린 다각선 혹은 닫힌 다각선이다. 이들 다각선을 $C = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_k)$ 라 하자. 그러나 이들 다각선이 그래프상의 정점들을 연결하는 선분들의 집합이기 때문에 계단 모형의 기하학적 특징이 추출될 수 있음을 알 수 있다. 이러한 계단 모양을 제거하기 위해 본 논문에서는 두 가지 형태의 곡선을 먼저 생성한다. 첫 번째 유형의 곡선은 처음 정점과 끝 정점을 고정시키고 다른 정점들을 근사하는 BSpline 곡선 [9]이다. 두 번째 유형의 곡선은 사용자에게 선택된 정점들은 통과되고 다른 정점들은 근사되는 스플라인 곡선이다. 이렇게 생성된 곡선에서 처음 시작 정점과 끝 정점은 항상 메쉬의 정점에 속하므로 이들 정점으로부터 시작하여 메쉬의 표면을 따라가면서 곡선과 교차하는 점들을 구하여 이들 정점들을 연결하는 다각선을 최종적으로 사용자가 의도한 기하학적 특징으로 선택한다.

4. 구현 결과

이번 장에서는 3차원 공간상에서 메쉬 형태로 모델링된 차아 상악 1대구치의 표면 모델에 대해 제 3장에서 제시된 기법에 따라 추출된 기하학적 특징 정보를 가시적으로 제시한다. 그림 1(a) 같은 상악 1대구치의 와이어 프레임 메쉬 모형에 대해 그림자를 생성해 보면 그림 1(b)와 같다. 이러한 상태에서 각 정점의 인텐시티를 Kwak 등[4]에 의해 구해진 근사 곡률로 정하여 가시한 결과가 그림 2(a)와 같고 블러링한 결과가 그림 2(b)와 같다.

그림 2(b)에서 사용자가 이 모델에서 기하학적 특징을 추출하기 위해 사용자 의도로 입력 정보에 따른

기하학적 라이브 라인 기법의 적용 결과가 그림 3(a)와 같다. 여기에서 입력정보는 구로 표시되고 선택된 정점들이 굵은 실선으로 표시된다. 선택된 정점들을 후처리한 결과가 그림 3(b)와 같고 이 그림에서 좀더 굵고 부드러운 실선이 최종 추출된 기하학적 특징 정보이다.

5. 결론

본 논문에서는 3차원 삼각형 메쉬에서 사용자가 의도한 대로 메쉬상의 기하학적 특징을 추출하기 위한 기하학적 인공 가위법, 기하학적 라이브 와이어, 기하학적 라이브 라인 기법을 소개하였다. 이들 방법을 그대로 적용했을 때 찾아진 다각선이 계단 형태의 모양이 형성되므로 이를 개선하기 위해 스플라인 곡선을 생성하여 사용하였다.

본 논문에서 제시한 기법에 의해 추출된 결과 사용자가 원하는 기하학적 특징으로 표현되기 위해서는 많은 사용자 정보를 미리 제공해야 하는 문제가 있다. 따라서 최소한의 입력 정보에 따른 효율적인 기하학적 특징 정보를 추출할 수 있는 기법의 개발이 요구된다.

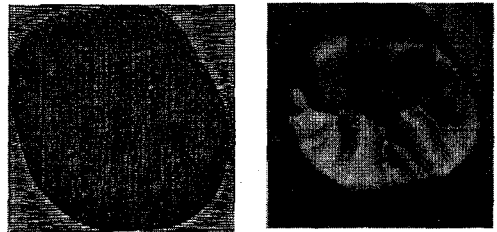
감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-03-D00309).

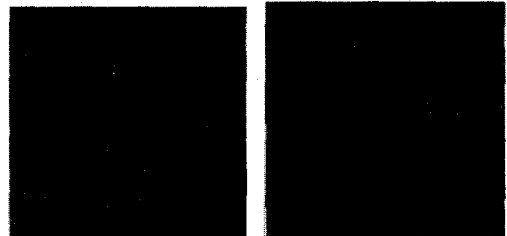
참고문헌

[1] Kang H. W. and S.Y. Shin, "Enhanced Lane : Interactive Image Segmentation by Incremental Path Map Construction," *Graphical Models*, 2002
 [2] Gleicher, M., "Image Snapping," *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH'95)*, pp.183-190, 1995
 [3] Falcao, A.X, et. al, "User-Steered Image Segmentation Paradigms: Live Wire and Live Lane," *Graphical Models and Image Processing*, Vol.60, pp.223-260, 1998
 [4] Kwak, J., E. Lee and K.H. Yoo, "Mesh Simplification using New Mean Curvatures," *Journal of Computer Game Society*, Nov. 2002
 [5] Lee, Y. and S. Lee, "Geometric Snakes for Triangular Meshes," *Graphics Forum*, Oct. 2002
 [6] Andrew Mehnert, Paul Jackway, "An Improved Seeded Region Growing Algorithm," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 18, pp.1065-1071, 1997

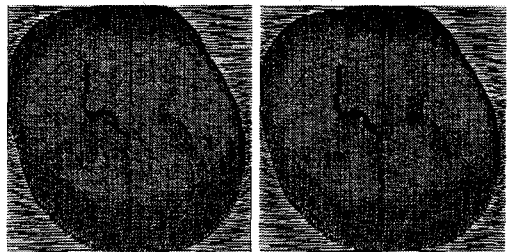
[7] Mortensen, E. and W.A. Barrett, "Intelligent Scissors for Image Composition," *ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH '95)*, pp.191-198, 1995
 [8] Andre Stork, "An Algorithm for Fast Picking and Snapping using a 3D Input Device and 3D Cursor," *CAD Tools and Algorithms for Product Design*, pp.113-127, 1998
 [9] Yamaguchi, F., *Curves and surfaces in computer aided geometric design*, Springer-Berlag, 1988
 [10] Yoo, Kwan-Hee "Geometric Snapping for 3D Triangular Meshes," *Proc. of HCI 2003*, Feb. 2003



(a) 와이어 프레임 모델 (b) 웨이딩 모델
 그림 1. 주어진 3차원 상악 1대구치 모델



(a) 근사 곡률 (b) 블러링 결과
 그림 2. 주어진 모델의 전처리



(a) 기하학적 라이브 라인 적용 (b) 후처리 결과
 그림 3. 주어진 모델의 기하학적 특징 추출