

# 음함수 곡면 맞춤을 이용한 다각형 모델로부터 특징 추출 알고리즘

김 수 균<sup>\*</sup>

## 요 약

본 논문은 3차원 다각형 모델에서 특징 선을 추출하기 위한 방법에 대해 제안한다. 이산 곡면으로 이루어진 다각형 모델에서 특징 선을 추출하기 위하여 기존 방법에서는 전역적인 음함수 곡면 맞춤 기법(Implicit Surface Fitting)을 이용하여 모델의 꼭지점에서 곡률과 곡률 미분 값을 측정하였다. 이러한 방법은 다각형 모델의 꼭지점에서 음함수 곡면으로 정확하게 투영할 수 있도록 사용자의 정의 파라미터를 찾아야 하며, 특징 추출을 위한 많은 계산 시간을 요구한다. 그러나 제안 방법은 지역적 음함수 곡면 맞춤 기법을 이용하여 모델의 꼭지점에 근사된 곡면을 통해 미분 정보를 측정한다. 측정된 미분 정보를 통해 쉽게 각각의 모서리에서 체로-클로싱을 통해 특징 점을 추출하고, 곡률 방향을 따라 추출된 점들을 연결하여 특징 선을 생성한다. 여러 가지 다각형 모델에서 실험을 하였고 기존 방법보다 빠르며 높은 품질의 특징 선을 추출한다.

## Feature Extraction Algorithm from Polygonal Model using Implicit Surface Fitting

Soo-Kyun Kim<sup>†</sup>

## ABSTRACT

This paper proposes a extraction of feature lines on a polygonal model using local implicit surface fitting technique. To extract feature lines on a polygonal model, the previous technique addressed to compute the curvature and their derivatives at mesh vertices via global implicit surface fitting. It needs a user-specified precision parameter for finding an accurate projection of the mesh vertices onto an approximating implicit surface and requires high-time consumption. But we use a local implicit surface fitting technique to estimate the local differential information near a vertex by means of an approximating surface. Feature vertices are easily detected as zero-crossings, and can then be connected along the direction of principal curvature. Our method, demonstrated on several large polygonal models, produces a good fit which leads to improved visualization.

**Key words:** Extraction of feature line(특징 추출), curvature derivatives(곡률 미분), polygonal model (다각형 모델)

## 1. 서 론

3차원 다각형 모델에서 특징선의 추출은 컴퓨터 그래픽스, 기하 모델링, 모델 가시화에서 응용 프로

그램으로 빠르게 사용되고 있다. 특히 특징선은 메쉬 간략화, 리메싱(remeshing), 얼굴 인식과 모델의 형태분석에서 중요한 역할을 한다[1-7].

초기에 제안된 알고리즘들은 음함수 및 3차원 밀

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김수균, 주소 : 대전광역시 서구 도마동(302-735), 전화 : 042)520-5926, FAX : 042)520-5689, E-mail : kimsk@pcu.ac.kr  
접수일 : 2008년 6월 23일, 완료일 : 2008년 10월 7일

<sup>\*</sup> 정회원, 배재대학교 게임공학과 전임강사  
<sup>†</sup> 본 논문은 2008학년도 배재대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임

도 곡면(density surface)에서 특징선(돌출선과 계곡선으로 나눌 수 있음)을 추출하도록 하는 방법들이다. 돌출선(ridge)은 고차곡률 도함수를 이용하여 곡률 방향을 따르는 주 곡률들의 극값으로 정의 할 수 있다[8-10].

향상된 기법들은 다항식 맞춤(polynomial fitting)에 의해 곡률 텐서(tensor) 및 곡률 벡터들과 같은 미분 성질에 의해 측정된다[11,12]. 기하 모델링에서는 3차원 메쉬로부터 직접 특징선을 감지하고 추출하기 위해서는 다양한 오퍼레이터를 사용해야 한다[13-15]. 이러한 기법들은 필터링, 세션화 및 평활화 단계(filtering, thinning, smoothing)와 같은 메쉬 오퍼레이터 등의 복잡한 과정을 요구한다. 그러나 Ohtake는 복잡하고 어려운 단계를 통한 특징 추출을 대신하기 위해 RBF(Rial Basis Function)를 이용하여 특징을 추출하였다. 이러한 방법은 좋은 결과를 보여 주었지만, 특징선을 추출하는 시간이 오래걸리는 단점이 있다[16]. 왜냐하면 각 꼭지점에 대해 곡률 텐서와 곡률 미분 값을 측정하기 위해 사용한 RBF는 전역적인 근사화 기법이기 때문이다.

본 논문에서는 다각형 모델을 입력 받아 특징선을 추출하는 알고리즘에 대하여 나타낸다. 그림 1에서 특징선을 만드는 시스템 개요도를 나타내며 특징

선 중에서 돌출선을 생성하는 방법에 대해 설명하고 있다. 기하 및 위상정보로 이루어진 다각형 데이터의 각 꼭지점에서 지역적인 MLS 근사화를 통해 빠르게 곡률과 곡률 미분 값을 계산한다[17,18]. 다각형의 꼭지점을 잇는 모서리에서 주 곡률 극값의 제로-클로싱(zero-crossing)을 통해 특징점을 추출하고, 추출된 점에 대해 주 곡률 방향을 따르도록 연결하여 특징선을 만들고, 사용자-정의 임계치를 적용하여 불필요한 선을 제거하고 최종적으로 특징선을 갖는 모델을 가시화한다.

## 2. 문제 정의

본 논문은 미분가능한 음함수 곡면에서의 특징을 추출하는 기존 방법을 확장하여 다각형 메쉬 데이터에서도 특징선을 추출할 수 있는 방법에 대해 제안한다[8-10,19]. 3차원 다각형 모델은 이산 곡면으로 구성되어 있기 때문에 각 꼭지점에서 미분가능하지 않다. 즉 특징 추출에 필요한 각 꼭지점에서의 곡률 및 곡률 미분 값을 측정하는 것은 불가능하다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 음함수 곡면 형태로 표현이 가능한 MLS 근사화를 이용하여 곡률과 곡률 미분 값을 측정 할 수 있도록 한다. 이러한 방법은 특징선을 돌출선과 계곡선(rides and valleys)으로 구별할 수 있도록 한다. 돌출선은 고차 곡률 도함수를 이용하여 곡률 방향을 따르는 주 곡률들의 극값으로 정의 할 수 있다. 돌출선과 계곡선은 듀얼(Dual)이기 때문에, 본 논문에서는 돌출선을 찾는 방법에만 설명한다.

### 2.1 개념

미분 가능하며 조밀한 부드러운 3차원 곡면(dense smooth surface)이 주어졌을 때, 부드러운 3차원 곡면에서의 한 점  $r$ 에 대해 주 곡률( $k_{max}$ 과  $k_{min}$ )과 주 곡률 방향( $\vec{t}_{max}$ 과  $\vec{t}_{min}$ )을 측정할 수 있다.  $k_{max}$ 와  $k_{min}$ 을 최대와 최소 곡률이라고 하며( $k_{max} \geq k_{min}$ ), 주 곡률 방향에 일치하는  $\vec{t}_{max}$ 과  $\vec{t}_{min}$ 을 가진다.  $\vec{t}_{max}$ 과  $\vec{t}_{min}$ 방향으로  $k_{max}$ 과  $k_{min}$ 의 미분계수는  $e_{max} = \nabla \vec{k}_{max} \cdot \vec{t}_{max}$ 와  $e_{min} = \nabla \vec{k}_{min} \cdot \vec{t}_{min}$ 이다. 여기서  $e$ 는 주 곡률 방향  $e_{max} = \nabla \vec{k}_{max} \cdot \vec{t}_{max}$ 에 따르는 최대 주 곡률(maximum principal curvature)의 방향성 미분계수

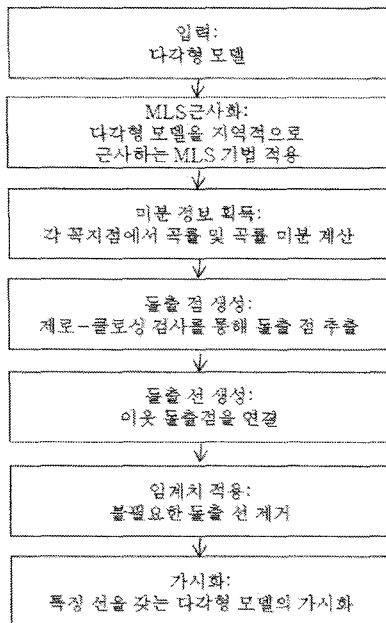


그림 1. 시스템 개요도

(directional derivative)이다. 본 논문에서는 배꼽 점(umbilical point,  $k_{max} = k_{min}$ )은 제외한다. 배꼽 점에서는 주 곡률 방향을 측정 할 수 없기 때문이며, 이러한 점들은 드물게 나오기 때문에 특징 선의 결과에는 큰 영향을 주지 않는다.

주 곡률 방향을 따르는 주 곡률의 극 미분계수  $e_{max}$  와  $e_{min}$  의 제로-클로싱은 다음과 같은 식(1)로 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} e_{max} &= 0, \quad \nabla e_{max} \cdot \vec{t}_{max} < 0, \quad \kappa_{max} > |\kappa_{min}| \text{ (돌출)}, \\ e_{min} &= 0, \quad \nabla e_{max} \cdot \vec{t}_{max} > 0, \quad \kappa_{min} > -|\kappa_{max}| \text{ (계곡)}. \end{aligned} \quad (1)$$

본 논문에서는 주 곡률을 비교하여 최대 곡률을 가지는 한 점에서 주 곡률 방향으로 곡률 미분 값이 0 보다 작은 점을 돌출점 이라고 한다.

### 3. MLS 근사화

본 절은 다각형 모델의 각 꼭지점에서의 곡률과 곡률 미분을 측정하기 위해 다각형 모델에서 곡면을 근사하는 MLS 근사화 기법에 대해 소개한다. MLS 는 주어진 점 데이터 중 한 점에 대해 주변의 이웃 점들을 최소 오차로 근사하는 다항식 표면을 만든다. MLS 근사화는 한 점에 대해 참조평면(reference plane)을 결정하는 단계와 참조 평면을 정의역으로 하여 주변 이웃 점들을 근사하는 다항식을 계산하는 단계로 구성된다.

#### 3.1 참조 평면

다각형 모델의 각 꼭지점에서의 다항식 곡면 S를 측정하기 위한 정의역으로 다각형 꼭지점  $r$ 의 이웃 하는 점들  $r_i$ 와의 가중치 제곱거리 합이 최소가 되도록 하는 참조평면  $H = \{x | \langle n, x \rangle - d = 0, x \in R^3\}$ 을 측정한다. 여기서  $\langle, \rangle$  는 두 벡터의 내적을 뜻하고,  $n$ 은 평면의 법선 벡터,  $x$ 는 3차원 점을 의미하며,  $d$ 는 상수 값이다. 다각형 꼭지점  $r$ 을 참조평면  $H$ 에 투영시킨 점을  $q$ 라 하면 참조 평면은 다음의 식을 최소화하는 평면으로 구한다.

$$\sum_{i \in I} (\langle n, r_i \rangle - d)^2 \theta(\|r_i - q\|), \quad (2)$$

여기서 가중치 함수  $\theta$ 는 부드러운 단조 감소 함수(non-negative weight function)이며, 본 논문은 가

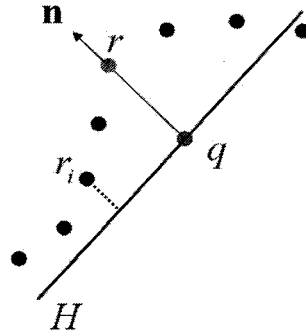


그림 2. MLS 투영(projection): 다각형 꼭지점  $r$ 에 대해 참조평면  $H$ 를 계산하고, 여기에 투영시킨 점  $q$ 를 측정하고, 참조평면을 정의역으로 하여 이웃 점  $r_i$ 를 근사하는 다항식을 구한다.

우시안 함수  $\theta(d) = e^{-\frac{d}{R}}$  를 사용한다.

$h$ 는 각 이웃하는 점 사이의 거리에 대해 예상되는 평균값을 사용한다. 즉 위의 가중치 함수를 사용하게 되면  $q$ 에서 멀리 떨어진 점은 낮은 가중치를 가지게 되어 참조평면에 영향을 적게 미치고, 결과적으로 가까운 점을 더 잘 근사 하는 참조평면을 구할 수 있다. 참조평면에 투영시킨 점  $q = r + tn$ 을 대입하여 식을 만들 수 있고, 대입한 식에서 변수는  $n$ 과  $t$ 이므로, 식을 최소화하는  $n$ 과  $t$ 로 정의되는 평면을 참조평면으로 한다(그림 2참조).

#### 3.2 지역적 근사곡면

참조평면을 정의역으로 하여 이웃 점들을 지역적으로 근사하는 다항식을 계산한다. 이 다항식에 의해 결정되는 곡면이 MLS 곡면이 된다. 이를 위해서 우선 점  $q$ 를 원점으로 하는 참조평면상의 직교 좌표계를 생성한다. 그리고 이 좌표계 상에서 이웃 점  $r_i$ 들과의 가중치 제곱 거리 합이 최소가 되도록 다항식  $g(x, y)$ 를 정의한다.

$$\sum_{i=1}^n (g(x_i, y_i) - f_i)^2 \theta(\|r_i - q\|) \quad (3)$$

위 식에서  $x_i$ 와  $y_i$ 는 이웃 점  $r_i$ 를 평면  $H$ 에 투영시킨 점의 좌표이며,  $f_i$ 는  $r_i$ 의 평면상에서의 높이를 의미한다(그림2참조). 3차식을 갖는 다항식 함수가 실험적으로 좋은 근사표면을 보여주기 때문에 본 논문에서는 3차식을 사용한다.

그림 3에서는 계산을 간단히 하기 위해  $t=0$  (i.e.

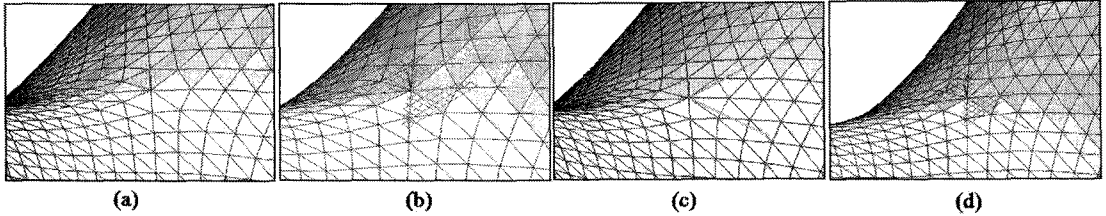


그림 3. Saddle 모델 (4,225 점) 에서의 MLS 근사화 측정: (a) 한 점의 1-이웃, (b) 1-이웃과 MLS 곡면, (c) 3-이웃과 주 곡률 방향, (d) 3-이웃과 MLS 곡면들

$q=r$ 이 되도록 한다. 수식 (3)을 수행하기 위해서는  $n$ 의 값을 선택해야 하는데 꼭지점(i)과 그것의 1-이웃 및 2-이웃을  $n$ 으로 선택하면, 잘못된 MLS 근사표면을 생성하게 된다(그림 3(b)참조). 그래서 보통  $n$ 은 3(3-이웃)으로 선택하게 되며, 이는 꽤 많은 MLS 곡면을 생성하게 된다(그림 3(d)참조). 그러나 그 이상으로  $n$ 을 선택하게 되면 많은 계산 시간이 걸리며, 비슷한 성능의 MLS 근사표면을 생성하게 된다.

기존의 전역적인 방법과 달리 지역적 근사를 수행하여 특징을 찾기 때문에 특징 추출 시간을 줄이면서, 비교적 높은 품질의 특징 추출 결과를 도출해낸다[5]. 기존방법은 전역적인 방법을 통해 근사하기 때문에 근사 곡면과 각 점 들과의 맞춤(fitting) 및 곡률 텐서(tensor)를 측정하기 때문에 표 1과 같이 시간 복잡도가 높은 단점이 있다[16].

#### 4. 곡률과 곡률미분계산

일반적인 3차원 다각형 모델 데이터는 이산 기하 형태이기 때문에 이산 곡률을 추정할 수는 있으나, 곡률의 극값(the extrema of curvature)을 측정할 수 없다[20]. 그러나 Ohtake은 다각형 모델의 각 꼭지점에 대해 음함수 곡면 맞춤(implicit surface fitting)을

통해 곡률 텐서 (curvature tensor)와 곡률 미분( $e_{max}$ 와  $e_{min}$ )을 측정하였고, 이러한 함수는 전역적으로 정의되기 때문에, 맞춤 절차와 음함수 곡면 위로 다각형 꼭지점들을 투영하기위해 반복적으로 뉴턴(Newton) 방법을 수행해야 함으로 많은 계산 시간이 소요되었다[16,21].

본 논문에서는 MLS 근사화기법을 통해 다각형 모델의 각 꼭지점에서의 곡률의 극값을 측정하며, 근사화를 수행하기위해 3차 다항식  $p$ 를 이용하여 측정한다. MLS 다항식  $z=g(x,y)$ 을 음함수 형태(implicit surface form)로 바꾸면  $F=z-g(x,y)$ 가 된다. 여기서  $g(x,y)=p(x_i)$ 이기 때문에, MLS 다항식  $z=p(x_i)$ 를 음함수  $F=z-p(x_i)$ 형태로 바꿔 계산하면 음함수 곡면으로 곡률과 곡률 미분 값을 측정할 수 있다[8,9].

한 점  $r$ 이 주어져 있고,  $\vec{n}=(n_1,n_2,n_3)=\nabla F/|F|$ 의 정의를 이용하여 한 점  $r$ 에서의 단위 법선 벡터를 측정한다. 또한 주 곡률 방향  $\vec{t}=(t_1,t_2,t_3)$ 을 따르는 주 곡률  $\kappa$ 를 식(4)와 같이 계산 할 수 있다.

$$\kappa = \frac{\vec{t} \cdot D^2 F \cdot \vec{t}}{|\nabla F|} = \frac{F_{ij} t^i t^j}{|\nabla F|} \tag{4}$$

아인슈타인 합표시규칙(Einstein summation convention)으로  $F_{ij}$ 는 2번 편미분을 나타낸다.  $\vec{\nabla n}$ 의 고유값 분석(eigenanalysis)을 통해  $\vec{t}_{min}$ 방향으로

표 1. 기존방법과의 실행시간 비교. (sec.)

모델	삼각형 갯수	MLS 근사화 [제안방법]	곡률 및 곡률 미분 [제안방법]	총 추출 시간 [제안방법]	RBF 근사화[16]	곡률 및 곡률 미분 [16]	총 추출 시간[16]
Feline	99,732	2.4	1.2	3.6	22	101	123
Dinosaur	112,623	5.1	1.8	6.9	23	129	152
Maxplanck	50,801	3.2	0.6	3.8	10	39	49
Igea	268,690	8.9	2.4	11.3	54	278	332
Saddle	8,192	0.2	0.12	0.14	1	2	3

의 최소값과  $\vec{t}_{\max}$  방향으로의 최대값을 측정하며, F의 3차 편미분과 같은  $\vec{t}$  방향으로의 곡률 미분  $e$ 를 식(5)와 정의 할 수 있다.

$$e = \nabla k \cdot \vec{t} = \frac{F_{ijl} t^i t^j t^l + 3k F_{ij} t^i t^j}{|\nabla F|}, \tag{5}$$

아인슈타인 합표시규칙으로  $F_{ijl}$ 는 3번 편미분을 표시하며, 식(5)를 이용하여 한 점  $r$ 에서의  $e_{\max}$ 와  $e_{\min}$ 을 측정한다.

5. 돌출점의 추출

본 절은 3차원 다각형 모델에서의 각 꼭지점에서 측정한 곡률 미분 값을 이용하여 돌출점을 추출하고, 추출 된 점을 선 형태로 연결하는 과정에 대해 설명한다. 다각형 모델에서의 모서리는 각각의 꼭지점들이 연결되어 이루어져 있고, 이를 이용하여 모서리에서의 제로-클로싱을 측정하여 돌출점을 찾는다. (만약 주어진 모서리  $[r_i, r_{i+1}]$ 에 대해  $\vec{t}_{\max}(r_i)$ 와  $\vec{t}_{\max}(r_{i+1})$  사이의 각을 측정하여, 둔각이라면  $\vec{e}_{\max}(r_i)$ 와  $\vec{e}_{\max}(r_{i+1})$ 의 부호를 바꾼다.)

모서리  $[r_i, r_{i+1}]$  위에서의 제로-클로싱을 조사하기 위하여 각 점에서 곡률 미분의 최대값 (maximum of the curvature derivatives, MCD)을 측정한다. MCDmax는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\kappa_{\max}(r_i) > \kappa_{\min}(r_i) \text{ and } MCD_{\max}(r_i) = \begin{cases} 1 & e_{\max}(r_i) > 0, \\ 0 & e_{\max}(r_i) \leq 0. \end{cases} \tag{6}$$

수식(6)를 사용하여 곡률 미분 값에서의 부호를 조사하고, 만약 식(7)을 만족하면 두 점( $r_i$ 와  $r_{i+1}$ ) 사

이에 제로-클로싱이 존재하게 된다. ( $\wedge$ 는 배타적 논리합)

$$MCD_{\max}(r_i) \wedge MCD_{\max}(r_{i+1}) = 1, \tag{7}$$

식(8)을 이용하여 두 점 사이에서의 곡률의 크기를 비교하여 큰 값을 가지는 점을 돌출점으로 선택한다.

$$\begin{aligned} r_i &= \kappa_{\max}(r_i) > \kappa_{\max}(r_{i+1}), \\ r_{i+1} &= \kappa_{\max}(r_i) < \kappa_{\max}(r_{i+1}). \end{aligned} \tag{8}$$

그림 4는 Saddle 모델에 대해 돌출점과 계곡점을 추출한 결과를 보여준다.

5.1 돌출선의 생성

그림 4(b)와 같이 추출된 돌출점을 선형태로 만들기 위해서는 모든 돌출점끼리 연결하는 방법을 이용할 수 있으나, 하나의 선형태로 만드는 것은 불가능하다. 본 절에서는 추출된 돌출점들을 선 형태로 생성하기 위한 방법에 대해 소개한다. 추출된 수많은 돌출점을 선 형태로 연결하기 위해서는 세 가지 경우로 나눌 수 있으며, 다음과 같은 방법을 사용한다.

**Case 1:** 자신을 기준으로 하여 이웃하는 돌출점이 없는 경우, 자신을 삭제한다.

**Case 2:** 그림 5(b)와 같이 기준 돌출점( $v_i$ )을 중심으로, 1-이웃(1-neighbor)을 계산한다. 6개의 이웃 중에서 하나의 점( $v_j$ )이 돌출점이므로, 꼭지점( $v_i$ )와 ( $v_j$ )를 연결하여 선형태로 만든다.

**Case 3:** 그림 5(c)와 같이 기준 돌출점( $v_i$ )을 중심으로, 1-이웃(1-neighbor)을 계산한다. 6개의 이웃 중에 두 개가 돌출점( $v_j, v_k$ )이므로, 두 개 중의 한 점을 선택해야 한다. 선택하기 위해서는 기준 돌출점( $v_i$ )

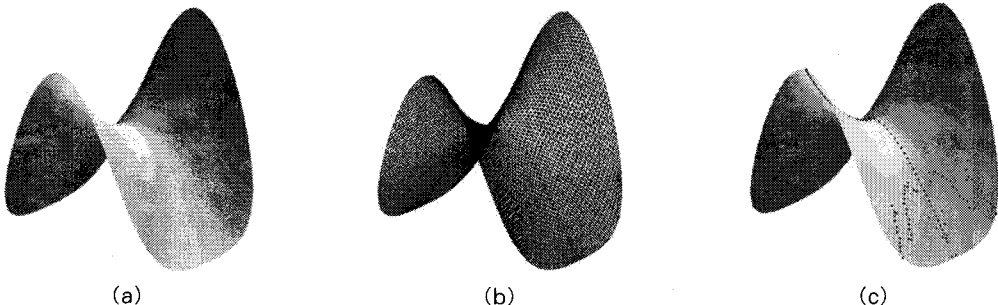


그림 4. Saddle 모델에서 빨강색 돌출점과 파랑색 계곡점의 추출. (a) 원본 모델, (b) 와이어 프레임에서의 돌출점과 계곡점, (c) 돌출점과 계곡점.

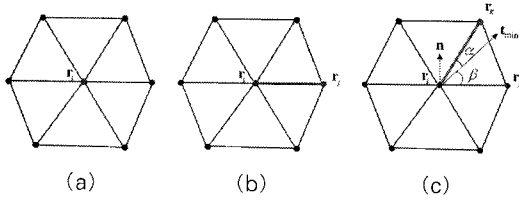


그림 5. 돌출선(빨강색)의 생성. (a) 1-이웃이 1개인 경우, (b) 1-이웃이 1개인 경우, (c) 1-이웃이 2개 이상인 경우

에서의 주곡률 방향( $\vec{r}_{max}$ )을 조사한다. 꼭지점  $v_i$ 를 기준으로 돌출점이 있는, 두 모서리  $(v_i, v_j)$ 와  $(v_i, v_k)$  중에서  $v_i$ 에서 측정된  $\vec{r}_{max}$ 가 가장 가까이 지나가는 모서리를 각도로 측정한다. 측정된 결과를 통해 꼭지점  $(v_i)$ 와  $(v_k)$ 을 연결하여 선형태로 만든다.

수많은 돌출점을 연결하여 선 형태로 생성하게 되면 많은 선들이 생기게 된다. 이렇게 많이 생성된 돌출선들은 모델에서의 특징 부분을 잘 나타내기는 하지만, 너무 많이 분포하고 있고 매우 짧은 선들로 구성되어 있기 때문에 모델의 가시화 품질은 좋지 않다. 이를 해결하기 위해 일정한 임계치를 주어 짧게 생성된 돌출선들을 제거할 필요가 있다. 본 논문에서는 식(9)을 이용하여 임계치를 측정하고, 이를 통해 특징선의 일부분을 제거하여 모델 가시화를 향상시켰다[22,23]. 그림 6에서와 같이 추출된 모델 가시화 품질을 향상시키기 위해 짧거나 곡률이 낮은 부분의 돌출선을 제거한다. 본 논문은 필터링 기법을 기반으로 하여 모서리 길이와 각 돌출선들에 대한 곡률 메트릭(i.e.  $\delta = \kappa_{max}^2 + \kappa_{min}^2$ ) 식을 통해 식(9)와 같은 임계치를 생성한다[2].

$$1 \leq i \leq n: T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |r_{i+1} - r_i|^2 \cdot \frac{\delta(r_i) + \delta(r_{i+1})}{2}, \quad (9)$$

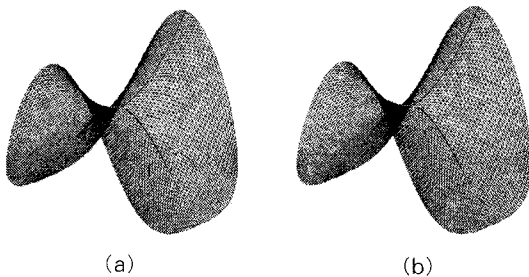


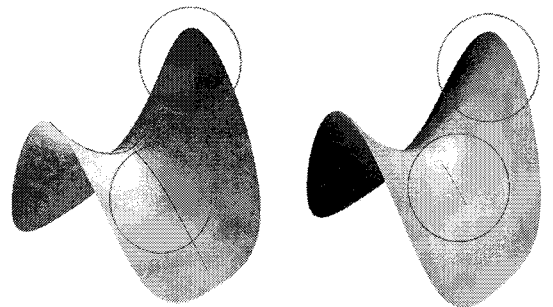
그림 6. Saddle 모델에서의 임계치 적용. (빨강색 돌출선과 파랑색 계곡선). (a) 임계치 적용 전의 특징선, (b) 임계치 적용후의 특징선

$r_i$ 는  $n$ 개의 돌출점이며, 임계치  $T$ 는 사용자가 지정한 값 보다 작은 모든 선들을 제거한다. 즉, 짧거나 곡률이 낮은 지점에서의 선들은  $T$ 에 의해 제거된다.

### 6. 실험 결과

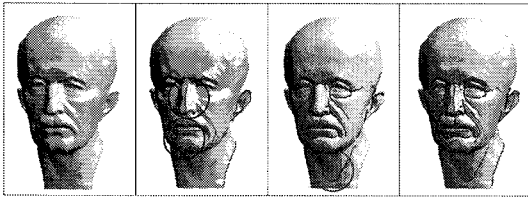
2.6GHz 듀오 프로세서와 2GB 메인 메모리를 가진 PC에서 테스트 하였다. 실험은 기존 방법에 대해 특징을 추출하는 성능 및 다각형 모델에서 특징선이 잘 추출되었는지를 비교하였다. 표1에서와 같이 제안 방법은 다각형 모델에서 빠르게 특징 선을 추출하였으나, 기존 방법은 표1에서 보는 것과 같이 특징 선을 추출하기 위해 수 초 ~ 수 백 초의 시간이 걸렸다[16]. 그림 7을 통해 기존 방법과의 특징 선 추출 가시화 결과를 비교해 보았다. 임계치 값을 적용한 후의 모습이며, 기존 방법은 특징 선에서 끊어져 있는 부분이 있거나 짧은 선들이 존재하는 것을 볼 수 있다[16].

그림 8은 Maxplanck 모델에 대해 비교했을 경우, 제안 방법이 기존 방법보다 좋은 결과를 도출하는 것을 알 수 있다. 특히 모델의 코끝선(붉은색 돌출선), 입술 윤곽을 따르는 돌출 선 및 목 주위의 선(파랑색 계곡선)이 잘 연결된 것을 알 수 있다. 그림 9는 268,690면으로 구성된 Igea 모델에 대해서 특징선을 추출한 결과를 보여준다. 특히 눈 부위를 확대한 경우에는 삼각형 메쉬 위로 특징선들이 추출 된 것을 볼 수 있다. 그림 10은 Dinosaur 모델과 Feline 모델을 보여준다. Dinosaur 모델의 특징인 날카로운 등뼈 부분에서 돌출선과 계곡 선 들이 모델의 특징 부분을 따라서 잘 추출되는 것을 알 수 있다. 또한 Feline

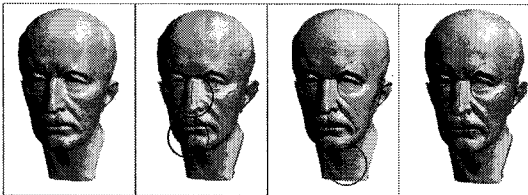


(a) 제안 방법 (b) 기존 방법[16].

그림 7. Saddle 모델(8,192면)의 비교 (붉은색 돌출선과 파랑색 계곡선).



(a) 제안 방법



(b) 기존 방법(16)

그림 8. Maxplanck 모델(50,801면)의 비교.

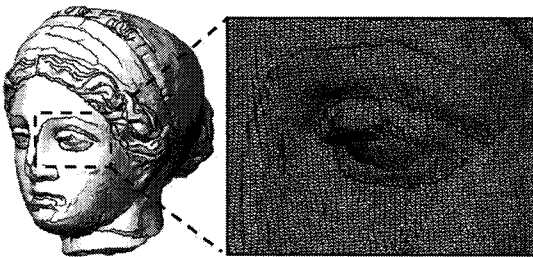


그림 9. Igea 모델(268,690면)에서의 붉은색 돌출선과 파랑색 계곡선

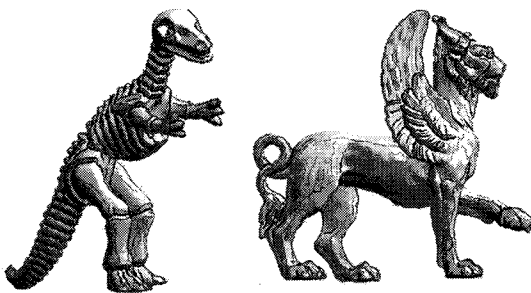


그림 10. Dinosaur 모델(112,623면)과 Feline 모델(99,732면)에서의 붉은색 돌출선과 파랑색 계곡선의 추출

모델의 경우에는 날개 부분의 깃털 모양을 따라 특징선의 연결이 부드럽게 이루어진 것을 볼 수 있다.

## 7. 결론 및 향후연구

본 논문은 3차원 다각형 모델로부터 특징선인 돌

출선과 계곡선을 빠르게 추출하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 기존 방법이 다각형 모델에서 전역적 방법인 RBF 곡면 맞춤기법을 적용하여 특징 추출에 필요한 계산 시간이 오래 걸렸던 것에 비해 제안 방법은 지역적 근사기법인 MLS 근사화를 통해 빠르게 특징선을 추출 할 수 있었다. 또한 실험 결과에서 보듯이 기존 방법에 비해 향상된 특징 추출 결과를 볼 수 있다.

향후 연구에서는 추출된 특징선을 이용하여 비사실적인 렌더링에 적용하는 방법과 가시화 향상을 위해 거친 돌출선을 부드럽게 만들기 위한 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] P. Alliez, M. Meyer, and M. Desbrun, "Interactive geometry remeshing," *Proceedings of SIGGRAPH*, pp. 347-354, 2002.
- [2] G.G. Gordon, "Face recognition based on depth maps and surface curvature," *Proceedings of the SPIE: Geometric Methods in Computer Vision*, pp. 234-247, 1991.
- [3] P.L. Hallinan, G.G. Gordon, A.L. Yuille, P. Giblin, and D. Mumford, *Two-and-Three Dimensional Patterns of the Face*, A K. Peters Publishers, 1999.
- [4] A. Hubeli and M. Gross, "Multiresolution feature extraction from unstructured meshes," *Proceedings of IEEE Visualization 2001*, pp. 287-294, 2001.
- [5] J.T. Kent, K.V. Mardia and J. West, "Ridge curves and shape analysis," *Proceedings of the British Machine Vision Conference 1996*, pp. 43-52, 1996.
- [6] J. Vorsatz, C. Rossi, L.P. Kobbelt and H.-P. Seidel, "Feature sensitive remeshing," *Computer Graphics Forum*, Vol.20, No.3, pp. 393-401, 2001.
- [7] K. Watanabe and A.G. Belyaev, "Detection of salient curvature features on polygonal surfaces," *Computer Graphics Forum*, Vol.20, No.

3, pp. 385-392, 2001.

[8] O. Monga, S. Benayoun and O. Faugerras, "From partial derivatives of 3D density images to ridge lines," *Proceedings of CVPR*, pp. 354-359, 1992.

[9] O. Monga, N. Armande and P. Montesionoss, "Thin nets and crest lines: application to satellite data and medical images," *Computer Vision and Image Understanding archive*, Vol.67, Issue 3, pp. 285-295, 1997.

[10] X. Pennec, N. Ayache and J.P. Thirion, *Landmark-based registration using features identified through differential geometry*, Handbook of Medical Imaging, I. N. Bankman, ed. Academic Press, pp. 499-513, 2000.

[11] F. Cazals, and M. Pouget, "Estimating differential quantities using polynomial fitting of osculating jets," *Proceedings of a Symposium on Geometry Processing*, pp. 177-187, 2003.

[12] J. Goldfeather and V. Interrante, "A novel cubic-order algorithm for approximating principal direction vectors," *ACM Transaction on Graphics*, Vol.23, No.1, pp. 45-63, 2004.

[13] D.L. Page, Y. Sun, A. Koschan, J. Paik and M. Abidi, "Normal vector voting: crease detection and curvature estimation on large, noisy meshes," *Graphical Models*, Vol.64, Issue 3/4, pp.199-229, 2002.

[14] C. Rossli, L. Kobbelt and H-P. Seidel, "Extraction of feature lines on triangulated surfaces using morphological operators. Smart Graphics," *Proceedings of the AAAI Spring Symposium*, pp. 71-75, 2000.

[15] G. Stylianou and G. Farin, "Crest lines extraction from 3D triangulated meshes. Hierarchical and Geometrical Methods in Scientific Visualization," *Springer, G. Farin, B. Hamann, and H. Hagen, eds.*, pp. 269-281, 2003.

[16] Y. Ohtake, A.G. Belyaev and H.-P. Seidel, "Ridge-valley lines on meshes via implicit surface fitting," *Proceedings of SIGGRAPH*, pp. 609-612, 2004.

[17] S. Yoshizawa, A.G. Belyaev and H.-P. Seidel, "Fast and robust detection of crest lines on meshes," *Proceedings of the ACM symposium on solid and physical modeling*. pp. 227-232, 2005.

[18] D. Levin, G. Brunnett, B. Hamann, H. Muller and L. Linsen, "Mesh-independent surface interpolation," *Geometric Modeling for Scientific Visualization 2004*, Springer-Verlag, pp. 37-50, 2004.

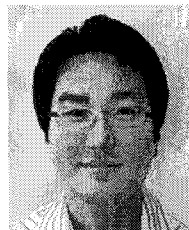
[19] J.P. Thirion, "The extremal mesh and understanding of 3D surfaces," *INRIA Research Report 2149*, Dec. 1993.

[20] N. Dyn, K. Hormann, S.-J. Kim, and D. Levin, "Optimizing 3D triangulations using discrete curvature analysis," *Mathematical Methods for Curves and Surface*, pp. 135-146, 2001.

[21] Y. Ohtake, A.G. Belyaev and H.-P. Seidel, "A multi-scale approach to 3D scattered data interpolation with compactly supported basis functions," *Proceedings of Shape Modeling International*, pp. 153-161, 2003.

[22] S. Gumhold, X. Wang and M.I. Miller, "Feature extraction from point clouds," *Proceedings of the 10th International Meshing Roundtable*, pp. 293-305, 2001.

[23] M. Pauly, R. Keiser and M. Gross, "Multi-scale feature extraction on point-sampled models," *Computer Graphics Forum*, Vol.22, Issue 3, pp. 281-289, 2003.



김 수 준

2002년 2월 고려대학교 컴퓨터학과  
이학석사  
2006년 2월 고려대학교 컴퓨터학과  
이학박사  
2002년 3월~2006년 2월 고려대학교  
정보통신대학 시간강사

2006년 3월~2008년 2월 삼성전자 통신연구소 책임연구원, 모바일 영상개발  
2008년 3월~현재 배재대학교 게임공학과 전임강사  
관심분야 : 기하모델링, 게임그래픽, 모바일 그래픽