

# 게임 캐릭터를 위한 폴리곤 모델 단순화 방법

## Polygonal Model Simplification Method for Game Character

이창훈\*, 조성언\*\*, 김태훈\*\*\*

Chang-Hoon Lee\*, Seong-Eon Cho\*\* and Tai-Hoon Kim\*\*\*

### 요 약

컴퓨터 게임에서 사용하는 복잡한 3차원 캐릭터 모델을 단순한 모델로 만드는 것은 매우 중요하다. 제안 방법은 3차원 게임 캐릭터에서 특징선을 추출하여 모델을 단순화 시키는 새로운 방법에 대해 제안한다. 주어진 3차원 캐릭터 모델은 텍스처 정보를 포함하고 있다. 3차원 캐릭터 모델에서의 텍스처 및 곡률의 변동을 이용해서 2차원 맵인 모델특징맵(Model Feature Map)을 생성한다. 모델특징맵은 곡률 맵(curvature map)과 텍스처 맵(texture map)으로부터 생성되며, 본 맵을 통해 에지 추출 기법을 이용하여 특징선을 추출한다. 모델특징맵은 표준 영상처리틀을 이용해 쉽게 편집할 수 있다. 실험을 통하여 본 알고리즘의 효율성을 보여주며, 실험은 얼굴 캐릭터에 한정하지 않는다.

### Abstract

It is very important to generate a simplified model from a complex 3D character in computer game. We propose a new method of extracting feature lines from a 3D game character. Given an unstructured 3D character model containing texture information, we use model feature map (MFM), which is a 2D map that abstracts the variation of texture and curvature in the 3D character model. The MFM is created from both a texture map and a curvature map, which are produced separately by edge-detection to locate line features. The MFM can be edited interactively using standard image-processing tools. We demonstrate the technique on several data sets, including, but not limited to facial character.

Key words : Model Feature Map, curvature map, texture map, polygonal model, game character

### I. 서 론

게임 제작을 위해서는 복잡한 캐릭터 모델 보다는 원본 모델의 외형과 형상이 최대한 유지되어 있는 데이터 크기가 작은 단순한 모델을 요구하고 있다. 외

형과 형상을 최대한 유지하고 있는 단순화된 모델을 생성하기 위해서 모델에서의 특징선 추출은 필수적이다. 특징선은 메쉬 간략화 [1, 2], 리메싱 [3, 4]과 얼굴 인식 [5] 등에서 중요한 역할을 한다. 삼각형 메쉬는 구조화 되어 있지 않으며, 캐릭터 디자이너에 의

\* 고려대학교 정보보호연구원 (Center for Information Security Technologies)

\*\* 순천대학교 정보통신공학부 (Division of Information and Communication Engineering, Suncheon National University)

\*\*\* 한남대학교 공과대학 멀티미디어학부 (Dept. of Multimedia, Hannam University)

· 교신저자 (Corresponding Author) : 김태훈

· 투고일자 : 2008년 11월 27일

· 심사(수정)일자 : 2008년 11월 28일 (수정일자 : 2009년 1월 7일)

· 게재일자 : 2009년 2월 28일

해 만들어 지거나 혹은 여러 각도의 뷰포인트로부터 영상을 획득하여 부분적으로 메쉬를 생성하고 이를 합성하여 하나의 모델을 생성하여 만들어 지게 된다. 많은 응용 프로그램들은 고품질 메쉬를 필요로 하지만 메쉬 데이터는 구조화 되어 있지 않기 때문에 특징을 추출하는 것은 매우 어렵다.

몇몇 방법[6, 7]들은 특징을 추출하기위해서 오퍼레이터를 제안하고 있으나, 몇 가지 단점을 가지고 있다. 게임에서 사용하기 위해 캐릭터 디자이너가 직접 임계치를 선택해야 하며 또한 특정한 모델에서 의미적인 특징을 찾아야 하는 어려움이 있다. 그리고 이것은 많은 시간과 기술을 요구한다. 만약 임계치가 높으면 불필요한 부분이 많이 선택이 될 것이고, 반대의 경우에는 너무 적은 특징이 추출될 것이다.

제안방법은 Geometry image[8]에 영감을 얻어, 본 방법을 이용하여 문제를 해결한다. 제안 방법은 규칙적이며 편집이 용이한 2차원 도메인에서 3차원 특징을 추출한다. 게임 캐릭터 모델은 텍스처와 기하학적 정보를 제공하기 때문에 이러한 두 정보를 모두 사용할 필요가 있다. 그러므로 제안 방법은 곡률 특징 맵과 텍스처 특징 맵을 이용한 새로운 간략화 척도를 제안한다. 위의 두 가지 특징 맵을 결합함으로써 본 방법은 모델에서 의미 있는 특징을 캐릭터 디자이너의 개입 없이 유지한다.

모델에서의 특징을 추출하기 위해 세 종류의 특징 맵을 이용한다. 첫 번째로 텍스처 특징 맵(texture feature map)은 영상 처리 기술을 이용해서 텍스처 영상에서 채도 혹은 명암의 변화를 표현하는 경계선을 추출하여 만들어진다. 두 번째로 3차원 정점에 대한 이산 곡률을 계산하여 이를 곡률 특징 맵(curvature feature map)으로 저장하고, 이를 에지 디텍터로 분석한다. 마지막으로 모델 특징 맵은 텍스처 특징 맵을 곡률 특징 맵에 중첩함으로써 생성된다. 예를 들어, 텍스처 특징 맵은 얼굴 모델에서 코의 특징을 찾아내지 못하지만 (즉, 코 위에 있는 픽셀과 그 주변에 있는 다른 픽셀이 구분이 되지 않기 때문이다.), 곡률 특징 맵은 그것을 찾아 낼 수 있다. 모델이 텍스처 정보를 제공하지 않을 경우엔 모델은 곡률 정보를 가지고 있는 2D 영역으로 매개 변수화된다. 모델 특징 맵의 2D 선 형태 특징을 3D 메쉬에 일치시킴으로써 특

징 선을 찾고, 이 부분에 가중치를 주어 간략화 과정에서 특징 선을 유지할 수 있다.

## II. 관련 연구

특징선 추출기법은 컴퓨터 비전, 의학 영상과 기하 모델에서 넓게 연구되고 있다. 본 제안 방법은 다른 연구 분야로부터 존재하는 알고리즘을 확장하여 사용한다. 특히 본 방법은 영상처리와 메쉬 처리 기술을 합하여 새로운 기술을 보여 주고있다.

기하 모델링에서 3차원 메쉬로부터 직접적으로 특징을 감지하고 추출하는 것이 가능하다 [2, 4]. 그러나 이러한 기술들은 메쉬 오퍼레이터, 필터링, 세션화, 스무딩 과정과 같은 복잡한 단계를 요구하고 있다. 이러한 과정들은 시간이 오래 걸리고 캐릭터 디자이너로 하여금 많은 노력을 필요로 한다. Ma와 Interrante[9]는 특징 추출 향상을 위해 비현실적인 렌더링 기법을 이용하였다. Kho와 Garland [10]는 특징을 유지하기 위한 사용자-가이드 간략화 방법을 제안하였고, Pojar [11]는 다해상도 모델을 생성하기 위해 사용자-컨트롤 방법을 제안하였다. 두 가지 방법은 사용자가 선택적으로 기하학적 영역을 제어하는 불편함이 있다. Watanabe와 Beyaeve [1]는 기존의 간략화 방법을 기반으로 복잡한 모델에서 곡률 측정 방법을 이용하여 자동으로 특징을 추출하고 간략화하는 방법을 소개하였다.

## III. 개 요

그림 1은 제안 방법에 대한 시스템 개요도를 보여준다. 본 제안 방법은 텍스처와 기하 정보를 이용하여 구조화 되어 있지 않은 3차원 캐릭터 모델에서 시작한다. 게임 캐릭터 모델에서 의미 있는 특징을 추출하기 위해 모델에서의 곡률 변화와 텍스처 정보와 같은 의미 있는 특징을 분석하기 위한 텍스처 특징 맵과 곡률 특징 맵을 이용한다. 채도와 명암의 변화를 나타내는 경계선이 포함된 두 개의 맵을 에지 감지방법을 이용해서 생성한다. 전통적인 에지 감지

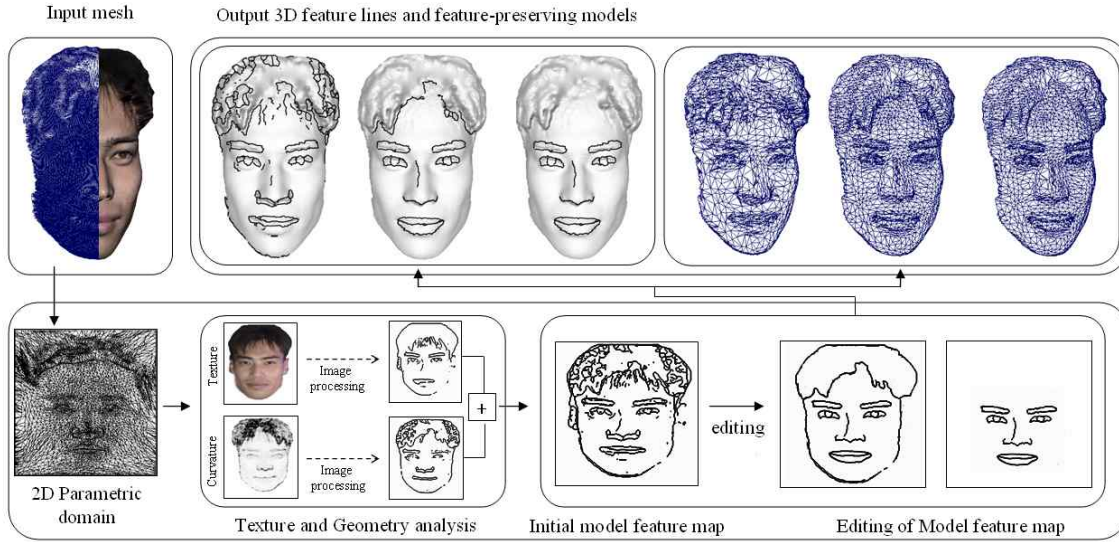


그림 1. 시스템 개요도  
Fig. 1. Overview of the system

방법인 캐니 에지 디텍션, 블록 바이너리, 스켈레톤 알고리즘과 같은 전통적인 영상 처리 방법을 사용한다. 모델 특징 맵은 곡률 특징 맵과 텍스처 특징 맵을 결합함으로써 생성된다. 모델 특징 맵에서 2차원 특징 선에 해당되는 3차원 특징 영역을 메쉬에서 추출하고 그것들을 선 형태의 특징으로 결합한다. 지그재그 연결선을 부드러운 연결선으로 바꾼 후에 특징-유지 간략화를 위한 가중치에 대한 성분이 추가된 확장된 QSlim [5] 방법을 이용해서 복잡한 캐릭터 모델을 간략화한다.

히 캐니 에지 알고리즘은 다른 방법들 보다 에지를 잘 찾아낸다. 블록 바이너리 기술을 사용하여, 추출한 에지를 명확히 한다(그림 2c 참조). 즉 흑백 영상의 적당한 구분을 이용해서 두꺼운 에지를 얻는다. 스켈레톤 알고리즘(그림 2d)을 이용하여 에지를 얇게 한다. 물체의 골격은 반복적으로 물체를 얇게 함으로써 생성된 한 개 픽셀 크기의 얇은 픽셀 집합으로 구성된다. 그 방법은 보통 모든 선을 한 픽셀 두께로 함으로써 캐니 에지 추출 혹은 블록 바이너리 방법에서 나온 결과를 정리하는데 쓰인다.

3-1 텍스처 특징 맵

제안 방법은 텍스처 영상에서  $n \times n$  배열로 구성된[r,g,b] 값 텍스처 특징 맵을 생성해 낸다. 영상에서 2차원 특징 선을 찾기 위해서 캐니 에지 디텍션과 블록 바이너리와 스켈레톤 알고리즘과 같은 영상 처리 기술을 이용한다. 캐니 에지 추출 방법은 물체에서 에지를 찾아내며 특히 솔리드한 영역의 영상에 대해 매우 유용하다.

영상에서 기울기를 계산해내는 최적 일차 미분 필터를 사용하여 잡음 레벨을 측정한다. 따라서 제안 방법은 캐니 알고리즘을 사용한다 (그림 2b). 특

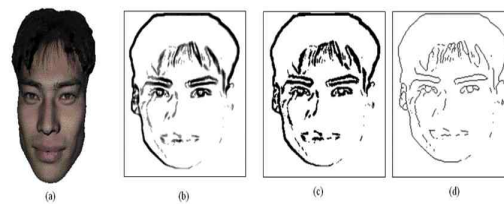


그림 2. 텍스처 특징 맵 (a) 텍스처 맵핑된 모델, (b) canny 알고리즘, (c) block binary, (d) skeleton algorithm  
Fig. 2. Texture feature map (a) texture mapped model, (b) canny algorithm, (c) block binary, (d) skeleton algorithm

3-2 곡률 특징 맵

이산기하정보는 이면각, 법선, 이산곡률, 영역 근사화 같은 기하 처리에 의해 분석되어진다. 이산 곡률[12-14]은 이산 표면에서의 곡률을 추정하는 것이다. 다각형 메쉬에서  $[x,y,z]$  데이터 값 형태의  $n \times n$  배열로 구성된 곡률 맵을 만들 수 있다. 이론적 관점에서 삼각 메쉬와 같은 이산 표면은 모든 곳에서 곡률을 가질 수 없다. 왜냐하면 평평한 면과 같은 C2 미분 가능하지 않은 면에서의 에지와 정점에서는 곡률이 적절하게 정의되지 않기 때문이다. 그러나 삼각 메쉬를 알지 못하는 부드러운 표면의 부분 선형 추정이라고 생각한다면 삼각 메쉬 자체가 주는 정보만을 이용해서 알지 못하는 표면의 곡률을 추정할 수 있다. 제안 방법은 삼각 메쉬의 정점에서 절대 평균 곡률을 계산하는데 초점을 두었다. 입력 모델의 정점에서 이산 가우시안 곡률  $K$ 와 절대 이산 곡률  $|H|$ 와 절대 이산 주 곡률  $|k_1|$ 과  $|k_2|$ 의 합을 계산한다. 아래 제시한 두 가지 방법으로 곡률 특징 맵을 만들 수 있다.

**텍스처 정보를 이용한 방법:** 텍스처 정보를 포함하고 있는 3차원 다각형 모델은 텍스처 좌표에 있는 점  $u = (u_x, u_y)$ 과 그것에 대응하는 메쉬 위에 있는 3차원 정점  $v = (x, y, z)$  사이의 대응 함수를 효율적으로 만들 수 있는 방법을 제공한다. 따라서 대응 함수를 이용해서 곡률 맵을 쉽게 만들 수 있다.

**매개 변수화를 이용한 방법:** 만약 3차원 모델이 텍스처 정보를 제공하지 않는다면, 모델은 2차원 영역으로 매개 변수화된다. 대응 함수[8, 18, 19]는  $R^3$ 에 있는 메쉬  $S$ 와 매개 변수화된 공간  $R^2$ 에서의 부분 집합과 일대일 함수이다. 그림 3에서와 같이 대응 함수를 이용해서 2차원 곡률 맵을 만든다.

곡률 맵을 만들기 위해서 가우시안 곡률과 평균 곡률을 측정한다. 실험적으로 볼 때 가우시안 곡률 맵은 좋은 품질을 보여주지 못한다. 그래서 평균 곡률을 사용하여 정점에서의 이산 곡률 값을 선형 보간해서 계산된 맵을 만든다. 3차원 모델의 정점에서 곡률 값을 RGB 값으로 변환한다( $R, G, B$ 는 같은 값을 가진다.): 즉 곡률 값은  $[r,g,b]$ 으로 취급되며, 모델에서의 최대 최소 곡률 값은 정규화되어 2차원 영역에서 0부터 255사이로 나타낼 수 있으며, 이를 통해 흑백 영상을 얻는다. 생성된 2차원 맵에서 2차원 특징 선을 찾기 위해 캐니, 블록 바이너리, 스켈레톤 알고리즘과 같은 영상 처리 기술을 적용한다.

3-3 모델 특징 맵

본 절에서는 텍스처와 곡률 특징 맵을 결합하는 방법에 대해 소개한다(두 개의 맵은 각각 장·단점을 가지고 있다). 그림 4(a)에서 텍스처 특징 맵은 픽셀을 구분할 수 없기 때문에 코 영역을 찾아내지 못한다. 그러나 곡률 특징 맵은 기하학적 처리를 해서 만든 것이기 때문에 코 영역을 찾아낼 수 있다. 따라서 제안 방법은 텍스처와 곡률 특징 맵 사이의 가중치 함수를 선택한다. 텍스처 특징 맵(Texture Feature Map)의 가중치를 곡률 특징 맵(Curvature Feature Map)의 픽셀에 더한다. 따라서 모델 특징 맵의 경계는 명확해진다. 그림 4(c)는  $\lambda$ 와  $(1-\lambda)$  값이 0.5 일 때의 결과를 보여준다. 모델 특징 맵의 식은 다음과 같다.

$$MFM = \lambda \cdot TFM + (1 - \lambda) \cdot CFM \quad (1)$$

IV. 특징 영역의 추출

2차원 특징 선에 해당되는 메쉬의 3차원 특징 영역을 MFM에서 추출해야 한다. 영역  $D$ 를 MFM에 대한 단위 영역이라 하자. 영역  $D$ 는 픽셀 좌표를 가지는  $2^n \times 2^n$  픽셀의 사각 영역이다. 영역  $D$ 의 픽셀은 3차원 특징을 가지고 있고, 하얀색 픽셀은 영상에서의 특징 선을 나타낸다. 흑백 영상  $I$ 를 의미하는

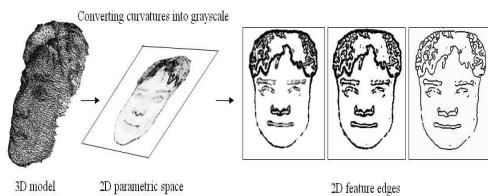


그림 3. 곡률 특징 맵의 생성  
Fig. 3. Generation of the curvature map feature

$\nabla I$ 를 사용하여 영역 D에서 2차원 특징 선을 찾는다. 다음 단계는 매개 변수화이다. 대부분의 다각형 모델은 텍스처를 가지고 있으며,  $(u,v)$ 로 표시할 수 있다. 텍스처 좌표를 고려해서 3차원 기하 좌표를 텍스처 맵에 매개 변수화 하는 직관적인 방법을 사용한다. 정점 좌표  $(x_i,y_i,z_i)$ 는 텍스처의 픽셀 $(s_i,t_j)$ 를 사용하여 영역 D에 매개 변수화된다.

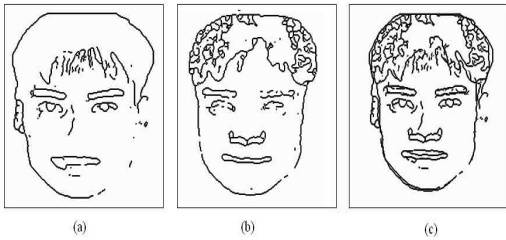


그림 4. (a) 텍스처 특징 맵, (b) 곡률 특징 맵, (c) (a)와(c)를 합성하여 생성한 모델 특징 맵  
 Fig. 4. (a) Texture map feature, (b) curvature feature map, (c) generation of combined feature map between (a) and (b)

다. 그러나 모델이 텍스처 좌표를 가지고 있지 않다면 매개 변수화를 적용한다. 그림 5는 특징 영역을 추출하는 방법에 대해 설명하고 있다. 특징 영역은 메쉬의 에지들의 집합으로 구성되어 있기 때문에 이를 선 형태의 특징으로 만들어야 한다.

4-1 3차원 특징 선의 추출

본 절에서 가장 중요한 단계는 3차원 특징 영역에서 의미 있는 선 형태의 특징을 만드는 데 있다. 컴퓨터 비전과 Hubeli[9]의 스켈레톤나이징과 유사하다. 그러나 위의 알고리즘을 직접적으로 사용하지 않는다.

그림 5에서와 같이 3차원 모델에 생성된 특징은 선형태가 아닌 특징 영역으로 존재하게 된다. 이를 하나의 선 형태로 만들기 위해서는 특징 영역에 있는 모든 경계 에지  $\partial e$ 를 제거해야하며, 동시에 제

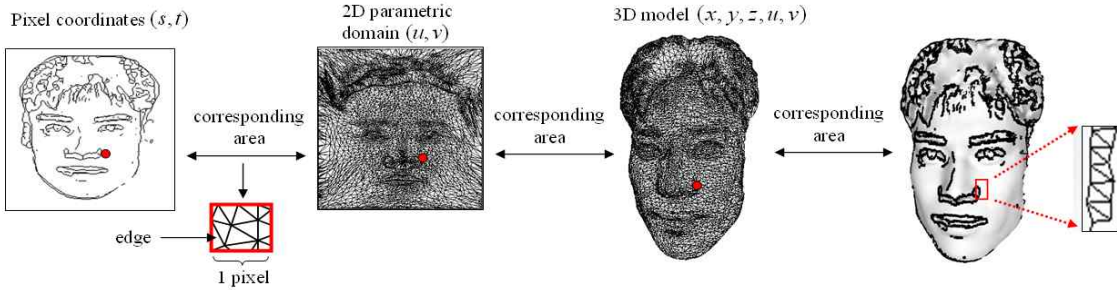


그림 5. Mr. Kim 모델로부터 특징 영역 추출  
 Fig. 5. Feature area capturing from Mr. Kim model

$\nabla I(u_i,v_j)$ 는 영역 D에서의 기울기이다. 따라서 메쉬 위에서의 다음 범위 안에서  $(s_i,t_j)$  좌표를 찾는다.

$$\left(\frac{s_i}{2^n}, \frac{t_j}{2^n}\right) \leq (u_i, v_j) \leq \left(\frac{s_{i+1}}{2^n}, \frac{t_{j+1}}{2^n}\right)$$

이 범위 안에서 그림 6에서와 같이 영역 D에서 메쉬의 3차원 특징 영역을 추출한다. 왜냐하면 텍스처 좌표  $(s_i,t_j)$ 와 정점 좌표  $(x_i,y_i,z_i)$ 를 알기 때문이

거하지 않은 타입 1,2,3에 대한 조건을 검사해야 한다. 다음은 특징영역을 선형태로 만들기 위한 방법을 나타낸다.

**타입 1:** 삼각형의 모든 에지들을 포함하고 있는 정점에 대해  $\partial e_1, \partial e_2, \partial e_3$ , 를 조사한다. 즉 정점에서 에지가 몇 개가 연결되어 있는지를 검사한다 (그림 6 참조). 각 끝 정점에서 연결된 에지의 개수를 검사하고 에지의 개수가 2인 정점을 제거한다.

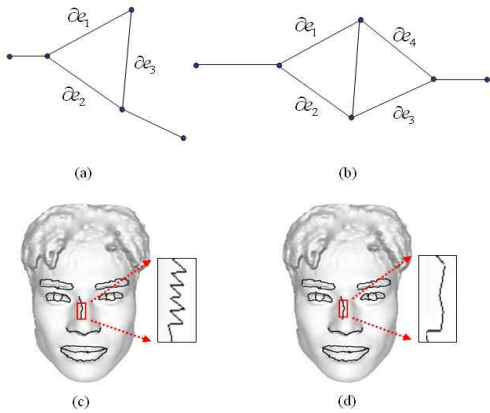


그림 6. 에지의 두 가지 타입과 지그재그선의 제거: (a) 타입 1, (b) 타입 2, (c) 지그재그로 구성되어 있는 특징선, (d) 부드러운 특징선  
 Fig. 6. Removal of zigzag line and two types of edges: (a) type 1, (b) type 2, (c) zigzag feature line, (d) soft feature line

**타입 2:** 4개의  $\partial e_1, \partial e_2, \partial e_3, \partial e_4$  중 랜덤하게 하나를 제거하게 되면 타입 1로 된다. 타입 1에 대한 조건을 만족하는 정점을 제거한다.

**타입 3:** 타입 1과 2를 제외한 모든  $\partial e$ 를 지운다 (그림 6 참조). 마지막으로 특징 선의 모든 에지를 찾고 에지의 수가 최소가 되는 에지를 제거한다.

그림 6(c)와 같이 추출된 특징 선은 들쭉날쭉하다. 부드러운 선 형태로 만들기 위해서 visibility 그래프 방법[12]을 변형하여 들쭉날쭉한 선 문제를 해결한다. 이것은 회전 가능한 평면 스윙과 비슷하다(2차원 평면에 투영하여 진행함). 스윙은 평면에서 작은 곡률로 시작해서 양의 x방향으로 회전하고 시계 방향으로 진행한다. 즉 근원 점 p가 만약 하나 혹은 세 개 이상의 에지로 구성되어있다면 그 점을 사용하지 않는다.

### V. 응용

본 장에서는 모델 특징 맵을 이용하여 여러 가지로 응용 할 수 있는 방법에 대해 소개한다.

#### 5-1 모델 특징 맵의 편집

모델특징맵은 2차원 영상으로 구성되어 있기 때문에 기존의 영상처리도구를 이용하여 쉽게 편집할 수 있다. 그림 8(c)는 영상처리편집도구를 이용하여 영상을 편집한 예를 보여준다.

#### 5-2 특징 유지 간략화

본 장에서는 반복적인 에지 축약을 이용하는 QEM(Quadric Error Metrics)[16]에 기초한다. QEM은 원본 메쉬의 각 면에 대해 이차식  $Qf(v)$ 를 정의한다. 그 값은 정점  $v=(p) \in R^3$  에서 그것을 포함하고 있는 평면까지의 거리 제곱과 같다. 원본 메쉬의 각 정점  $v$ 에 대해서 그것의 이웃하는 면의 제곱 합은 면의 넓이 따라 가중치가 주어진다. 각 에지 축약  $(v_1, v_2) \rightarrow v$  후, 새로운 정점  $v$ 의 위치는 이차식을 최소화함으로써 결정된다. 다음으로 에지 축약은 가장 작은 값을 가진 것으로 선택되며, 만약 정점이 특징점이면 큰 가중치 값을 설정한다. 가중치는 캐릭터 디자이너에 의해 설정이 가능하며, 특징 에지의 가중치는 에지와 연결되어 있는 정점으로 확산된다. 만약 정점이 하나 혹은 여러 개의 특징 에지와 연결되어 있다면, 가중치는 합산이 된다. 비록 캐릭터 디자이너에 의해 가중치가 제공되지만 특징선과 가까운 쪽의 가중치가 더 높고 멀리 갈수록 가중치가 적어진다. 본 방법에서는 각 꼭지점  $x_i$  에서부터 특징 선  $c_i$  위로의 가까운 점과의 거리  $d_i$  를 계산한다. 가중치는  $x_i$  와  $d_i$  사이의 비율에 따라 계산된다.

$$\delta = w \cdot \left(1 - \frac{1}{d_i - 1}\right) \tag{2}$$

$w$ 는 사용자-지정 가중치이다. 모델 단순화 수행 동안에 텍스처가 간략화 되는 것을 방지하기 위해 확장된 QEM을 사용한다. 정점  $v=(p) \in R^5$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$Q(\bar{v} \in R^5) = \delta_i Q(v_i) + \delta_j Q(v_j) \tag{3}$$

VI. 실험 결과

모든 모델은 인텔 듀어 코어 2.66GHz 2GB 메모리 PC에서 테스트 되었다. Mr. Kim과 자동차 문짝은 솔루션닉스[15]에 의해 제공되었고, 태양 모델은 게임 캐릭터이다. 텍스처, 곡률, 모델 특징 맵은 512 x 512 크기이며, 이러한 맵을 만드는데 걸린 시간은 영상 처리를 사용하였기 때문에 몇 백분의 일초 정도 걸렸다. 표 1은 데이터 크기와 실험 시간의 리스트를 보여준다. 제안 방법의 간략화 방법의 품질을 테스트하기 위하여 많은 단순화 모델을 만들었고 이렇게 만들어진 모델과 확장된 QSlim[16]을 사용하여 만들어진 간략화 모델과 비교하였다.

그림 7에서 세 특징 맵을 비교하였다. 그림 7(a)는 텍스처 특징 맵을 사용하여 단순화된 모델의 결과를 보여준다. 이 맵은 입술 선과 코의 연결 부위가 유지됨을 보여주고 있다. 그림 7(b)는 곡률 특징 맵을 사용하여 모델을 간략화 하였다. 이 맵은 코의 끝부분

이다. 그림 8(a)는 모델특징맵(MFM), 그림 8(b)는 원본 모델에서의 선형태의 특징을 보여준다. 그림 8(e)와 (f)는 모델의 코 부분이 간략화 수행 시 뭉개지지 않고 잘 보존되는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 8(g)은 기존의 방법을 이용해서 수행한 것으로 모델에서의 중요한 부분이 훼손된 것을 볼 수 있다.

VII. 결론 및 향후 연구

실시간 3차원 컴퓨터 게임 제작을 위해서는 복잡한 캐릭터 모델 보다는 원본 모델의 외형과 형상이 최대한 유지되도록 하는 폴리곤 간략화 기법은 필수이다. 특히 캐릭터 디자이너의 개입 없이 의미 있는 특징을 유지하기 위해 게임 캐릭터 모델에 대해 특징을 유지하며 단순화하는 방법에 대해 제안하였다. 특징모델맵을 사용하여 의미 있는 특징 선을 찾고 추출함을 보였으며, 또 특징 선에 더 많은 가중치를 주어 특징 유지된 단순화된 모델을 보여주었다. 본 방법으로 만들어진 다중해상도 모델이 특징-

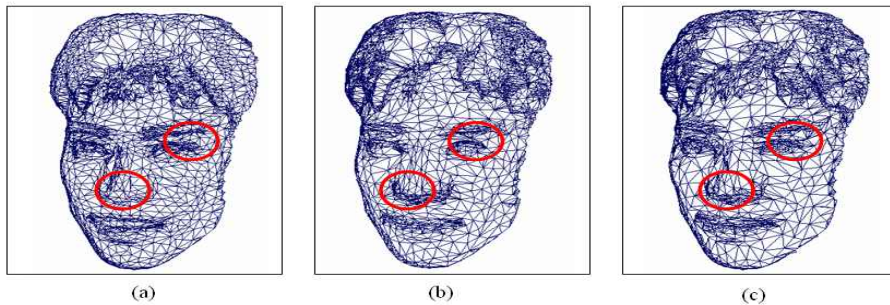


그림 7. 텍스처, 곡률, 모델 특징 맵을 사용한 Mr. Kim 모델의 간략화 결과의 비교. (a) 텍스처 특징 맵을 사용한 단순한 모델, (b) 곡률 특징 맵을 사용하여, (c) MFM을 사용 (각 모델은 3,000면을 간략화.)

Fig. 7. Comparison among the results of texture, curvature, model feature map (a) result of texture feature map, (b) result of curvature feature map, (c) result of model feature map (each model reduced 3,000 areas)

이 유지됨을 보여준다. 그러나 코와 입술의 연결 부위가 그림 7(a)에 비해 명확하지 않음을 알 수 있다. 그림 7(c)에서 코의 연결 부위와 눈, 눈썹, 그리고 입술 선과 같은 의미 있는 특징이 유지됨을 볼 수 있다.

그림 8은 "Mr. Kim" 모델에 대해 테스트한 결과

유지가 됨으로써 효율적임을 보였다.

그러나 장점에도 불구하고 다음과 같은 향후 연구가 필요하다. 먼저 향상된 오퍼레이터를 이용하여 보다 정확한 선 형태의 특징 선을 찾을 수 있다. 두 번째로 선 형태의 특징을 보다 잘 보여주기 위해 비 사실적 렌더링을 적용하는 방법을 고려할 수 있다.

표 1. 데이터와 수행 시간(sec.)  
Table 1. Data and operation time(sec.)

수 / 모델	Mr. Kim	Sun	Car Door
입력 면 수	63,950	65,000	61,264
곡률 특징 맵	0.102s	0.109s	0.125s
3D 특징 영역 추출	0.150s	0.140s	0.141s
특징 선 구성	2.50s	2.65s	2.093s
특징-유지 간략화	29.473s/2k면	30.141s/500면	27.28s/30면

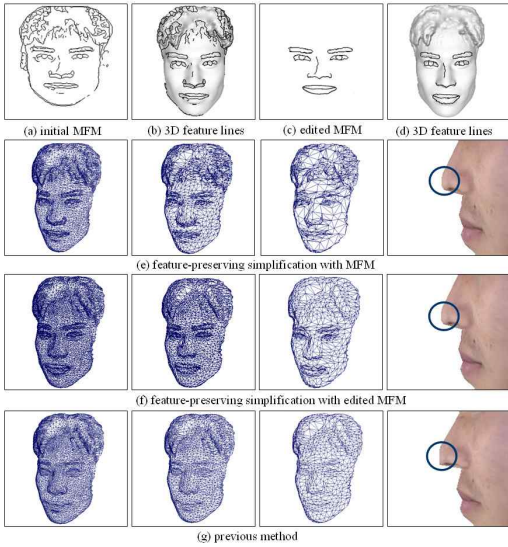


그림 8. Mr. Kim 모델의 특징-유지 간략화. (a) 초기 MFM, (b) (a)로부터 특징선 추출, (c) 사용자 편집, (d) (c)로 특징 선 추출, (e) (b)를 이용한 모델, (f) (d)를 이용한 모델 생성, (g) 기존 방법을 이용한 모델 생성 (왼쪽부터 오른쪽: 10,000, 5,000, 2,000, 850 삼각면)

Fig. 8. Feature-maintain reduction of Mr. Kim model. (a) initial MFM, (b) feature extraction from (a), (c) user editing, (d) feature line extraction from (c), (e) model using (b), (f) model generation by using (d), (g) model generation by using previous method (from left to right: 10,000, 5,000, 2,000, and 850 triangles)

참 고 문 헌

[1] K. Watanabe and A. G. Belyaev, "Detection of salient curvature features on polygonal surfaces," *In Proceedings of Eurographics 01*, pages 385-392, 2001.  
 [2] A. Hubeli and M. Gross, "Multiresolution feature extraction from unstructured meshes," *In*

*Proceedings of IEEE Visualization*, pages 287-294, 2001.  
 [3] P. Alliez, M. Meyer, and M. Desbrun, "Interactive geometry remeshing," *In Proceedings of SIGGRAPH 02*, pages 347-354, 2002.  
 [4] J. Vorsatz, C. Rössl, L. Kobbelt, and H.-P. Seidel, "Feature sensitive remeshing," *In Proceedings of Eurographics 01*, pages 393-401, 2001.  
 [5] G. G. Gordon, "Face recognition based on depth maps and surface curvature," *In Proceedings of SPIE: Geometric Methods in Computer Vision 91*, 1991.  
 [6] S. Gumhold, X. Wang, and R. MacLeod, "Feature extraction from points clouds," *In Proceedings of 10th Int. Meshing Roundtable*, pages 293-305, 2001.  
 [7] M. Pauly, R. Keiser, and M. Gross, "Multi-scale feature extraction on point-sampled surfaces," *In Proceedings of Eurographics 03*, pages 281-289, 2003.  
 [8] X. Gu, S. Gortler, and H. Hoppe, "Geometry images," *In Proceedings of SIGGRAPH 02*, pages 355-361, 2002.  
 [9] P. Alliez and M. Desbrun, "Progressive encoding for lossless transmission of 3d meshes," *In Proceedings of SIGGRAPH 01*, 2001.  
 [10] Y. Kho and M. Garland, "User-guided simplification," *In Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, pages 123-126, 2003.  
 [11] E. Pojar and D. Schmalstieg, "User-controlled creation of multiresolution meshes," *In Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, pages 127-130, 2003.  
 [12] M. Desbrun, M. Meyer, P. Schroder, and A. Barr, "Discrete differential geometry operators for triangulated 2-manifolds," *In Proceedings of VisMath*, 2002.  
 [13] N. Dyn, K. Hormann, S.-J. Kim, and D. Levin, "Optimizing 3d triangulations using discrete curvature analysis," *Mathematical Methods for Curves and Surface*, pages 135-146, 2001.  
 [14] N. Dyn, D. Levin, and S. Rippa, "Numerical



procedures for surface fitting of scattered data by radial functions,” *In Proceedings of SIAM*, pages 639-659, 1986.

[15] www.solutionix.com.

[16] M. Garland and P. S. Heckbert, “Simplifying surfaces with color and texture using quadric error metrics,” *In Proceedings of IEEE Visualization*, pages 209-216, 1998.

조 성 언 (조성언)



1989년 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학사  
1991년 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 공학석사  
1997년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 공학박사  
1997년~현재 순천대학교 정보통신

공학부 부교수  
관심분야 : 통신시스템, 네트워크, RFID

이 창 훈 (李昌勳)



2001년 2월 : 한양대학교 수학과(학사)  
2003년 2월 : 고려대학교 정보보호대학원(석사)  
2008년 2월 : 고려대학교 정보경영공학전문대학원(박사)  
2008년 4월~현재 : 고려대학교 정보경영공학전문대학원 연구교수

관심분야 : 암호 알고리즘 설계 및 분석, 유비쿼터스/멀티미디어 보안 등

김 태 훈 (金泰勳)



1995년 2월 : 성균관대학교 전기공학(공학사)  
1997년 2월 : 성균관대학교 전기공학(공학석사)  
2002년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터학과(공학박사)  
2007년 3월~현재 : 한남대학교 멀티

미디어학부 조교수  
관심분야 : 대형시스템보안, 정보보증, 보안성평가