문화재의 3D 스캔 데이터로부터 도면을 생성하기 위한 자동화된 실루엣 추출 방법

Automated Silhouette Extraction Method for Generating a Blueprint from 3D Scan Data of Cultural Asset

정정일*, 조진수**, 황보택근***

경원대학교 전자거래학과*, 경원대학교 컴퓨터공학과**, 경원대학교 컴퓨터미디어학과***

Jung-II Jung(jungjin2623@nate.com)*, Jin-Soo Cho(jscho@kyungwon.ac.kr)**

Whang-Bo Taekeun(tkwhangbo@kyungwon.ac.kr)***

요약

본 논문에서는 문화재의 실측된 3D 스캔(scan) 데이터로부터 내부문양 및 실루엣(silhouette)을 효과적으로 추출할 수 있는 자동화된 실루엣 추출 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 먼저 3D 벡터 데이터의 에지리스트(edge list)를 생성하고, 시점에 따라 윤곽 에지(contour edge)와 주름 에지(crease edge)를 결정한다. 다음으로 주름 에지에서 인접면들의 벡터 변화량을 검사하여 표면 실루엣을 추출한 후, 최종적으로 문화재의 도면(blueprint) 생성을 위한 윤곽 실루엣과 표면 실루엣을 추출한다. 제안한 실루엣 추출 방법의 성능 평가를 위하여 전통 기와, 자동차 및 석탑 데이터를 이용한 실루엣 추출 실험을 진행하였다. 제안한 방법은 기존의 임계값을 이용한 실루엣 추출 방법에서 불필요한 에지까지도 실루엣을 형성하는 것을 보완하여, 잡음과 같은 의미 없는 에지들을 효과적으로 제거함으로써 더욱 선명하고 깨끗한 실루엣 및 내부 문양을 추출하였다.

■ 중심어 : | 문화재 복원 | 도면 생성 | 실루엣 추출 | 인접 벡터 |

Abstract

In this paper, we propose an automated silhouette extraction method that can effectively extract inner-patterns and silhouettes from 3D scan data of cultural asset. First of all, after creating the edge list of 3D vector data, we decide contour edge and crease edge according to viewpoint. In the next step, after extracting surface silhouette by investigating the vector variation of adjacent faces in crease edge, we finally extract the contour silhouette and surface silhouette for generating the blueprint of cultural asset. To evaluate the performance of the proposed silhouette extraction method, we performed experiments of silhouette extraction using a traditional tile model, a car model and a stone monument model. Comparing with the conventional threshold-based silhouette extraction method, the proposed method extracted more distinct and clear surface silhouettes and inner-patterns by effectively removing meaningless edges, such as noise.

■ keyword : | Cultural Assets Restoration | Blueprint Generation | Silhouette Extraction | Adjacent Vector |

* 본 연구는 문화관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소 육성사업의 지원으로 수행되었습니다.

접수번호 : #081001-003

접수일자 : 2008년 10월 01일

심사완료일 : 2008년 11월 04일

교신저자 : 조진수, e-mail : jscho@kyungwon.ac.kr

I. 서론

최근 숭례문 화재를 계기로 문화재 복원에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며, 특히 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용한 고증자료 생성 및 문화재의 디지털 복원이 크게 활성화 되고 있다. 문화재 복원을 위한 가장 기초적인 자료 중 하나인 도면(blueprint)은 문화재의 구조 해석에 관련하여 많은 정보를 제공하나, 아직까지도 대부분이 손으로 작성된 문서 형태를 가지고 있어 복원 시 주관적인 해석에 의한 정확성 논란을 야기하는 경우가 많다. 또한, [그림 1]과 같이 실사의 부재별 구조 분석을 통해 작성된 도면은 자세한 표면 상태를 표현하기에는 부족함이 있다. 이에 따라 비실사적 렌더링, 최외각선 렌더링, 카툰[1] 등과 같은 컴퓨터 그래픽스 기술을 기반으로 다양한 실루엣(silhouette) 추출 방법이 연구되어 왔다[2]. 본 논문에서는 정밀하게 실측된 문화재의 3D 스캔(scan) 데이터(이하 3D 데이터)로부터 면들의 방향 벡터를 이용하여 윤곽 실루엣을 추출하고, 인접면의 벡터 변화량을 이용하여 문화재의 표면 상태를 정밀하게 추출할 수 있는 디지털 도면 생성을 위한 자동화된 실루엣 추출 방법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 3D 데이터로부터 에지(edge)를 추출하는 방법, 추출된 에지에서 윤곽 실루엣(contour silhouette)과 표면 실루엣(surface silhouette)을 분리하는 방법, 그리고 인접 벡터의 변화량 검사를 통하여 표면 실루엣을 추출하는 방법을 기술한다. 3장에서는 제안한 방법의 성능 평가를 위한 실험 결과를 제시하며, 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

그림 1. 실사를 이용한 문서 도면

II. 인접 벡터 변화량을 이용한 실루엣 추출

정밀하게 실측된 문화재의 3D 데이터로부터 실루엣을 추출하는 과정은 크게 다음과 같은 세 단계로 구성된다. 먼저 3D 데이터의 정규화 과정을 거쳐 에지 리스트(edge list)를 생성한다. 다음으로 생성된 에지 리스트를 윤곽 에지(contour edge)와 주름 에지(crease edge)로 분류하여 윤곽 실루엣을 추출한다. 마지막으로 주름 에지로 분류된 에지에 인접한 면들의 벡터 변화량을 검사하여 표면을 나타내는 표면 실루엣을 추출한다. 본 절에서는 언급된 세 단계에 대해 좀 더 상세히 기술 하도록 한다.

1. 에지 리스트 생성

에지 리스트를 생성하는 과정은 프로그램에서 3D 데이터를 이용하기 위해 수행하는 3D 데이터 정규화 과정과 3D 데이터의 실루엣을 구성하는 에지들을 추출하기 위한 에지 탐색 및 복제, 그리고 에지 리스트의 작성 과정으로 구성된다.

1.1 3D 데이터 정규화

3D 데이터 정규화 과정은 3D 데이터의 정밀 실측 시 관찰 위치에 따라 정합되는 데이터 좌표계의 중심이 변하기 때문에 이를 프로그램에서 사용할 수 있도록 정규화 된 데이터로 변환하는 과정이다. 또한, 3D 데이터를 윈도우 좌표계에서 출력할 때에 좌 하단이 기준이 되기 때문에 문화재 모델의 중심을 윈도우 좌표계의 중심으로 이동시켜야 하며, 이동된 후에는 모델의 전체 데이터를 윈도우의 크기에 맞추어 출력하기 위해 확대 및 축소 과정을 수행해야 한다.

그림 2. 3D 데이터 정규화

$$Data(t_i) = \frac{Data(t_{\max} + t_{\min})}{2}, (t = x, y, z) \quad (1)$$

(t_i : 이동 변환 데이터, $t_{\max}, t_{\min}$: 최대, 최소값)

$$Data(t_n) = \frac{Data(t_i)}{Max(t_{\max})}, (t = x, y, z) \quad (2)$$

(t_n : 정규화 데이터)

[그림 2]는 모델의 중심을 윈도우 좌표계의 중심으로 일치시키는 데이터 중심 변환 연산과 데이터를 윈도우의 크기에 맞추어 축소하는 연산 과정을 실상사백장암 삼층석탑의 3D 데이터 메시 모델[3]을 이용하여 나타낸 것이다. 3D 데이터의 정점 데이터들은 각각의 x,y,z 축에 대하여 수식 (1)의 연산을 수행하면 중앙의 영상과 같이 3D 공간 좌표계의 중심으로 이동하고, 수식 (2)의 연산을 수행하여 우측의 영상과 같이 윈도우의 화면에 모든 3D 데이터가 출력될 수 있도록 데이터의 크기가 변환된다.

1.2 에지 탐색 및 복제

$$\begin{cases} n_1 \cdot V_1 > 0, \overrightarrow{P_1P_2P_7P_6} \text{ is back facing face} \\ n_2 \cdot V_1 < 0, \overrightarrow{P_1P_4P_5P_6} \text{ is front facing face} \end{cases} \quad (3)$$

where $\overrightarrow{P_1P_6}$ is contour edge.

정규화 된 3D 데이터는 삼각형을 최소단위의 표면도형으로 하며, 이 삼각형을 구성하는 3개의 점들에 대한 연결정보를 추출하여 연결정보 리스트로 작성한다. 하나의 에지가 구성되기 위해서는 적어도 두 개의 삼각형이 필요하며, 이 에지를 추출하기 위해서는 한 점을 기준으로 구성되어 있는 모든 면들과 각 면들 간의 연결 관계를 연결정보 리스트에서 찾아서 에지리스트에 추가하고, 추가한 연결 정보를 다른 삼각형의 연결정보와 비교하여 동일한 정보로 판단되면 연결정보 리스트에서 이를 제거하고, 이를 반복하여 초기 에지리스트를 생성한다. 본 과정은 [그림 3]에 나타난 에지 탐색 및 복제 과정에서 수행한다. 그리고 최종적으로 연결정보 리스트를 재검하여 남은 연결정보가 존재하면 이에 대한 정보 추가 및 비교 작업을 재수행하여, 필요한 정보를 에지리스트에 추가함으로써 에지리스트 생성 과정을 마무리한다.

그림 3. 에지 리스트 생성

2. 윤곽선 실루엣과 표면 실루엣 분류 및 추출

에지 리스트의 원소인 에지는 윤곽 실루엣을 형성하는 윤곽 에지와 표면 실루엣을 형성하는 주름 에지로 분류된다. 그리고 주름에지는 다시 2개의 에지가 이루는 모양에 따라서 리지 에지(ridge edge)와 밸리 에지(valley edge)로 분류된다.

2.1 윤곽 에지와 주름 에지

에지 리스트는 [그림 4]의 실루엣 에지(silhouette edge)와 같이 분류되지 않은 상태의 윤곽에지와 주름에지의 정보를 저장하고 있다. 차후의 벡터 변화량에 따른 내부 특징을 나타내는 주요 에지들을 추출하기 위해서는 윤곽선을 나타내는 윤곽 에지와 내부의 표면을 구성하는 주름 에지를 분류해야 한다. [그림 4]에서 점 P1과 점 P6을 양 끝점으로 하는 에지에 시야벡터 V1을 교차시켰을 때, 에지를 포함하는 면의 법선벡터 n1과 시야벡터 V1의 내적은 양의 값을 나타내고, 동일 에지를 포함하는 다른 한 면의 법선벡터 n2와 시야벡터 V1의 내적은 음의 값을 나타낸다. 이 때, 점 P1과 점 P2를 양 끝점으로 하는 에지를 시야에서 가려지는 면과 시야 안에 있는 면의 교차지점으로 판단하여 윤곽에지로 결정한다. 또 점 P4와 점 P5를 양 끝점으로 하는 에지에 시야벡터 V2를 교차시켰을 때, 에지를 포함하는 면의 법선벡터 n3과 시야벡터 V2의 내적은 음의 값을 나타내고, 동일한 에지를 포함하는 다른 한 면의 법선벡터 n4와 시야벡터 V2의 내적도 음의 값을 나타낸다. 이 때,

점 P4와 점 P5를 양 끝점으로 하는 에지를 시야에 있는 면들의 내부에 존재하는 에지로 판단하여 주름에지로 결정한다. 윤곽에지와 주름에지를 결정[4]하는 한 예를 수식(3)과 (4)에 나타내었다.

$$\begin{cases} n_1 \cdot V_1 > 0, \overrightarrow{P_1P_2P_7P_6} \text{ is back facing face} \\ n_2 \cdot V_1 < 0, \overrightarrow{P_1P_4P_5P_6} \text{ is front facing face} \end{cases} \quad (3)$$

where $\overrightarrow{P_1P_6}$ is contour edge.

$$\begin{cases} n_3 \cdot V_2 < 0, \overrightarrow{P_3P_4P_5P_8} \text{ is back facing face} \\ n_4 \cdot V_2 < 0, \overrightarrow{P_1P_4P_5P_6} \text{ is front facing face} \end{cases} \quad (4)$$

where $\overrightarrow{P_4P_5}$ is crease edge.

그림 4. 윤곽 에지와 주름 에지의 분류

2.2 리지 에지와 밸리 에지

실루엣 결정 단계를 통해 3D 데이터의 실루엣은 윤곽에지와 주름에지로 분류된다. 분류된 두 종류의 에지 중 윤곽에지는 3D 데이터의 외부 윤곽선을 나타내는데 이용되고, 윤곽에지를 제외한 주름에지는 3D 데이터의 표면을 나타내는데 이용된다. 주름 에지는 다시 두 개의 주름 에지가 이루는 각도에 따라서 [그림 5]에 나타난 뾰족한 모양의 리지 에지(ridge edge)와 움푹 패인 모양의 밸리 에지(valley edge)로 나뉜다. 그림에서 m , n 은 두 인접면의 법선 벡터이고, 두 벡터가 이루는 각인 θ 가 좌우 90도, 즉 -90도(270도)에서 90도 사이에 포함되면 리지 에지로 90도에서 270도 사이에 포함되면 밸리 에지로 구분된다. 분류된 리지 에지와 밸리 에지는 3D 데이터의 표면 특징 실루엣을 검출하는 인접면의 벡터 변화량 검사 시에 이용된다.

그림 5. 리지 에지와 밸리 에지

3. 인접면의 벡터 변화량 검사

문화재의 표면 상태 및 특징을 나타내는 주요 실루엣 추출 검사는 미리 분류된 주름 에지 중에서 한 에지를 구성하는 2개의 구성면과 구성면에 인접한 4개의 면들을 검사의 기본 단위로 하고, 검사 단위에 존재하는 5개의 각 에지에 대한 2면의 벡터 변화량[5]을 검사하여 리지 에지와 밸리 에지로 구성된 3D 데이터의 표면 실루엣 에지를 추출한다.

3.1 벡터 변화량

벡터 변화량은 3D 데이터의 메시 모델에서 뚜렷한 표면의 변화를 보이는 면에서 급변함을 나타낸다. [그림 6]의 헬리콥터 메시 모델의 프로펠러 부분을 에지로 변환하여 관찰 했을 때, 상측 시에는 각각의 프로펠러 날개가 연결되는 연결부에서, 정면으로 바라보았을 시에는 본체와 프로펠러의 연결부에서 에지들이 반사각이나 직각으로 급변함을 볼 수 있고, 변화하는 에지의 위치에 따라 각 면들이 바라보는 방향이 다른 것을 알 수 있다.

한 에지를 구성하는 두 개의 면의 벡터에 대한 변화량 측정은 수식(5)을 이용한다. 수식의 연산은 한 에지를 구성하는 두 개의 면이 이루는 각을 이용하여 0과 1사이의 코사인(cosine) 수치 값으로 나타내고, 이 연산의 결과가 측정된 에지의 벡터 변화량을 나타낸다. 코사인 수치 값이 0과 1 사이에 존재하는 것은 벡터 변화량은 크기를 나타내기 때문에, 절대 값으로 변환하여 벡터 변화량 비교에 사용한다.

$$\begin{cases} \vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta \\ |\cos \theta| = |\vec{a} \cdot \vec{b}| / (|\vec{a}| |\vec{b}|) \end{cases} \quad (5)$$

그림 6. 3D 헬리콥터의 메시 및 에지 모델 렌더링

3.2 벡터 변화량을 이용한 표면 실루엣 검출

인접면의 벡터 변화량을 이용한 표면 실루엣 추출에 사용되는 검사 범위를 [그림 7]에 나타내었다. 검사 범위는 에지를 이루는 두 개의 에지 구성면과 에지 구성면에 인접한 네 개의 에지 인접면으로 총 여섯 개의 면을 기본 검사 단위로 하고, 표면 실루엣 검사는 검사 에지를 구성하는 두 에지 구성면의 내적을 포함한 주위의 인접면들의 벡터 변화량 평균값을 기준으로 한다.

그림 7. 인접면의 벡터 변화량 기본 검사 범위

벡터 변화량 평균값은 검사 에지를 구성하는 두 에지 구성면 중 한 에지 구성면에 인접한 두 에지 인접면의 각각의 내적과 반대편 에지 구성면에 인접한 두 개의 구성 에지 인접면들의 벡터 변화량, 그리고 검사 에지를 구성하는 두개의 구성면의 벡터 변화량을 이용하여 연산한다. 연산된 벡터 변화량의 평균값을 기준으로 인접면들과의 변화량을 비교하여 평균값보다 높은 변화량을 보이는 에지는 여섯 면으로 구성된 검사 영역에서 구성면의 굴곡이 심한 에지로 판단하여 표면 실루엣 에

지로 추출한다. 표면 실루엣의 검출 알고리즘은 [표 1]에 나타내었다. 검사 영역에서 벡터 변화량의 평균값보다 높은 값을 나타내는 에지는 표면 실루엣 에지로 추출하여 미리 추출된 윤곽선 실루엣 에지와 분리하여 관리한다. 분리된 윤곽선 실루엣 리스트와 표면 실루엣 리스트는 각기 독립적으로 렌더링 된다.

기존의 임계값을 이용하여 표면 실루엣을 추출하는 방법에서는 두 주름 에지의 내적을 코사인 수치 값으로 변환하고, 이를 사용자가 입력하는 -1과 1사이의 실수 값과 비교한 결과로 표면 실루엣을 추출한다. 이는 두 주름에지의 관계만으로 실루엣을 추출하는 것으로써, 주변 에지들의 관계를 고려하여 표면 실루엣을 추출하는 제안한 방법과 비교할 때, 상대적으로 많은 잡음 에지를 추출하는 결과를 보인다.

표 1. 표면 실루엣 검출 알고리즘

```
// Extract the surface silhouette from crease edges

if( Inner_product1 < 0 and Inner_product2 < 0)
// this is crease edge
then
{
    // Calculate Inner product of the component face edge

    dihedral = abs(nx1*nx2+ny1*ny2+nz1*nz2);

    // Calculate Inner product of the adjacent face edge

    dihedral_ad1 = abs(nx1*nx3+ny1*ny3+nz1*nz3);
    dihedral_ad2 = abs(nx1*nx4+ny1*ny4+nz1*nz4);
    dihedral_ad3 = abs(nx2*nx5+ny2*ny5+nz2*nz5);
    dihedral_ad4 = abs(nx2*nx6+ny2*ny6+nz2*nz6);

    // Average the amount of varied Vector

    dihedral_gap1 = dihedral - dihedral_ad1;
    dihedral_gap2 = dihedral - dihedral_ad2;
    dihedral_gap3 = dihedral - dihedral_ad3;
    dihedral_gap4 = dihedral - dihedral_ad4;

    Average
    = ( dihedral + digedral_gap1 + digedral_gap2
        + digedral_gap3 + digedral_gap4 ) / 5;

    // Extract the surface silhouette edge

    if( dihedral > Average )
    then
    {
        Extract the component face edge;
    }
}
```

III. 실험결과

본 논문에서 제안한 인접 벡터 변화량을 이용한 3D 데이터 실루엣 추출 방법과 기존에 개발된 임계값만을 이용한 실루엣 추출 방법[7]을 Win32 API[8] 및 OpenGL 기반의 컴퓨터 프로그램으로 구현하여 그 성능을 비교 실험하였다.

그림 8. 윤곽에지와 주름에지의 분류

[그림 8]은 실상사백장암 삼층석탑 3D 모델 데이터 중 일부 데이터에서 사용자의 시점 벡터와 에지를 구성하는 두 평면의 법선 벡터를 이용하여 윤곽 실루엣을 추출하고, 인접면의 벡터 변화량을 이용하여 표면 실루엣을 추출한 것이다. 중앙의 그림은 윤곽 에지들로 형성한 윤곽 실루엣이고, 우측의 그림은 밸리 에지와 리지 에지로 구성된 주름 에지로 윤곽 실루엣 위에 형성한 표면 실루엣이다. 보는 바와 같이 윤곽 에지들이 구성하는 실루엣과 주름에지들이 형성하는 실루엣의 차이를 알 수 있다.

그림 9. 3D 자동차 모델 실루엣 렌더링 비교

[그림 9]의 3D 자동차는 5,247개의 정점들을 포함하며, 이 정점들이 구성하는 10,474 개의 평면들이 연결되어 형성된 비교적 단순한 3D 데이터이다.

0.100의 임계값(-1.000에서 1.000 사이로 정규화 됨)을 설정하여 기존의 방법으로 추출한 자동차 모델의 실루엣에서는 사전에 추출된 윤곽 실루엣을 제외하고는 유리창과 자동차 휠 부분에서 표면 실루엣을 거의 찾아볼 수 없었다. 유리창과 휠 부분을 나타내기 위하여 임계값을 0.895 이상으로 높여 주었을 때에는 다소 향상된 표면 실루엣을 얻을 수는 있었으나, 차체의 앞뒤 부분에 잡음에 대한 에지들이 추출되어 시각적으로 중요한 표면 실루엣에 문제가 있음을 알 수 있다. [그림 10]에서는 3D 자동차 데이터 중 표면을 구성하는 평면들이 가장 집약적으로 연결되어 있는 자동차의 휠 부분에 대하여, 임계값을 0.895로 설정했을 때 추출한 실루엣과 인접면의 벡터 변화량의 검사를 통하여 추출한 실루엣을 함께 보여준다. 범퍼에 대한 우측의 확대 영상에서 인접벡터의 변화량 검사를 통하여 추출되는 주요 표면 에지들과 기존의 실루엣에서 잡음에지로 판단되어 제거되는 표면 에지들을 구별하여 확인 할 수 있다.

그림 10. 잡음 에지 검출

그림 11. 벡터변화량 검사를 이용한 잡음 에지 제거

[그림 11]은 [그림 10]에 나타난 자동차 앞 범퍼 부분의 실루엣을 기존의 방법으로 추출한 실루엣과 인접면

의 벡터변화량을 검사하여 추출한 실루엣으로 분리하여 나타낸 영상이다. 두 영상을 비교 시, 제안한 인접면의 벡터 변화량 검사를 통하여 기존 방법의 결과와 동일하게 주요 표면 실루엣을 추출하면서, 범퍼 부위의 잡음에지들을 제거하여 보다 깨끗한 표면 실루엣을 추출하였음을 볼 수 있다.

그림 12. 3D 전통기와 모델 실루엣 렌더링 비교

[그림 12]는 자동차 3D 모델 데이터와 비교하여 상대적으로 복잡한 표면 실루엣을 가지는 전통기와의 3D 모델 데이터(399,774개의 정점과 719,548개의 평면으로 형성됨)에 제안한 인접 벡터 변화량을 이용한 실루엣 추출 방법과 기존의 임계값만을 이용한 실루엣 추출 방법을 적용하여 그 결과들을 비교하여 보여준다.

기존의 방법으로 시각적으로 의미 있는 표면 실루엣을 추출하기 위하여 임계값을 0.100로 설정하였을 때, 사전에 추출된 윤곽 실루엣 외의 전통 기와의 내부문양에 대한 표면 실루엣은 확인할 수 없었다. 내부문양의 표면 실루엣은 임계값을 상당히 높은 수준인 0.938까지 끌어 올려 설정하였을 때 확인할 수 있었으나, 이 경우 시각적으로 과도한 실루엣과 더불어 잡음으로 보이는 불필요한 표면 실루엣들까지 검출되어 결과 영상이 시각적으로 매우 불명확해 지는 것을 볼 수 있다. 기존의

방법과 제안한 방법으로 추출한 실루엣의 차이를 명확히 하기 위하여 [그림 13]에는 전통기와의 얼굴 문양을 확대하여 두 방법으로 추출한 실루엣을 동일한 공간에 나타내었다.

그림 13. 잡음 에지 검출

[그림 13]의 좌측의 영상에서는 임계값을 0.938의 과다한 수준까지 올리면서 많은 불필요한 에지들까지 추출되어 얼굴 전체의 표면에 분포되어 있는 것을 확인할 수 있고, 우측의 영상에서는 제안한 방법을 이용하여 추출한 표면 에지들과 불필요한 에지들로 판단하여 제거할 잡음 에지들을 상세히 확인 할 수 있다.

그림 14. 벡터변화량 검사를 이용한 잡음 에지 제거

[그림 14]에는 임계값을 0.938의 높은 수준으로 설정하여 추출한 실루엣과 제안한 방법으로 주요 표면 에지와 잡음 에지를 검출하여 추출한 실루엣을 분리하여 각각 좌우의 영상에 나타내었다. 두 영상에서 3D 전통기와의 내부문양 중 얼굴의 이목구비에 대한 표면의 특징은 거의 동일하게 형성되어 있음을 볼 수 있다. 그러나 두 방법이 비슷한 효과로 내부문양을 나타내지만, 기존의 방법은 임계값에 따라 불필요하게 추출되는 잡음 에지들로 문양 전체를 불명확하게 하는 문제점을 보인다. 하지만 제안한 인접 벡터 변화량을 이용한 실루엣 추출

방법을 적용했을 때에는 잡음 에지를 제거함으로써, 시각적으로 보다 명확하고 깔끔한 표면 실루엣을 얻을 수 있었다.

그림 15. 3D 진전사지 삼층석탑 모델 실루엣 렌더링 비교

[그림 15]는 데이터의 복잡성이 가장 높은 진전사지 삼층석탑의 3D 모델 데이터(1,386,241 개의 정점과 693,065개의 평면으로 형성됨)에서 제안한 방법과 기존의 임계값을 이용한 방법으로 추출한 실루엣을 보여준다. 0.100의 임계값을 설정하여 기존의 방법으로 추출한 진전사지 삼층 석탑 모델의 실루엣은 사전에 추출된 표면실루엣을 제외하고는 탑신의 내부문양의 표면 실루엣에 대하여 거의 나타내지 못하였고, 이를 나타내기 위해 임계값을 비교적 높은 수준인 0.890 이상으로 높여 주었을 때, 내부문양의 형태를 나타내는 표면 실루엣을 추출할 수 있었다. 제안한 방법으로 추출한 실루엣과 비교했을 때 탑신의 내부문양과 부재간의 연결 부위에 잡음과 같은 많은 에지들이 분포되어 표면 실루엣의 부각이 뚜렷하지 않음을 볼 수 있다. 두 방법으로 추출한 실루엣의 차이는 [그림 16]과 같이 동일한 공간에 두 방법의 실루엣을 함께 나타냄으로써 확인할 수 있다.

그림 16. 잡음 에지 검출

[그림 16]의 좌측의 영상에서는 임계값을 0.890까지 올리면서 불필요한 에지들이 탑신의 내부문양 주위에 분포되어 있고, 특히 부재간의 계단형태의 연결 부위에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있다, 우측의 영상에서는 인접면의 벡터 변화량 검사를 이용하여 주요 표면 실루엣으로 추출한 표면 에지들과 불필요한 에지로 판단하여 제거할 에지들을 확인할 수 있다.

그림 17. 3D 진전사지 삼층석탑 실루엣 부분 확대

[그림 17]에는 임계값을 0.890으로 설정 때의 실루엣과 제안한 방법으로 추출한 실루엣을 각각 좌우의 영상에 나타내었다. 두 영상에서 이전의 실험과 비슷하게 3D 데이터 내부문양에 대한 표면의 특징은 거의 동일하게 형성되어 있는 결과를 볼 수 있었고, 기존의 방법에서 임계값에 따라 불필요하게 추출되는 잡음 에지들로 인하여 실루엣을 시각적으로 불명확하게 하는 문제점을 내부문양과 부재간의 연결부위에서 확인할 수 있었다.

마지막 실험 영상인 [그림 18]에는 지금까지 진행해 온 실험에서 기 방법으로 제안한 방법과 비슷하게 잡음을 없애기 위하여 임계값을 낮춘 후 추출한 실루엣 영상들을 나타내었다.

그림 18. 임계값을 이용한 잡음 에지 제거

상단의 3D 자동차의 잡음을 제거하기 위하여 기존의 임계값을 0.895에서 0.795로 낮추었다. 복잡성이 낮은 3D 데이터에서는 기존의 방법과 제안한 방법과를 비교했을 시 바퀴의 휠 부분의 몇몇 에지 외에는 미미한 차이 밖에 찾을 수 없었다. 그러나 3D 자동차에 비해 복잡성이 높은 3D 전통기와와 3D 진전사지 삼층석탑에서는 제안한 방법과 동등한 효과를 나타내기 위하여 임계값에 변화를 주었을 때 주요 표면 실루엣에 큰 변화를 나타내었다.

중단의 3D 전통기와에서 제안한 방법으로 추출한 실루엣과 비슷하게 잡음을 제거하기 위하여 기존의 방법으로 임계값을 0.938에서 0.890으로 낮추었을 때 많은 잡음 에지들이 제거되었으나, 내부문양을 나타내는 표면 실루엣들이 전체적으로 희미해졌으며, 특히 눈과 입속의 형태를 알아보기 힘들었다.

하단의 3D 진전사지 삼층석탑에서는 임계값을 0.890에서 0.810으로 낮추었을 때 탑신의 내부문양 중 사람 문양은 어느 정도 남아 있었으나 사람 주변의 내부문양들은 형태를 찾아볼 수 없을 정도로 잡음에지와 함께 제거되는 결과를 보였다. 그러나 제안한 방법에서는 잡음을 제거하면서 주요 표면 실루엣 에지를 잡음에지로

판단하여 제거하는 문제점은 보이지 않았다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 임계값을 이용하여 실루엣 도면을 생성하는 방법에 비해 잡음과 같은 불필요한 에지를 줄임과 함께 의미 있는 표면 에지를 부각시킴으로써, 내부문양과 같은 표면 특징을 훨씬 효과적으로 나타낼 수 있는 도면 실루엣을 생성하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 실측된 문화재의 3D 데이터로부터 문화재의 구조와 표면 상태를 보다 정밀하게 표현 및 저장할 수 있는 디지털 도면을 생성을 위한 자동화된 실루엣 추출 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 에지를 이루는 인접면들의 벡터 변화량에 따라 효과적인 실루엣 추출이 가능했으며, 기 개발된 임계값을 이용한 실루엣 추출 방법에서 많은 잡음 에지를 추출하는 문제점을 개선하여 보다 향상된 표면 실루엣을 추출할 수 있었다. 따라서 제안한 3D 데이터 실루엣 추출 방법은 석탑이나 건축물 등을 포함하는 다양한 문화재의 디지털 도면 생성을 보다 효과적으로 만들어 줄 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 대용량 3D 데이터의 신속한 처리를 위해서 현재 개발된 컴퓨터 프로그램의 최적화 작업이 필요하며, 3D 모델의 복잡도에 따라 표면 에지 구성면들의 법선 변화량에 대한 비교 기준이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] J. D. Fekete and D. H. Salesin, "Non-Photorealistic Animation and Rendering," In proceedings of Computer Graphics, ACM Press, pp.31-37, 2000.
- [2] T. Isenberg, B. Freudenberg, and N. Halper, "A developer's guide to silhouette algorithms for polygonal models," In proceedings of IEEE

Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.9, No.1, pp.28-37, 2003.

- [3] A. Appel, "The notion of quantitative invisibility and the machine rendering of solids," In proceedings of ACM National Conf, pp.387-393, 1967.
- [4] D. Epstein, F. Jansen, and J. Rossignac, "Z-Buffer Rendering from CSG: The Trickle Algorithm," IBM Research Report RC 15182, 1989.
- [5] M. L. Xue, J. E. Sun, and K. W. Taeg, "Vector Silhouette Extraction for Generating Blueprint," 2007 IEEE International Conf, Graph, pp.2946-2951, 2007.
- [6] T. Isenberg and N. Halper, "Stylizing silhouettes at interactive rates: From silhouette edges to silhouette strokes," Computer Graphics Forum 21, 3 Proceedings of Eurographics, pp.249-258, 2002.
- [7] M. S. Peercy, M. Olano, J. Airey, and P. Jeffrey Unga, "Interactive multi-pass programmable shading," In proceedings of SIGGRAPH 2000, pp.425-432, 2000(7).
- [8] <http://www.winapi.co.kr>

조 진 수(Jin-Soo Cho)

정회원

사)

- 1994년 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
- 1998년 : Columbia University 전자공학과(공학석사)
- 2003년 : Georgia Institute of Technology 전자공학과(공학박사)
- 2001년 ~ 2002년 : EG Technology Inc. Software Engineer
- 2004년 ~ 2006년 : 삼성전자 책임연구원
- 2006년 ~ 현재 : 경원대학교 컴퓨터공학과 조교수
<관심분야> : 영상처리, 신호처리, 3D 그래픽스, 멀티미디어

황보 태근(Taeg Keun Whangbo)

정회원

- 1983년 : 고려대학교 공학사
- 1888년 : CUNY 컴퓨터학석사
- 1995년 : SIT 컴퓨터학박사
- 1988년 ~ 1993년 : Q-Systems, Technical Staff
- 1995년 ~ 1997년 : 삼성종합기술원 전문연구원
- 1997년 ~ 현재 : 경원대학교 컴퓨터미디어과 부교수
<관심분야> 3D 그래픽스, 영상처리

저 자 소 개

정 정 일(Jung-il Jung)

준회원

- 2003년 ~ 현재 : 경원대학교 전자거래학과 학사과정
<관심분야> : 영상처리, 3D 그래픽스