

# 석탑 문화재의 실루엣 추출을 위한 노이즈 제거

김학란\*, 황보택근\*\*

## 요약

논문에서는 3D 스캔 자료에서 추출한 실루엣(silhouette)의 윤곽선(contour edge)이나 주름변(crease edge)의 정보에 나타난 불필요한 노이즈를 제거하는 방법을 제안한다. 석탑 문화재는 석조물 재질의 특징상 울퉁불퉁한 표면 정보를 가지며, 또한 오랜 세월의 풍화작용에 의한 훼손과 데이터 수집 시 나타날 수 있는 기술적 오류에 의해 실루엣에 단발성 선분 형태의 많은 잡음이 나타난다. 따라서 실루엣의 정보에서 노이즈처럼 보이는 단발성 변들을 제거하면 또렷한 석탑 자체의 실루엣을 얻을 수 있다. 선분의 연속성을 세는 알고리즘을 고안하여 길이가 3개 이하인 윤곽선이나 주름변을 제거하였다. 임계값(threshold)을 사용하는 기존의 실루엣 추출방법과 비교하여, 새로이 제안한 방법은 더욱 효과적이고 정확한 실루엣을 얻을 수 있었다. 제안한 노이즈 제거 방법은 석탑 문화재의 경우뿐 아니라 정보의 변형이나 오류에 의해 잘못된 단발성 주름변을 가지는 다른 경우에 대해서도 응용될 수 있다.

## Silhouette Denoising for the Stone Cultural Heritages

Kim Hakran\*, Whangbo Taekkeun\*\*

## Abstract

This paper proposes a denoising method for the contour edges and crease edges of silhouette obtained from 3D scanned data of stone cultural heritages. It is often the case that the silhouette involves noise in the form of short-length line segments, due to rough surfaces of stone cultural heritages, weathering, and technical difficulties arising in data acquisition. Thus the removal of the short-length line segments from the contour edges and crease edges can result in a clear and accurate silhouette. An efficient computational algorithm is introduced to count the continuity of line segments; edges having not more than 3 line segments are removed. It has been verified that the new method is more effective than threshold-based silhouette extraction methods for stone heritages. Our method is applicable for various other data which are deteriorated by short-length line segments.

Keywords : denoising, silhouette extraction, cultural heritage reconstruction

## 1. 서론

3D 스캔을 통해 획득된 석탑 문화재 디지털 정보의 경우 문화재청이나 국립문화재 연구소 및 지자체에서 기록화 작업을 진행 중이며 이를 이용하여 제품을 만드는 등의 활용작업을 진행 중

이다. 3D 그래픽 기술을 통해서 정보를 가공하여 적용할 수 있는 분야 중에는 석탑의 실루엣 정보를 이용하여 디자인을 하는 작업등이 가능하다. 따라서 석탑 문화재의 정밀 3D 스캔 디지털 정보를 이용하여 효율적으로 실루엣(silhouette)을 추출하는 방법은 문화재 정보의 활용측면에서 반드시 연구되어야 할 분야 중의 하나이다.

실루엣에서 윤곽선(contour edge)이나 주름변(crease edge) 검출 및 추출 방법은 카툰 렌더링, 수목화 표현 기법 등 비사실적 렌더링 분야에서 주로 연구되어 왔으며 건물 혹은 물체의 도면을 생성하기 방법 등에서도 사용되었다.

기존에 연구한 법선 벡터와 시선벡터의 변화

※ 제일저자(First Author) : 김학란

접수일:2009년 05월 30일, 완료일:2009년 8월 27일

\* 경원대학교 문화콘텐츠지원기술(CT)연구소

imhera@sookmyung.ac.kr

\*\* 경원대학교 IT대학 컴퓨터미디어전공

▣ 본 연구는 문화체육관광부 한국콘텐츠진흥원의 2009년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음

량에 따른 실루엣 검출 방법을 이용하여 석탑 문화재의 실루엣을 검출하여 모델링 할 경우 석탑 재질의 특징상 울퉁불퉁한 표면 정보를 가지며, 또한 오랜 세월의 풍화작용에 의한 훼손과 데이터 수집 시 나타날 수 있는 기술적 오류에 의해 실루엣에 단발성 선분 형태의 많은 잡음이 나타난다. 따라서 실루엣에서 주름변의 모델링 활용도를 높으려면 노이즈의 문제점을 개선하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 문제점의 해결방안으로 단발성 노이즈와 의미를 가지는 변을 구분하여 노이즈를 제거하는 방법을 제안하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 서론을 2장에서는 실루엣을 추출하는 기존연구를 정리하고 변을 대상으로 법선벡터와 시선벡터를 기반으로 실루엣을 판단하는 방법을 서술하였다. 3장에서는 노이즈로 판단되는 변을 선택하는 방법을 제안하였으며 4장에서는 실제의 석탑모델을 이용하여 기존의 방법과의 성능분석을 하였고 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

## 2. 기존연구

### 2.1. 실루엣 추출

3D 장면에 대한 비사실적 렌더링에서 실루엣(silhouette)이나 경계면(boundaries) 그리고 주름(crease) 등의 윤곽선을 발견하기 위한 방법에 대한 연구는 다양하게 이루어져 왔다. 연구 초기에는 복잡한 모델의 윤곽선을 추출하기 위한 방법으로 깊이 맵을 이용한 윤곽선 표현 방법[1,2,3]과 법선을 이용한 윤곽선 표현방법[2]을 결합하는 방법을 제안하고 있다. 폴리곤 기반의 메시로 구성된 모델에서 실루엣 변을 추출하기 위한 일반적인 방법은 폴리곤을 구성하는 각 정점에 대해서 변을 공유하고 있는 인접한 두 면의 법선을 검사하는 방법이다. Aaron Hertzmann[4]의 연구에 의하면 폴리곤 기반의 메시와 부드러운 곡면을 위한 실루엣 곡선을 추출하기 위한 근사방법을 제안했다. 이 논문에서는 일반적인 방법에서 속도를 개선하기 위하여 모든 변을 검사하는 대신 몇 개의 변을 선택하여 검사하는 방법을 사용하였다. 변을 선택하는 기준은 상호작용하는 비율을 기준

으로 보여지는 실루엣 변의 중요도를 판단하는 Markosian et al. 랜덤 알고리즘을 사용하였다[4].

### 2.2. 주름변 추출 방법

본 논문에서도 석탑모델의 윤곽을 구성하는 변들 중에서 의미 있는 실루엣과 경계면, 주름변을 찾기 위한 방법으로 기존에 사용해오던 변-기반 주름 변 추출방법을 이용한다. 따라서 일반적인 변-기반 주름 변 추출방법은 다음과 같다.

변 다각형을 구성하는 변들을 분석하여 그 변들을 공유하고 있는 두 면들 사이의 각도를 이용하여 전처리 단계와 실행시점 단계로 처리한다.

- 전처리 과정 : 우선 석탑모델을 구성하는 폴리곤의 모든 변들을 중복되지 않게 하나의 목록으로 생성한다. 모델의 각 면의 세 변들을 각각 검사해서 해시 테이블에 넣는데, 이 때 이미 저장되어 있는 변이면 중복해서 저장하지 않는다. 일단 해시 테이블이 완성되면, 그것을 참조가 좀더 빠른 선형 배열에 넣는다. 그것이 중복되지 않은 변들의 목록이다. 목록의 한 항목(하나의 변)은 두 개의 정점 색인들과 두 개의 면 색인들, 그리고 하나의 플래그로 구성된다. 플래그 항목은 그 변이 윤곽선 변인지, 경계 변인지, 주름 변인지, 또는 중요하지 않은 변인지를 가리킨다.

윤곽선 변들을 정확하게 검출하기 위해서는 면의 법선들을 계산해야 한다. 모델이 정적이라면(애니메이션이 없다면) 전처리 단계에서 법선들을 계산해 둘 수 있으며, 또한 주름각들도 계산, 검출해 둘 수 있다.

- 실행 시점 : 시점이 변하거나 모델이 변환을 한 경우의 추출방법을 의미한다.

V를 시선 벡터, N1과 N2를 하나의 변을 공유하는 두 면들의 법선들이라고 하면,

- ① 변 정점들 중 하나의 위치로부터 시점(카메라)의 위치를 빼서 V를 얻는다.
- ② 변을 공유하는 두 면들 중 하나 또는 둘 모두가 불연속성을 가지고 있으면 '경계' 플래그를 설정한다.
- ③ 인접한 두 변들 사이의 상반각이 주어진 한계를 넘으면 '주름변' 플래그를 설정한다.

④  $(N1 \cdot V) \times (N2 \cdot V) \leq 0$  이면 '윤곽선 변' 플래그를 설정한다.

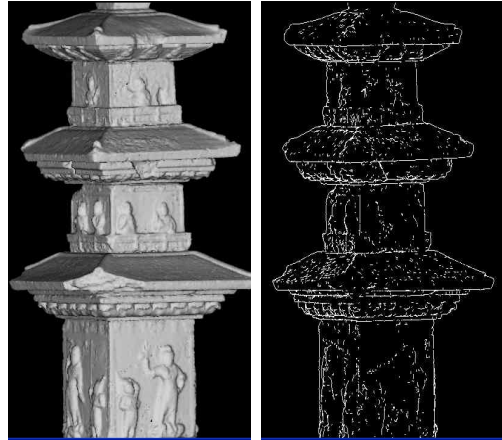
### 3. 노이즈 제거 실루엣 추출

기존 벡터의 변화량에 따른 실루엣 선택 방법을 사용하여 윤곽선 변들과 주름변을 추출할 경우 석탑모델은 많은 경우 직선이나 직선의 변형 형태로 표현되는 부재의 특징상 추출이 비교적 용이하다.

따라서 본 연구에서도 3D 레이저를 이용하여 획득한 석탑정보를 3D 실루엣으로 모델링할 때 시점 벡터와 표면벡터 정점벡터를 사용한 일반적인 방법으로 주름 변을 추출하였다. 이 경우 석조물의 표면 벡터는 하나의 평평한 부재임에도 불구하고 고르지 못한 석조물 자체의 특징 때문에 수많은 잡음 형태로 표현된다. 석탑처럼 표면이 고르지 못한 다른 물체나 3D 레이저를 이용한 데이터 수집 시 나타날 수 있는 기술적 오류, 데이터 가공 시 작은 왜곡이 생긴다든지 하는 경우도 마찬가지이다. 법선벡터와 시선벡터 값을 이용하여 주름 변을 판단하는 방법은 그림 [1]의 (나)와 같이 백장사 실상암 삼층석탑을 실루엣으로 표현한 결과 많은 노이즈를 생성시키게 된다. 이는 표면 법선벡터가 울퉁불퉁한 정보를 그대로 계산하기 때문인데 석탑을 구성하는 석조물 부재가 돌의 종류의 특성에 따른 표면의 고르기 정도가 많이 울퉁불퉁한 경우와 문화재처럼 오랜 세월을 거치면서 풍화작용 및 자연적, 인위적 훼손에 따른 결과이다.

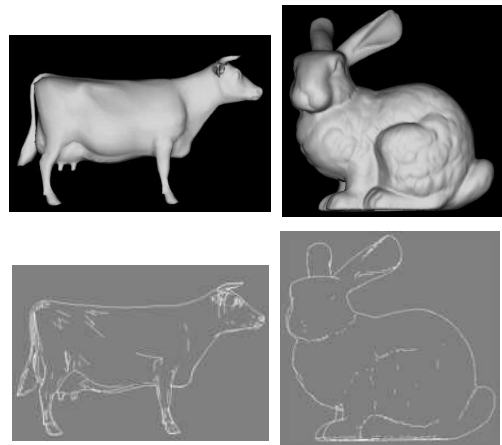
이러한 정보들은 기존의 실루엣 추출 알고리즘을 적용하여 모델링하면 노이즈처럼 보여진다. 이는 석탑 내부의 문양 데이터와 울퉁불퉁한 표면 정보가 모두 주름 변으로 표현되기 때문인데 문양 데이터와 울퉁불퉁한 표면 정보를 분리할 수 있는 방법을 적용하여야 한다. 즉 전체 실루엣 정보에서 주름 변 정보를 분류하는 알고리즘에서 석탑의 특성을 고려하여 노이즈로 의심되는 변들을 판단하는 과정이 필요하다.

반면, (그림 2)에서처럼 벡터변화량이 심하지 않은 소와 토끼 3D모델의 경우 노이즈처럼 보여지는 실루엣 정보가 많지 않으며 외곽선이 분명하게 표현되고 있다.



(가) (나)

(그림 1) 백장사 실상암 삼층석탑: (가) 폴리곤모델, (나) 실루엣(주름변 포함) 추출 모델



(그림 2) 위줄: 소와 토끼 폴리곤 모델. 아랫줄: 소와 토끼 실루엣(주름변 포함) 추출

본 논문에서는 거친 표면, 왜곡, 오류로 인하여 나타날 수 있는 노이즈 정보를 판별하는 방법으로 주름 변으로 분류된 각 변을 구성하는 두 개의 정점에 연결된 변이 있는 지를 판단한다. 만약 두 개의 정점에 연결된 다른 변의 정보가 전혀 없다면 그 각 정점에 0이라는 값을 할당하며 한쪽의 정점이나 양쪽의 정점 모두에 연결 정보가 있다면 그 정점에 연결된 변의 수를 모두 계산하여 그 정점 정보에 계산된 변의 할당한다. 이러한 과정은 각 변들이 단발적으로 나타나는 경우인지 연

속적인지를 판단할 수 있게 한다.

일반적으로 노이즈 정보인 경우는 주름 변으로 추출되었다고 할지라도 추출된 주름 변 리스트의 내용을 보면 연속적이지 못한 하나의 변이나 혹은 2~3개의 변인 경우가 많다. 물론 하나의 주름 변이 큰 의미를 가지는 모델의 경우는 예외이며 석탑문화재 같은 특수한 경우에는 이러한 정보들은 노이즈로 분류할 경우 석탑 자체의 경계면이나 문양을 더 또렷이 보여주는 결과를 구할 수 있다.

연속적으로 연결된 변의 수는 노이즈인지 정상적인 주름 변 정보인지 판별하는 중요한 기준이 된다. 즉, 변이 몇 번까지 연속적으로 연결된 것이 의미 있는 변인지를 판단하는 문제는 석탑 문화재 모델의 종류에 따라 다르기 때문에 결정하기 어렵다. 하지만 일반적인 구현 결과를 통해서 검토하였을 때 네 개 이상의 연속된 변들은 의미 있는 문양을 나타내는 것으로 보여지므로 본 논문에서는 세 개 이하의 연결 정보를 갖는 주름 변에 대해서는 노이즈로 간주하여 주름 변 리스트에서 제거 하였다.

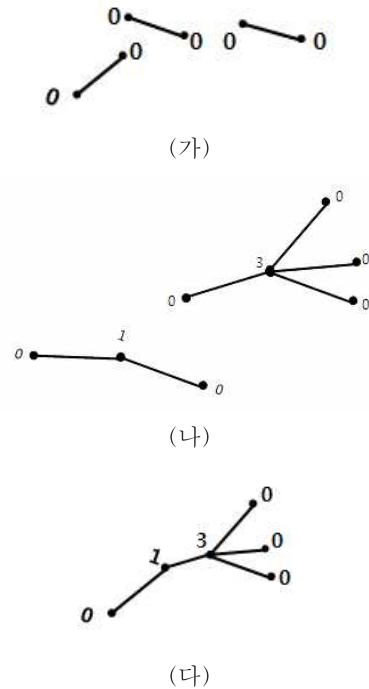
노이즈로 간주되어 제거될 변은 다음과 같은 조건으로 선택하였다.

먼저, 변을 구성하는 양 끝 정점이 모두 0의 값을 가지는 경우 연결정보가 전혀 없는 변이므로 노이즈로 간주한다.

다음으로는 두 변만이 연결된 경우로 변을 구성하는 두 개의 정점 중에서 한쪽의 정점에 연결된 변의 수가 1이상인 경우이다. 두 변만이 연결되어 있다는 것을 판단하는 방법은 연결된 변을 모두 탐색하면서 각 변의 끝 점의 연결 정보를 비교하여 최대값을 구한 후 최대값이 0이면 두 변만이 연결된 경우이므로 노이즈로 간주한다.

세 변이 연결된 경우의 판별 방법은 하나의 변의 양 끝 정점이 모두 1이상의 수를 가지는 경우이다. 이 경우 역시 양 끝 정점에 연결된 변의 다른 정점에서의 최대값을 각각 구하여 최대값이 모두 0이면 세변만이 연결된 경우이므로 노이즈로 간주한다, 만약 한쪽 끝 정점에 연결된 변들의 다른 정점에서의 최대값이 1 이상이면 세변이상이 연결된 경우이므로 주름변의 리스트에 추가한다.

노이즈로 판단된 각 변의 예를 도식화하면 (그림 3)과 같다.



(그림 3) 노이즈로 판단된 변의 예  
(가) 하나로 구성된 변의 예, (나) 두 개만 연결된 변들의 예, (다) 세 개의 연결된 변들의 예

전체 노이즈제거 실루엣 추출 알고리즘과 노이즈 변들을 판단하는 알고리즘은 다음과 같다.

**A l g o r i t h m**  
**SilhouetteExtraction\_using\_NoiseReduction**

```
{
    Make the edge list form polygons of tower model

    Function SilhouetteExtraction() {
        for all edges {
            Calculate Normal Vector N1 of shared Polygon1
            Calculate Normal Vector N2 of shared Polygon2
            if (N1 · V) X (N2 · V) <= 0 Input into the
```

```

Silhouette_edge_list
// V means view vector
} }

Function CreaseExtraction() {
for all Extracted Silhouette edges {
calculate dihedral = (N1 X N2) / SQRT((N1^2) +
(N2^2))
if(dihedral <= givein_threshold) Input into the
Crease_edge_list
} }

Function NoiseReduction() {

for all Extracted Crease edges{
if(vertex1 of the edge has another edge) then
add 1 to the counter
if(vertex2 of the edge has another edge) then
add 1 to the counter
}

for all Extracted Crease edges{
if(both vertices of the edge == 0) then remove
the edge in the Crease edge list
//the edge has no linked

if(a vertex of the edge >= 1) then
{ calculate the maximum among the linked
edges
if(maximum == 0) then remove the edge in the
Crease edge list
} // this case has only two linked edges

if(both vertices >= 1) then {
calculate the maximum about each vertex
among the linked edges
if(both vertices maximum == 0) then remove
the edge in the Crease edge list
} // this case has three linked edges
}
}
}

```

#### 4. 구현 및 분석

실루엣을 추출하여 모델링한 후 나타나는 노이즈를 제거하기 위한 가장 일반적이며 간단한 방법은 임계값을 사용한 방법이다.

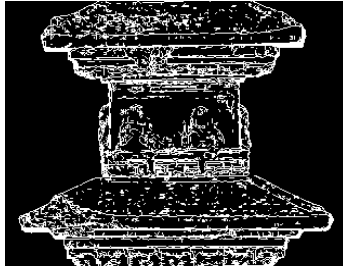
임계값은 하나의 공유하는 변을 기준으로 두 개의 인접면의 벡터 값을 계산하여 산출하며 공유하는 변이 실루엣으로 추출되기 위해서는 임계값이 -1과 1 사이의 값을 가지게 된다. 추출된 실루엣 변 중에서 다시 주름 변을 추출하기 위해서는 인접 면이 이루는 각과 설정된 임계값을 비교하여 임계값보다 작은 경우를 주름 변으로 간주한다. 일반적으로 임계값을 1에 가까운 숫자로 설정하면 많은 주름 변들이 추출되어 물체 내부의 모양의 정보를 좀 더 많은 변으로 표현하여 물체 내부의 상세도를 높이는 결과를 보이지만 노이즈 정보까지 많이 포함하게 되는 단점이 있다. 반대로 임계값을 -1에 가까운 값으로 설정하면 포함되는 전체적인 주름 변 정도가 줄어들어 노이즈 변의 개수도 줄어들어 노이즈가 제거된 것처럼 보이지만 모양이 정확히 추출되지 못하는 단점이 있다. 따라서 임계값을 높였을 경우 상세도는 높아지지만 노이즈까지도 많아져서 이러한 방법으로 추출한 실루엣 활용도가 떨어지는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하여 의미있는 주름 변의 정보는 많이 포함하면서 단발성 주름인 노이즈는 제거하는 방법을 제안하였다. 즉, 제안한 방법은 임계값을 높여서 상세도가 높은 경우에도 노이즈의 포함정도를 낮추어 활용도 높은 실루엣과 주름 변 추출이 가능하다.

본 장에서는 임계값을 이용한 방법과 제안한 방법을 OpenGL과 C++기반의 Win 32 Application 프로그램으로 구현하여 성능을 비교분석 하였다.

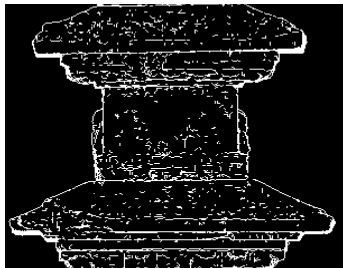
아래 그림 4는 백장사 실상암 삼층석탑 모델의 일부분을 임계값만을 사용하여 주름 변을 표현한 그림이다.

임계값은 각각 0.85와 0.5, 0.2로 설정한 예를 보여준다. 0.85로 설정한 경우 추출된 실루엣이 경계면과 내부 모양까지 어렴풋이 보여주지만 많은 노이즈도 포함되어 표현된다. 반면에 0.2로 설정한 경우 노이즈제거가 되어 경계면 등은 표현되지만 많은 변 정보를 포함하지 못하기 때문에

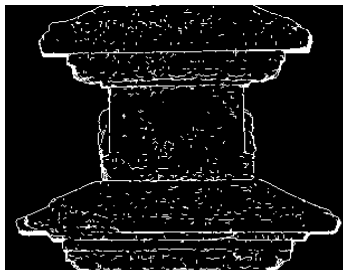
나타나야할 문양까지 표현하지 못하고 있다. 임계값은 1에 가까울수록 많은 실루엣 변들을 포함하며 값이 0에 가까울수록 추출되는 실루엣 수는 감소한다. 즉 노이즈를 줄이려고 하면 표현하려고 하는 실루엣의 상세도가 감소하며 상세도를 높이면 노이즈까지 많이 표현되는 현상을 보인다.



(a) 임계값 : 0.85



(b) 임계값 : 0.5

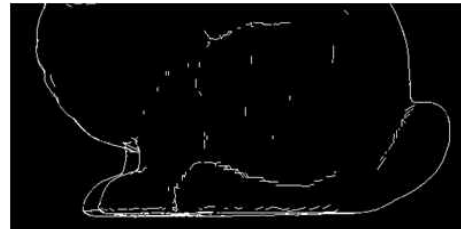


(c) 임계값 : 0.2

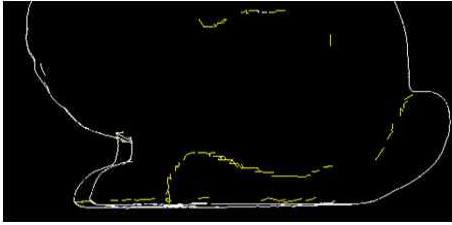
(그림 4) 임계값을 달리하여 주름변 만으로 표현한 실상사 백장암 삼층석탑

실상사백장암 삼층석탑의 탑신부분과 2,3층 기단의 일부분을 대상으로 실험을 진행하였다. (그림 5)는 4장에서 예시한 소나 토끼 모델의 경우로 전체적인 노이즈가 비교적 적으나 노이즈 제거 알고리즘을 적용한 결과 대부분의 노이즈를 감소시키는 것으로 나타났다. (그림 6)은 임계값을 0.8로 하여 실루엣을 추출한 결과와 임계값 0.8로 하

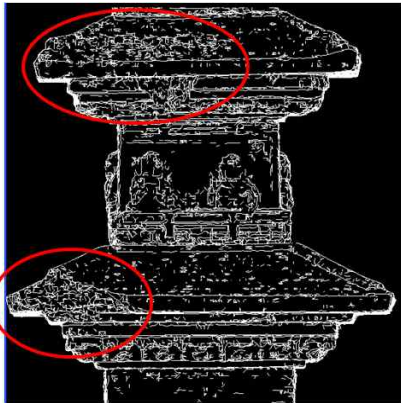
여 실루엣을 추출하고 다시 노이즈 제거 알고리즘을 적용하여 실루엣을 추출한 결과이다. 전체적으로 노이즈가 감소하였고 특히 그림에서 동그라미로 표시한 부분은 아래 기단석의 왼쪽 부분이 깨어져 나감으로 하여 많은 노이즈로 표현되고 있으나 노이즈 제거 알고리즘을 적용한 경우 많은 노이즈의 감소 현상을 보이고 있다. 다만 내부 문양에서 전체 실루엣에서 노이즈 변으로 판단된 변들의 삭제로 인하여 노이즈 제거 알고리즘을 적용하기 전과 비교 하였을 경우 문양이 정확히 나타나지 못하는 단점도 나타나는 것으로 보인다. (그림 7)에서 보여지는 탑신 예제는 왼쪽의 경우 임계값 0.5로 설정한 실루엣 추출 결과이며 오른쪽은 임계값을 0.7로 설정하고 노이즈 제거 알고리즘을 적용한 결과이다. 그림에서 동그라미로 표시한 부분에서 보여지는 것처럼 연결된 내부 문양 실루엣을 더 많이 포함하면서도 전체적인 노이즈는 임계값 0.5를 적용한 경우와 같은 정도를 보인다.



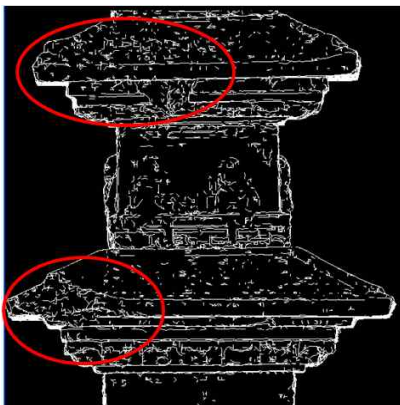
(가) 노이즈제거 알고리즘 적용 전



(나) 노이즈제거 알고리즘 적용 후  
(그림 5) 소와 토끼 모델 일부분



(가) 노이즈제거 알고리즘 적용 전

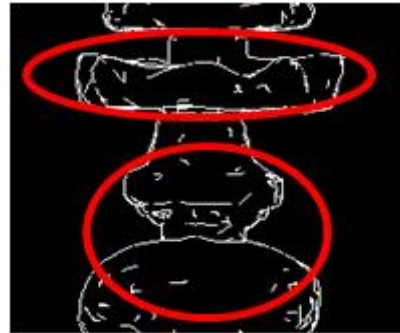


(나) 노이즈제거 알고리즘 적용 후

(그림 6) 실상사 백장암 중간 기단 부분



(가) 노이즈제거 알고리즘 적용 전



(나) 노이즈제거 알고리즘 적용 후  
(그림 7) 실상사 백장암 탑신 부분

## 5. 결론 및 향후과제

오랜 세월 풍화작용에 의한 석탑문화재의 경우나 표면이 거친 물체, 3D 스캐닝 시 기술적 오류에 의한 자료로부터 실루엣변이나 주름변을 추출할 경우 그대로 3D 실루엣으로 구현하면 많은 노이즈로 표현되는 현상이 나타난다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 단순한 일회성 변 정보인지 의미를 가지는 변 정보인지 구분하여 일회성 변 정보는 노이즈로, 의미있는 변 정보는 실제적인 실루엣으로 간주하여 노이즈를 줄이는 실루엣 추출방법을 제안하였다. 선분의 연속성을 세는 알고리즘을 고안하여 노이즈로 판단되는 변은 연결정보가 3개 이하인 경우로 제한하였으며 사용되는 3D모델 예제에 따라 연결정보의 판단 개수는 달라질 수 있다. 연결정보의 수를 크게 잡아서 노이즈를 제거할 경우 노이즈는 줄어드나 문양이 또렷하지 못하는 결과



를 보이게 되므로 적절한 판단이 필요하다.

제안한 노이즈 제거 방법은 석탑문화재나 거친 표면의 물체를 위한 노이즈 변 제거뿐만 아니라 잘못된 스캐닝 자료를 모델링하였을 경우나 정보의 변형이나 오류에 의해 노이즈로 나타나는 단발성 주름 변을 가지는 모든 물체의 주름 변 추출 시에도 간단하며 유용하게 사용될 수 있는 방법이다. 기존의 임계값만 사용하는 방법보다 적극적이며 상세하게 주름 변에 적용되어 노이즈를 효율적으로 제거할 수 있다.

문화재의 경우 세월에 흐름에 따라 훼손의 정도가 심해져서 현재의 모습을 3D스캔한 정보를 그대로 사용하여 실루엣이나 주름을 표현할 경우 실질적인 실루엣이나 내부 문양을 나타내는 주름 변이 제대로 표현되지 못하고 끊어진 형태로 표현된다. 향후 원형의 모습을 표현하기 위해서는 끊어진 실루엣이나 주름 변 정보를 판단하여 이어주는 방법에 관련된 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] Cassidy Curtis, "Loose and Sketchy Animation," In SIGGRAPH 98:Conference Abstracts and Applications, pp. 317,1998
- [2] Philippe Decaudin. "Cartoon-Looking Rendering of 3D-Scenes," Technical Report 2919, INRIA, June 1996
- [3] Takafumi Saito, and Tokiichiro Takahashi, "Comprehensible Rendering of 3D Shapes," Computer Graphics(SIGGRAPH '90 Proceedings), Volume 24, pp. 197-206, August 1990
- [4] Aaron Hertzmann, "Introduction to 3D Non-Photorealistic Rendering: Silhouette and Outlines," SIGGRAPH Course Notes, pp. 7-1~7-14, 1999
- [5] Tobias Isenberg, Bert Freudenberg, Nick Halper, Stefan Schlechtweg, and Thomas Strothotte, "A Developer's Guide to Silhouette Algorithms for Polygonal Models," IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 23, Issue 4, pp. 28 - 37, July 2003
- [6] Y. Sun, A. F. Koschan, J. Paik, and M. A. Abidi, "Normal Vector Voting: Crease Detection and Curvature Estimation on Large, Noisy Meshes," Elsevier Science Graphical Models 64, pp. 199-229, 2002
- [7] 정정일, 조진수, 황보택근, "문화재의 3D 스캔 데이터

로부터 도면을 생성하기 위한 자동화된 실루엣 추출 방법," 한국콘텐츠학회 논문지, 제8권, 제12호, PP. 10-19, 2008. 12

[8] Game Programming Gem,  
http://www.gpgstudy.com

### 김 학 란



2003년 : 숙명여자대학교 정보통신대학원(이학석사)

2008년 : 숙명여자대학교 컴퓨터과 학과 (이학박사)

2003년~2009년 : 한성대학교 멀티미디어공학과 겸임교수, 숙명여자대학교 멀티미디어학과 시간강사

2008년~2009년 : 경원대학교 CT연구소 연구원

2009년~현재 : 미국 미시시피주립대학교 Post-Doc

관심분야 : 2D/3D그래픽스, 이미지처리

### 황 보 택 근



1983년 : 고려대학교 공과대학 졸업(학사)

1987년 : CUNY 전산학과 졸업(석사)

1995년 : Stevens Institute of Technology 전산학과 졸업(박사)

1997년 : 삼성종합기술원 선임연구원

1997년 ~ 현재 : 경원대학교 IT대학 부교수

관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터그래픽스, 3D 게임엔진