Journal of Korea Multimedia Society Vol. 12, No. 4, April 2009(pp. 473-482)

메쉬 데이터의 2D/3D 면적비를 이용한 잡음 평활화

현대환[†], 황보택근[††]

요 약

컴퓨터 비전을 이용하여 3D로 재구성된 데이터는 필연적으로 잡음이나 에러를 포함하게 된다. 이런 데이터를 메쉬화하면 잡음이나 에러로 인해 본래 물체와 다른 3차원 메쉬 데이터가 만들어진다. 본 논문은 3차원 복원으로 재구성된 3차원 메쉬 데이터에서 잡음을 효과적으로 평활화하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 메쉬의 2/3차원 면적 크기의 비를 이용하여 잡음을 평활화하기 때문에 면적이 큰 3차원 메쉬 데이터에 대한 사전처리가 필요하다. 메쉬의 3차원 면적과 투영된 2차원 면적의 비를 이용해서 3차원 메쉬 데이터에 존재하는 피크 잡음과 가우시안 잡음을 검출하고, 잡음의 특성에 따라 이들을 평활화한다. 컴퓨터로 만들어진 3D 데이터와 컴퓨터 비젼 방법으로 얻어진 실제 3D 데이터를 사용한 실험 결과가 제안된 알고리즘의 효율성과 성능을 증명한다.

Noise Smoothing using the 2D/3D Magnitude Ratio of Mesh Data

Dae Hwan Hyeon[†], Taeg Keun Whangbo[††]

ABSTRACT

Reconstructed 3D data from computer vision includes necessarily a noise or an error. When these data goes through a mesh process, the different 3D mesh data from original shape comes to make by a noise or an error. This paper proposed the method that smooths a noise effectively by noise analysis in reconstructed 3D data. Because the proposed method is smooths a noise using the area ratio of the mesh, the pre-processing of unusable mesh is necessary in 3D mesh data. This study detects a peak noise and Gaussian noise using the ratio of 3D volume and 2D area of mesh and smooths the noise with respect of its characteristics. The experimental results using synthetic and real data demonstrated the efficacy and performance of proposed algorithm.

Key words: Noise smoothing(잡음 평활화), Mesh smoothing(메쉬 평활화), Median filtering(중간값 필터링), Laplacian filtering(라플라시안 필터링)

1. 서 론

최근의 물체 모델링 경향은 다수의 영상으로부터 3차원 데이터를 복원하는 것이다. 다수의 영상으로부터 물체 표면 재구성은 컴퓨터 비젼의 기본적인 문제 중 하나이다. 기하학적인 계산을 이용하여 3차원 데이터를 복원하는 여러 방법 중 일반적인 접근법들[1-6]은 장면의 3차원 점들을 재구성하는 것이다. 다수의 영상으로부터 3차원 데이터를 얻음에 있어서 이런 연구들은 각 단계- 카메라 교정, 대응점 검색, 기본 행렬 계산 등-에서 피할 수 없는 에러를 포함한다. 이러한 에러들은 3차원 데이터에서 피크 잡음이나 가우시안 잡음으로 나타난다. 이런 3차원 점군(points cloud)을 메쉬화하면 원래 물체 표면과 다르

※ 교신저자(Corresponding Author) : 황보택근, 주소 : 경기도 성남시 수정구 복정동(461-701), 전화 : 031)750-5417, FAX : 031)750-8734, E-mail : tkwhangbo@kyungwon.ac.kr
접수일 : 2008년 8월 17일, 완료일 : 2009년 1월 21일
[†] 정회원, 경원대학교 문화콘텐츠기술연구소
(E-mail : ghkseogus@hotmail.com)
[††] 종신회원, 경원대학교 IT대학 부교수
※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소 육성사업의 연구결과로 수행되었음

게 부드럽지 않은 물체 표면이 만들어진다. 물체 표면의 기하학적 특징을 보존하면서 표면상의 잡음을 평활화하는 것이 중요하다. 예를 들어, 삼각형 메쉬에 잡음이 더해진다면, 메쉬의 정점들은 원래 메쉬의 정점의 위치와 다르게 배치가 될 것이고, 잡음과 메쉬 정점들을 분리해서 정점들의 위치를 수정해야 할 것이다. 따라서, 잡음 평활화 과정은 메쉬의 위치를 수정하는 것과 동일하게 볼 수 있다. 이런 잡음 평활화를 하기 위해, 미분 기하학 접근법에 기반한 개념들이 사전 작업이 사용되었다[7-13]. 그러나, 이런 접근법들에 기반한 잡음 평활화는 일반적으로 기하학적 특징들에 급격한 변화를 준다.

영상처리에서, 비선형 필터는 특징을 보존하는 효과가 있다. 중간값 필터는 그러한 비선형 필터들 중 하나이다. 그러나, 중간값 필터가 일반적으로 피크 잡음을 잘 제거하지만, 3차원 데이터에서 가우스 잡음이나 다른 크기의 메쉬들을 효과적으로 제거하지는 못한다. 최근에는 3차원 메쉬의 표면 법선 벡터를 이용한 3차원 필터[14,15]가 이런 잡음을 평활화라는데 사용된다. 하지만, 이런 필터들도 영상으로부터 재구성된 3차원 데이터에 포함된 피크 잡음을 효과적으로 제거하지 못한다. 그러므로, 3차원 물체의 원래 표면을 유지하면서 잡음 평활화를 효과적으로 제거하는 방법이 필요하다.

이러한 문제점을 해결하기위해, 본 논문은 메쉬의 면적의 비를 이용하여 잡음을 평활화하여 메쉬를 평활화한다. 메쉬의 3차원 면적과 2차원 면적의 비를 이용해서 3차원 메쉬 데이터에 존재하는 피크 잡음과 가우시안 잡음을 검출하고, 잡음의 특성에 따라 이들을 평활화한다.

본 논문은 다음과 같이 이루어진다. 2장에서는 일반적인 메쉬 평활화 방법의 기본적인 개념을 소개한다. 잡음 때문에 메쉬들이 불규칙한 면적을 갖게 되는 문제를 보완하기 위한 메쉬 최적화 과정을 3장에서 설명한다. 4장에서는 잡음의 특성을 분석하고, 특성에 따라 잡음을 제거하는 방법을 묘사한다. 제안한 방법의 실험적인 결과는 5장에서, 결론은 6장에서 소개한다.

2. 기존의 잡음 평활화 방법

서론에서 언급했듯이, 기존의 기하학 접근법들에 기반한 잡음 평활화는 물체의 특징들에 급격한 변화를 준다. 이런 현상은 그림 1에 보여진다. 본 절에서는 잡음을 평활화하는 기존 방법들을 소개한다.

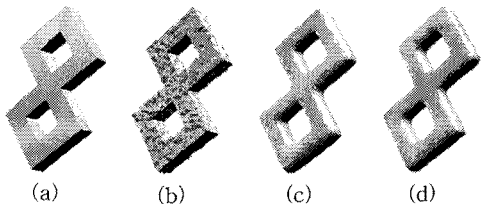

그림 1. (a) 토러스 모델, (b) 잡음이 추가된 모델, (c) 라플라시안 필터로 평활화된 모델, (d) 중간값 필터로 평활화된 모델

메쉬 정점의 위치가 업데이트되는 메쉬 변화 과정을 고려해보면, 식(1)과 같다.

$$P_{new} \leftarrow P_{old} + \lambda D(P_{old}) \tag{1}$$

여기서, $D(P)$는 변위 벡터이고, λ는 단계별 변수이다.

라플라시안 평활화[7]는 변위 벡터 $D(P)$가 식(2)의 엄브렐라 연산자[10]에 의해서 정의되면, 식(1)에 의해서 메쉬의 정점 위치가 변화된다.

$$D(P) = \frac{1}{n}\sum_{i \in N_1(P)} Q_i - P \tag{2}$$

여기서, P는 메쉬의 정점이고, $N_1(P) = \{Q_0, Q_1, \ldots, Q_{n-1}\}$는 그림 2의 왼쪽에서 정점 P에 이웃하는 메쉬 정점들의 1차원적인 링이다.

양방향 라플라시안 필터[9]는 라플라시안 방법에 의해 큰 크기 변화에 마이너스 성분을 반대 부호를 갖는 두 가지 스케일 성분으로 대체하는 방법이다. 이러한 평활화는 엄브렐라 연산자의 높은 주파수 성분을 억제한다. 이 필터의 정점 업데이트 수식은 다음과 같다.

$$P_{new} \leftarrow P_{old} - (\mu - \lambda) U(P_{old}) - \mu\lambda U^2(P_{old}) \tag{3}$$

여기서, $\mu > \lambda > 0$, U_2는 엄브렐라 연산자의 제곱값이다.

평균 곡률 필터[11]는 평균 곡률 벡터의 강건한 불연속적인 근사화 방법이다. 곡률 법선의 미분적인 정의는 다음과 같이 불연속적인 수식으로 사용된다.

$$\lim_{A \to 0} \frac{\nabla A}{2A} = H_n, \quad H_n = \frac{1}{4A}\sum_{j \in N(i)} (\cot\alpha_j + \cot\beta_j)(x_j - x_i) \tag{4}$$

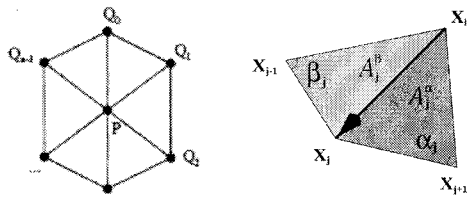

그림 2. 왼쪽(라플라시안 평활화) :정점 P에 이웃하는 메쉬 정점들의 1차원적인 링, 오른쪽(평균 곡률) : 정점들과 에지(xi-xj)에 인접한 삼각형의 에지 각도(α_j, β_j)

여기서, H는 평균 곡률이고 n은 정점 x_i에서 법선 벡터이다. A는 x_i주변의 인접 영역의 면적이고, ∇는 x_i에 대한 미분이다(그림 2의 오른쪽).

평균 곡률 법선은 지역적인 영역에서 내부 정점과 경계 정점들을 평활화를 위한 쿼시-라플라시안[16]을 정의하기 위해 사용된다. 정점들은 형태를 유지하고 메쉬를 잘 평활화하는 적절한 크기로 법선 방향에 따라 움직인다. 하나의 정점에 이웃하는 정점들에만 제한적으로 가중치된 평균 곡률 법선을 적용하면 원래 메쉬의 특징이 효과적으로 보존된다.

중간값 필터[6]에서 원래의 삼각형 메쉬를 고려할 때, T는 삼각형 메쉬, $n(T)$는 단위법선, $A(T)$는 T의 면적 그리고 $C(T)$는 T의 중심이라하자. $N(T)$는 삼각형 메쉬 T를 형성하는 에지나 정점을 공유하는 모든 삼각형 메쉬의 집합을 표시한다.

메쉬에서 모든 면 법선을 고려할 때, 각 메쉬 정점 P의 위치는 식(5), (6)에 의해 변화된다.

$$P_{new} \leftarrow P_{old} + \frac{1}{\sum A(T)} \sum A(T) v(T) \tag{5}$$

$$v(T) = [\overrightarrow{PC} \cdot m(T)] m(T) \tag{6}$$

여기서, 합은 점 P에 인접하는 모든 삼각형 메쉬에 대해 이루어지고, 그림 3의 오른쪽 그림처럼 $v(T)$는 $m(T)$의 방향상에서 벡터 $\overrightarrow{PC}$의 투영이다.

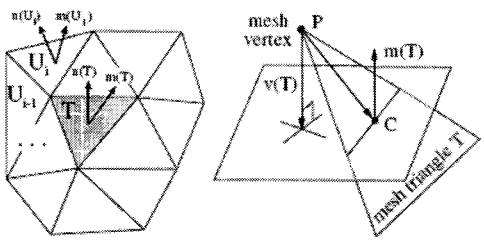

그림 3. 왼쪽: 지역적인 $N(T)$에서 중심 삼각형 T와 이웃하는 삼각형들로 $n(T)$는 원래의 면 법선이고, $m(T)$는 필터링된 법선이다. 오른쪽: 식(6)의 가시적인 표현

3. 잡음 분석을 통한 메쉬 평활화

서론에서 언급한 것처럼, 여러 3차원 복원 방법들은 영상 취득, 대응점 계산, 기본 행렬 계산 등의 과정에서 에러가 포함되는데 이는 3차원 메쉬 데이터에서 가우스 잡음과 피크 잡음으로 나타난다. 일반적으로 중간값 필터는 피크 잡음을 제거하는데 사용되나 가우스 잡음의 부적절한 제거로 메쉬 데이터의 3차원 좌표를 부정확하게 변화시키고, 많은 반복 연산이 수행된다. 본 절에서는 재구성된 3차원 메쉬 데이터에서 메쉬의 2차원 면적과 3차원 부피의 크기비를 이용하여 피크 잡음을 검출하고 평활화하는 방법과 가중치 중간값 필터로 가우스 잡음을 평활화하는 방법을 설명한다.

3.1 피크 잡음의 평활화

레이저 스캐너나 3차원 재구성 방법에 의해 복원된 3차원 데이터를 메쉬화를 하면 그림 4처럼 점 P에 인접한 메쉬들을 갖는다. 피크 잡음을 검출하고 평활화하기 위해 점 P에 인접한 3차원 메쉬의 면적(부피)과 투영된 2차원 메쉬의 면적을 이용한다.

투영된 2차원 메쉬는 다음과 같이 만들어진다. 그림 5에서 점 P를 공유하는 메쉬들의 법선 벡터 N_i를 계산한 후에, 식(7)처럼 인접한 메쉬들의 법선 벡터의 평균으로 점 P의 법선 벡터 N_P를 구한다. 여기서, n은 점 P에 인접한 메쉬들의 개수이다. 점 P를 법선 벡터 N_P의 반대방향으로 투영한다.

$$N_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} N_i \tag{7}$$

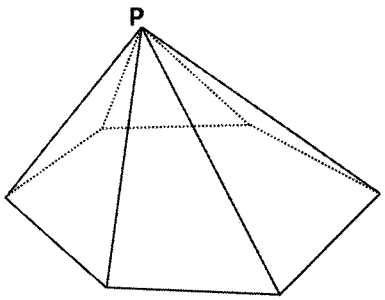

그림 4. 점 P를 공유하는 6개의 삼각형 메쉬

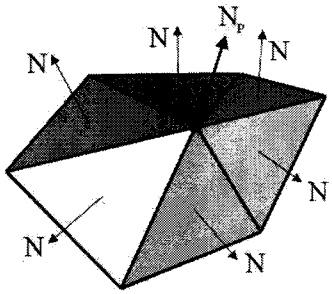

그림 5. 점 P와 이웃하는 삼각형 메쉬들로 N_P는 점 P의 법선 벡터, N들은 점 P를 공유하는 삼각형 메쉬들의 법선 벡터

위 과정을 거치면 그림 6에서 보는 것처럼 3차원 메쉬 데이터와 점 P가 투영된 2차원 메쉬 데이터를 얻을 수 있다.

이렇게 얻어진 3차원 메쉬와 2차원 메쉬에서 각각의 면적을 계산한다. 먼저, 3차원 메쉬의 면적(부피) 계산 과정을 알아보고 2차원 메쉬의 면적을 계산 과정을 살펴본다.,

3차원 메쉬의 면적(부피)은 다음과 같이 구해진다. 3차원 메쉬의 기본적인 면적 계산 단위는 사면체이다. 삼각형 메쉬의 각 정점과 원점을 연결하여 사면체를 형성한다. 각 사면체는 부호를 갖는 면적으로 계산된다. 계산된 값의 크기가 사면체의 면적이고, 부호는 원점이 삼각형의 법선과 같은 방향에 있는지 반대 방향에 있는지를 검사한다. 그림 7에서 삼각형 ABC는 법선 N_{ABC}를 갖는다. 사면체 $OABC$의 부피는 다음과 같다.

$$|V_{OABC}|=\left|\frac{1}{6}(x_3y_2z_1+x_2y_3z_1+x_3y_1z_2-x_1y_3z_2-x_2y_1z_3-x_1y_2z_3)\right| \tag{8}$$

원점이 N_{ABC}의 반대 방향에 있어서 사면체 $OABC$의 부호는 양수이다. 메쉬의 3차원 면적(부피)

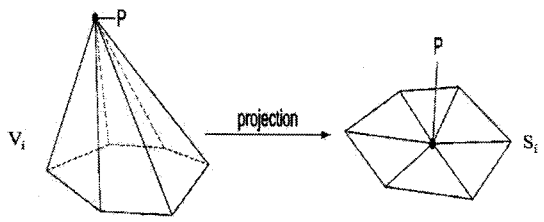

그림 6. 3차원 공간에서 메쉬들의 구성(왼쪽)과 법선 벡터 N_P에 수직하게 투영된 메쉬의 2차원 형태 (오른쪽)

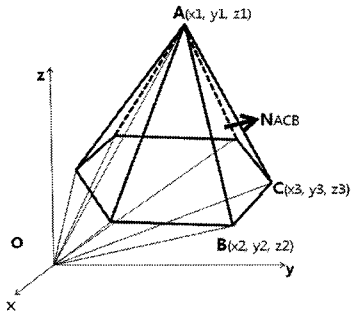

그림 7. 3차원 메쉬 면적(부피)은 각 삼각형의 면적을 계산하고, 각 삼각형 면적의 합으로 계산한다.

는 식(9), (10)과 같다.

$$V_i=\frac{1}{6}(x_{i3}y_{i2}z_{i1}+x_{i2}y_{i3}z_{i1}+x_{i3}y_{i1}z_{i2}-x_{i1}y_{i3}z_{i2}-x_{i2}y_{i1}z_{i3}-x_{i1}y_{i2}z_{i3}) \tag{9}$$

$$V_{total}=\sum_i V_i \tag{10}$$

여기서, i는 삼각형 또는 기본적인 사면체를 의미한다. (x_{i1}, y_{i1}, z_{i1}), (x_{i2}, y_{i2}, z_{i2}) 와 (x_{i3}, y_{i3}, z_{i3}) 삼각형 i의 정점들 좌표이다. 3차원 메쉬의 면적은 항상 양수이므로, 최종 결과는 V_{total}의 절대값을 취해서 얻어진다.

메쉬의 2차원 면적은 다음과 같이 구해진다. 2차원 메쉬는 다각형 윤곽인 폴리곤이다. 그림 8에서 선으로 이루어진 2차원 메쉬를 가정하자. 원점과 폴리곤의 정점을 연결하는 삼각형 집합을 만든다. 각 에지와 원점은 기본적인 삼각형을 형성한다. 그림 9에서 삼각형 $OA'B'$를 만들면, 식(11)처럼 삼각형 $OA'B'$의 면적이 계산된다.

$$|S_{OA'B'}|=\left|\frac{1}{2}(-x'_2y'_1+x'_1y'_2)\right| \tag{11}$$

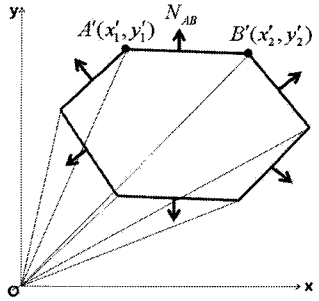

그림 8. 2D 메쉬(폴리곤)의 면적

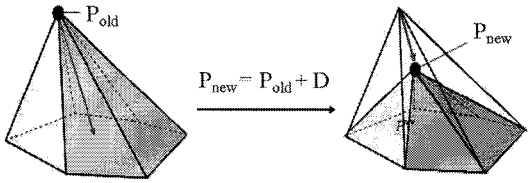

그림 9. 피크 잡음으로 인식된 점은 D의 거리만큼 좌표가 변환된다. (a) 피크 잡음으로 간주된 점(P_{old}), (b) D만큼 좌표가 보정된 점(P_{new})

각 삼각형의 면적은 식(12)과 같이 계산한다..

$$|S_i|=\left|\frac{1}{2}(-x'_{i2}y'_{i1}+x'_{i1}y'_{i2})\right| \tag{12}$$

여기서, i는 모든 에지나 기본적인 삼각형들의 인덱스이고, (x'_{i1},y'_{i1})과 (x'_{i2},y'_{i2})는 i번째 에지의 시작점과 끝점의 좌표이다. 메쉬의 2차원 면적은 모든 면적의 합으로 계산된다. 즉,

$$S_{total}=\sum_i S_i \tag{13}$$

위의 결과를 이용해서 메쉬 데이터의 각 정점에서 인접 메쉬들의 3차원 면적과 2차원 투영 면적의 비, $|V_{total}|/|S_{total}|$를 계산할 수 있다. 면적 비의 평균 $\overline{m}$은 식(14)로부터 얻어진다.

$$\overline{m}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{|V_i|}{|S_i|}\right],\ \text{n은 메쉬의 개수} \tag{14}$$

피크 잡음의 경우, 식(15)처럼 2D와 3D의 면적비가 평균 면적비($\overline{m}$)와 표준편차(σ)의 합보다 크다면 이러한 점은 피크 잡음으로 간주한다.

$$Peak\ Noise:\ \frac{|V_i|}{|S_i|}>(\overline{m}+\sigma) \tag{15}$$

식(16)에 의해 피크 잡음으로 검출된 점들은 3D에서 각 점 P의 인접한 메쉬의 면적 합과 2D에서 투영된 메쉬의 면적 합의 정보를 가지고 있다. 그러므로, 그림 9에서 보는 것처럼, 피크 잡음으로 간주된 점 P_{old}에서 2차원 면적과 3차원 부피의 차이가 최소가 되는 거리(D)는 식(16)으로 계산된다.

$$D=\min(|V_i|-|S_i|(\overline{m}+\sigma)) \tag{16}$$

3D에서 새롭게 업데이트되는 점 P_{new}는 그림 9처럼 점 P_{old}의 법선 벡터 N_P의 반대 방향으로 놓여진다. 피크 잡음은 식(17)에 의해 효과적으로 제거된다.

$$P_{new}=P_{old}+D \tag{17}$$

3.2 가우스 잡음의 평활화

전형적인 중간값 필터는 가우스 잡음을 억제하는데 효과적이나, 에지나 경계선 영역과 같은 영상에서 중요한 특징 정보까지 제거하는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 본 연구는 그림 10처럼 인접한 거리에 따른 법선 벡터에 다른 가중치를 적용해서 메쉬의 중요한 정보를 유지하는 가중치 필터를 사용한다.

먼저, 식(18)처럼 삼각형 메쉬(T)에 하나의 점이 인접한 모든 메쉬(그림 10에서 1로 표기된 메쉬)들로부터 삼각형 메쉬(T)의 법선 벡터 $m_1(T)$를 계산한다. n은 인접 메쉬의 수로 그림에서는 8이다.

$$m_1(T)=\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}A(T_i)}\sum_{i=1}^{n}(A(T_i)\times N(T_i)) \tag{18}$$

그리고, 삼각형 메쉬(T)에 두 개의 점이 인접한 모든 메쉬(그림 10에서 2로 표기된 메쉬)들로 법선 벡터 $m_2(T)$를 식(19)으로 계산한다. 여기서 2는 가중치이다. n은 인접 메쉬의 수로 본 예에서는 3이다.

$$m_2(T)=\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}A(T_i)}\sum_{i=1}^{n}(A(T_i)\times 2N(T_i)) \tag{19}$$

식(20)처럼, 새로운 법선 벡터$m(T)$는 $m_1(T)$와 $m_2(T)$를 인접한 메쉬의 전체 수(n)로 나누어서 계산한다.

$$m(T)=\frac{m_1(T)+m_2(T)}{n} \tag{20}$$

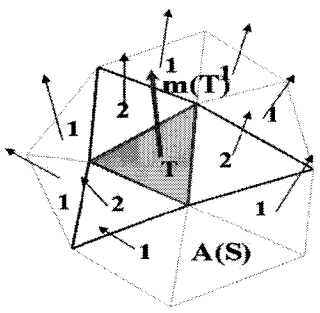

그림 10. 삼각형 메쉬의 법선 벡터와 $m(T)$를 기준으로 인접한 메쉬들의 법선 벡터 가중치

새로운 3D 좌표(P_{new})는 식(21)로부터 각 삼각형 메쉬(T)의 3D 면적과 새로운 법선 벡터를 사용해서 원래의 3D 좌표(P_{old})에 더해져서 업데이트된다. 여기서 n은 삼각형 메쉬(T)에 인접한 메쉬의 수이다.

$$P_{new} \leftarrow P_{old} + \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} A(T_i)} \sum_{i=1}^{n} (A(T_i) \times m(T_i)) \qquad (21)$$

4. 실험 결과

다양한 방법으로 취득된 3차원 데이터를 가지고 제안된 연구의 성능을 실험하였다. 레이저 스캐너로부터 얻어진 3D 데이터, 컴퓨터로 만든 3D 데이터 그리고 컴퓨터(스테레오) 비전을 이용해서 얻어진 3D 데이터에 잡음을 추가해서 실험을 하였다. 피크 잡음과 가까운 메쉬의 면적은 물체를 구성하는 다른 메쉬들보다 표면적이 크다. 이러한 피크 잡음의 특성을 이용하면, 3D 데이터에서 인접한 3D 메쉬의 면적과 투영된 2D 면적의 비에 의해 그림 11의 (a)처럼 피크 잡음을 검출할 수 있다. 피크 잡음점에 인접한 메쉬들의 면적을 줄이기 위한 제한을 2D/3D 메쉬 면적비에 따라 적용한다면, 피크 잡음은 그림 11의 (b)처럼 효과적으로 평활화 된다. 그림 11의 (c)와 (d)는 각각 특정 부분의 피크 잡음을 확대한 영상과 그 부분에서 피크 잡음이 평활화된 영상이다.

그림 12는 제안한 피크 잡음 검출 방법으로 위 3D 데이터의 면적비를 표현한 그래프이다. 피크 잡음으로 인식되는 면적비의 문턱치 값은 2.43258이다.

위 3D 데이터의 정점 수는 10,764개이고, 피크 잡음으로 검출된 정점의 수는 113개이다. 3D 데이터에

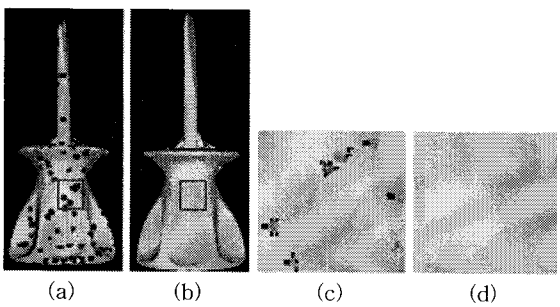

그림 11. 3D 레이저 스캐너로 얻어진 데이터에서의 잡음과 2D/3D 메쉬 면적비를 이용하여 잡음을 제거한 결과 영상, (a) 잡음 검출, (b) 잡음 평활화 결과, (c) (a)의 확대 영상, (d) (b)의 확대 영상

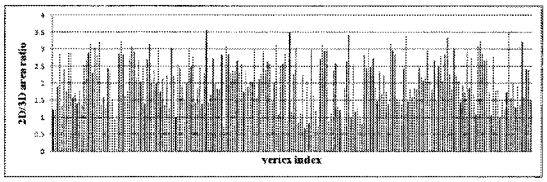

그림 12. 각 정점에서 메쉬의 2D/3D 면적비.

표 1. 3D 데이터에 잡음을 추가하고 제거했을 때, 면적과 평균 거리 오차의 변화

	메쉬 데이터의 면적	평균 거리 오차
3D 데이터	8085.29779(100%)	-
잡음 추가	8622.98630(106.65%)	0.326997
잡음 제거	8238.51752(101.89%)	0.108264

추가한107개의 피크 잡음의 대부분이 검출되었고, 평활화 되었다. 표 1은 면적의 변화와 평균 거리 차이를 정량적인 값으로 보여준다. 면적은 각 정점이 이루고 있는 삼각형 메쉬의 면적이고, 평균 거리는 잡음으로 판단되는 정점의 원래 좌표와 잡음효과로 변화된 좌표간 거리의 평균이다. 2D/3D 면적비를 이용한 잡음 평활화 방법은 피크 잡음이 효과적으로 제거함을 알 수 있다.

다음은 컴퓨터로 만들어진 창문 형태의 3D 데이터로 제안한 알고리즘의 성능을 비교하였다. 그림 13의 (상좌)에 피크잡음과 가우스 잡음을 추가를 하면 에지와 경계부분에 많은 변화가 발생한다. 변형된 데이터에 중간값 필터와 2D/3D 면적비를 이용한 방법을 적용해서 잡음을 제거한 결과가 각각 그림 13 (하좌)와 (하우)에 보여진다. 중간값 평활화 방법은 물

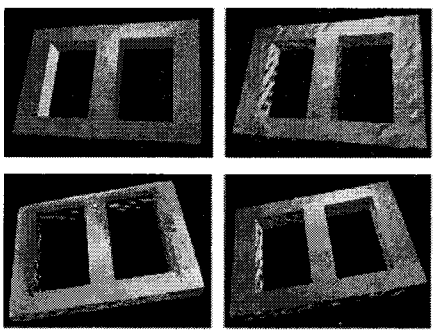

그림 13. 컴퓨터로 만들어진 데이터에 대한 실험. (상좌) 3D 데이터, (상우) 잡음이 추가된 영상, (하좌) 중간값 필터로 잡음 평활화 결과, (하우) 제안된 방법의 잡음 평활화 결과

체의 에지나 경계선 부분에서 잡음을 효과적으로 제거하지 못하고, 물체 내부에 존재하는 잡음도 여전히 많은 부분이 남아 있음을 볼 수 있다. 제안한 방법은 중간값 평활화 방법과는 다르게 물체의 에지나 경계선 부분의 잡음을 잘 제거하였고, 물체 내부의 잡음 제거도 더 좋은 성능을 보였다.

그림 14는 위 창문 데이터에서 각 정점이 형성하는 메쉬의 2D/3D 면적비를 나타낸다. 데이터의 제안된 방법도 다른 기존 방법들과 마찬가지로 반복적인 처리가 이루어짐에 따라 오차가 현격히 줄어든다. 반복 횟수는 실험을 통해서 20회 이하가 적당한 걸로 확인이 되었다. 20회 이상으로 잡음 평활화를 반복하여도 오차의 변화가 없었다. 그림 15는 반복 횟수에 따른 잡음으로 판단되는 각 정점에서 기존 좌표와 수정된 좌표 간의 거리의 합을 평균해서 기존방법과 제안된 방법 성능을 비교해 본 그래프이다. 그림에서 보는 것처럼 제안한 잡음 평활화 방법은 10반복 이후부터는 오차가 일정하게 유지됨을 볼 수 있다.

컴퓨터로 합성된 다른 실험으로 모자를 모델링한 3D 데이터를 사용하였다. 그림 16 (상)은 컴퓨터로 만들어진 원본 모자 데이터와 잡음이 추가된 데이터이다. 잡음이 추가된 데이터는 모자의 윗부분과 챙 부분에서 많은 왜곡이 발생했음을 볼 수 있다.

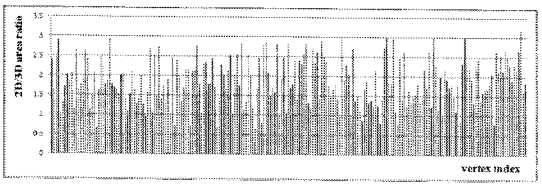

그림 14. 창문 데이터에서 각 정점이 형성하는 메쉬의 2D/3D 면적비

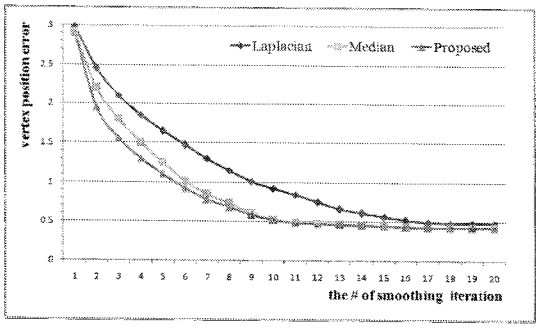

그림 15. 반복 횟수에 따른 기존방법(라플라시안[16], 중간값[8])과 제안된 방법의 오차의 비교

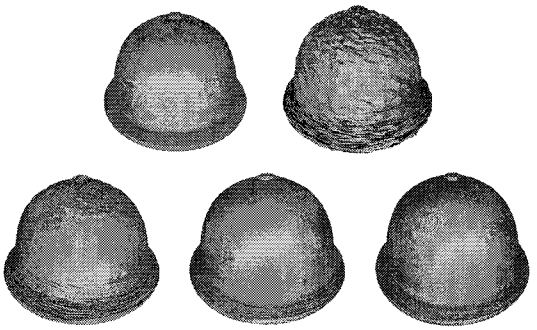

그림 16. 컴퓨터로 만들어진 모자 데이터의 실험 예, (상) 입력 데이터와 잡음이 더해진 데이터, (하좌) 라플라시안 평활화 방법을 사요한 결과 데이터, (하중)중간값 필터를 사용해서 잡음을 제거한 결과 데이터, (하우) 제안된 방법으로 잡을을 평활화한 데이터

라플라시안 평활화[16]는 왜곡이 많이 발생한 부분에서 여전히 잡음이 남아있었고, 중간값 필터[8]는 많은 부분에서 잡음이 제거됐지만, 모자의 챙 부분에서는 잡음이 완벽히 제거되지 않았다. 제안한 방법은 많은 왜곡이 있는 부분에서도 효과적으로 잡음을 제거하였다. 그림 17은 각각 모자 데이터의 2D/3D 면적비와 기본 방법과 제안한 방법으로 잡음이라고 판단되는 정점의 위치 변화 평균을 나타내는 그래프이다.

다른 실험 데이터는 2차원 사진(영상)으로부터 기하학적 특성을 분석하여 3차원으로 복원된 데이터이다. 그림 18은 몇 장의 사진으로부터 기하학적 정보를 분석하여 재구성된 3D 데이터를 가지고 잡음 평

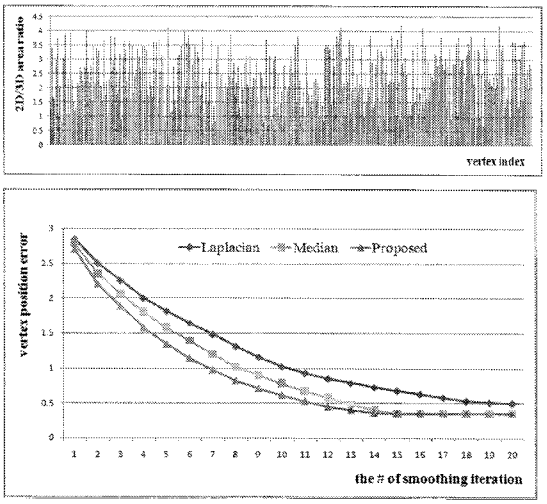

그림 17. 모자 데이터의 2D/3D 면적비(상), 정점 위치의 거리 평균 변화 그래프(하).

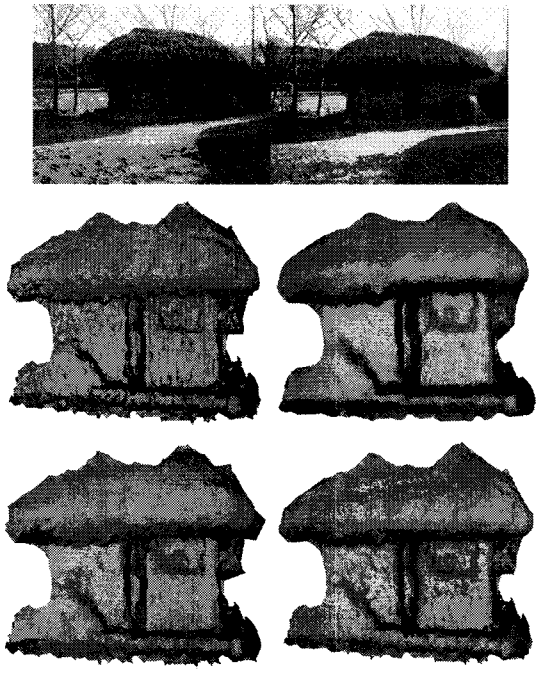

그림 18. 여러 장의 사진으로부터 재구성된 3D 데이터의 적용 예, (상) 입력 영상, (중좌) 영상으로부터 재구성된 3D 데이터, (중우) 중간값 필터의 잡음 평활화한 결과, (하좌) 라플라시안 방법의 평활화 결과, (하우) 제안된 방법의 잡음 평활화 결과

활화 방법을 적용한 예이다. 서론에서 언급한 것처럼 컴퓨터 비전을 이용하여 복원된 3D 데이터는 각 단계마다 발생하는 오차가 잡음의 형태로 나타난다. 그림 18 (중우), (하좌)에서 벽과 지붕을 표현하는 부분에서 너무 평활화된 3D 데이터가 얻어지고, 원래 표면의 특징이 사라짐을 볼 수 있다. 본 데이터에 제안한 방법을 적용하면 그림 18 (하우)처럼 지붕, 벽 그리고 그 외 부분에서 잡음이 효과적으로 평활화됨을 볼 수 있다. 또한, 원래 데이터의 평면적인 특징을 유지하고 있다. 그림 19과 20은 각각 초가집 데이터의 2D/3D 면적비와 기본 방법과 제안한 방법으로 잡음이라고 판단되는 정점의 위치 변화 평균을 나타

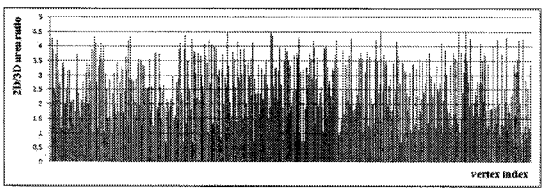

그림 19. 초가집 데이터의 2D/3D 면적비

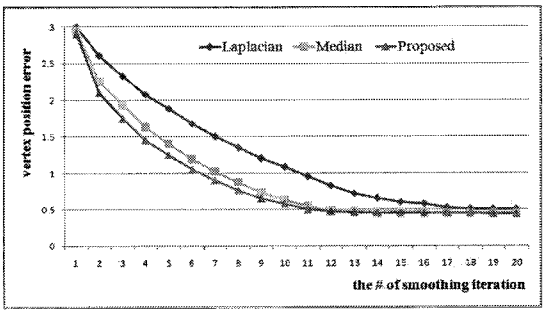

그림 20. 초가집 데이터에서 정점 위치의 거리 평균 변화 그래프

내는 그래프이다.

5. 결 론

다수의 영상으로부터 3차원 데이터를 복원, 재구성하는 연구들은 각 단계- 카메라 교정, 대응점 검색, 기본 행렬 계산 등-에서 피할 수 없는 에러를 포함한다. 이러한 에러들은 3차원 데이터에서 피크 잡음이나 가우시안 잡음으로 나타난다. 잡음들은 재구성된 3차원 데이터를 메쉬화할 때, 원래 물체 표면과 다르게 매끄럽지 않고 튀는듯한 물체 표면이 만들어지는 것을 실험을 통해 보였다.

본 연구는 잡음의 특성에 따라서 잡음을 두 종류-피크 잡음과 가우스 잡음-로 구별을 하였고, 3차원 재구성 방법으로 복원된 3D 데이터에 포함되는 잡음을 평활화하여 오차가 덜 포함하면서 원래 물체와 유사한 3D 데이터를 만들어 냈다.

기존의 방법들[8,16]은 한 종류의 잡음만을 평활화하는데 효과적이다. 3D 재구성에 의해 복원된 데이터는 피크 잡음과 가우스 잡음을 포함하고 있는데 기존의 방법들은 두 종류의 잡음을 동시에 평활화하지 못하는 단점이 있다. 4장과 5장에서 언급한 것처럼 제안한 알고리즘은 두 종류의 잡음을 동시에 평활화할 수 있었다. 또한, 에지나 경계선과 같은 물체의 중요한 정보를 담고 있는 부분도 평활화 과정에서 기존 방법보다 잘 보존된다. 본 잡음 평활화 방법은 먼저 피크 잡음의 특성에 따라 잡음을 분류하기 때문에 적은 반복으로도 정확한 물체 모델링이 가능하다. 본 연구의 결과는 3D 데이터를 필요로 하는 컴퓨터 그래픽, 3D 애니메이션, 가상 현실 그리고 컴퓨터 게임 등 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Marc Pollefeys, "Tutorial on 3D modeling from images," Dublin, *Ireland In conjunction with ECCV, Lecture Notes*, CH. 6, 26 June 2000.

[2] Zhengyou ZHANG, "A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry," Technical Report, May, 1994.

[3] A. Heyden and K. Astrom, "Euclidean Reconstruction from Constant Intrinsic Parameters," *Proc. 13th International Conference on Pattern Recognition*, pp. 339-343, 1996.

[4] R. Hartley, J.L. Mundy, A. Zisserman, and D. Forsyth, "Euclidean reconstruction from uncalibrated views," *Applications of Invariance in Computer Vision, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.825, pp. 237-256, 1994.

[5] H.S. Sawhney, Y. Guo, J. Asmuth, and R. Kumar, "Multi-View 3D Estimation and Applications to Match Move," *In Proc. IEEE MVIEW*, pp. 21-28, 1999.

[6] R. Klette and P. Zamperori, "Handbook of Image Proceedings Operators," John Wileys & Sons, pp. 78-85, 2001.

[7] D.Field, "Laplacian smoothing and Delaunay triangulations," *Communications in Applied Numerical Methods*, pp. 709-712, 1988.

[8] Hirokazu Yagou, Alexander Belyaevy, and Daming Weiz, "Mesh Median Filter for Smoothing 3-D Polygonal Surfaces," *Proc. of the First International Symposium on Cyber Worlds*, pp. 145-150, 2002.

[9] Taubin, G. "A signal processing approach to fair surface design," *Proc. of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 351-358, 1995.

[10] L. Kobbelt, S. Campagna, J. Vorsatz, and H.P. Seidel. "Interactive multiresolution modeling on arbitrary meshes," *In Computer Graphics (SIGGRAPH Proc.)*, pp. 105-114, 1998.

[11] Desbrun, M., Meyer, M., Schröder, P., and Barr, A. H., "Implicit fairing of irregular meshes using diffusion and curvature flow," *The SIGGRAPH Proc.*, pp. 317-324, 1999.

[12] T. Mashiko, H.Yagou, D. Wei, Y. Ding, and G. Wu, "3D Triangle Mesh Smoothing via Adaptive MMSE Filtering," *International Conference on Computer and Information Technology*, pp. 201-208, 2004.

[13] Tang Jie and Zhang Fuyan, "Anisotropic Feature-Preserving Smoothing of 3D Mesh," *Proc. of the Computer Graphics, Imaging and Vision*, pp. 135-141, 2005.

[14] Yutaka Ohtake, Alexander Belyaev, and Ilia Bogaevski, "Mesh regularization and adaptive smoothing," *Computer-Aided Design*, Vol. 33, pp. 789-800, 2001.

[15] Tasdizen, Whitaker, Burchard, and Osher, "Geometric surface smoothing via anisotropic diffusion of normals," *Proc. of the conference on Visualization*, pp. 125-132, 2002.

[16] Yuanfeng Zhou, Caiming Zhang, and Shanshan Gao, "A Quasi-Laplacian Smoothing Approach on Arbitrary Triangular Meshes," *IEEE International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics*, pp. 282-287, 2007.

현 대 환

1996년 한양대학교 전자공학과 학사
2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 석사
2002년 중앙대학교 첨단영상대학원 박사수료
2008년~현재 경원대학교 문화콘텐츠기술연구소 연구원
관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상 검색, 컴퓨터 그래픽스

황보택근

1983년 고려대학교 공과대학 학사
1987년 CUNY 전산학과 석사
1995년 Stevens Institute of Technology 전산학과 박사
1997년 삼성종합기술원 선임연구원
1997년~현재 경원대학교 IT대학 부교수
관심분야 : 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터그래픽스, 3D 검색엔진