

논문 2007-44SP-2-7

3차원 메쉬의 면적 정보를 이용한 효과적인 잡음 제거

(An effective filtering for noise smoothing using the area information of 3D mesh)

현 대 환*, 최 종 수*

(Dae-Hwan Hyeon and Jong-Soo Choi)

요 약

본 논문에서는 카메라 자동 교정을 통한 3차원 재구성 과정에서 생기는 오차로 인해 포함되는 잡음을 특성에 따라 효과적으로 제거하여 정교한 3차원 데이터를 얻기 위한 방법을 제안한다. 기존의 잡음 평활화 과정은 잡음 때문에 면적이 큰 메쉬는 3차원으로 재구성하는데 문제점이 존재한다. 제안한 알고리즘은 메쉬의 면적이 중요하기 때문에 취득된 3차원 데이터는 불필요한 삼각형 메쉬들을 사전에 제거하는 전처리 과정이 필요하다. 본 연구는 3차원 메쉬의 면적 정보를 이용하여 잡음의 특성을 분석하고, 그 특성에 따라 피크 잡음과 가우스 잡음을 분리하여 효과적으로 잡음을 제거한다. 본 알고리즘의 성능은 재구성 데이터에 대한 정량적인 비교 분석을 통해 기존의 메쉬 평활화 방법보다 더 정교한 3차원 데이터를 얻음을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes method to get exquisite third dimension data removing included noise by error that occur in third dimension reconstruction through camera auto-calibration. Though reconstructing third dimension data by previous noise removing method, mesh that area is wide is happened problem by noise. Because mesh's area is important, the proposed algorithm need preprocessing that remove unnecessary triangle meshes of acquired third dimension data. The research analyzes the characteristics of noise using the area information of 3-dimensional meshes, separates a peek noise and a Gauss noise by its characteristics and removes the noise effectively. We give a quantitative evaluation of the proposed preprocessing filter and compare with the mesh smoothing procedures. We demonstrate that our effective preprocessing filter outperform the mesh smoothing procedures in terms of accuracy and resistance to over-smoothing.

Keywords : smoothing filter, noise reduction, triangle mesh, 3D modeling

I. 서 론

모델링에 있어서 최근의 경향은 실제 물체에 대한 사진으로부터 3차원을 재구성하는 것이다. 영상으로부터

3차원 정보를 얻기 위해서는 카메라 교정이라는 과정을 필수적으로 거쳐야 한다. 컴퓨터 비전 분야에서 카메라 자동교정(Auto-calibration)방법은 과거 패턴과 같은 영상 교정물에 의존한 방법들에 비해 훨씬 진보된 3차원 재구성 방법이라 할 수 있겠다. 두 장의 영상 또는 여러 장의 영상에서 카메라 정보를 얻는 기술로 M. Pollefeys 등은 연속된 영상으로부터 3차원 모델링하는 기법을 제시하였다^[1]. S. Gibson 등은 특징점 추적 기법을 향상시키고, 계층적 정합 기반의 사영 구조를 복원하였으며, 카메라 자동 교정에 RANSAC 기법을 도입하여 전체 카메라 궤적을 추정하였다^[2]. 상관관계

* 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
(The Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia and Film, Chung-Ang University)

※ 본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

접수일자 : 2006년8월28일, 수정완료일:2007년2월23일

(correlation)를 이용하는 대응점 탐색방법^{[3],[4]}에서의 문제점은 영상마다 임계값을 달리 적용하여야 하는 단점이 있으며, 밝기의 변화를 이용하기 때문에 좌우 영상에 대한 잘못된 대응점들이 많이 추출된다는 점이다. 영상 사이의 대응점으로부터 추정되는 기본 행렬은 잡음에 매우 민감하여, 앞의 과정에서 누적되는 오차로 인해 최종 모델링시 피크 잡음의 형태를 나타나게 한다. 대응점 탐색의 결과를 이용해서 각 프레임마다 영상에서의 기본행렬(fundamental matrix)을 계산하여 투영적 재구성을 수행한다^{[5],[6]}. 이 과정까지는 원근을 그대로 포함하고 있는 사영(Projective) 구조복원이기 때문에 카메라 자동교정을 통해 유클리드(Euclid) 공간상의 재구성으로의 변환과정을 수행한다. 카메라 자동교정 알고리즘에서 선형방정식을 유도하는 일반적인 방법들^{[7]-[10]}은 내부 파라미터에 강한 제약조건을 줌으로써 계산량을 줄이는 반면 방정식이 간단해지는 과정에서 자연스럽게 오차를 유발하게 된다. 최종적으로 카메라 자동교정에서 얻어진 값들을 바탕으로 카메라 파라미터를 추출하면 최종 3차원 데이터를 얻을 수 있다. 이러한 일련의 제반 연구들은 각 단계에서 필연적으로 오류가 발생하게 되는데, 영상 취득 과정에서 발생하는 잡음, 양자화 오차와 추정 오차 등이 항상 존재한다. 이처럼 영상기반 모델링의 경우 영상 취득 과정, 대응점 탐색, 기본 행렬계산, 카메라 교정, 등의 거의 모든 부분에서 오차 발생 가능성을 내포하여 최종적 모델링시 피크 잡음과 가우스 잡음의 형태로 나타난다. 카메라 자동교정을 통한 재구성 방법에서의 잡음은 기존의 2차원 영상에서 사용하는 단순한 필터링 개념의 처리방법으로는 효과적인 잡음의 제거가 불가능하기 때문에 최근 3차원 메쉬의 법선 벡터를 이용하여 평활화하는 3차원 필터가 쓰이고 있다^{[11]-[14]}. 하지만, 이러한 필터들은 카메라 자동교정을 통한 재구성 방법에서 포함될 수 있는 피크 잡음을 효과적으로 제거하지 못한다. 일반적으로 피크 잡음을 제거하기 위해 비선형 필터인 중간값 필터를^[15] 사용할 수 있으나, 이 필터는 가우스 잡음과 크기가 일정하지 않은 메쉬들이 포함되어 있는 3차원 데이터에서는 잡음을 효과적으로 제거하기 어렵다. 물체의 기하학적인 특성을 이용하여 3차원 물체의 원형을 보존하며 효과적으로 잡음을 제거하기 위한 방법의 필요성이 절실하다.

본 논문에서는 카메라 자동교정을 통한 재구성 과정에서 발생하는 피크 잡음과 가우스 잡음이 포함된 3차원 데이터의 잡음을 효과적으로 평활화하는 알고리즘을

제안한다. II장에서는 잡음으로 인해 메쉬들의 면적이 일정하지 않게 되는 문제점을 보완하는 메쉬 최적화 과정을 설명한다. III장에서는 잡음을 분석하고, 그 특성에 따라 잡음을 제거하는 방법을 설명한다.

II. 정규 분포에 의한 메쉬의 최적화

들로네 삼각화(Delaunay Triangulation) 기법은 2차원, 3차원 모든 부분에서 기하학을 생성하는데 유용하게 이용되고 있다. 들로네 삼각화 기법은 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)과 함께 계산 기하학 분야에서 많이 사용되는 효율적인 지역분할 방법이다. Delaunay 삼각화 기법과 보로노이 다이어그램은 서로 이원적인 관계에 있다. 표면의 법선 벡터와 같은 별도의 부가적인 정보 없이 오직 3차원으로 재구성된 데이터의 기하학 정보(X, Y, Z)만 가지고 임의의 위상을 갖는 물체를 복원할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 들로네 삼각화 기법은 입력 데이터의 크기가 커질수록 계산 복잡도가 2차적으로 증가하고, 계산상의 오차가 발생하기 쉽다는 단점이 있다. 취득한 3차원 데이터가 고르게 분포하지 않을 시, 들로네 삼각화 기법에 의한 메쉬의 면적이 일정하지 않게 된다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 메쉬의 면적에 상당히 민감하기 때문에, 이러한 메쉬들에 대한 사전처리가 필수적이다.

메쉬의 전처리 과정의 배경은 정규 분포이다. 정규분포의 내부는 무수한 점의 집합으로, 그 점 하나하나가 확률을 나타내고 있으며, 따라서, 분포의 면적은 1이 된다. 분포의 정상 부분이 가장 높은 이유는 여러 가지 의미에서 평균이기 때문이다. 평균치가 확률이 가장 높은 곳이라는 필연성은 없지만 분포의 중심부가 정상적인 메쉬의 발생 확률이 가장 높은 곳, 분포의 아래쪽 부분을 잡음이라고 생각할 수 있다. 물체를 이루는 모든 삼각형 메쉬 T의 넓이를 $A_n(T)$, 넓이의 평균을 $M(T)$ 라고 하고 식(1)과 같이 구하며, 식(2)를 이용하여 표준편차 σ 를 구할 수 있다. 넓이의 정규 분포는 평균을 중심으로 좌우대칭의 종 모양을 띠며 산포 정도는 σ 에 의해 결정된다. 면적이 큰 메쉬들로 인해 평활화 과정에서 본래의 물체의 형태에 손상을 가할 메쉬들을 정규 분포에 의해 식(3)과 같이 면적이 넓은 메쉬 T를 검출하여 사전에 인접 메쉬의 면적 평균으로 대체한다.

$$M(T) = \frac{\sum_{i=1}^n A_n(T)}{n} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{A_n(T)^2 - M(T)}{\sum_{i=1}^n A_n(T)}} \quad (2)$$

$$A_n(T) > \lambda(\text{threshold}) \quad (3)$$

재구성된 데이터의 특성에 따라 σ 가 변하기 때문에, λ 라는 문턱치에 따라 대체되는 메쉬가 달라질 수 있다. 삼각화 기법에 의해 삼각 메쉬로 표현된 입력 영상에 대해 σ 값이 커진다는 의미는 평균보다 면적이 큰 메쉬의 개수가 증가한다는 것이다. 즉, 똑같은 조건을 준다고 하더라도 σ 값의 변화에 의해 λ 값이 달라진다. 만약 σ 값이 커지는 입력 영상, 즉 면적이 큰 메쉬가 많이 포함된 영상이 들어온다면 λ 값을 $M(T) + \sigma$ 로 주어 대체되는 메쉬의 수를 최소화 한다. 면적이 넓은 메쉬가 적게 포함된 영상이 들어온다면 λ 값을 $M(T)$ 로 주어 넓은 메쉬를 대체한다. 면적이 큰 메쉬의 개수는 총 입력 영상으로 들어오는 메쉬의 개수에 따라 표준화한다.

취득한 데이터에 넓이가 큰 메쉬가 포함될 경우 메쉬 최적화 과정을 거치지 않으면 원래의 물체를 손상시키는 결과를 초래된다. 그림 1이 이러한 문제점을 보여준다. 그림 1의 (a)는 3차원 레이저 스캐너로 취득한 영상

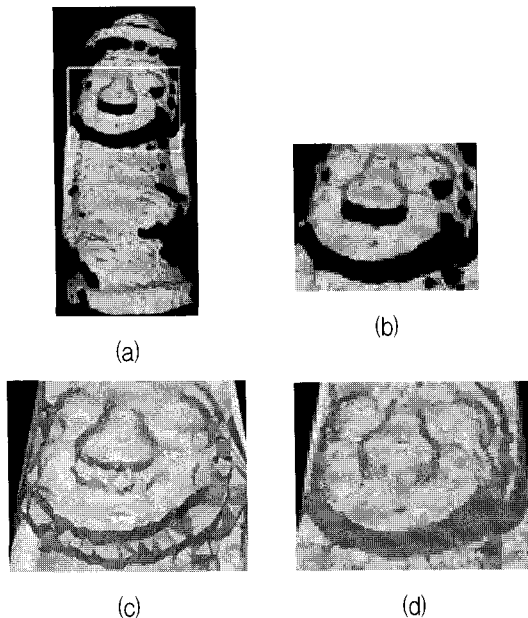


그림 1. (a) 입력영상, (b) 입력 데이터의 얼굴 부분 확대 영상, (c) 메쉬의 최적화 비적용 결과 영상, (d) 메쉬의 최적화 적용 결과 영상

Fig. 1. (a) Input data, (b) The enlarged image of face part of input data, (c) Result data before mesh optimization, (d) Result data after mesh optimization.

으로 여러 부분에서 데이터가 취득이 안 된 것을 볼 수 있다. 특히, (b)는 얼굴 부분의 코와 턱에 데이터가 없는 상태의 그림이다. (b)데이터를 메쉬 최적화 과정을 하지 않으면 (c)와 같이 원래의 물체와 다른 형태의 구조를 만든다. 그러므로 메쉬 최적화 과정이 필요하고 이 과정을 거친 데이터는 그림 (d)이다. 메쉬의 최적화 처리 과정을 거친 후, 메쉬의 넓이와는 상관없이 좋은 결과를 보여준다.

III. 잡음의 특성에 따른 평활화

1. 피크 잡음의 검출

앞에서 언급한 것과 같이 카메라 자동교정을 통한 재구성 방법은 영상 취득 과정에서 발생하는 잡음, 잘못된 대응점으로 인한 오차로 인해 피크 잡음과 가우스 잡음이 동시에 존재한다. 일반적으로 피크 잡음을 제거하기 위해 비선형 필터인 중간값 필터를 사용하고 있으나, 이는 가우스 잡음에 대한 잘못된 제거와 많은 반복으로 인해 제대로 된 3차원 좌표까지 변화시키는 결과를 초래한다. 본 연구에서는 재구성된 데이터에 포함된 피크 잡음을 효과적으로 검출하고, 제거하기 위한 피크 잡음 평활화 필터를 제안한다.

피크 잡음을 검출하기 위해 취득된 3차원 데이터들의 모든 점들에 대해 인접한 3차원에서의 메쉬의 넓이의 합 $A_n(s)$ 과 투영된 메쉬의 넓이 합 $A'_n(s)$ 의 정보를 이용한다. 레이저 스캐너나 3차원으로 재구성된 데이터들은 그림 2와 같이 하나의 점 P에 인접한 메쉬들을 가지고 있다.

하나의 점 P에 인접한 메쉬들의 법선 벡터 $n(T)$ 를 계산하면 점 P의 법선 벡터 $m(T)$ 를 식(4) 과 같이 구한다.

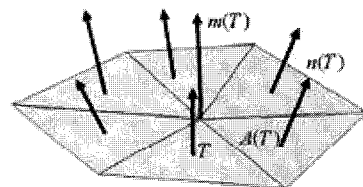


그림 2. 한 점에 인접한 삼각형 메쉬들(T), 삼각 메쉬의 법선 벡터 $n(T)$, 한 점의 법선 벡터 $m(T)$, 삼각형 메쉬의 넓이 $A(T)$

Fig. 2. Triangle mesh adjacent point (T), Normal vector of triangle mesh $n(T)$, Normal vector of point $m(T)$, The area of triangle mesh $A(T)$.

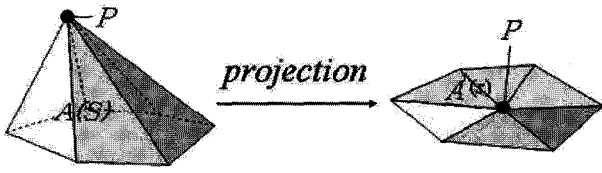


그림 3. 3차원에서의 점 P(좌측)와 투영된 점 P'(우측)
 Fig. 3. Point on 3D space (left) and the projected point on 2D space (right).

$$m(T) = \frac{\sum_{i=1}^n n(T)}{n} \quad (4)$$

3차원에서의 각 점은 그림 3의 좌측과 같은 형태를 가지고 있고 $m(T)$ 에 수직한 평면으로 투영을 시키면 그림 3의 우측과 같은 형태를 가진다. 3차원에서 인접한 메쉬의 넓이의 합은 식(5)에 의해 구해지고,

$$A(s) = \sum A(T) \quad (5)$$

점 P의 법선 벡터 방향으로 수직한 평면에 투영된 2D에서의 넓이의 합은 식(6)의 Gauss-Green방법으로 구한다.

$$A'_n(s) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (0.5(x_{i+1} + x_i)(y_{i+1} - y_i) - 0.5(y_{i+1} + y_i)(x_{i+1} - x_i)) \quad (6)$$

그러면 각 점들의 면적비 $A_n(s)/A'_n(s)$ 를 구할 수 있다. 취득된 점의 면적비의 평균을 \bar{m} 라 하고 식(7)에 의해 구해진다.

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n [A_n(s)/A'_n(s)]}{n} \quad (7)$$

피크 잡음은 식(8)과 같이 취득된 각 점의 면적비가 면적비의 평균(\bar{m})+ σ 보다 크다면 피크 잡음으로 인식한다.

$$peak - noise: \frac{A_n(s)}{A'_n(s)} > (\bar{m} + \sigma) \quad (8)$$

2. 면적비를 이용한 피크 잡음의 평활화

식(8)에 의해 피크 잡음으로 검출된 점들은 3차원에서 점 P에 인접한 메쉬의 넓이의 합 $A(s)$ 와 2차원으로 투영된 메쉬의 넓이의 합 $A'(s)$ 을 알고 있다. 따라서, 3차원에서 피크 잡음으로 검출된 점 P의 인접 메쉬

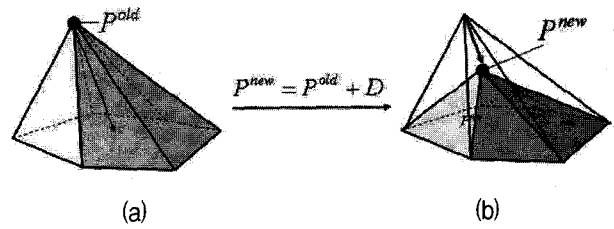


그림 4. (a) 피크 잡음점 P^{old}
 (b) 갱신된 점 P^{new}
 Fig. 4. (a) peak noise point (P^{old})
 (b) corrected point(P^{new}).

의 넓이의 합인 $A(s)$ 를 식(9)와 같이 만들어 그림 4의 (b)와 같이 거리 D를 계산할 수 있다.

$$A(s) = A'(s)(\bar{m} + \sigma) \quad (9)$$

새롭게 갱신될 3차원에서의 점(P^{new})은 그림 4의 (a)와 같이 점 P의 마이너스 법선 벡터 방향위에 놓여져 있다. 식(10)을 이용해 피크 잡음점(P)을 갱신하면 피크 잡음을 효과적으로 제거할 수 있다.

$$p^{new} = p^{old} + D \quad (10)$$

3. 가우스 잡음의 평활화

기존의 평균값 필터는 가우스 잡음을 억제하는 데에 효과적인 반면 모서리, 경계영역 등과 같이 영상의 중요한 특징 정보를 동시에 제거하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 그림 5에서처럼 인접 정도에 따라 법선 벡터의 가중치를 달리 적용하여 영상의 중요한 정보를 보존하기 위해서 가중치된 중간값 필터를 사용한다. 먼저, 그림 2에서 삼각형 메쉬 T와 하나의 점이 인접한 모든 메쉬의 법선 벡터를 식(11)로 계산한다.

$$m_1(T) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_n(T)} \sum_{i=1}^n (A(T) \times n(T)) \quad (11)$$

식(12)로 삼각형 메쉬 T와 두 개의 점이 인접한 모든 메쉬의 법선 벡터를 계산한다.

$$m_2(T) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_n(T)} \sum_{i=1}^n (A(T) \times 2n(T)) \quad (12)$$

식(11)과 식(12)에서 구한 $m_1(T)$ 와 $m_2(T)$ 를 더한 후, 식(13)을 이용하여 인접 메쉬로 총 개수 나누어 새로운 법선 벡터 $m(T)$ 를 구한다.

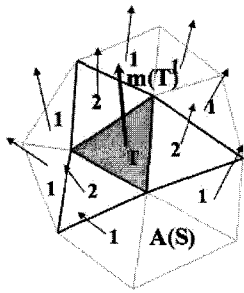


그림 5. 삼각형 메쉬 T의 법선 벡터(m(T))와 인접정도에 따른 가중치

Fig. 5. Normal vector of triangle mesh and the weight value from adjacent measure.

$$m(T) = \frac{m_1(T) + m_2(T)}{n} \quad (13)$$

식(14)로부터 새로운 3차원 좌표(P^{new})를 구한다.

$$P_{new} \leftarrow P_{old} + \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_n(T)} \sum_{i=1}^n (A_i(T) \times m(T)) \quad (14)$$

가중치된 중간값 필터는 영상의 중요한 정보를 유지한 채 가우스 잡음을 효과적으로 제거하는 방법이다.

IV. 실험

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 여러 가지 방법으로 취득한 3차원 데이터를 가지고 실험을 수행하였다. 본 연구는 레이저 스캐너 (Minolta vivid 700)로 취득한 영상, 컴퓨터로 합성한 영상 그리고 사진으로부터 취득된 영상들에 피크 잡음을 첨가하여 실험을 하였다. 피크 잡음에 인접한 메쉬들의 넓이는 물체를 형성하는 다른 메쉬들에 비해 표면적이 상당히 크게 나타난다. 이러한 피크 잡음의 특성

을 이용하여 모든 3차원 데이터들에 대해 인접한 3차원에서의 메쉬들의 넓이와 투영된 영상의 넓이의 비를 이용하여 그림 6(a)와 같이 피크 잡음을 검출한다. 피크 잡음에 인접한 메쉬들의 표면적을 감소시키는 제약 조건을 면적비에 따라 적응적으로 적용하면 피크 잡음을 그림 6(b)와 같이 효과적으로 평활화 함을 볼 수 있다. 그림 6은 본 논문에서 제안한 피크 잡음 필터만을 적용한 실험 결과이다.

그림 7은 제안한 피크 잡음 검출 알고리즘을 이용한 모든 3차원 데이터의 면적비를 나타낸 그래프이다. 피크 잡음의 문턱치는 면적비가 1.73258이었다. 3차원 데이터의 총 개수는 10764 개이고, 그 중 피크 잡음으로 검출된 데이터의 개수는 113개였다. 이상적인 데이터에 첨가된 107개의 피크 잡음을 대부분 검출하여 평활화하는 결과를 볼 수 있었다. 표 1은 본 실험 결과에 대한 전체 표면적의 변화와 평균거리오차를 정량적인 수치로 나타내고 있다. 제안한 방법이 잡음을 효과적으로 제거

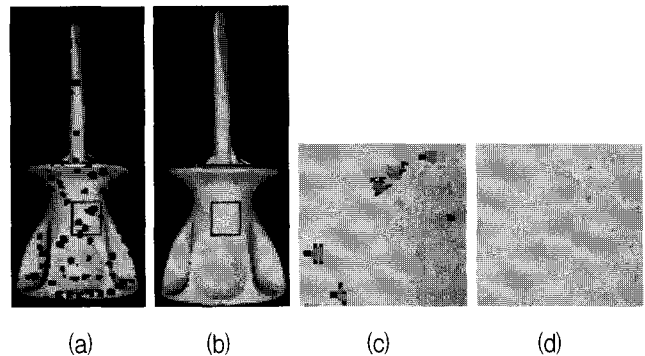


그림 6. 피크 잡음의 검출 및 필터 적용 후 결과 영상, (a) 피크 잡음 검출, (b) 피크 잡음 평활화 (c), (a)의 확대영상, (d) (b)의 확대영상

Fig. 6. Detection of peak noise and result image after filtering process, (a) peak noise detection, (b) peak noise smoothing, (c) the enlarged image of (a), (d) the enlarged image of (b)

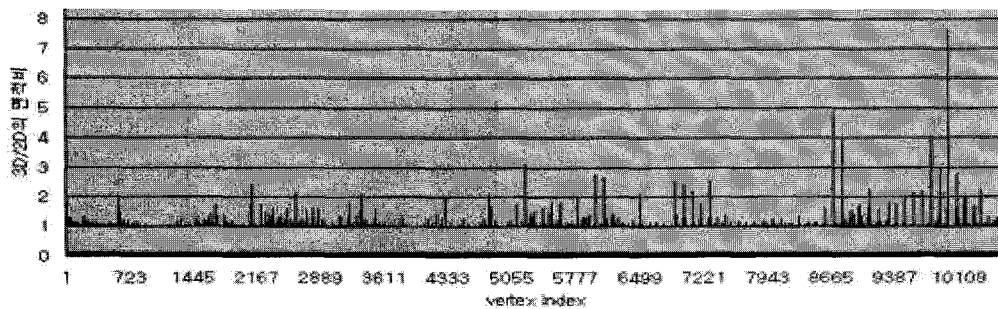


그림 7. 3D/2D에서의 인접 메쉬의 면적비(피크 잡음 > 1.73258)

Fig. 7. Area ratio of adjacent mesh on 2D and 3D space.

표 1. 피크 잡음 필터 적용 후, 전체 표면적과 평균 거리 오차의 변화

Table 1. After the peak noise filtering process, the change of surface area and average distance error.

	전체 표면적	평균거리오차(pixel)
이상적인 데이터	8085.29779(100.00%)	-
피크 잡음 첨가	8622.98630(106.65%)	0.326997
잡음 제거 필터 적용	8238.51752(101.89%)	0.108264

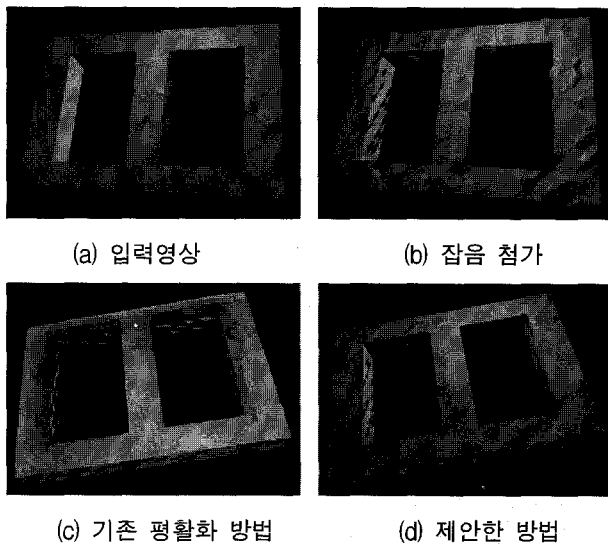


그림 8. 컴퓨터로 만들어진 물체에 잡음을 첨가해서 기존의 방법과 제안된 방법의 성능 비교 실험 결과

Fig. 8. The comparison of previous and proposed method.

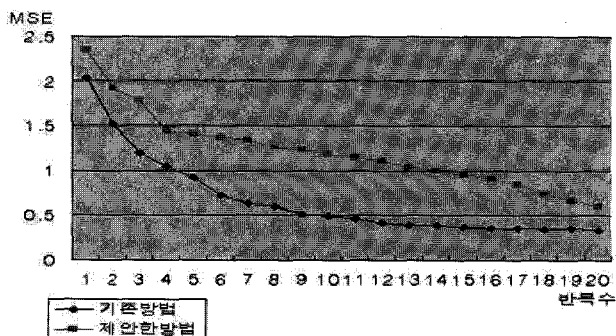


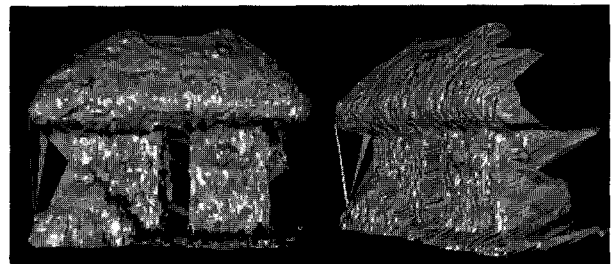
그림 9. 반복횟수에 따른 평균 제곱 오차의 비교
Fig. 9. The comparison of mean square error with repetition.

함을 알 수 있다.

다음은 3D Max를 이용하여 그림 8(a)와 같이 3차원 물체를 제작하였다. 그림 8(a)와 같이 모서리와 경계 영역이 분명한 입력 영상에 임의로 가우스 잡음과 피크 잡음을 첨가하여 (b)와 같이 만든 후, 평균값 필터와 제



(a) 원영상



(b) 입력 영상으로부터 재구성된 영상



(c) 제안한 방법으로 재구성된 영

그림 10. 몇 장의 사진으로부터 재구성된 영상에서 제안한 방법의 실험 결과

Fig. 10. Result of proposed method for reconstruction form images.

안한 방법을 적용하여 실험하였다.

평균 필터를 적용한 그림 8 (c)를 살펴보면 모서리나 경계 부분의 정보를 살리지 못하고 잡음과 함께 평활화 되는 것을 볼 수 있다. 하지만 제안한 방법의 경우 가우스 잡음과 피크 잡음을 효과적으로 평활화하면서 동시에 모서리나 경계부분의 정보도 효과적으로 보존할 수 있음을 확인할 수 있다. 기존 방법과 제안된 방법의 반

복 과정에 따른 대응점에 대한 평균제곱오차 비교는 그림 9와 같다. 평균제곱오차는 반복횟수에 따른 3차원 좌표와 입력 영상의 대응점 쌍으로 한 점의 평균거리를 계산하여 비교하였다.

그림 10은 몇 장의 사진으로부터 구해진 3차원 데이터에 대한 제안된 방법의 적용 결과를 보인 것이다. 그림 10(b)는 3차원 데이터를 메쉬로 만든 결과로 벽면이나 지붕의 면들이 부드럽지 못하고 울퉁불퉁하다. 이 데이터를 제안된 방법에 적용한 결과는 그림 10 (c)에 보여 지는데 (b)의 결과보다는 다소 부드럽게 면들이 형성되었음을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 카메라 자동 교정을 통한 3차원 재구성 방법에서 흔히 포함되는 잡음을 최소화하기 위하여 잡음을 특성에 따라 피크 잡음과 가우스 잡음으로 구분하여 평활화하였다. 들로네 삼각화 기법에 의하여 다각형으로 모델링 된 3차원 영상의 기하학적인 특징을 이용하여 잡음을 효과적으로 평활화하는 알고리즘을 제안하였다.

기존의 방법은 한가지의 잡음을 평활화하기에는 효과적이지만, 카메라 자동교정을 이용한 3차원 재구성 방법에서 흔히 발생하는 피크 잡음과 가우스 잡음을 동시에 평활화 할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 실험결과에서 보는 바와 같이 제안된 알고리즘은 3차원 재구성 방법 과정에서 포함되는 피크 잡음과 가우스 잡음을 동시에 평활화 할 수 있었으며, 모서리 부분이나 경계 영역 등 물체의 중요한 정보도 보존할 수 있었다. 또한, 잡음을 특성에 따라 분리하여 먼저 피크 잡음을 효과적으로 평활화 함으로써 모든 잡음을 하나의 필터로 평활화하는 기존의 방법보다 적은 반복으로 정확하게 물체를 모델링할 수 있었다.

향후, 기하모델링에서의 Nubs 개념을 도입하여 재구성된 3차원 데이터의 메쉬를 보다 효과적으로 샘플링한 후, 본 알고리즘을 적용한다면 향상된 결과가 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] S. Gibson, J. Cook, T.Howard, R. Hubbard and D.Oram, "Accurate Camera Calibration for Off-line, Video-Based Augmented Reality", In proc. IEEE and ACM ISMAR, Darmstadt, Germany, Sep. 2002.
- [3] Zhengyou ZHANG, "A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry", Technical Report, May, 1994.
- [4] P. Smith, D. Sinclair, R. Cipolla and K. Wood, "Effective corner matching", BMVC, September 1998.
- [5] A.Chiuso, P.Favaro, H.Jin and S.Soatto, "Structure from motion causally integrated over time", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24 Issue: 4, pp. 523 -535, April 2002.
- [6] Azarbajejani A., Pentland A.P., "Recursive estimation of motion, structure, and focal length", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume: 17 Issue: 6, pp. 562 -575, June 1995.
- [7] B. Triggs, "Autocalibration and the absolute quadric", Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Soc. Press, pp. 609-614, 1997.
- [8] A. Heyden, K. Astrom, "Euclidean Reconstruction from Constant Intrinsic Parameters", Proc. 13th International Conference on Pattern Recognition, IEEE Computer Soc. Press, pp. 339-343, 1996.
- [9] R. Hartley, J.L. Mundy, A. Zisserman, and D. Forsyth (eds.), "Euclidean reconstruction from uncalibrated views", Applications of Invariance in Computer Vision, Lecture Notes in Computer Science , Vol. 825, Springer-Verlag, pp. 237-256, 1994.
- [10] Marc Pollefeys, "Tutorial on 3D modeling from images", Dublin, Ireland In conjunction with ECCV, Lecture Notes, CH. 6, 26 June 2000.
- [11] Richard N. Ellson, Joseph H. Nurre, "A new approach for modeling and smoothing of scattered 3D data", Proc. SPIE, Three-Dimensional Image Capture and Applications, Vol. 3313, pp. 168-177, 1998.
- [12] Yutaka Ohtake, Alexander Belyaev, Ilia Bogaevski, "Mesh regularization and adaptive smoothing", Computer-Aided Design , Vol. 33, pp. 789-800, 2001.
- [13] G. Taubin, "Linear anisotropic mesh filtering", IBM Research Report, October 2001.

- [14] Tasdizen, Whitaker, Burchard, Osher, "Geometric surface smoothing via anisotropic diffusion of normals", Proceedings of the conference on Visualization , pp. 125-132, November 2002.
- [15] R. Klette, P. Zamperori, "Handbook of Image Proceedings Operators", John Wileys & Sons, 2001.

 저 자 소 개



현 대 환(정회원)

1996년 한양대학교 전자공학과
학사 졸업.

2000년 중앙대학교 첨단영상
대학원 영상공학과 졸업.

2002년 중앙대학교 첨단영상
대학원 영상공학과
박사 수료.

최 종 수(정회원)

제 41권 SP편 제6호 참조

<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽스, 영
상합성, 증강현실>