

복셀 칼라링 성능 향상을 위한 개선된 칼라 일치성 기법

Advanced Color Consistency Method for Improving Voxel Coloring Performance

천영주, 정승도, 최병욱
한양대학교

Chun Young-Ju, Jeong Seung-Do,
Choi Byung-Uk
Hanyang Univ.

요약

복셀 칼라링은 보정된 여러 장의 2차원 영상에서 3차원 형상을 복원하기 위한 널리 알려진 방법들 중 하나이다. 본 논문에서는 기존 복셀 칼라링 기법에서의 칼라 일치성 테스트의 문제점을 해결하기 위해 개선된 복셀 칼라링 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 칼라 일치성 테스트에서 이중 문턱치와 가중치 요소를 이용하여 적응적인 문턱치를 주므로 향상된 복원 성능을 얻을 수 있게 하였다. 실제 영상을 이용한 복원 실험을 통해 제안하는 방법의 성능을 검증한다.

Abstract

Voxel Coloring is one of the well known methods to reconstruct three dimensional shape from calibrated two dimensional multiple-view images. This paper proposes an advanced Voxel Coloring to complement drawbacks of previous color consistency tests. We propose an adaptive threshold using double threshold and a weight component to test color consistency. From the reconstruction experiment, we have verified that our proposed method outperforms the previous one.

I. 서론

컴퓨터 성능의 향상, 카메라 기술의 발전과 더불어 객체나 장면을 3차원 모델링 하는 기술 또한 다양하게 발전하고 있다. 특히 3차원 방송(3DTV), 다시점 비디오, 증강 현실, 혼합 현실 등 방송이나 영화 제작 등에 전통적인 CG 작업 및 수작업에서 탈피하여 영상기반 모델링 기술을 적용하려는 연구가 많이 이루어지고 있다.

이 중에서 복셀 칼라링은 2차원 영상들로부터 객체나 장면의 3차원 복원 영상을 얻기 위한 유용한 방법 중의 하나이다.

복셀 칼라링은 복셀의 가시성(Visibility) 테스트와 칼라 일치성(Color consistency) 테스트를 통해 복셀

의 존재여부를 판단한다. 기존 복셀 칼라링의 칼라 일치성 테스트는 고정 문턱치를 이용해서 이루어지게 되는데 이 방법은 균일 칼라영역이나 칼라 경계 영역에서 판단기준이 만족되지 못한다는 문제점을 가지고 있다.

요즘 방송, 영화, 게임 등 많은 분야에서 좀 더 사실적인 느낌을 주기 위해 3차원 영상이 쓰이고 있고 활용 범위와 빈도가 갈수록 커지고 있다. 그런데 실제적인 분야에서 응용되기 위해서는 알고리즘의 계산 시간이 기존에 비해 줄어들어야하고 더욱 뛰어난 복원 정확성을 필요로 한다. 본 논문에서는 기존 칼라 일치성 테스트의 문제점을 해결하고 실제적인 응용이 가능하도록 복원 정확성을 높이는 이중 가변 문턱치를 이용한 개선된 칼라 일치성 기법을 제안한다.

II. 관련연구

가시성 테스트의 경우, 복셀과 각 카메라 원점간의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 이용한다. Seitz의 경우는 고속 복셀 칼라링을 위해 순서화 된 가시성 제약 조건(Ordinal visibility constraint)을 이용해 단 방향의 평면이동(Plane sweep) 가시성 테스트를 통해 한 번의 복셀 공간 탐색만으로 3차원 복셀을 수행하고 있다[1]. 이러한 제약조건을 사용할 경우, 준 실시간의 복셀 칼라링이 가능하나 제약조건을 만족하는 카메라 배치가 크게 제한되는 단점이 있다. Kutulakos는 Seitz의 단 방향 가시성 테스트 방법을 다 방향 평면이동(Multi-plane sweep) 가시성 테스트로 확장함으로써 카메라 배치에 대한 제약조건을 해결하였다[2, 3]. 그러나 이 방법은 실제로 복셀을 볼 수 있는 카메라들 중의 일부분의 영상정보만을 이용함으로써 제거되어야 할 복셀을 제거하지 못하는 문제를 내포하고 있다. Culbertson는 전처리 과정에서 각 복셀의 가시성을 아이템 버퍼에 기억하고 각 단위 복셀에서의 칼라 일치성 테스트 시, 직접적으로 아이템 버퍼에서 가시성 정보를 연음으로써 Kutulakos에 의해 제안된 방법의 문제를 해결하고 있다[4]. 그러나 Kutulakos와 Culbertson의 방법들은 카메라 구조의 제약성을 제거하기 위해 공간 카빙(Space carving) 방법을 이용함으로써 알고리즘 수행시간이 증가하는 단점이 있다.

일단 가시성이 판별이 되면 복셀의 칼라 일치성은 가시성을 만족하는 영상들의 정보만을 이용하여 해당 복셀의 존재 유무를 판단하게 된다. 즉 칼라일치성 테스트는 여러 장의 입력 영상의 영상자취(Image footprint)들 간의 칼라 유사도 비율(Color likelihood ratio)을 이용한다. 영상자취는 복셀을 영상으로 투영시켜 얻은 투영영역을 말한다. 영상자취들의 칼라가 일치하면 이 복셀은 존재하게 된다.

기존의 복셀 칼라링 방법은 칼라 유사도 테스트에 대해 특정 문턱치를 만족할 경우 해당 복셀이 점유되는 것으로, 그렇지 못한 경우는 제거되는 것으로 판

단한다[1]. 이러한 단순 문턱치는 표면칼라가 완만하게 변해가는 표면에 대해서는 판단 기준이 잘 만족된다. 그러나 복셀의 영상 자취들이 균일 칼라영역이나 칼라 경계에 해당하는 경우에는 이러한 판단기준이 만족되지 못한다[1, 3]. 균일 칼라영역에서는 고정 문턱치의 적용으로 인해 표면 돌출(Cusp)이 발생한다. 칼라 경계에서는 영상자취내의 칼라 값들의 평균으로 영상자취의 정보를 표현하기 때문에 문턱치의 판단 기준이 나빠져 고정 문턱치 기반의 판단 방법은 일관성을 가지지 못하게 된다. 고정 문턱치 기반 방법의 단점을 극복하기 위해 Eisert는 L1 놈(norm)을 사용하여 칼라 일치성 테스트를 수행하였다[5]. 가장 큰 놈이 문턱치보다 작을 때 복셀은 존재하게 된다. 그러나 이 방법은 기존 방법에 비해 매우 긴 수행시간이 필요하고 칼라의 분포가 임의적일 경우 판단기준이 만족되지 못한다는 단점이 있다. Stevens는 히스토그램 기반의 칼라 일치성 테스트를 이용하여 이런 문제를 해결하고자 하였다[6]. 이를 통해 임의적인 문턱치 선정의 문제점을 해결하였지만 히스토그램의 경계에서는 작은 값의 차이로 인해서 불일치가 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 칼라 일치성 테스트에서 기존에 사용되었던 방법들의 문제점을 해결하기 위하여 각 영역의 칼라 변화에 따라 적응적으로 적용 가능한 이중 가변 문턱치를 이용한 복셀 칼라링 방법을 제안한다.

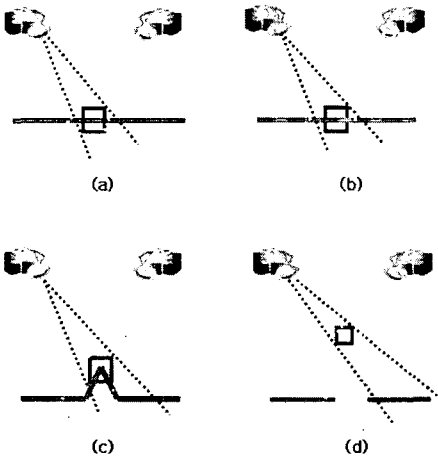
III. 이중 가변 문턱치를 이용한 복셀 칼라링

갑작스러운 칼라 변화와 복잡한 텍스처를 포함하고 있는 물체를 생각해보자. 칼라 변화가 심하거나 텍스처가 복잡한 영역에서 칼라 일치성 테스트가 이루어질 경우에는 높은 문턱치가 필요하다. 그러나 칼라의 변화가 적은 영역에서는 표면 돌출을 최소화하기 위해서 작은 문턱치 값이 필요하다.

따라서 한 물체에서도 영역마다 다른 문턱치가 주

어질 때 더 좋은 복원 성능을 기대할 수 있게 된다. 본 논문에서는 이를 위해서 영역의 칼라 변화에 적응적으로 적용시킬 수 있는 이중 가변 문턱치를 이용한 복셀 칼라링을 제안한다.

영역의 칼라 변화를 [그림 1]과 같이 네 가지로 나누어 생각해보자.



▶▶ 그림 1. 복셀의 존재 영역에 따른 처리.

(a)동일 칼라 영역, (b)칼라 변화가 심한 영역, (c)칼라 경계 부분, (d)제거될 영역

복셀 V 가 보이는 이미지 i 에서의 픽셀들을 π_i^v 라고 하고, π_i^v 의 표준편차를 $s_{\pi_i^v}$ 라고 할 때, 복셀 V 가 보이는 모든 이미지 i 의 표준편차의 평균을 \bar{s} 라 하자. 복셀이 표면에 위치하는 (a), (b), (c)에서 $s_{\pi_i^v}$ 와 \bar{s} 는 동시에 커지거나 작아진다. 복셀이 표면에 위치하지 않는 (d)와 같은 경우, 즉 제거되어야 할 복셀인 경우 \bar{s} 는 작고 $s_{\pi_i^v}$ 는 큰 값을 가진다. 복셀의 존재 영역에 따라 \bar{s} 의 값이 달리 변하기 때문에 이를 이용하여 적응적으로 적용이 가능한 문턱치를 만들 수 있다. 그러나 단일 문턱치의 경우 가중치 요소가 있더라도 일단 정해진 문턱치의 영향이 매우 크기 때문에 모든 영상에 적응적인 문턱치를 구하는데 문제가 있다. 그래서 본 논문에서는 다음과 같이 이중

가변 문턱치를 이용한 식을 제안한다.

$$s_{\pi_i^v} < \tau_1 + \tau_2 \bar{s} \quad (1)$$

식 (1)이 만족될 때 이 복셀은 존재하게 된다. 여기서 τ_1 와 τ_2 은 실험적으로 결정되는 문턱치이다. 복셀이 존재해야 할 (a), (b), (c)의 경우, $s_{\pi_i^v}$ 값의 변화에 따라 \bar{s} 값이 함께 커지거나 작아지고, 복셀이 제거되어야 할 (d)의 경우에는 $s_{\pi_i^v}$ 와 \bar{s} 의 값이 서로 달리 변화하게 된다. 영상들의 평균 표준편차인 \bar{s} 이 칼라 변화에 대한 정보를 포함하고 있기 때문에 가중치 역할을 하게 된다. 이를 통해서 각 영역에 적합한 적응적인 문턱치를 만들어주게 된다. 이처럼 적응적인 문턱치를 이용함으로써 기존 방법에서 문제점으로 지적되었던 칼라 변화가 심하거나 복잡한 텍스처를 가진 물체의 복원에도 좀 더 강인한 성능을 보이게 된다.

IV. 실험 결과 및 고찰

실제 영상에서는 영상 입력과정에서의 다양한 노이즈들에 의해 영상의 칼라 값이 왜곡되게 된다. 또한 정확한 카메라의 보정 정보를 얻을 수 없기 때문에 정밀한 복셀 투영에 대한 보장이 어렵다.

실험에 사용된 영상은 일반적인 디지털 카메라를 이용하여 획득하였다. 실험에 사용한 영상은 640X480의 크기를 가지는 23장의 노란 장미 영상과 1600X1200의 크기를 가지는 20장의 장난감 인형 영상이다. 획득한 영상에서 좀 더 정확한 복원을 위하여 배경 영역을 제거하였다. 카메라의 내부변수와 외부변수에 대한 보정은 Bouguet 카메라 보정 툴킷을 이용하였다[7]. 카메라 보정 정밀도는 최대 0.6 픽셀 이내의 투영오차를 보였다.

제안하는 복셀 칼라링 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 서로 다른 알고리즘의 복원 결과를 [그림 2],

[그림 3]에서 보였다. [그림 2]에서 볼 수 있는 것처럼 최적화된 문턱치를 적용했을 경우에는 고정 문턱치 방법(Seitz의 방법)도 좋은 복원 성능을 보이고 있다. 그러나 [그림 3]의 결과와 같이 문턱치의 최적화가 이루어지지 않았을 경우 매우 나쁜 복원 성능을 보였다. 히스토그램을 이용한 방법(Stevens의 방법)은 전반적으로 좋은 성능을 보이지만 칼라가 급격히 변하는 곳에서의 복원이 제대로 이루어지지 않아 곳곳에 구멍(hole)이 생기는 것을 볼 수 있다. 제안하는 방법은 [그림 2]에서 볼 수 있는 것처럼 칼라가 급격히 변하는 그림자와 영상의 경계 영역에서도 히스토그램을 이용한 방법보다 훨씬 적은 수의 구멍이 발생하는 것을 볼 수 있었다. [그림 3]에서는 문턱치가 최적화되지 않았을 경우 단일 문턱치를 이용한 방법이 물체의 형태를 이루지 못할 정도로 매우 나쁜 복원 성능을 보였고 히스토그램을 이용한 방법은 왼쪽 어깨부분의 복셀을 제대로 제거하지 못해 돌출된 곳을 확인할 수 있다. 이에 비해 제안하는 방법은 왼쪽 어깨부분의 돌출을 잘 제거한 복원결과를 보여준다.

V. 결론

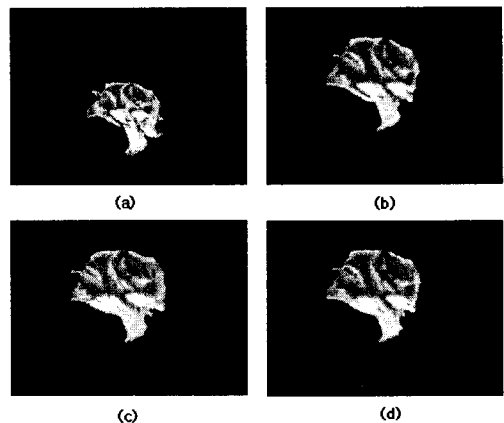
본 논문에서는 영상기반 3차원 형상 복원을 위한 개선된 복셀 칼라링 알고리즘을 제안하였다. 칼라 일치성 테스트에서 이중 가변 문턱치를 적용함으로써 단일 고정 문턱치를 사용했을 때 발생하는 균일 칼라 영역이나 칼라 경계 영역에서 문제점을 해결하였다. 문턱치를 결정해주어야 하지만 문턱치의 최적화 없이도 기존 방법보다 향상된 복원 성능을 보이고 있음을 결과 영상을 통해 확인할 수 있었다. 문턱치는 영상의 통계적인 분석을 통해 구할 수 있으며 이는 향후 연구를 통해 개선시키고자 한다.

■ 참고 문헌 ■

[1] S. Seitz and C. Dyer, "Photorealistic Scene

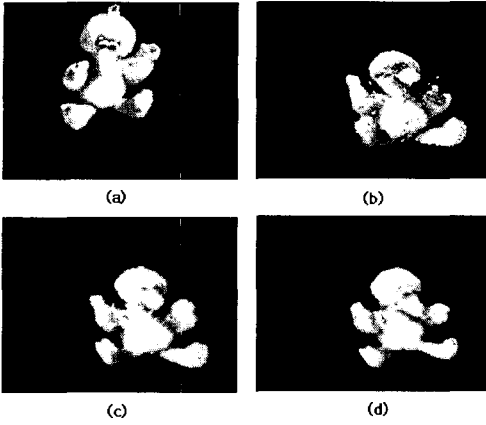
Reconstruction by Voxel Coloring," Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition, vol. 35, pp.151-173, 1999.

- [2] K. N. Kutulakos and S. Seitz, "A Theory of Shape by Space Carving," Proceedings of International Conference on Computer Vision, pp.307-314, 1999.
- [3] K. N. Kutulakos, "Approximate N-View Stereo," Proceedings of 6th European Conference on Computer Vision, pp.67-83, 2000.
- [4] W. B. Culbertson, T. Malzbender, and G. Slabaugh, "Generalized Voxel Coloring," Proceedings of ICCV Workshop on Vision Algorithms, Theory and Practice, pp.100-115, 1999.
- [5] E. Steinbach, P. Eisert, B. Grirod, and A. Bet, "3D Object Reconstruction Using Spatially Extended Voxels and Multi-hypothesis Voxel Coloring," Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition, pp.1774-1777, 2000.
- [6] M. R. Stevens, B. Culbertson and T. Malzbender "A Histogram-based Color Consistency Test for Voxel Coloring," Proceedings of 16th International Conference on Digital Object Identifier, Vol.4, pp.118-121, 2002.
- [7] J. Y. Bouguet, Caltech Calibration Toolbox, http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc



▶▶ 그림 2. 최적 문턱치에서의 복원 결과 영상

(a) 입력 영상, (b) Seitz의 방법, (c) Stevens의 방법, (d) 제안하는 방법



▶▶ 그림 3. 문턱치 최적화를 하지 않은 경우 복원 결과 영상
(a) 입력 영상, (b) Seitz의 방법, (c) Stevens의 방법, (d) 제안하는 방법