

복셀 컬러링을 위한 시점 계획

성 영 훈[°], 윤 일 동[†], 이 상 옥[°]
서울대학교 전기전자공학부[°]
한국의국어대학교 전자제어공학부[†]

View Planning for the voxel coloring

Young Hun Sung[°], Il Dong Yun[†], Sang Uk Lee[°]

School of Electrical Engineering, Seoul National University[°]

School of Electrical and Control Engineering, Hankuk University of Foreign Studies[†]

yhsung@diehard.snu.ac.kr, yun@hufs.ac.kr, sanguk@sting.snu.ac.kr

요 약

여러 장의 입력 영상으로부터 3차원 형상 정보를 복원하는 기법은 크게 스테레오(stereo) 기법과 복셀 기반 방법으로 나누어져 있다. 특히 복셀 기반 방법은 스테레오 기법에서의 대응점 문제를 극복하고 가리어짐 현상이나 컬러의 변화가 적은 영역에서의 형상 복원 능력이 우수한 것으로 알려져 있지만 광학적 외피(photo hull)이라는 근본적인 복원 한계성을 가진다. Photo hull은 바라보는 카메라의 위치에 크게 의존하는 성질을 보인다. 조건에 맞는 최적의 카메라 위치를 결정하는 것을 시점 계획(view planning)이라고 하고 거리 영상(range images)로부터 형상을 복원하는 기법에 활발히 연구되어져 왔다. 본 논문에서는 복셀 기반 방법에서의 단점인 photo hull을 줄이기 위해 최적의 시점을 선택하는 시점 계획(view planning)에 대한 알고리즘을 제안하고 photo hull의 효과를 최소로 하여 형상이 복원되는 것을 실험을 통해 검증한다.

1. 서 론

컴퓨터 비전이란 컴퓨터나 로봇 등의 기계에 인간의 시각적 인지기능을 제공하는 것에 대해

연구하는 분야라고 할 수 있다. 컴퓨터 비전의 연구 분야 중에서 여러 장의 입력 영상으로부터 3차원의 형상을 복원하는 기법이 현재 활발히 연구되어지고 있다. 여러 장의 입력 영상으로부터 3차원의 형상을 복원하는 알고리즘은 크게 스테레오 기법[1]과 복셀 기반 기법[2,3,4,5]으로 나눌 수 있다. 스테레오 기법은 두 영상간의 상관 관계의 정합을 이용하여 3차원 정보를 복원하는 기법인데 두 카메라 간의 거리가 멀 경우(long stereo baselines), 가리어짐 현상(Occlusion effect)이 크게 발생하고 균일한 컬러 영역에서의 대응점을 찾기가 어렵다는 단점을 가지고 있다.

복셀 기반 기법은 실루엣 기반 방법(shape from silhouette)과 영상의 컬러 정보를 이용하는 복셀 컬러링(voxel coloring)[2], 그리고 공간 카빙(space carving)[3,4,5]이 있는데 영상에서의 컬러 정보의 수와 카메라의 위치에 대한 제약 조건에 따라 각각 나뉘어 진다. 복셀 기반 기법들은 삼차원 공간을 복셀(voxel)이라는 이산화된 3차원 격자구조로 나누고 가리어짐이 없다고 판단되는 카메라들에 대한 컬러값의 일치성을 조사하여 그 복셀의 존재 유무를 밝히는 방법으로 비교적 간단한 방법인 동시에 스테레오 기법에서 나타나는 문제점을 극복하였다는 장점을 가지고 있다. 하지만 실루엣 기반 방법은 visual hull 또는 convex hull이라는 불확실한 영역까지

복원하게 되고 복셀 컬러링이나 공간카빙 기법들은 실루엣 기법의 단점을 극복하였지만 photo hull이라는 근본적인 복원의 한계성을 가지게 된다. Photo hull은 카메라의 위치에 따른 입력 영상의 형태에 크게 의존하는 성질을 가지고 있다. 따라서 카메라의 위치를 적절히 조절하면 photo hull의 효과를 최소로 줄일 수가 있다.

시점 계획[6,7]은 최소의 시점과 최적의 시점을 선택하는 것을 목적으로 영상 취득시 카메라의 위치를 결정하는 기법으로서 가리어짐 영역에 대한 문제 해결등을 골자로 거리 영상(range images)로부터 3차원 형상을 복원하는 기법에 활발히 연구되어져 왔다. 본 논문에서는 복셀 컬러링이나 공간 카빙 기법에서의 영상을 취득할 때에 시점 계획 기법을 적용함으로써 최적의 다음 시점을 선택하여 photo hull의 효과를 최소로 줄여 실제 모델에 근사한 3차원 형상을 복원하는 기법에 대해 제안하고 2차원 실험을 통해 알고리즘의 성능을 검증한다.

2. 복셀 컬러링과 공간 카빙

복셀 컬러링 기법은 크게 3단계로 분류할 수 있다. 즉 3차원 공간을 복셀로 나누고 복셀의 가시성(visibility)의 테스트를 통과한 영상들의 칼라 일치성 테스트를 통해 3차원 공간상의 복셀 존재 유무를 판별하게 된다.

2.1 초기 불륨 설정

복셀 기반 방법은 3차원 공간 상의 복셀의 존재 유무를 결정함으로써 형상을 복원한다. 공간 카빙에서는 실제 모델을 모두 둘러싸고 있는 가상의 불륨을 설정한다. 그리고 그 불륨을 복셀이라는 이산화된 3차원 격자구조로 나눈다.

2.2 가시성 테스트

가시성 테스트는 초기 불륨안의 복셀들이 어느 카메라에서 보이는가를 테스트한다. Seitz[7]는 가시성 테스트의 편의를 위해 순서화된 가시성(the ordinal visibility)을 제시하였다. 즉 모든 카메라의 위치를 물체보다 위에 배치하여 카메라와 복셀간의 유클리디안 거리만 조사함으로써 가시성 테스트를 가능하게 했다.

즉 F 와 C 를 3차원 상의 점이라고 하고 j 를 중심을 C 에 둔 카메라로부터 취득된 영상이라고 했을 때 P 가 직선 CC_j 위에 있으면 F 가 C 를 가린다고 할 수 있다. 더욱 일반적으로 말해서 어떠한 복셀의 좌표도 카메라 중심들의 convex hull에 포함되지 않으면 순서화된 가시성 테스트를 만족하는 것이다. 본 논문에서는 가시성의 테스트를 위해 Seitz의 순서화된 가시성 테스트를 이용한다.

2.3 컬러 일치성 테스트

우선 복셀 기반 방법들은 카메라 보정(camera calibration)이 정확하다는 가정과 물체가 영상에 투영될 때 그 컬러값이나 텍스처등의 정보가 보존된다는 가정을 이용한다. 이러한 가정 하에 복셀의 가시성 테스트를 통과한 영상들에 대해 칼라의 일치성 테스트를 한다.

복셀 v 가 영상 I_j 에서 완전히 가리어지지 않을 경우 복셀은 영상의 화소에 투영이 될 것이다. 잡음이나 양자화 오류가 없을 경우, 복셀은 같은 컬러값을 가지고 픽셀들로 투영이 될 것이고, 따라서 가시성 테스트를 통과한 영상들의 $m-1$ 자유도(Degrees of freedom)의 χ^2 분포의 유사도 비율(the likelihood ratio)테스트를 통해 컬러 일치성 테스트가 수행된다.

$$\lambda_v = \frac{(m-1)s^2}{\sigma_0^2} \quad (1)$$

여기서 σ_0^2 는 영상을 취득하는 센서 오차의 표준 편차이고, s^2 는 가시성 테스트를 통과한 영상사취(footprint)들의 컬러 분산 값이다. 이 값이 특정한 문턱치 이하가 되면 복셀에 컬러값을 부여하고 이상이면 투명한 것으로 판단함으로써 형상을 복원하게 된다.

2.4 Photo hull을 줄이기 위한 기존 방법

복셀 기반 방법에서 가장 큰 문제점이 시각적 왜곡이나 photo hull같은 불필요한 부분이 모델과 함께 같이 복원된다는 것이다. 이러한 photo hull의 문제를 해결하기 위해 Tsai[4]는 점진적 강화기준(progressively stricter consistent criterion)을 제안했다. 이는 잡음이 있는 입력 영상

으로부터 형상을 복원시 문턱치값을 점진적으로 변화시킴으로써 잡음이 없는 영상으로부터 복원되는 최소 photo hull에 접근하는 방법을 주장하였다. 하지만 이 경우 최소로 찾은 photo hull 또한 잡음이 없는 영상을 이용했을 경우의 photo hull과 같고 많은 반복과정으로 인해 수행 시간 또한 길다는 단점을 가지고 있다. Kim[5]은 확률 기반 방법을 제안하였다. 이 방법은 실루엣 정보와 컬러값을 동시에 이용하여 3차원 형상을 복원하지만 실제로 전체 복셀 공간에서 실루엣 정보를 이용할 수 있는 복셀의 수가 상대적으로 적기 때문에 photo hull의 축소 효과가 작다.

3. 시점 계획(View Planning)

공간 카빙 기법에서 photo hull은 근본적인 문제이고 그 축소를 위한 연구가 진행되어지고 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 photo hull은 그림1에서처럼 카메라의 위치에 민감하다는 것을 볼 수 있다. 따라서 그림 2에서처럼 적절한 시점의 선택으로 photo hull을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 photo hull은 카메라들과 물체간의 교차에 의해 생성됨으로 양자화 오차를 무시할 경우 반드시 다각뿔(2차원에서는 삼각형)을 형성한다. 이 영역을 불확실한 영역이라고 한다. photo hull은 컬러값의 일치성 테스트를 통해 생길 수 있는 체적의 최대값이기 때문에 반드시 실제 모델이 photo hull을 포함하는 영역 속에 존재하게 된다. 본 논문에서 모델은 불록한 물체라고 가정하고 개념의 편의를 위해 2차원에서의 설명과 실험을 하기로 한다.

먼저 균일하게 분포된 2차원 공간상의 카메라 위치에서 초기 N 장의 영상을 취득하고 공간 카빙 기법으로 초기 형상을 복원한다. 복원된 초기 형상으로부터 각 모서리의 꼭지점을 구한다. 꼭지점은 복셀들에 3×3 마스크를 씌워 50%보다 작게 점유되고 또한 양자화 오차를 고려하여 불록한 두 직선간의 각도 비교를 하여 각 모서리마다 단 한 점으로 구해지게 된다(그림3(c),(f),(i)). Photo hull은 이렇게 구해진 꼭지점과 그 꼭지점을 기준으로 가장 인접한 다른 두 꼭지점들끼리의 다각형안에 포함된다. 따라서 불확실한 영역인 이 다각형의 면적이 크면 클수록 그 안에 포함된 photo hull도 클 것이라고 가정할 수 있다.

만약 물체의 한 면이 직선이라고 가정하고 그 직선 위에 카메라가 있다고 하면 그 면에서는 photo hull이 생기지 않는다. 이는 물체 표면을 따라 카메라가 위치하면 최소의 photo hull을 만든다는 것을 알려준다. 우리는 위에서 말한 photo hull은 카메라와 물체간의 교차에서 생기

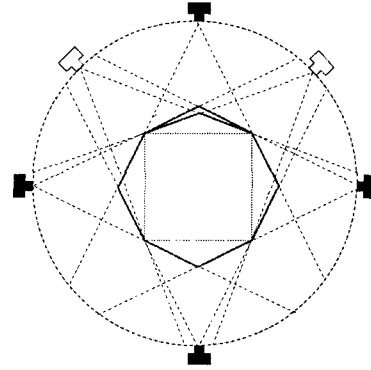


그림 1 카메라의 위치에 따른 photo hull의 변화

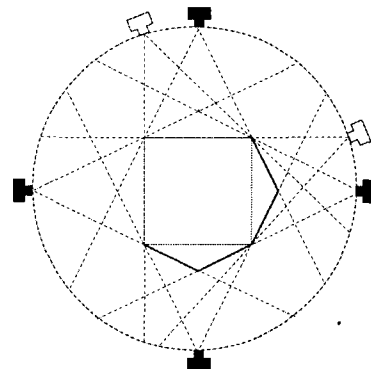


그림 2 새로 선택된 시점과 photo hull의 변화

는 다각뿔 안에 생성되고 물체의 표면과 일치선에 있는 위치에서 바라봤을 때 최소의 photo hull이 생긴다는 사실을 이용하여 최적의 다음 시점을 선택한다. 즉 photo hull이 만든 꼭지점과 인접한 두 꼭지점들을 연결한 직선과 카메라가 놓일 수 있는 원과의 만나는 위치에 시점을 선택한다. 물론 처음의 최적 시점은 다각형의 면적이 가장 큰 부분에서의 시점을 결정하게 된다. 이렇게 선택된 시점에서 영상을 취득하고 미리 취득된 영상과 함께 공간 카빙 기법으로 2차 형상을 복원하게 된다.

4. 실험 결과

본 논문의 알고리즘을 요약하면 다음과 같은 단계를 이룬다.

1. 균일하게 분포된 2차원 공간상의 카메라 위치에서 N장의 입력 영상을 취득한다.

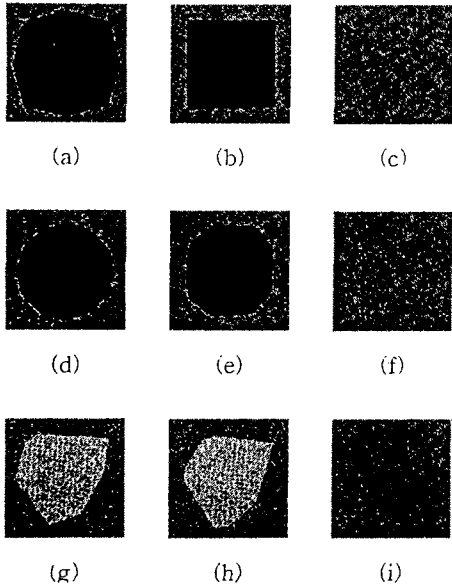


그림3. 실험 결과. (a,d,g)균일하게 분포된 위치에서 취득된 영상에서 복원(a. 정사각형(12장), d.팔각형(12장), g.임의의 오각형(11장)), (b,e,h)시점 계획에 의한 복원 결과(동일 수의 영상), (c,f,i)꼭지점

2. 공간 카빙 기법으로 최초 3차원 형상을 복원한다.
3. 복원된 복셀들을 조사하여 꼭지점을 찾는다
4. 하나의 꼭지점을 중심으로 가장 가까운 다른 두 꼭지점들과의 다각형을 구해 면적을 계산한다.
5. 면적이 가장 큰 다각형을 기준으로 새로운 시점의 위치를 선택한다.
6. 새로 선택된 시점에서 영상을 취득하고 2번부터 반복하면서 형상을 업데이트 한다.
7. 가정한 실제 형상과의 오차를 계산한다.
8. 실제 형상과의 오차를 계산하여 한계값 이내로 들어오면 반복을 중단한다.

위의 실험은 시점 계획에 의한 실험과 균일하게 분포된 위치에서 취득된 영상으로 형상을 복원한 결과를 비교하였다. 좋은 알고리즘일수록 복셀의 수가 빠르게 감소하여야 한다. 그림3과

표1에서 보듯이 시점 계획에 의해 선택된 시점에서 취득된 영상으로부터의 복원 결과가 더 우수하다는 것을 알 수 있다. 표 1은 4장의 영상으로 초기 형상을 복원하고 균일하게 분포된 위치에서 취득된 12장의 영상으로 복원된 형상과 시점 계획을 통한 형상 복원 결과의 복셀 수를 비교하여 시점 계획에 의한 결과가 더 좋음을 보

표 2 균일분포에 의한 형상복원과 시점 계획에 의한 복원 결과

	초기 복셀 수	균일한 시점	시점 계획
정사각형	20100	20092	16415
팔각형	16188	14996	14572
임의 오각형	14064	11654	11444

이고 있다.

5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 복셀 컬러링과 공간 카빙에서의 근본적인 문제점인 photo hull축소를 위해 photo hull의 기하학적인 성질을 이용한 시점 계획의 개념을 도입하여 실제 형상에 가까운 3차원 형상 복원을 하였다. 공간 카빙 기법은 컬러 경계에서는 복원을 하지 못하는 한계점 또한 가지고 있다. 만약 컬러 경계에서의 복원 한계를 극복한다면 경계선의 판별을 통한 시점 계획을 수행하면 더 좋은 결과를 기대할 수 있다. 또한 제안하는 방법을 3차원으로 확대하여 3차원에서의 형상 복원에 대한 실험을 하겠다.

6. 참고 문헌

- [1] Olivier Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision".
- [2] S.M. Seita and C.R. Dyer, "Photorealistic Scene Reconstruction by Voxel Coloring", IJCV '99, 35(2), 151-173.
- [3] K.N. Kutulakos and S.M. Seitz, "A Theory of Shape by Space Carving," Proc. ICCV '99, pp. 307-314, 1999.
- [4] C.M Tsai, C.S. Chen, "Finding minimal Photo Hull for image-based Rendering by Carving Space with Progressively Stricter Consistent Criterion", IAPR Workshop on Machine Vision Application, Nov.2000.
- [5] H.W. Kim, Y.S. Chung, I.S. Kweon, "Probabilistic voxel coloring relaxing photo hull limitation", Proc. IPIU '01, Cheju island,