

시간일관성을 사용한 강인한 평면기반 카메라 추적

김가람 *박한훈 박종일

한양대학교, *부경대학교

grkim@mr.hanyang.ac.kr, *hanhoon_park@pknu.ac.kr, jipark@hanyang.ac.kr

Robust Plane-Based Camera Tracking Using Temporal Coherence

Karam Kim, *Hanhoon Park, and Jong-Il Park
Hanyang University, *Pukyong National University

요 약

모바일 환경에서 평면기반 카메라 추적을 이용해서 가상 물체를 증강시킬 때 강건함과 실시간성은 매우 중요하면서도 서로 상반관계에 있다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해서 인접한 프레임 사이의 시간일관성을 이용한다. 즉, 카메라 움직임이 크지 않다고 가정하고 이전 프레임의 정보로부터 현재 프레임에서의 초기 카메라 포즈를 쉽게 얻을 수 있으며, 이를 이용함으로써 좀더 강건하면서 빠른 평면기반 카메라 추적 방법을 제안한다. 또한, 특징점 추적을 보다 효율적인 방법으로 대체함으로써, 속도 개선을 극대화한다. 실험을 통해서 제안된 방법이 50%정도의 시간이 절약되면서도 강건함이 보장된다는 것을 확인하였다.

1. 서론

카메라 영상 내의 2 차원 평면의 움직임을 추적함으로써, 카메라의 3 차원 움직임을 추적할 수 있다. 흔히, 이러한 방법을 평면기반 카메라 추적이라고 한다. 평면기반 카메라 추적 방법은 다양하지만, 미리 정보가 알려진 평면(참조 영상)의 카메라 영상 내에서 특징점 매칭을 통해 평면의 2 차원 위치를 찾는 방법이 일반적이다. 본 논문에서도 이와 관련된 내용을 다룬다.

특징점 매칭을 위해서는 영상에서 특징점을 추출하고 기술하는 방법이 필요한데, 이와 관련해서도 다양한 방법들이 제안되어 왔다. 그러나, 모바일 환경에서는 보다 속도 지향적이라고 할 수 있는 이진(binary) 특징 기술자가 주로 사용되고 있다. 이진 특징 기술자로 대표적인 것은 BRIEF [1] (Binary Robust Independent Elementary Features)가 있다. BRIEF 는 단순한 알고리즘으로 빠르다는 장점이 있지만 크기 변화와 회전변화에 강건하지 않다는 단점이 있다. 이러한 점에 대응하기 위해서, BRISK [2]의 경우 특징점 검출 단계에서 SIFT [3]나 SURF [4]에서와 같이 영상 피라미드를 이용함으로써 크기 변화에 불변인 특징점을 검출하고, 각 특징점의 주 방향을 찾는 과정을 추가함으로써 회전변화에 불변하는 기술자를 생성한다. 그러나, 이러한 크기, 회전에 불변하기 위해 부가적인 처리를 추가하게 되면 계산의 복잡도가 자연스럽게 증가하게 되기 때문에, PC 환경에 비해 성능이 떨어지는 모바일 환경에서는 사용하기에 적합하지 않게 될 수도 있다. 본 논문에서는 이러한 계산 복잡성의 문제점에 대응하기 위해서 인접한 프레임간의 시간일관성에 기반하여 이전 프레임에서의 호모그래피를 이용하여 입력 영상을 와핑(warping)시켜서 참조 영상과의 호모그래피가 단위 행렬에

가깝도록 만들어 준 뒤에 참조 영상과의 특징점 매칭을 수행한다. 따라서, 크기, 회전 변화에 불변한 특징점 검출 및 기술자를 사용할 필요가 없고, BRIEF 를 사용한다. 제안된 방법은 기존의 호모그래피를 갱신하여 강건성을 높이는 방법 [5]과 유사하지만, 시간일관성에 기반하여 초기 호모그래피를 계산할 필요가 없기 때문에, 속도면에서 크게 개선되었으며, 또한, 특징점을 검출, 기술할 때 크기, 회전 변화에 대한 불변성을 고려하지 않기 때문에, 특징점 검출 및 기술에 소요되는 시간도 크게 줄일 수 있다. 실험을 통해 [5]에 비해 어느 정도의 속도가 개선될 수 있는지를 확인한다.

2. 시간일관성 이용한 호모그래피 개선에 의한 실시간 평면추적

증강현실을 위해서 평면기반 카메라 추적을 할 때, 증강된 가상 물체를 사용자가 보면서 상호작용이 있기 때문에 카메라의 움직임이 크게 변하지 않는다는 특징이 있다. 이런 경우에는 이전 프레임의 정보와 현재 프레임의 정보가 크게 차이 나지 않는다. 이를 시간일관성이라고 한다. 이러한 특징을 이용해서 이전프레임과 이전 프레임 사이의 미소 호모그래피 차이만을 업데이트 해주는 형식으로 평면을 추적하면 고속으로 강건한 평면 추적을 할 수 있다.

카메라 영상이 들어왔을 때, 이전 프레임과 현재 프레임의 변화가 크지 않다고 생각하면 이전 프레임에서 구한 호모그래피의 역행렬로 현재 프레임을 와핑해 주었을 때, 참조 영상과 약간의 차이만 존재하게 된다. 이렇게 와핑된 영상과 참조 영상 사이의 매칭을 해서 호모그래피를 다시 구해주고 이전에 사용했던 호모그래피에 곱해서 현재 프레임의

호모그래피로 사용한다. 이에 대해서 정리를 해주면 다음과 같이 쓸 수 있다.

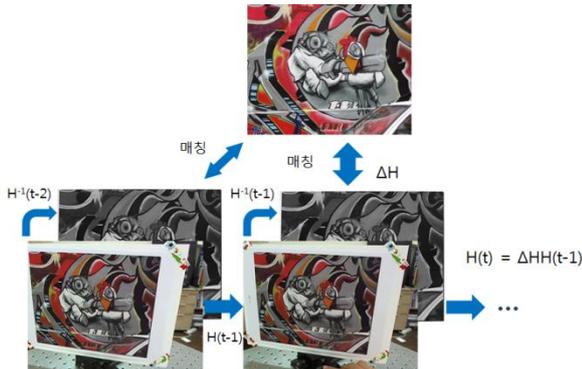


그림 1. 카메라 영상이 들어오면 이전에 구한 호모그래피 $H(t-1)$ 이용해서 영상을 왜곡시키고 레퍼런스 영상과 다시 매칭시켜서 호모그래피의 변화량 $\Delta H(t)$ 를 구해서 $H(t-1)$ 과 곱해준다.

$$H(t) = \Delta HH(t-1) \quad (1)$$

이렇게 새로 업데이트 한 호모그래피는 카메라의 움직임이 크지 않다는 가정 아래에서 그 다음 프레임에서 입력이 들어오면 방금 전에 구한 호모그래피를 이용해서 새로운 영상에 대해서 호모그래피를 업데이트 해준다. 구해진 호모그래피로부터 카메라 포즈 행렬을 구하는 과정은 [6]에서 주어진다.

3. 실험 결과

실험을 위해 웹 카메라(Logitech HD 프로웹캠 C910, 640x480)을 이용하여 미리 알고 있는 평면(다양한 패턴을 가진 평면을 사용)을 주어진 위치 및 각도로 고정시키거나, 선반의 도르레에 고정시켜서 정해진 각도 및 크기로 회전, 이동하면서 촬영하였고(즉, 카메라 움직임에 대한 ground truth 를 가짐), FAST 특징점 검출자를 이용해서 특징점을 검출, BRIEF 특징 기술자를 이용해서 특징점을 기술하고 매칭하였다.

일단, 평면기반 카메라 추적 방법의 지터(jitter)에 대한 취약성을 보여주기 위해 정지 영상에 대해서 일반적인 평면기반 카메라 추적 방법(호모그래피 갱신 없이 매 프레임 독립적으로 참조 영상과의 호모그래피를 구함)과 제안된 방법의 처리 시간과 흔들림을 측정하였다. 결과는 표 1 과 같다.

표 1. 제안된 방법에 의한 계산 속도 개선 및 지터 감소율

계산 속도 (ms/frame)		제안된 방법에 의한 지터 감소율 (%)
기존 평면기반	제안된 방법	
208.53	19.08	38.75

표 1 를 보면 알 수 있듯이 제안된 방법이 카메라 포즈를

추정하는데 있어, 50% 정도의 시간이 절약된다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 기존 평면 기반 카메라 추적 방법은 이전 프레임의 정보가 없기 때문에 호모그래피 계산을 위해 크기 및 회전에 불변인 특징점 추적 방법을 사용해야 하지만(실험에선 ORB 를 사용했음[7]), 제안된 방법은 이전 프레임의 정보를 이용하기 때문에 보다 고속의 특징점 추적 방법(즉, BRIEF)을 사용할 수 있었기 때문이다. 또한, 제안된 방법은 갱신을 통해 보다 정확한 호모그래피를 계산하기 때문에 흔들림의 측면에서 도 더 좋아진다는 것을 알 수 있다.

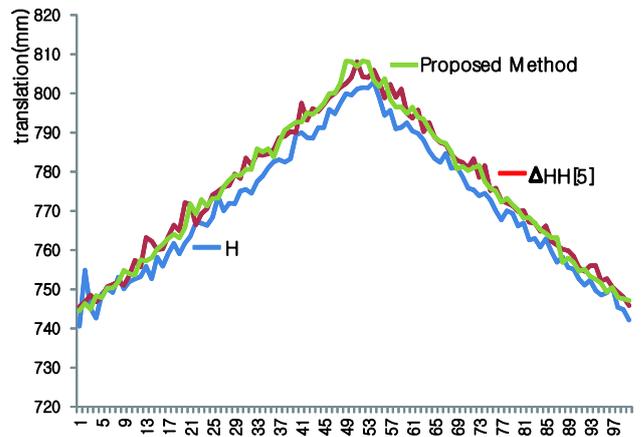


그림 2. 카메라의 이동에 대한 각 방법의 성능 비교. 일반적인 평면기반 카메라 추적 방법(H 로 표기), [5]의 방법(ΔHH 로 표기), 제안된 방법에 의해 추정된 카메라 광축 방향으로의 이동 값.

그림 2 와 표 2 는 카메라를 고정시켜 놓고 평면 패턴을 일정 축에 대해서 일정한 변이 값으로 이동시키는 경우에 일반적인 평면기반 카메라 추적 방법, [5]의 방법, 제안된 방법을 이용한 경우에 계산 속도 및 일반적인 평면기반 카메라 추적 방법 대비 지터 감소율 결과를 보여준다. 두 방법 모두 지터를 줄이는 효과가 존재한다. 제안된 방법의 경우에는 [5]의 방법보다 속도와 지터 감소율에 대해서 더 나은 결과를 보여준다. 그 이유는 이전 프레임과 현재 프레임의 차이가 크지 않은 상태에서 특징 기술자를 더 성능이 좋은 특징 기술자인 BRIEF[1]를 사용하게 되면 더 정확하게 매칭이 되기 때문에 지터가 감소하는 효과를 얻을 수 있다. 또한 이전 프레임의 정보를 쓰기 때문에 초기 호모그래피를 구하기 위한 과정이 생략되므로 속도 면에서 또한 큰 이득을 얻는다는 것을 알 수 있다.

표 2. 이동만 있는 경우에 제안된 방법과 [5]의 방법에 의한 계산 속도 및 지터 감소율

계산 속도 (ms/frame)		지터 감소율 (%)	
[5]의 방법	제안된 방법	[5]의 방법	제안된 방법
256.33	20.55	9.31%	26.89%

그림 3 과 표 3 은 카메라를 고정시켜 놓고 평면 패턴을 일정 축에 대해서 일정한 각도로 회전시키는 경우에 각 방법을 이용하여 카메라 포즈를 계산한 것이다. 이동의 경우와

마찬가지로, 제안된 방법은 [5]의 방법에 비해 속도 면에서 크게 개선되며, 안정성 면에서도 큰 차이를 보이지 않음(오히려 개선됨)을 알 수 있다. 이는 BRIEF 는 회전 불변성을 가지지 않지만, 이전 프레임에서의 호모그래피를 사용하여 현재 프레임을 참조 영상과 거의 유사하도록 외평하여, 회전 불변성에 대한 취약점을 없앴기 때문이다.

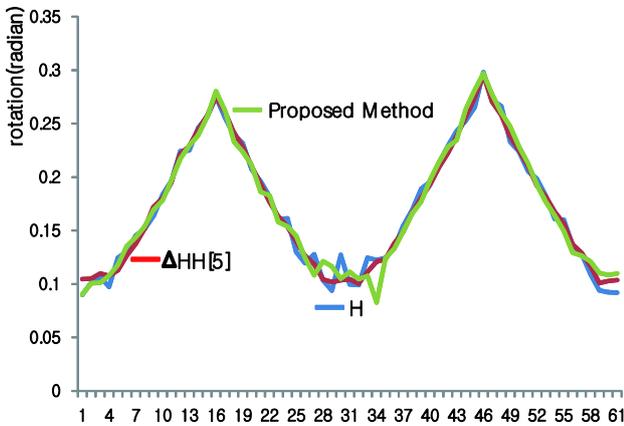


그림 3. 카메라의 회전에 대한 각 방법의 성능 비교. 일반적인 평면기반 카메라 추적 방법(H 로 표기), [5]의 방법(ΔHH 로 표기), 제안된 방법에 의해 추정된 카메라 광축을 기준으로 한 회전 값.

표 3. 회전 움직임에 대한 제안된 방법과 [5]의 방법에 의한 계산 속도 및 지터 감소율

계산 속도 (ms/frame)		지터 감소율 (%)	
[5]의 방법	제안된 방법	[5]의 방법	제안된 방법
225.43	21.78	19.10%	25.11%

4. 결론

본 논문에서 평면기반 카메라 추적을 할 때 강건성을 유지하면서도 빠른 속도를 내기 위해서 이전 프레임의 호모그래피를 이용해서 현재 입력영상을 외평해서 현재의 호모그래피를 구하는 방법을 제안하였다. 카메라의 움직임이 크지 않다는 가정아래에서 제안된 방법을 이용하면 특징 기술자 자체의 단점을 보완해줄 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. 향후에는 이러한 방법을 이용하면서 기존에 존재하는 이전 프레임의 정보를 이용하는 다양한 방식과 접목시킬 예정이다.

참고 문헌

[1] M. Calonder, V. Lepetit, C. Strecha, and P. Fua, "BRIEF: Binary robust independent elementary features," Proc. of ECCV, 2010.

[2] S. Leutenegger, M. Chli, and R. Y. Siegwart, "BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints," Proc. of

ICCV, 2011.

[3] D.G. Lowe, "Distinctive image features from scale invariant keypoints," International Journal of Computer Vision, vol. 60, pp. 91-110, 2004.

[4] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool, "SURF: Speeded up robust features," Computer Vision and Image Understanding, 110(3):346-359, 2008.

[5] 김가람, 박정식, 박한훈, 박종일, "반복적 호모그래피 개선에 의한 강건한 평면 추적," 한국방송공학회 하계학술대회 논문집, 2012

[6] R. Hartley, A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2004

[7] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, and G. Bradski, "ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF," Proc. of ICCV, 2011.