

원형 샘플 화소와 호모그래피 예측을 이용한 반자동 카메라 캘리브레이션 방법

신동원, 호요성
광주과학기술원 영상통신연구실
{dongwonshin, hoyo}@gist.ac.kr

Semi-auto Calibration Method Using Circular Sample Pixel and Homography Estimation

Dong-Won Shin, Yo-Sung Ho
Gwangju Institute of Science and Technology

요 약

최근 깊이 영상 기반 렌더링 방법을 이용하여 제작된 3차원 콘텐츠가 우리의 눈을 즐겁게 해주고 있다. 이러한 깊이 영상 기반 렌더링에서는 필연적으로 색상 카메라와 깊이 카메라 간의 시점 차이가 발생한다. 따라서 두 시점을 일치시키는 전처리 과정으로서 카메라 파라미터가 중요한 역할을 수행한다. 카메라 파라미터를 획득하는 과정으로 카메라 캘리브레이션이 수행된다. 널리 사용되는 기존의 카메라 캘리브레이션 방법은 평면의 체스보드 패턴을 여러 자세로 촬영한 다음 패턴 특징점을 손으로 직접 선택해야하는 불편함이 따른다. 따라서 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 원형 샘플 화소 검사와 호모그래피 예측을 이용한 반자동 카메라 캘리브레이션을 제안한다. 제안하는 방법은 먼저 FAST 코너 검출 알고리즘을 이용하여 패턴 특징점의 후보를 영상으로부터 추출한다. 다음으로 원형 샘플 화소를 검사하여 후보군의 크기를 줄인다. 그리고 호모그래피 예측을 통해 손실된 패턴 특징점을 보완하는 완전한 패턴 특징점군을 획득한다. 마지막으로 화소 정확성 향상을 통해 실수 단위의 정확성을 가지는 패턴 특징점의 위치를 획득한다. 실험을 통해 제안하는 방법이 기존의 방법과 비교하여 카메라 파라미터의 정확성은 유지하고 수작업의 불편함을 해소할 수 있음을 확인했다.

1. 서론

최근 깊이 영상 기반 렌더링을 통해 합성된 다시점 영상, 3차원 모델 등 다양한 3차원 콘텐츠가 만들어지고 있다. 이러한 콘텐츠들은 3차원 TV, 3차원 모니터와 같은 디스플레이 장치와 3D 프린터와 같은 출력 장비를 통해 우리의 눈을 즐겁게 해주고 있다 [1].

깊이 영상 기반 렌더링은 기존의 색상 영상과 더불어 카메라에서 물체까지의 거리를 나타내는 깊이 영상을 이용하여 물체의 3차원 정보를 표현하고 가상 시점의 영상을 합성하는 기술이다. 깊이 영상 기반 렌더링에서 필연적으로 색상 카메라와 깊이 카메라 간의 시점 차이가 발생하기 때문에 두 시점을 일치시키는 전처리 과정으로서 카메라 파라미터는 중요한 역할을 수행한다. 또한 다시점에서 얻은 깊이 정보를 이용하여 3차원 정보를 다룰 때도 카메라 파라미터가 큰 역할을 수행하기 때문에 반드시 필요하다.

카메라 파라미터는 크게 내부 파라미터와 외부 파라미터로 구성되어 있다. 내부 파라미터는 카메라 내부의 영상 센서와 카메라 렌즈 사이의 관계를 나타내고 크게 초점 거리와 주점 좌표로 구성되어 있다. 초점 거리는 영상 센서와 카메라 렌즈 사이의 거리를 나타내고 주점 좌표는 카메라 렌즈의 광학 축이 영상 센서와 만나는 점의 좌표를 의미한다. 외부 파라미터는

2차원의 카메라 좌표계와 3차원의 세계 좌표계 사이의 관계를 나타내고 회전 행렬과 이동 벡터로 구성되어 있다. 이동 벡터는 카메라 좌표계가 세계 좌표계의 원점으로부터 떨어진 거리를 나타내고 회전 행렬은 세계 좌표계에 대해 카메라 좌표계가 회전한 정도를 나타낸다.

카메라 캘리브레이션은 이러한 카메라 파라미터를 획득하는 방법으로서 Zhang이 제안한 카메라 캘리브레이션 방법이 널리사용되고 있다 [2]. 이 방법은 크게 세 단계로 구성되는데 첫번째로 카메라로부터 다양한 자세에서 촬영된 평면의 체스보드 패턴 영상을 획득한다. 다음으로 촬영된 패턴 영상에서 패턴의 교차점인 패턴 특징점을 정확하게 검출한다. 마지막으로 검출된 패턴 특징점을 이용하여 카메라 파라미터 값을 미지수로 가지는 선형 방정식을 구성하여 푼다. 그런데 기존의 방법은 패턴 특징점을 검출하는 단계에서 사람이 직접 손으로 영상에서 점들을 선택해야하는 불편함이 존재한다. 따라서 카메라의 갯수와 영상의 수가 늘어남에 따라 카메라 캘리브레이션 작업은 큰 부담이 된다.

본 논문에서는 기존의 방법의 문제점을 해결하기 위해 인간의 개입을 최소화한 반자동으로 패턴 특징점을 검출하는 방법을 제안하고 실험을 통해 기존의 방법과 비교하여 카메라 파라미터의 정확성은 유지하고 수작업의 문제점은 해소했다.

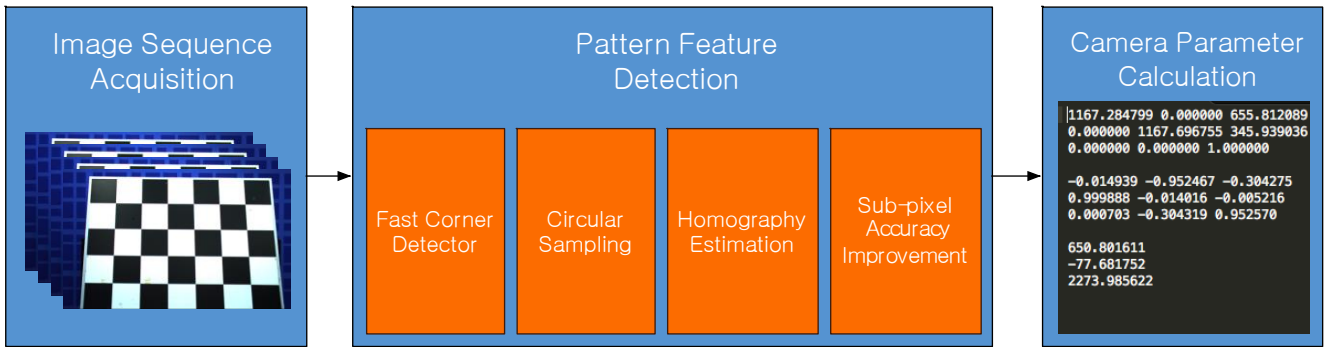


그림 1 제안하는 방법의 흐름도

2. 제안하는 패턴 특징점 검출 알고리즘

그림 1은 제안하는 방법의 흐름도를 나타낸다. 기존의 방법과 비교하여 패턴 특징점을 검출하는 단계에서 네 단계의 세부 과정이 존재한다.

2.1 FAST 특징 검출 알고리즘

FAST (Features from Accelerated Segment Test) 특징 검출 알고리즘은 영상에서 특징점을 검출하는데 사용되는 알고리즘으로서 높은 재현성과 속도가 빠른 장점이 있다 [3]. 본 논문에서는 FAST 알고리즘을 이용하여 영상으로부터 패턴 특징점의 후보를 추출한다. 그림 2는 FAST 알고리즘을 획득한 패턴 영상에 수행한 결과이다.

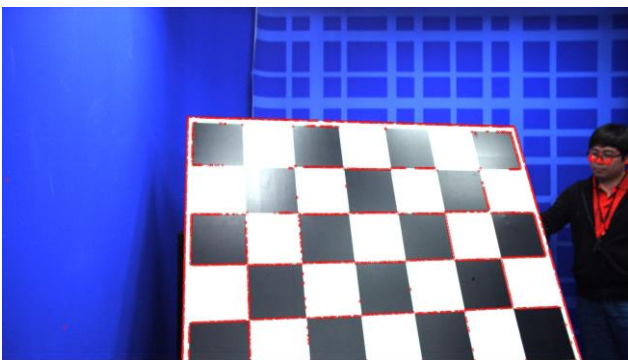


그림 2 FAST 코너 검출 알고리즘 결과

그림 2에서 빨간색으로 표시되는 부분이 특징으로 검출된 부분이다. 이 결과에 다음 단계의 원형 샘플 축소 검사를 수행해 패턴 특징점의 후보군을 줄인다.

2.2 원형 샘플 축소 검사

원형 샘플 축소 검사 단계에서는 이전 단계에서 특징으로 검출된 위치를 원점으로 하는 원을 그리고 그 원주 상에 존재하는 샘플 화소의 값을 검사하여 패턴 특징점의 후보군을 줄이는 방법이다. 원형 샘플 축소 검사를 도식화한 그림이다.

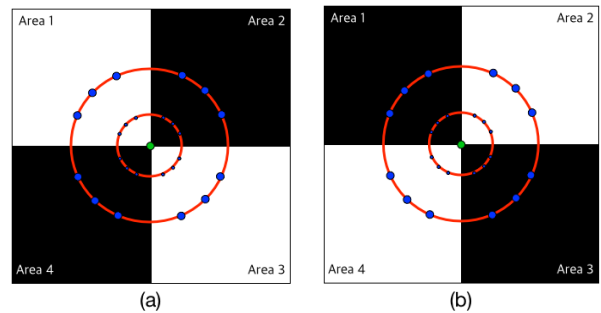


그림 3 원형 샘플 축소 검사

녹색 패턴 특징 후보점을 원점으로 하는 빨간색 원 위의 파란색 점이 원형 샘플 축소이며 이 축소들의 값을 검사하는데 체스보드 패턴의 경우 패턴 특징점에는 2가지 경우가 존재한다. 그림 3(a)의 경우, 영역 1과 영역 3의 원형 샘플 축소가 흰색이고 영역 2와 영역 4의 원형 샘플 축소가 검은색이면 이 후보점을 패턴 특징점으로 결정한다. 다음으로 그림 3(b)의 경우, 영역 1과 영역 3의 원형 샘플 축소가 검은색이고 영역 1과 영역 3의 원형 샘플 축소가 흰색이면 이 후보점을 패턴 특징점으로 결정한다. 그림 4는 원형 샘플 축소 검사의 결과를 보여준다.

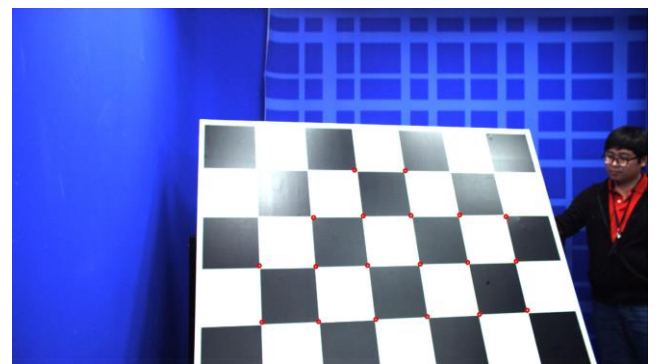


그림 4 원형 샘플 축소 검사 수행 결과

그림 3의 결과로부터 의미있는 패턴 특징점을 추출했지만 캘리브레이션 패턴 좌상단의 빛의 포화 현상 때문에 일부 점들이 손실되었다. 다음 절에서는 이 문제를 해결하기 위해 호모그래피 예측을 수행하여 완전한 패턴 특징점을 획득하는 방법에 대해 설명한다.

2.3 호모그래피 예측

호모그래피 예측은 두 평면에 대한 3차원 공간에서의 임의의 원근투영변환 관계를 예측하는 방법으로 주어진 두 평면위의 점군으로부터 호모그래피 변환행렬을 계산한다. 본 논문의 호모그래피 예측 단계에서는 이전 단계의 결과에서 빛의 포화 또는 부족 현상 때문에 패턴 특징점을 찾지 못하는 문제를 해결하기 위하여 이상적인 패턴 특징점군과 검출된 패턴 특징점군 사이의 호모그래피를 계산하여 점의 손실을 보완하는 방법을 제안한다. 그림 5는 호모그래피 예측을 통한 패턴 특징점 검출 과정을 도식화한 그림이다 [4].

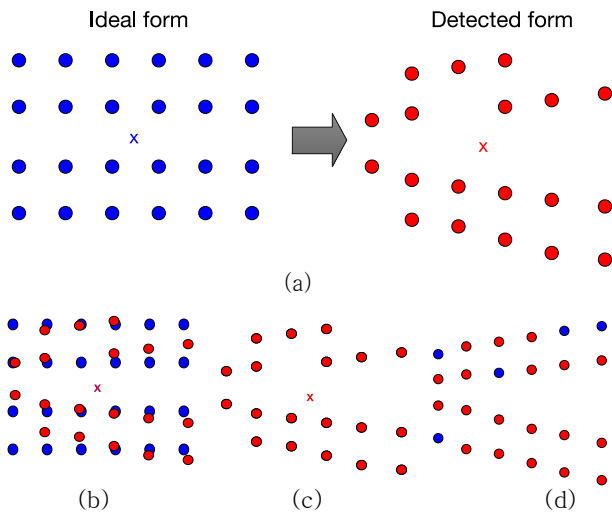


그림 5 호모그래피 예측을 통한 패턴 특징점 검출

먼저 그림 5(a)와 같이 이상적인 패턴 특징점군(파랑)과 검출된 패턴 특징점군(빨강)이 주어져 있을때 두 점군 간의 중심을 그림 5(b)와 같이 일치시킨다. 그림의 x 표시는 각 점군의 중심을 나타낸다. 그리고 검출된 패턴 특징점군을 기준으로 매칭쌍을 만들어주는데 이 때 각 점에서 거리가 가까운 것을 기준으로 짝을 지어준다. 이 때 그림 6과 같은 단사 형태의 매칭을 만들기 위해 먼저 짝지어진 점은 중복하여 짝지어 지지 않도록 다음 짝짓기 순서에서 제외한다. 검출된 패턴 특징점 군에 대해서 모든 매칭을 수행한 다음 매칭되지 않은 점은 손실된 점으로 간주하고 다음 단계인 호모그래피 계산에서 제외된다. 다음으로 두 점군 사이의 호모그래피 행렬을 계산하여 변환해주면 그림 5(c)와 같이 두 점군이 일치된 형태를 얻을 수 있다. 획득된 호모그래피 행렬을 앞서 제외된 점에 대해서 적용해주면 그림 5(d)와 같은 완전한 패턴 특징점을 획득 할 수 있다.

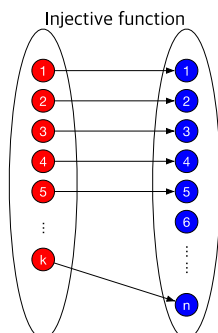


그림 6 단사 형태의 패턴 특징점 매칭

2.4 화소 정확성 향상

호모그래피 예측 단계의 결과로서 손실된 점이 없는 완전한 패턴 특징점은 얻을 수 있었지만 결과가 약간 어긋나거나 정수 단위의 정확성을 가지게 되는 단점이 있다. 따라서 실수 단위의 정확성을 확보하기 위해 본 논문에서는 쌍곡포물면의 방정식을 이용하여 정확성을 향상시킨다 [5].

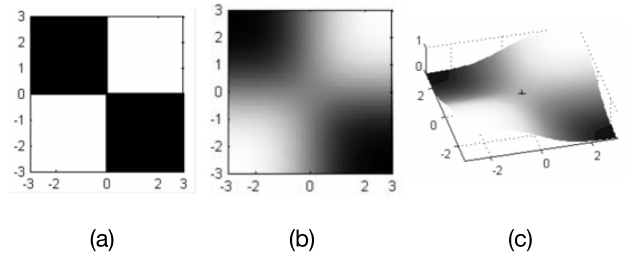


그림 7 화소 정확성 향상

화소 정확성 향상 단계에서는 먼저 그림 7(a)와 같이 영상에서 하나의 패턴 특징점을 중심으로 하는 영역을 추출한다. 다음으로 이 영역을 그림 7(b)와 같이 가우시안 함수를 이용하여 흐림 영상으로 만든다. 흐림 영상으로 만드는 이유는 다음 단계에서 미분 연산을 수행하는데 이산적인 영상 형태보다 연속적인 영상 형태가 적절하기 때문이다. 그림 7(c)는 흐림 영상을 3차원 그래프로 나타내고 있는데 여기서 우리가 찾고자 하는 것은 이 3차원 그래프 표면의 안장점이다. 이 안장점을 찾기 위해 먼저 이 표면을 쌍곡포물면 함수로 정의하고 그 계수를 찾는다.

$$\min_{a,b,c,d,e,f} \sum_{x,y} |(ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f) - I(x,y)|^2 \quad (1)$$

수식 (1)은 쌍곡포물면의 계수를 찾는 비용함수를 나타낸다. 이 식에서 $(ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f)$ 는 쌍곡포물면 의 함수를 나타내고 $I(x,y)$ 는 영상에서 화소 값을 의미한다. 따라서 영역내의 모든 (x,y) 위치에서 두 값의 제곱 차 합이 최소가 되는 계수 a,b,c,d,e,f 를 찾는 것이 이 비용함수의 목적이다. 이 함수의 최적해를 찾기 위해서 잘 알려진 Gauss-Newton방법이나 Levenberg-Marquardt방법을 이용하여 계수를 얻는다. 다음으로 쌍곡포물면 함수의 계수를 얻고나서 이 함수의 안장점을 찾아야 하는데 이는 쌍곡포물면 함수의 x에 대한 1계 도함수와 y에 대한 1계 도함수의 교점이 된다. 따라서 수식 (2)와 같은 선형방정식을 풀게 되면 우리가 얻고자 하는 안장점 (x,y) 의 위치를 구할 수 있다.

$$\begin{cases} F_x(x,y)=0 \\ F_y(x,y)=0 \end{cases} = \begin{cases} 2ax + by + d = 0 \\ bx + 2cy + e = 0 \end{cases} \quad (2)$$

따라서 이 결과로 쌍곡포물면 함수의 안장점 (x,y) 위치를 구하게 되면 이는 이전 단계에서 얻은 정수 단위의 패턴 특징점의 위치보다 더 정확한 실수 단위의 위치로 갱신할 수 있게 된다.

3. 실험 결과

실험환경은 다음과 같다. 영상 크기는 1920×1080크기이고 카메라 시스템은 5대의 카메라가 평행형으로 구성되어 있다. 각 카메라로부터 10장의 체스보드 패턴 영상을 촬영하여 하나의 시퀀스 당 5*10=50장의 패턴 영상이 획득된다. 총 5개의 시퀀스를 촬영하여 5*50=250장의 패턴 영상에 대해 실험을 수행했다.

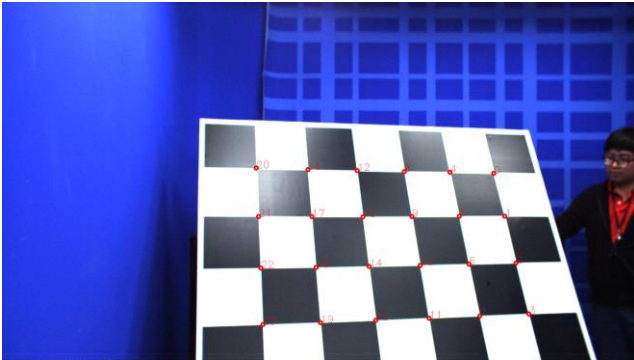


그림 8 제안하는 방법으로 얻은 최종 결과

그림 8은 제안하는 방법으로 얻은 최종 결과를 나타낸다. 빨간색 원으로 표시된 부분이 얻어진 패턴 특징점이다. 그림 8에서 확인할 수 있듯이 카메라 캘리브레이션에 필요한 패턴 특징점의 위치를 잘 찾아내는 것을 알 수 있고 좌상단의 빛의 포화 현상이 있는 부분에도 패턴 특징점이 잘 획득된 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 기존의 방법인 Zhang의 방법을 이용하여 손으로 직접 카메라 파라미터를 구한 결과와 제안하는 방법을 이용하여 반자동으로 획득한 결과의 요소별 차이를 그래프로 나타낸 그림이다. 두 결과의 차이가 매우 작으며 기존의 방법을 대체할 수 있는 수준임을 확인했다.

4. 결론

본 논문에서는 카메라 파라미터를 획득하는 카메라 캘리브레이션에서 패턴 특징점을 반자동으로 획득하는 방법을 제안했다. 먼저 FAST 코너 검출 알고리즘을 이용하여 패턴 특징점의 후보를 영상으로부터 추출하고 원형 샘플 화소 검사 단계를 통해 후보군의 크기를 줄인다. 다음으로 호모그라피 예측을 통해 손실된 패턴 특징점을 보완하는 완전한 패턴 특징점군을 획득하고 화소 정확성 향상을 통해 실수 단위의 정확성을 가지는 패턴 특징점의 위치를 획득한다. 실험결과를 통해 기존의 방법으로 얻은 카메라 파라미터 값과 비교하여 그 차이가 매우 작으나 기존의 방법의 단점인 손으로 직접 패턴 특징점을 선택하는 불편함을 해소했다. 제안하는 방법을 이용하여 수십 개의 카메라가 동시에 사용되는 초다시점 카메라 시스템에서 카메라 캘리브레이션의 수고를 획기적으로 줄이게 할 것을 기대한다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 ‘범부처 Giga KOREA 사업’의 일환으로 수행하였음. [GK15C0100, 기가급 대용량 양방향 실감 콘텐츠 기술 개발]

참고문헌

- [1] C. Fehn, "A 3D-TV approach using depth-image-based rendering (DIBR)," *Proc. of 3rd IASTED Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing*, pp. 482-487, 2003.
- [2] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, 2000.
- [3] E. Rosten and T. Drummond, "Machine learning for high-speed corner detection," *Proc. of the 9th European conference on Computer Vision*, Berlin, Heidelberg, vol. Part I, no. 34, pp. 430-443, 2006.
- [4] R. Hartley, A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge University Press, Cambridge, pp. 200-204, 2003.
- [5] L. Lucchese and S. K. Mitra, "Using saddle points for subpixel feature detection in camera calibration targets," *Circuits and Systems*, vol. 2, no 2, pp. 191-195, 2002.

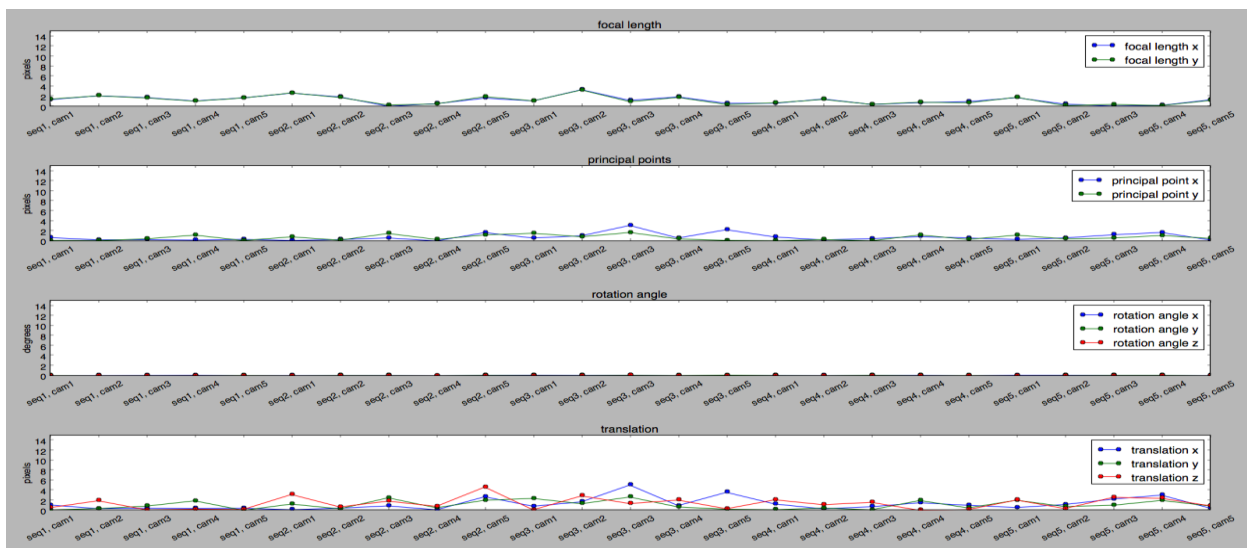


그림 9 기존의 방법과 제안하는 방법의 요소 별 결과 비교