

생활스포츠 환경에서 라인 인/아웃 판정 지원을 돕기 위한 모바일 디바이스 카메라 캘리브레이션에 관한 연구

송누리*, 문지환*, 최재갑*, 박진호**, 김계영**

*송실대학교 융합소프트웨어학과

**송실대학교 소프트웨어학부

e-mail : nuri@soongsil.ac.kr, gkrrydn_ji@naver.com, kor_03@naver.com, j.park@ssu.ac.kr, gykim@ssu.ac.kr

A Study of mobile device camera calibration to support Line in-out decision in sports events

Nu-lee Song*, Ji-hwan Moon*, Jae-gab Choi*,

Jin-ho Park**, Gye-young Kim**

*Dept of Convergence Software, Soong-sil University

**Dept. of Software, Soong-sil University

요 약

최근 모바일 디바이스의 발전으로 기기에 탑재된 카메라를 가지고도 눈으로 인식하지 못할 정도로 빠르게 움직이는 물체들의 고화질 촬영이 가능하게 되었다. 보급형 하드웨어의 고성능화는 생활스포츠 환경 전반에서 거쳐 활용도가 높아지고 있으며, 고가의 초고속 카메라 대신 개인용 모바일 디바이스에 탑재된 초고속 카메라를 이용하여 경기장 내 목표물의 움직임의 촬영이 가능하게 되었다. 본 논문에서는 모바일 디바이스를 이용한 경기장의 라인 인/아웃 판정 지원과 3차원 재구성을 위한 판정 분석 도구 개발과 관련된 모바일 디바이스 카메라 캘리브레이션 방법에 대하여 연구하였다.

1. 서론

최근 모바일 디바이스의 빠른 발전으로 초당 960장 이상의 촬영이 가능한 고화질 촬영 기능의 카메라가 장착되어 출시되고 있다. 보급형 하드웨어의 고성능화는 생활스포츠 환경 전반에 걸쳐 고가의 초고속 카메라를 사용하지 않고도 개인용 모바일 디바이스에 탑재된 초고속 카메라를 이용하여 경기장 내 목표물의 움직임을 촬영하고 경기와 관련된 판정지원에 사용이 가능한 수준에 이르렀다[1,2].

영상으로부터 3차원 공간상의 기하학 정보를 추출하기 위한 일반적인 방법은 다수의 카메라를 이용하는 것이며, 다중 카메라를 사용하여 물체의 재구성과 같은 작업을 수행하기 위해서는 모든 카메라를 통일하기 위한 캘리브레이션 작업이 필요하다[3,4]. 카메라 캘리브레이션은 몇 개의 알려진 대응점을 사용하여 3차원 공간 좌표와 2차원 평면 좌표 사이의 대응 관계를 이용한다[5]. 다중 카메라를 이용할 경우 상대적으로 많은 정보를 추출하여 이용할 수 있기 때문에 가려진 영역의 처리 등에 사용된다. 하지만 획득한 영상의 품질이 달라 영상 처리 시에 문제가 발생할 수 있고, 카메라를 모두 정확히 보정해야 하는 어려움이 존재한다. 본 논문에서는 모바일 디바이스로부터 크기가 정형화된 경기장 라인이 담긴 영상을 획득하여 대응점을 찾아 모바일 디바이스의 카메라 캘리브레이션을 하

는 방법을 제시하였으며, 생활스포츠 환경에서 라인 인/아웃 판정을 지원하기 위한 모바일 디바이스의 효율적 설치 방법 등을 연구 하였다.

2. 관련연구

2.1 카메라 인자

카메라 특성을 나타내는 내부인자(intrinsic parameter)와 위치와 각도 등의 외부인자(extrinsic parameter)로 구성된다. 3차원 공간상에 있는 한 점 P(X, Y, Z)가 2차원 영상 상의 한 점 p(x, y)로 형성되는 기본적인 과정은 식(1)과 같은 원근 투영(perspective projection)에 의하여 이루어진다[6].

$$s \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K[R|T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1)에서 K는 카메라 행렬, [R|T]는 월드 좌표계를 카메라 좌표계로 변환시키는 회전/이동 행렬이다.

카메라의 렌즈 왜곡, 카메라의 중심(주점)은 변하지 않기 때문에 모바일 디바이스 구입 후 한 번만 산출하면 되지만, 카메라 외부인자인 위치와 각도는 모바일 디바이스

가 설치될 때마다 다르기 때문에 경기장에서 실시간으로 산출된다.

2.2 캘리브레이션 기법

카메라 캘리브레이션은 컴퓨터 비전 분야에서 활발하게 연구되었다. 카메라 캘리브레이션 방법 중 DLT(Direct Linear Transformation) 알고리즘을 사용하여 투영행렬을 추정하는 방법은 대표적인 선형 기법으로 영상 좌표계와 월드 좌표계 시스템을 선형함수를 이용하여 모델화하는 방법이다. Zhang의 방법으로 알려진 체스보드를 이용하여 캘리브레이션은 지난 수십년간 가장 많이 사용되어왔고, Miyagawa가 제안한 방법은 두 개의 직교하는 1D 물체를 사용하여 L자 및 T자 모형에서 3~5개의 대응점을 추출하여 캘리브레이션하는 방법을 제안하였다. 또한 Chen은 4개의 동일 평면에 위치한 대응점과 1개의 다른 평면에 위치한 대응점을 가지고 캘리브레이션을 하는 방법을 제안했으며, 체스보드와 같은 특정 마커를 사용하여 카메라 캘리브레이션을 하는 방법 또한 활발히 연구되었다. 연구기법에서는 경기장 라인의 평행성과 직교 성질을 이용하여 카메라 캘리브레이션을 하는 방법을 제안하였고 분석한 결과는 <표 1>과 같다.

3. 실험 환경

본 논문에서는 카메라의 내부인자는 기 획득된 자료를 사용하는 것으로 설정하였다. 모바일 디바이스의 각도 정보는 디바이스 내의 자이로스코프 센서로부터 획득하였고, 모바일 디바이스가 설치된 위치(X, Y, Z)를 산출하기 위해서 경기장을 구성하는 라인들을 사용하였다. 모바일 디바이스로부터 획득한 영상에서 나타나는 경기장 라인들의 수직-수평 관계, 교차점 및 소실점과 소실선 등의 기하학적인 단서들을 사용하여 물체의 2차원 좌표를 획득하였다.

영상 내의 대응점을 정확히 찾지 않으면 캘리브레이션을 했을 때 큰 오차가 발생한다. 이러한 오차를 줄이기 위해서 영상의 이진화, 캐니 에지를 전처리로 사용하였으며, 가장 라인에 유사하게 추출된 선들의 교점을 각각의 대응점으로 설정하였다.



(그림 1) 경기장 라인에서 4개의 대응점 추출

본 논문에서 사용하는 좌표계에는 영상 좌표계, 카메라 좌표계, 월드 좌표계가 있다. 영상 좌표계의 원점은 획득한 영상의 좌상단이며, 카메라 좌표계의 원점은 카메라의 광학 중심, Z 축은 광학축 방향이며, X축과 Y 축은 카메라의 우측 및 위쪽 방향이다. 월드 좌표계는 객체의 3차원 좌표계로 각 축의 방향은 카메라 좌표계의 방향과 일치한다[7].

카메라의 3D 위치 및 자세를 추정하기 위해 경기장 모서리 점을 기준으로 임의의 정사각형 좌표를 설정하였다. 설정한 월드 좌표계의 점들과 이에 대응되는 2차원 영상 좌표 4쌍을 (그림 1)과 같이 영상으로부터 추출하였다.

SolvePnP(solve Perspective-n-Problem)를 사용해 설정한 월드 좌표계를 기준으로 한 카메라의 위치 및 자세 정보를 반환 받는다. SolvePnP는 3D 월드 좌표를 3D 카메라 좌표로 변환시키는 변환 정보(rvec, tvec)을 반환하

Calibration method	정의	특징
DLT method	영상 좌표계와 월드 좌표계 시스템을 선형함수를 이용하여 모델화 하는 방법	대표적인 투영행렬 추정 방법
Zhang's method	2차원 객체의 패턴을 적어도 둘 이상의 다른 방향에서 획득하여 캘리브레이션한 방법	가장 많이 사용되는 캘리브레이션 방법
Miyagawa's method	두 개의 직교하는 1D 객체에 있는 5개의 대응점을 사용한 캘리브레이션 방법	BA(bundle adjustment) 기법으로 정확도 향상
Chen's method	4개의 동일 평면의 대응점과 1개의 다른 평면에 위치한 대응점을 사용한 캘리브레이션 방법	Miyagawa의 방법보다 정확도가 높음
Use marker method	특정 마커의 기하학적인 정보를 활용한 캘리브레이션 방법	증강현실 연구에 많이 사용되는 방법
Proposed method	경기장 라인의 평행성과 직교 성질을 이용한 캘리브레이션 방법	생활스포츠에 사용하기 위하여 개발한 방법

<표 1> 캘리브레이션 기법

며 회전 변환은 Rodrigues 함수로 계산하여 R 이라고 두고 평행이동은 T 라고 둔다[8].

3차원 공간상의 한 점 P 에 대한 월드 좌표를 P_W , 카메라 좌표계에서 봤을 때의 좌표를 P_C 라 할 때 (식 2)와 같은 변환식이 성립한다.

$$P_C = RP_W + T \tag{2}$$

$$P_W = R^{-1}(P_C - T)$$

이때 카메라의 월드 좌표는 카메라 좌표계의 원점에 대응하는 월드 좌표이므로 카메라의 위치는 $R^{-1}(0 - T)$ 로 계산할 수 있다.

4. 캘리브레이션 기법 비교

본 장에서는 기존 캘리브레이션 방법과 제안 방법을 비교 분석하였다. 각각 방법의 장점과 한계점에 대해 비교 분석하였고 분석 결과는 <표2>와 같다.

Calibration method	Analysis	
	장점	단점
DLT method	- 신속하게 해를 결정 가능	- 잡음에 민감 - 어퍼인 투영 시 회전 행렬에 대한 정보 일부 누락
Zhang's method	- 높은 정확도	- 내부 인자 검출을 위해 여러 영상 필요 - 계산을 위하여 각각 영상에서 4개 이상의 대응점 필요
Miyagawa's method	- 3~5개의 대응점만을 사용 - 캘리브레이션에 사용할 물체를 준비하기 쉬움	- 잡음에 민감함 - 렌즈 왜곡으로 인한 정확도 저하
Chen's method	- 5개 대응점 사용 - 단일 영상 사용	- 캘리브레이션 물체가 영상에서 상대적으로 작으면 오류율이 높아짐 - 렌즈 왜곡 고려하지 않음
Use marker method	- 다중 마커를 사용하면 가려짐 현상을 보완가능	- 단일 마커를 사용할 경우 검출 어려움
Proposed method	- 단일 영상 사용 - 대응점 4개 사용 - 대응점 검출 시 여러 라인정보를 활용하여 잡음에 강인함	- 내부 인자를 이미 알고 있다고 가정

<표 2> 캘리브레이션 기법 비교 및 분석

DLT 알고리즘을 이용하려면 기본적으로 6개의 특징점이 있어야 특이 값 분해(SVD, Singular Value Decomposition)로 투영 행렬을 추정할 수 있다. 객체가 동일한 평면에 존재하면 제대로 추정할 수 없다는 문제를 가진다[9]. 또한 Zhang 캘리브레이션은 체스보드를 사용하여 캘리브레이션을 하는 방법을 연구하였다. 이 방법은 정확도가 높지만 캘리브레이션을 하기 위하여 체스보드를 준비해야 하며 내부 인자 검출을 위하여 여러 장의 영상을 필요로 한다[10-12]. Miyagawa는 5개의 대응점을 이용하여 T자나 L자 형의 라인에서 캘리브레이션 방법을 연구하였다[13]. 이 방법은 단일 이미지에서 최대 5개의 대응점만 이용한다는 장점이 있지만 Chen이 연구한 방법보다 오차율이 높다. Chen이 연구한 방법은 5개의 대응점을 추출하기 위한 별도의 물체를 사용하였다[14]. Chen의 방법은 캘리브레이션 물체를 사용하기 때문에 비교적 넓은 공간에서 사용하였을 경우 오차율이 크게 높아졌다. 또한 마커를 활용하여 캘리브레이션을 하는 방법은 캘리브레이션을 하기 위하여 사전에 복잡한 준비 과정을 거쳐야 하는 단점을 가지고 있다[15,16]. 많은 캘리브레이션 연구가 다중 카메라 기반으로 한 호모그래피 방식을 채택하거나 별도의 마커를 사용하였다[14,17]. 본 논문에서는 모바일 디바이스로부터 단일 영상을 획득하여 영상에서 나타나는 각 라인들의 교차점을 대응점으로 설정하였다. (그림 1)에서 (X_1, Y_1, Z_1) 을 원점으로 두고 카메라 위치를 계산한 결과 $(-62.0285, -22.9137, 67.8936)$ 을 획득하였다. 여러 라인의 정보를 활용하기 때문에 잡음에 강인하여 실외 환경의 경기장에서도 활용성이 높으며, 라인 인/아웃 판정을 위한 위치에 모바일 디바이스를 설치하고 위치를 획득하였다.

5. 결론

본 논문에서는 생활스포츠 환경에서 모바일 디바이스를 활용하기 위하여 모바일 디바이스 카메라 캘리브레이션 방법을 연구하였다. <표 2>의 분석과 같이 연구 방법을 사용하면 대응점을 추출하기 위한 별도의 물체 구비하지 않고 경기장의 라인을 통해 모바일 디바이스의 카메라 인자들을 획득할 수 있다. 또한 라인의 교차 정보를 사용하여 대응점을 획득하기 때문에 잡음에 민감하지 않아 라인의 인/아웃 판정 활용에 적합할 것으로 보인다. 연구 방법을 통하여 카메라의 위치와 방향, 즉 카메라 좌표계를 일치시킴으로 추후에 모바일 디바이스를 활용하여 더욱 가시적인 스포츠 판정 영상의 3차원 재구성 등에 이용할 수 있도록 연구하였다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2018-2018-0-01419)

참고문헌

- [1] Pueo, B. (2016). "High speed cameras for motion analysis in sports science" *Journal of Human Sport and Exercise*, 11(1), 53 - 73.
- [2] Lee, Mi-Sook, Cho, Jung-Hwan. "Smart device and wearable technology in improving elite sport performance : A review" *Korean Journal of Sports Science* 26(1), 2017.2, 1219-1235
- [3] L. Wang, F. C. Wu and Z. Y. Hu. "Multi-camera calibration with onedimensional object under general motions" in *Proc. IEEE 11th Int. Conf. Comput. Vis.*, Oct. 2007, pp. 1 - 7.
- [4] G. Wang, H.-T. Tsui, Z. Hu, and F. Wu. "Camera calibration and 3D reconstruction from a single view based on scene constraints" *Image Vis. Comput.*, vol. 23, no. 3, pp. 311 - 323, Mar. 2005
- [5] L Huang, F Da, S Gai. "Research on multi-camera calibration and point cloud correction method based on three-dimensional calibration object" *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 115, April 2019, Pages 32-41
- [6] 이재영. "카메라 캘리브레이션과 왜곡보정" *Korea robotics society review* 10(1), 2013.2, 23-29
- [7] Nulee Song , Man Ki Kim, Gye Young Kim. "Extraction of Camera Parameters for Image-Based Motion Capture" *The 10th International Conference on Computer Science and its Application*
- [8] Dhong Hun Lee. "Camera Position Estimation for UAVs Using SolvePnP with Kalman Filter" *2018 1st IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking (HotICN)*
- [9] Ok Shik Shin, Chan Gook Park. "Pose Estimation Using Linear Method for Single Camera" *The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*
- [10] Z. Zhang. "A Flexible New Technique for Camera Calibration" *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 22, no. 11, pp. 1330 - 1334, Nov. 2000
- [11] Z. Zhang. "Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations" *Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV'99)*, Corfu, Greece, September 1999;666-673
- [12] L. Lucchese. "Geometric calibration of digital cameras through multi-view rectification" *Image Vis. Comput.*, vol. 23, no. 5, pp. 517 - 539, May 2005.
- [13] I. Miyagawa, H. Arai, and H. Koike. "Simple camera calibration from a single image using five points on two orthogonal 1-D objects" *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 19, no. 6, pp. 1528 - 1538, Jun. 2010.
- [14] Chen. "Geometry-Based Camera Calibration Using Five-Point Correspondences From a Single Image" *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, VOL. 27, NO. 12, DECEMBER 2017
- [15] Ji won Moon, Dong woo Park, Hyun suk Jung, Young hun Kim, Sung Soo Hwang. "An Image-based Augmented Reality System for Multiple Users using Multiple Markers" *Journal of Korea Multimedia Society* 21(10), 2018.10, 1162-1170
- [16] Seok-Han Lee, Jong-Soo Choi. "Estimation of Human Height and Position using a Single Camera" *The Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control* 45(3), 2008.5, 20-31
- [17] T. Ueshiba and F. Tomita. "Plane-based calibration algorithm for multicamera systems via factorization of homography matrices" in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis.*, vol. 2. Oct. 2003, pp. 966 - 973