

초고속 카메라 기반 투구 유무 판단 방법

조은지, 김중식, 김민수, 김회율
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

{ejcho, jskim, minsukim}@vision.hanyang.ac.kr, wykim@hanyang.ac.kr

High-Speed Camera-based Pitching Existence Decision Method

Eunji Cho Joongsik Kim Minsu Kim Whoi-Yul Kim

Hanyang University Department of Electronics and Computer Engineering

요 약

본 논문에서는 초고속 카메라 기반 투구 궤적 분석 시스템 자동화를 위한 투구 유무 판단 방법을 제안한다. 기존의 카메라 기반 투구 궤적 분석 시스템에서는 궤적 분석을 위한 투구 영상을 수동으로 확보해야 하는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 투수가 던진 공이 포수를 향해 등가속도 운동을 한다는 특성을 이용하여 자동으로 영상 시퀀스 내 투구 유무를 판단한다. 먼저 프레임 별로 야구공 위치를 추정하고, 추정된 공 위치들을 사용해 공 궤적을 모델링한다. 이후 모델링 된 각 궤적 별로 투구 시작 위치와 종료 위치를 획득하고, 시작 위치와 종료 위치에 대한 편차 값을 기준으로 투구 유무를 결정한다. 제안하는 방법의 정확도를 측정하기 위해 실제 야구 경기를 촬영한 영상을 이용하여 실험하였고, 영상 내 모든 투구를 정확하게 판단했음을 확인하였다.

1. 서론

현재 스포츠 분야에서는 다양한 시스템을 활용하여 선수의 능력 평가 및 전력 분석이 이루어지고 있다. 다양한 시스템을 이용한 선수의 평가와 분석은 경기력을 향상하기 위한 도구로 사용될 수 있다. 특히 여러 스포츠 종목 중 야구 선수들의 투구 및 타격 분석에 관한 연구가 진행되었다 [1]-[4]. 야구 포지션 중 투수는 타자가 타격하기 어려운 투구를 하여 상대의 득점을 저지하는 역할을 하므로, 투수가 던지는 공은 야구 경기에서 승패를 결정짓는 요인 중 하나이다. 이렇듯 야구에서 투구가 중요하기 때문에 투구 궤적을 분석하는 방법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [3]-[4].

투구 궤적을 분석하기 위해 현재 국내 프로 야구에서는 Pitch f/x [5]와 TrackMan [6]을 도입하여 사용하고 있으며, 메이저리그에서는 TrackMan 을 공식적인 분석 시스템으로 사용하고 있다. Pitch f/x 는 카메라 기반 투구 추적 시스템으로

3 대 이상의 카메라를 통해 3 차원 투구 궤적을 검출한다. TrackMan 은 군사용 레이더를 기반으로 공의 움직임을 추적하여 투구뿐만 아니라 타구까지 검출하는 시스템이다. 하지만 국내외 프로 야구에서 사용하는 시스템은 비용 측면에서 볼 때 사회인 야구에서 사용하기에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 초고속 카메라만을 사용하여 3 차원 투구 궤적을 검출하는 방법이 연구되었다 [4].

위와 같은 투구 궤적 분석 시스템에서 투구 유무는 관리자가 경기 중 투구를 관찰하거나 경기 후 투구 영상을 확인하는 작업을 통해 확인 가능하다. Pitch f/x 는 관리자가 지속적으로 경기를 관찰하여 투구 유무를 판단한다 [5]. TrackMan 은 경기 중 수집되는 투구 및 타구의 정보를 데이터베이스 (Database)에 저장한다 [7]. 수집된 방대한 양의 데이터에서 필요한 투구 정보만을 추가적으로 확인하는 작업을 통해 투구 유무를 판단할 수 있다. 초고속 카메라 기반 시스템에서도 투수가 공을 던질 때마다 수동으로 시스템을 동작 시켜 투구 영상을 획득한다. 경기 중이나 연습 투구 시에 촬영된 모든 영상을 저장하고, 저장된

영상을 확인하여 투구 영상만을 확보할 수도 있다. 하지만 지속적으로 경기를 관찰해야 하거나 전체 경기 영상에서 투구 구간을 수동으로 골라내야 하는 단점이 존재한다. 특히 초고속 카메라로 촬영한 영상은 초당 프레임 수가 많기 때문에 투구 구간을 선별하는 작업에 많은 시간이 소요될 수 있다.

본 논문에서는 초고속 카메라 기반의 투구 궤적 분석 시스템의 자동화를 위한 영상 시퀀스 내 투구 유무를 판단하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 일정 영상 시퀀스 내에 투구가 존재하는지 판단하기 위해 투수가 던진 공이 포수를 향해 등가속도 운동을 한다는 특성을 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서 본 논문에서 제안하는 자동 투구 유무 판단 방법에 대하여 설명하고, 3 장에서는 실험을 통해 제안하는 방법의 성능 측정과 결과 분석을 한다. 마지막으로 4 장에서 결론을 맺는다.

2. 제안하는 방법

제안하는 자동 투구 유무 판단 방법의 흐름도는 그림 1 과 같이 크게 야구공 위치 추정과 투구 궤적 여부 판단 과정으로 나뉜다. 실시간 동작을 위해 제안하는 방법은 영상 시퀀스에서 투구 유무를 판단하는 영역을 포수의 앞 영역으로 설정한다. 이후 지정된 관심 영역에서 차영상을 생성하여 야구공 위치를 추정하고, 공 위치 추정 결과를 바탕으로 공 궤적 모델을 생성한다. 생성된 각 궤적 모델 별로 영상 내 대략적인 투구의 시작 위치와 종료 위치를 획득하고, 획득된 위치들을 기반으로 영상 시퀀스 내 투구 유무를 결정한다.

2.1 야구공 위치 추정

야구공 위치 추정 과정은 공 후보 위치 설정과 검증의 두 단계로 구성된다. 먼저, 공 후보 위치 설정을 위해 아래 수식과 같이 이전 프레임과 현재 프레임을 이용하여 차영상을 생성한다.

$$D_i(x, y) = I_{i-1}(x, y) - I_i(x, y). \quad (1)$$

$I_i(x, y)$ 는 영상 시퀀스에서 획득한 i 번째 프레임이며, $D_i(x, y)$ 는 $I_{i-1}(x, y)$ 와 $I_i(x, y)$ 의 차영상이다. 생성된 차영상 내 최대 밝기 값이 사전에 설정된 임계 값 보다 클 경우 해당 위치를 공 후보 위치로 설정한다.

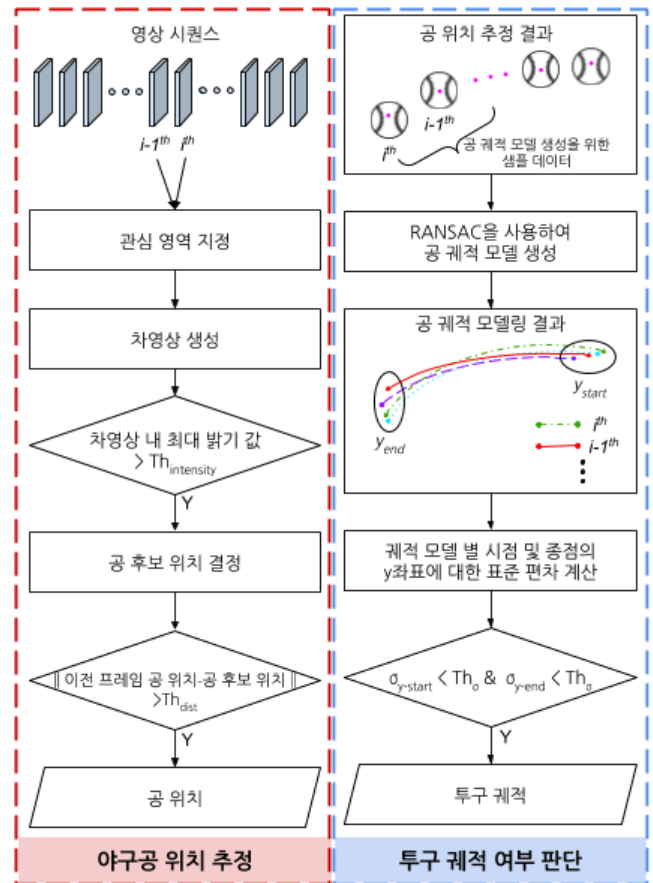


그림 1. 투구 유무 판단 방법 흐름도

다음으로, 현재 프레임의 공 후보 위치와 이전 프레임에서 추정한 공 위치 사이의 유클리디언 거리 (Euclidean distance)를 기반으로 공 후보 위치를 검증한다. 이는 공이 특정 방향으로 움직이기 때문에 이전 프레임과 현재 프레임의 공 위치가 일정 거리 이상의 간격을 가지는 특성을 활용하였다. 계산한 거리가 사전에 설정된 임계 값 보다 작을 경우 후보 위치에 움직이는 공이 아닌 잡음이나 다른 물체가 존재하는 것으로 판단하고, 임계 값 보다 클 경우 후보 위치를 현재 프레임의 공 위치로 결정한다. 여러 프레임에서 이러한 방식을 통해 확보한 공 위치 추정 결과를 이용하여 투구 궤적 여부 판단 과정을 수행한다.

2.2 투구 궤적 여부 판단

투구 궤적 여부 판단 과정에서는 먼저 공 위치 추정 결과를 기반으로 공 궤적 모델을 생성한다. 이후, 현재 프레임까지 모델링 된 궤적들의 정보를 종합하여 획득한 영상 시퀀스 내 투구 유무를 결정한다. 공 위치 추정 결과를 기반으로 공 궤적을 모델링하기 위해 Random Sample Consensus (RANSAC) [8] 알고리즘을 사용한다. 영상

시퀀스에서 i 번째 프레임이 입력되었을 때 첫 번째 프레임부터 i 번째 프레임까지의 i 개 데이터인 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)$ 를 획득한다. 이후 i 개의 공 추정 결과에서 k 개의 샘플 데이터를 임의로 추출하여 i 번째 프레임에서 획득한 공 궤적 모델인 $T_i(x)$ 를 식 (2)와 같이 생성한다.

$$T_i(x) = ax^2 + bx + c. \quad (2)$$

a, b, c 는 최소자승법 (Least squares)을 사용하여 선택된 모델 파라미터이다. 이후 전체 공 추정 위치에 대해서 생성된 모델의 inlier 개수를 구한다. k 개의 샘플 데이터를 뽑아 궤적 모델을 구하는 과정을 N 번 반복 후, 가장 많은 inlier 를 가지는 모델을 최종 궤적 모델로 결정한다.

이후 획득한 궤적 모델 개수와 모델들의 최대 inlier 비율이 사용자가 정한 임계 값 보다 클 경우, 궤적 모델들이 지나가는 영상 내 투구의 시작 위치와 종료 위치를 기반으로 투구 유무를 결정한다. 먼저 영상 내 대략적인 투수와 포수 위치를 투구 궤적의 시점과 종점으로 간주하여 두 위치의 x 좌표 x_s 와 x_e 를 설정한다. 위와 같은 방식으로 획득한 j 개의 궤적 모델 $T_1(x), T_2(x), \dots, T_j(x)$ 에 대하여 두 x 좌표에 대한 y 좌표 값들을 계산한다. $Y_s = \{T_1(x_s), T_2(x_s), \dots, T_j(x_s)\}$ 와 $Y_e = \{T_1(x_e), T_2(x_e), \dots, T_j(x_e)\}$ 으로 계산한 두 표준 편차 $\sigma(Y_s), \sigma(Y_e)$ 가 사전에 설정된 임계 값 보다 작을 경우 획득한 영상 시퀀스가 투구 영상인 것으로 결정한다.

3. 실험 결과 및 분석

약 2 시간가량 촬영된 야구 경기 영상을 사용하여 제안하는 자동 투구 유무 판단 방법의 정확도를 평가하였다. Toshiba telicam BU406m 카메라를 사용하여 초당 179 프레임의 속도로 2048×2048 해상도의 경기 영상을 촬영하였다. 실험 영상을 획득하기 위한 카메라 설치 환경은 그림 2와 같다. 카메라를 1루 덕아웃 (Dugout) 위에 설치하고 마운드 (Mound)부터 홈 플레이트 (Home plate)전까지의 영역을 촬영하였다. 평가에 사용된 투구 궤적 유무 임계 값 Th_σ 는 20 픽셀이며, 이 값은 실험적으로 정하였다.

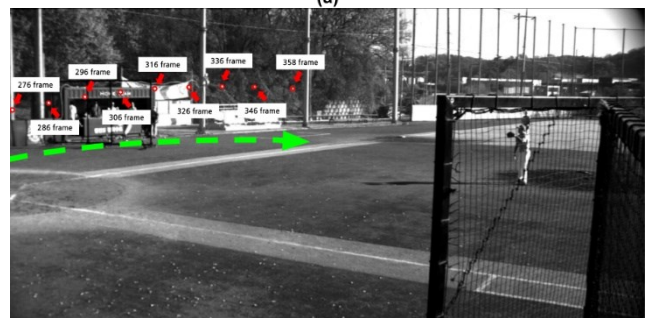


그림 2. 실험 영상 획득을 위한 카메라 설치 환경

투구 유무 정확도 평가 방법은 다음과 같다. 획득한 영상 시퀀스가 투구 영상으로 판단되면 현재 프레임에서부터 2 초 이내의 프레임들을 저장하였다. 저장된 영상 시퀀스가 실제 투구 영상인 경우 투구 유무 판단에 성공한 것으로 간주하였다. 총 120 세트의 영상 시퀀스를 획득하였으며 이 중 113 세트의 영상 시퀀스에서 투구 유무 판단에 성공하여 94.17%의 정확도를 보였다. 제안하는 방법은 113 세트의 실제 투구 영상을 모두 정확하게 판단하였다. 그림 3 은 한 영상 시퀀스에서 공의 움직임을 나타내기 위해 프레임 별 관심 영역을 합친 것이며, 투구 유무 판단 성공 예시는 그림 3 (a)와 같다. 반면, 투구 유무 판단에 실패한 7 세트의 경우는 그림 3 (b)와 같이 영상 왼쪽 바깥에 위치한 포수가 영상의 오른쪽에 위치한 투수 쪽으로 던지는 공으로 인해 오판한 경우이다. 이 경우는 공의 진행 방향을 고려하지 않아 투수가 던진 공의 궤적 형태와 유사하였기 때문에 투구 유무를 잘못 판단한 경우이다. 그림 3 의 빨간색 화살표가 가리키는 것은 해당 프레임에 존재하는 공이며, 점선 화살표는 공이 움직이는 방향을 말한다.



(a)



(b)

그림 3. 투구 유무 판단 예시

(a) 유무 판단에 성공한 경우, (b) 유무 판단에 실패한 경우

다음으로 투구 유무를 판단하는 관심 영역은 그림 4 의 빨간색 사각형과 같고, 투구 영상 촬영 과정에서 획득한 공 위치 검출 예시와 그에 따른 공 궤적 후보 검출 결과는 그림 5와 같다. 그림 5 의 원본 영상은 지정된 관심 영역에서 얻은 영상이며, 그림 5 의 아래 영상은 해당 프레임의 차영상에서 픽셀 값을 반전시킨 영상이다. 반전시킨 차영상에서 빨간색 점은 야구공 위치 추정 결과에서 검출한 공 후보이며, 점선은 해당 프레임에서

공 후보들을 이용해 검출한 투구 궤적 후보이다. 그림 5 (a)는 타자가 휘두르는 배트 (Bat)의 움직임에 의해 야구공이 없더라도 공 후보 위치가 검출된 경우이다. 이때 공 후보 위치를 사용하여 검출한 투구 궤적 후보 ($T_{40}(x)$)는 그림 5 (a)의 아래 파란색 곡선이다. 이 궤적 후보는 실제 투구 궤적의 형태가 아니기 때문에 제안하는 방법은 투구가 존재한다고 판단하지 않는다. 그림 5 (b)의 공 후보 위치들은 실제 투수가 던진 공으로 검출되었다. 이때의 위치 결과를 사용하여 검출한 투구 궤적 후보($T_{316}(x)$)는 실제 투구 궤적 형태와 유사하게 판단되어 투구 궤적으로 판단한다.



그림 4. 투구 유무 판단 영역

투구의 진행에 따라 각각의 프레임에서 검출된 후보 궤적의 시점, 종점의 표준편차 변화는 그림 6 과 같다. 그림 6 에서 볼 수 있듯이 312 번째 프레임에서 투구 궤적의 시점, 종점 위치 변화의 표준편차가 시스템에서 결정한 임계 값보다 작은 것을 알 수 있다. 그러나 제안하는 방법에서는 투구 궤적의 유무를 신뢰성 있게 판단하기 위해 연속적인 5 개 프레임에서 모두 투구 유무 조건을 만족할 때 실제 투구라고 판단한다. 그렇기 때문에 316 번째 프레임에서 시스템은 투구가 실제로 존재한다고 판단하였다. 그림 7 은 연속된 프레임에서의 검출된 투구 궤적 후보 형태를 보인다. 그림 7 의 궤적 후보 검출 결과를 통해서 316 번째 프레임에 가까워질수록 검출되는 투구 궤적 후보 형태가 실제 투구 궤적 형태와 유사하게 보이는 것을 알 수 있다. 또한 이 결과를 통해 최종적으로 해당 시퀀스가 투구라고 판단한 316 번째 프레임의 궤적을 보면 공이 포수까지 오지 않더라도 시스템이 투구 존재 유무를 판단할 수 있음을 확인하였고, 결과적으로 제안하는 방법이 투구가 끝나지 않았음에도 투구 존재 유무를 확인하여 실시간으로도 사용 가능함을 보였다.

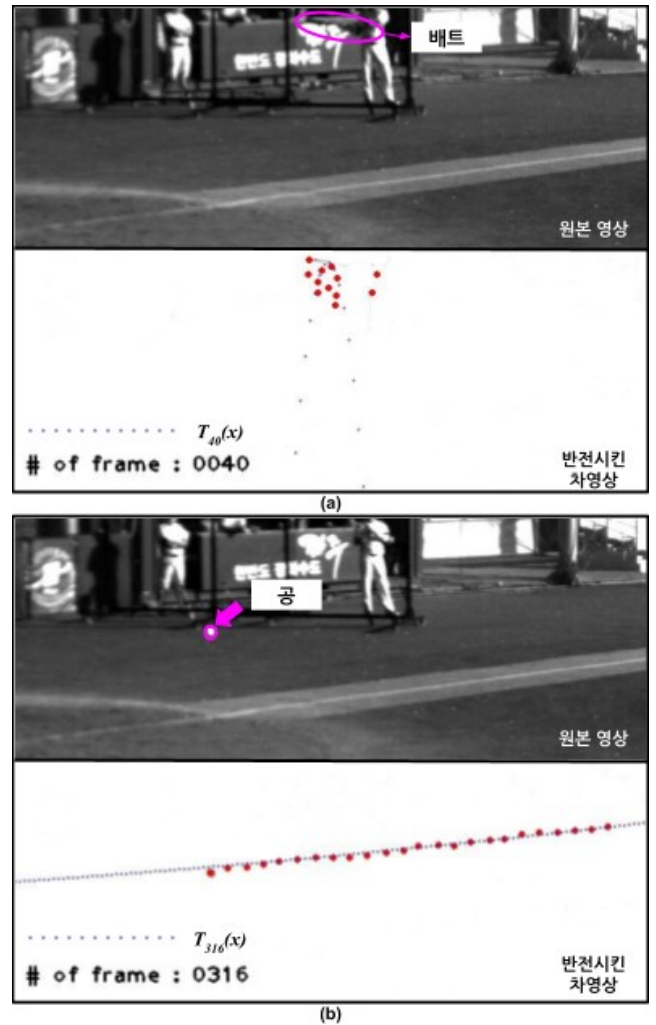


그림 5. 투구 영상 촬영 과정에서 획득한 영상 예시 (a) 투구 궤적이 아닌 경우, (b) 투구 궤적인 경우

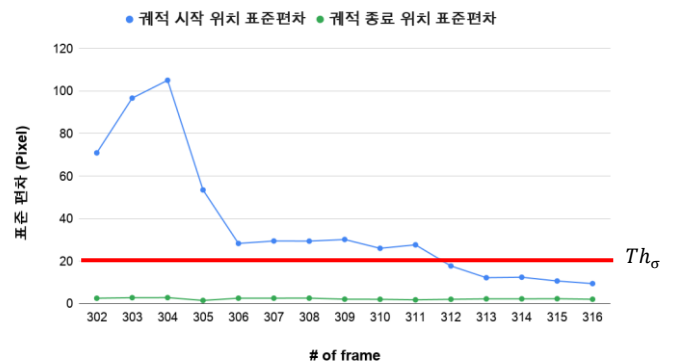


그림 6. 프레임 별 투구 궤적의 시점, 종점 표준편차 값

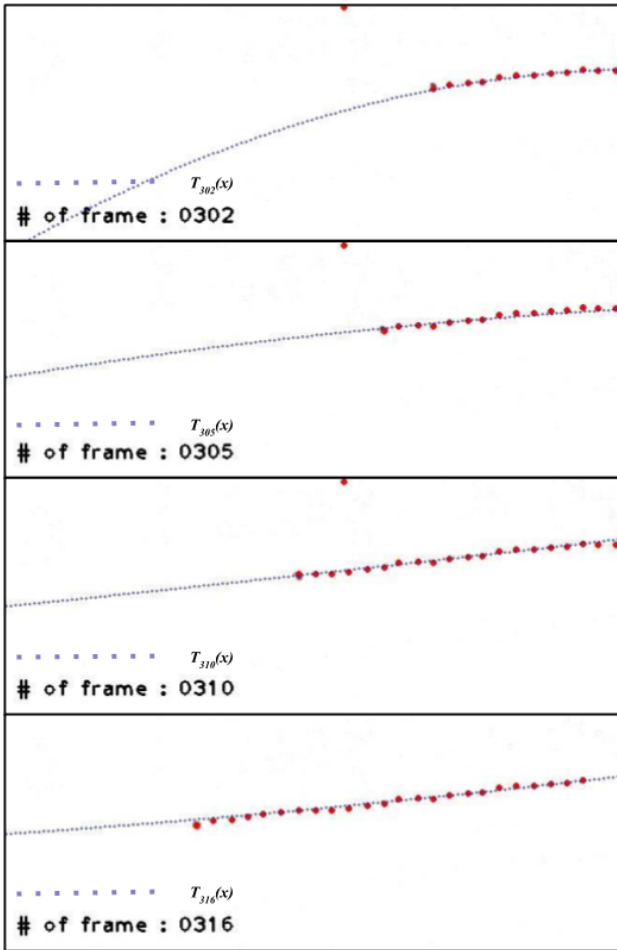


그림 7. 시간에 따른 공 궤적 모델

4. 결론

본 논문에서는 초고속 카메라 기반의 투구 궤적 분석 시스템에서 자동으로 투구 유무를 판단하는 방법을 제안하였다. 투구 유무를 판단하기 위해 투수가 던진 공이 포수를 향해 움직인다는 특성을 이용하여 야구공 위치를 추정하였다. 추정된 공 위치 결과를 이용하여 2 차 다항식으로 공 궤적을 모델링 후 모델링 된 궤적 정보들을 종합하여 투구 궤적인지에 대한 여부를 판단하였다. 실제 야구 경기를 약 2 시간가량 촬영한 영상으로 제안하는 방법의 성능을 측정하였다. 획득한 120 세트의 영상 시퀀스 중 113 세트의 영상 시퀀스에서 투구 유무 판단에 성공하여 94.17%의 정확도를 보였고, 실험 영상에 포함된 모든 투구를 정확히 판단하였음을 확인하였다. 후속 연구에서는 공의 진행 방향을 고려하여 제안하는 방법의 성능을 개선할 예정이다. 또한, 차영상 생성 시 공과 배경색이 바뀌는 문제로 검출하지 못하는 공을 제거하기 위해 차영상의 음의 부호도 고려하여 공 후보 위치를 결정하는 방법을 연구할 예정이다.

참고문헌

- [1] 이승훈, 최형준, “미국 프로야구(MLB) 풀카운트 상황에서 투수의 구질, 구속 변화에 따른 투구 결과 분석,” 한국체육과학회지, 2019, pp. 973-981.
- [2] Y. Altshuler, M. A. Donfrancesco, T. G. Stepsis, “Pitching simulator systems and methods,” U.S. Patent 10 398 957 B2, Sep. 3, 2019.
- [3] S. Miyata, H. Saito, K. Takahashi, D. Mikami, M. Isogawa, and H. Kimata, “Ball 3D trajectory reconstruction without preliminary temporal and geometrical camera calibration,” Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2017, pp. 108-113.
- [4] J. Kim, M. Ra, H. Lee, J. Kim, and W.-Y. Kim, “Precise 3D Baseball Pitching Trajectory Estimation Using Multiple Unsynchronized Cameras,” IEEE Access, 2019, pp. 166463-166475.
- [5] M. Fast, “What the heck is PITCHf/x,” The Hardball Times Annual, 2010, pp. 153-158.
- [6] D. Kagan and A.M. Nathan, “Statcast and the baseball trajectory calculator,” Phys. Teach 55, 2017, pp. 134-136.
- [7] F. Hsieh, K. Fujii, T. Roy, C. J. Hsieh and B. McCowan, “Graphic displays of MLB pitching mechanics and its evolutions in PITCHf/x data,” arXiv:1801.09126., 2018.
- [8] M. A. Fischler and R. C. Bolles, “Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography,” Communications of the ACM, 24(6), 1981, pp. 381-395.