

卒業論文概要書

Summary of Bachelor's Thesis

Date of submission: 01/31/2023 (MM/DD/YYYY)

学科名 Department	情報通信	氏名 Name	福田 大翔	指導 教員 Advisor	渡辺 裕 印
研究指導名 Research guidance	オーディオビジュアル 情報処理研究	学籍番号 Student ID number	1w192320-5		
研究題目 Title	球審視点単眼映像による三次元野球ストライク判定 Three-Dimensional Baseball Strike Decision by Monocular Video from Umpire's Viewpoint				

1. まえがき

近年、多くのスポーツ競技においてフィールドにいる審判のみに判定を委ねない方法の検討が進んでいる。例えば野球では、ABS (Automated Ball and Strike System)[1]と呼ばれるシステムの導入が検討されている。しかし、このようなシステムは使用する機器が高価であり、複数台のカメラ映像を必要とすることから、導入できる施設が限定される。

また、少年野球などでは審判が不足しており、結果として野球経験や審判資格のない保護者が審判を務めるケースが多く存在する。その一方で、少年野球が行われる公共のグラウンドなどではABSのようなシステムの導入は不可能である。

そこで本研究では、高価な機材を用いずに簡易的にストライク判定を行う方法を提案する。

2. 関連研究

2.1 OpenPose

OpenPose[2] は姿勢推定モデルの一種であり、動画内内の人物の骨格情報を推定することが可能である。検出される特徴点の数は機械学習の際に使用するデータセットによって異なる。検出された特徴点のXY座標と信頼度が出力される。なお、XY座標の原点は画面左上の角であり、信頼度は0から1の範囲の値をとる。信頼度は1に近いほど推定が正確であり、検出に失敗した特徴点のXY座標と信頼度は0となる。また、リアルタイムでの処理も可能である。

2.2 YOLO

YOLO(You Look Only Once)は物体検出アルゴリズムの一種である。検出された物体は、フレームごとにX座標の最大値(x_{max})・最小値(x_{min}), Y座

標の最大値(y_{max})・最小値(y_{min}), 信頼度が出力される。なお、XY座標の原点はOpenPoseと同じく、画面左上の角であり、信頼度は0から1の範囲の値をとる。信頼度は1に近いほど推定が正確である。また、リアルタイムでの処理も可能である。

2.3 透視投影変換

透視投影変換は実世界に存在する物体を二次元平面に投影する方法である[4]。変数(X, Y, Z)を実世界座標系の三次元座標, (u, v)を画像平面に投影された点の座標とする。使用するカメラの内部パラメータ行列を A , 外部パラメータ行列を $[R|t]$ とすると、実世界での物体の三次元座標と画像平面での二次元座標の関係は正規化パラメータ s を用いて、式(1)で与えられる。

$$s \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \cdot [R|t] \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3. 提案手法

簡易的にストライク判定を行うために、球審視点単眼映像によるストライクゾーン推定とボール軌道推定を組み合わせるアプローチを提案する。球審視点より取得した投球映像に対して姿勢推定アルゴリズムであるOpenPoseを用いて打者依存のストライクゾーンを算出する。また、物体検出アルゴリズムであるYOLOv5[3]を用いて、投球されたボールの二次元座標情報を取得する。続いて、透視投影の逆変換によりストライクゾーンとボールの二次元座標を三次元座標に変換する。さらに、変換により得た三次元座標を基にストライク判定を行う。提案手法では、画面内での座標取得にOpenPoseとYOLOv5を利用することで、フレーム数により対応付けたストライク判定が可能である。提案手法の概要を図1に示す。

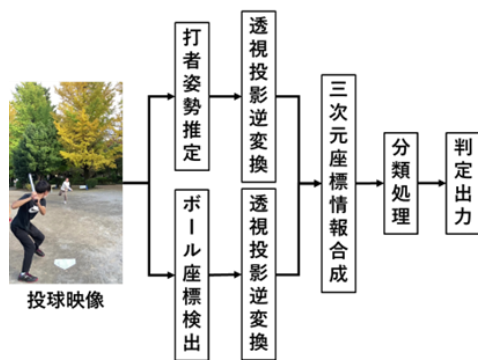


図1 提案手法の概要

4. 実験

ストライク判定をボールとストライクの二値分類とみなし、クラス分類の評価指標である、正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、F値(F-measure)で評価する。使用するデータセットは球審視点により取得した113投球である。正解判定は投手打者捕手の三視点からの判定を基に決定した。従来の二次元でストライクゾーンを再現した場合の判定と提案手法を適用した判定による評価結果を表1に示す。

また、透視投影の逆変換により得られたストライクゾーンとボール軌道の三次元座標情報の合成結果を図2に示す。

表1 分類評価結果

評価指標	従来手法	提案手法
正解率 (Accuracy)	0.76	0.88
適合率 (Precision)	0.93	0.98
再現率 (Recall)	0.53	0.77
F値 (F-measure)	0.68	0.86

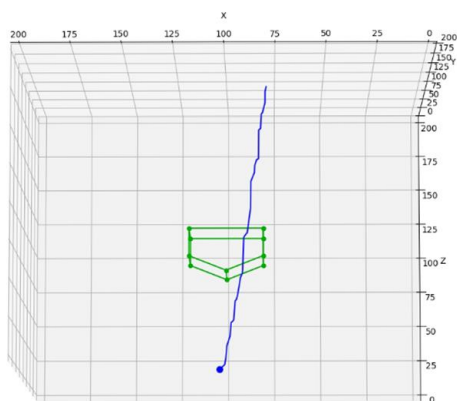


図2 ストライクゾーンとボール軌道の三次元空間内での合成結果

表1より、提案手法がすべての指標で従来の二次元でのストライク判定を上回った。提案手法による正解率(Accuracy)は88%であると考えられる。しかし、試合内で投球されるボールのコースは試合ごとに異なるため、データに依存している可能性がある。

図2より、ストライクゾーンとボール軌道を仮想三次元空間で合成できていることが確認できる。なお、本研究では取得したボール座標を全て接続したため、ボール軌道が滑らかではない形をしている。しかし、ストライク判定はボール軌道の座標を基に行うため、本質的なストライク判定に影響はないと考えられる。

5. 結論

本研究では、球審視点単眼映像によるストライク判定を行う方法を提案した。既存の研究は複数台のカメラ映像や、野球中継映像を用いたものであり、球審視点単眼映像によるストライク判定は初の試みであると考えられる。提案手法では、球審視点により取得した映像に対して、姿勢推定を用いたストライクゾーンの算出、物体検出を用いたボールの座標変化取得、三次元座標への変換、三次元座標情報の合成という処理でストライク判定を行う。提案手法によるストライク判定により、88%の正解率を示した。

判定精度には改善の余地があるため、打者姿勢やボール軌道の三次元座標取得精度向上に努めたい。また、本研究ではカメラ位置を固定としたが、実用化に向けて動的なカメラ位置でも同様に判定が可能なキャリブレーション方法を検討する。

参考文献

- [1] Matthew Whitrock, "Developing MLB's Automated Ball/Strike System (ABS)," Published in MLB Technology Blog, 2021.
- [2] Z. Cao, T. Simon, S. Wei, and Y. Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Field," IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.1302-1310, Jul. 2017.
- [3] Glenn Jocher, "ultralytics/yolov5," <https://github.com/ultralytics/yolov5>
- [4] Z. Zhang, "A flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.22, no.11, pp.1330-1334, Nov. 2000.

2022 年度 卒業論文

球審視点単眼映像による三次元野球ストライク判定

Three-Dimensional Baseball Strike Decision by Monocular Video

from Umpire's Viewpoint

指導教員 渡辺裕 教授

提出日：2023 年 1 月 31 日

早稲田大学 基幹理工学部 情報通信学科

1W192320-5

福田大翔

目次

第1章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 本論文の構成.....	2
第2章 関連研究.....	3
2.1 まえがき.....	3
2.2 OpenPose.....	3
2.3 YOLO.....	4
2.4 透視投影変換.....	4
2.5 むすび.....	4
第3章 提案手法.....	5
3.1 まえがき.....	5
3.2 提案手法.....	5
3.3 むすび.....	8
第4章 実験結果と考察.....	9
4.1 まえがき.....	9
4.2 データセット.....	9
4.3 評価指標.....	9
4.4 ボール軌道とストライクゾーンの合成.....	11
4.5 ストライク判定.....	12
4.6 打撃姿勢によるストライクゾーンの差.....	12
4.7 球審視点による映像取得可否.....	13
4.8 考察.....	15
4.9 むすび.....	15
第5章 結論と今後の課題.....	16
5.1 結論.....	16
5.2 課題.....	16
謝辞.....	17
参考文献.....	18
表一覧.....	19
図一覧.....	20
研究業績.....	21

第1章 序論

1.1 研究背景

現在、スポーツにおける審判は人間が務めることが一般的である。人間が審判を務めることにより、誤審が生じて、試合の流れが変わり、試合の結果や選手の成績に影響を与える可能性がある。そこで、多くのスポーツ競技においてフィールドにいる審判のみに判定を委ねない方法の検討が進んでいる。例えば、サッカーでは VAR (Video Assistant Referee)[1] が導入されている。VAR とは、複数視点映像により試合における主審のサポートをする審判システムである。また、野球においても同様に審判のサポートをする方法の導入が検討されている。野球における球審のサポートをするシステムとして ABS (Automated Ball and Strike System)[2] がある。トラックマン・ホークアイ等の計測機と複数台のカメラ映像によって取得したボールの追跡情報の XYZ 座標からボールの軌道を三次元で捉え、事前に取得しておいた個々の選手のストライクゾーンを用いて、ストライクを判定する。判定した情報を、イヤホンを通じて球審に伝え、球審が伝えられた情報を基に判断する。ABS に用いられる機器は高精度であるが非常に高価である。しかも、複数台のカメラ映像が必要となるため、導入環境の整った施設に使用が限定される。しかし、メジャーリーグで使用されている球場のように複数台のカメラが設置されている球場は少なく、地方球場や公共のグラウンドのように何も設置されていない場合が多数である。

また、少年野球などでは審判が不足しており、結果として野球経験や審判資格のない保護者が審判を務めるケースが多く存在する。保護者が審判を務めることにより、誤審の発生する可能性が高くなり、子供が野球に対する意欲を失うリスクも考えられる。子供の頃から正確な判定のもとで野球の練習ができることで、子供は真剣に野球という競技に打ち込むことができ、将来的な野球界の発展が期待できる。そのため、高価な機材を用いずにストライクの自動判定を行えるような方法を考える必要がある。

1.2 研究目的

野球のストライク判定を自動的に行う方法として、複数台のカメラを用いる方法[3][4][5]や、野球中継映像の視点を基にした方法が提案されている。しかしながら、複数台のカメラを用いる方法では、カメラの時間同期や位置関係のキャリブレーションが必要となり、設置条件やシステムが複雑化する可能性がある。また、野球中継映像の視点を基にした方法では、遠方の視点から望遠かつ高精度のカメラでの撮影が必要となる。そのため、従来手法では簡易的にストライク判定を行うことは難しいと考えられる。

本研究では、簡易的に野球のストライク判定を行うために、球審視点映像によるストラ

イクゾーン推定とボール軌道推定を組み合わせるアプローチを提案する。本研究の提案手法は、使用するカメラ台数を 1 台とし、機器の導入環境が整っていない施設に適用することを想定する。また、主な使用用途としては少年野球や草野球を対象として想定する。球審視点により取得した投球映像に対して姿勢推定アルゴリズムである OpenPose[6]と物体検出アルゴリズムである YOLOv5[7]を用いて、投球されたボールの二次元座標情報を取得し、透視投影の逆変換により、三次元座標に変換する。さらに、変換により得た三次元座標を基にストライク判定を行い、複数視点から取得した正解のストライク判定と比較する。提案手法による判定結果に対して、分類評価指標で評価し、有効性を示す。

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第 1 章は本章であり、本論文の研究背景、研究目的について述べる。

第 2 章では本研究で用いる関連技術について述べる。

第 3 章では本研究で提案する球審視点映像による判定手法について述べる。

第 4 章では実験の結果及び考察について述べる。

第 5 章では本論文の結論及び今後の課題について述べる。

第 2 章 関連研究

2.1 まえがき

本章では，姿勢推定技術である OpenPose，物体検出技術である YOLO，三次元座標位置決定のための透視投影変換について説明する．

2.2 OpenPose

OpenPose は姿勢推定モデルの一種である．OpenPose を利用することで動画内的人物の骨格情報を推定することが可能となる．検出される特徴点の数は機械学習の際に使用するデータセットによって異なる．本研究で利用する 25 特徴点の骨格情報の推定が可能なモデルを適用した出力画像を図 2.1 に示す．



図 2.1 OpenPose 出力画像例

OpenPose では，図 2.1 のような画像に加えて，検出された特徴点の XY 座標と信頼度が出力される．なお，XY 座標の原点は画面左上の角であり，信頼度は 0 から 1 の範囲の値をとる．信頼度は 1 に近いほど推定が正確であり，検出に失敗した特徴点の XY 座標と信頼度は 0 となる．また，リアルタイムでの処理も可能である．

2.3 YOLO

YOLO (You Look Only Once) は物体検出アルゴリズムの一種である。本研究で用いる YOLOv5 は、以前の YOLO モデルよりも処理速度が非常に速く、リアルタイムでの物体検出が可能である。検出された物体は、フレームごとに X 座標の最大値(x_{max})・最小値(x_{min}), Y 座標の最大値(y_{max})・最小値(y_{min}), 信頼度が出力される。なお, XY 座標の原点は画面左上の角であり, 信頼度は 0 から 1 の範囲の値をとる。信頼度は 1 に近いほど推定が正確である。

2.4 透視投影変換

透視投影変換は実世界に存在する物体を二次元平面に投影する方法である[8]。(X, Y, Z)を 実世界座標系の三次元座標, (u, v)を画像平面に投影された点の座標とする。カメラの内部パラメータ行列 A は, 画像中心座標を(c_x, c_y), カメラのピクセル単位で表される焦点距離を f_x, f_y とすると式(2.1)で表される。

$$A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

カメラの外部パラメータ行列 $[R|t]$ は, カメラの回転行列と並進ベクトルを用いて式(2.2)で表される。

$$[R|t] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

式(2.1), 式(2.2)より, 実世界での物体の三次元座標と画像平面での二次元座標の関係は正規化パラメータ s を用いて, 式(2.3)のようになる。

$$s \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

2.5 むすび

本章では, 本研究に関連する姿勢推定技術である OpenPose, 物体検出技術である YOLO, 三次元座標位置決定のための透視投影変換について述べた。

第3章 提案手法

3.1 まえがき

本章では1台の単眼カメラで取得した球審視点映像により、ストライク判定を行う手法を提案する。打者の骨格情報の取得にはOpenPoseによる姿勢推定を用いる。ボールの検出にはYOLOv5による物体検出を用いる。画面内での二次元座標から三次元座標への変換方法として透視投影の逆変換を用いる。

3.2 提案手法

本研究では球審視点映像を用いてストライク判定を行う手法を提案し、有効性を確認する。提案手法の概要を図3.1に示す。また、本研究ではカメラのレンズ位置を原点として座標系を設定する。本研究の座標設定を図3.2に示す。提案手法の具体的な内容を以下のステップ1~7に示す。

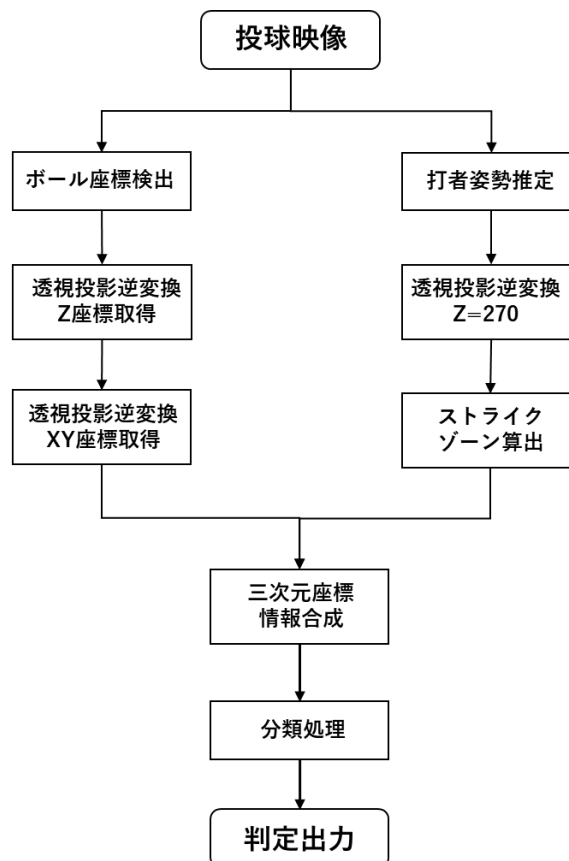


図 3.1 提案手法概要図

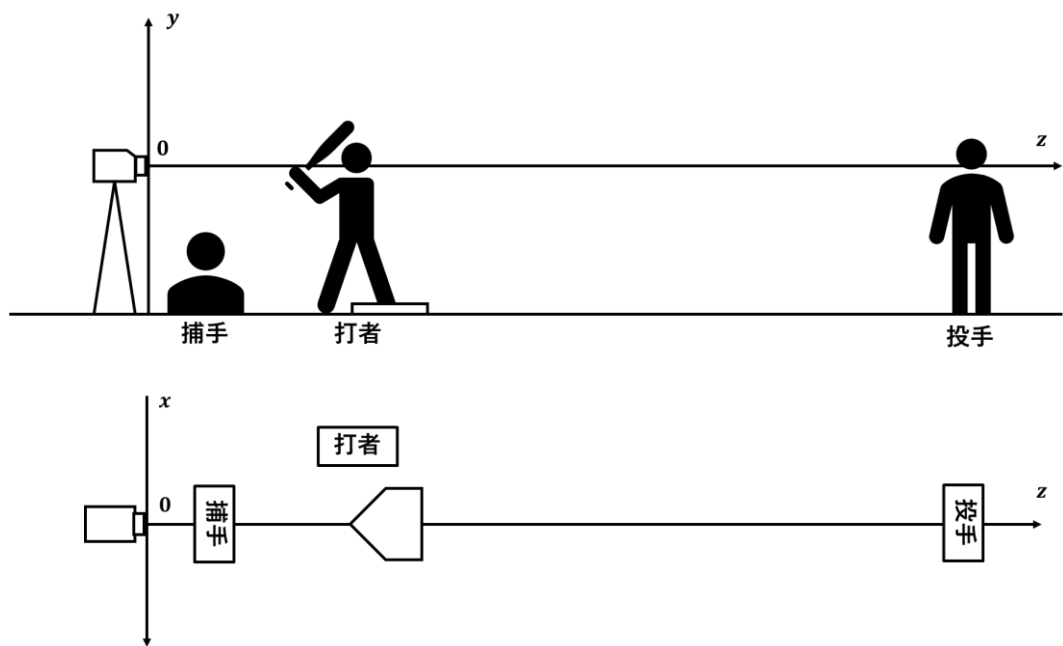


図 3.2 座標系設定

ステップ 1

投球映像から打者の骨格情報を推定する. 撮影した投球映像に対して **OpenPose** を適用し, 打者の各身体部位の二次元座標データを取得する. 取得した二次元座標データから, 両肩中心の Y 座標と腰中心の Y 座標の中間点と, 両膝の Y 座標の中間点を算出する. 算出した中間点の二次元 Y 座標を, それぞれ画面内におけるストライクゾーンの上端と下端とする. ストライクゾーンの算出に利用したキーポイント座標を図 3.3 に示す.



図 3.3 ストライクゾーン算出利用キーポイント

ステップ 2

投球映像からボールを検出する。撮影した投球映像に対して YOLOv5 による物体検出を用いて、投球されたボールの二次元座標データを取得する。YOLOv5 では、投球されたボールは sports ball として検出される。提案手法では、各フレームにおけるボールの中心座標 (x_{cen}, y_{cen}) として

$$(x_{cen}, y_{cen}) = \left(\frac{x_{max} + x_{min}}{2}, \frac{y_{max} + y_{min}}{2} \right) \quad (3.1)$$

で考える。撮影した投球映像内のボールにはモーションブラーが発生する。したがって、本研究ではモーションブラーの影響により、ボールの端の座標を用いた判定による誤差を考え、ボールの中心座標を用いて判定する。

ステップ 3

ステップ 1 で得た画面内におけるストライクゾーンの上端と下端の二次元 Y 座標を三次元座標に変換する。変換の方法として、透視投影の逆変換を用いる。画面内に実世界での位置が既知である物体が映ることで、対応関係から内部パラメータを算出することが可能である。さらに、本研究ではカメラ位置と撮影角度を固定するため、外部パラメータの算出が可能である。提案手法では、撮影した投球映像内のホームベースの座標を基に内部パラメータを算出する。三次元座標軸設定として、原点をカメラ位置とし、横方向を X 軸、縦方向を Y 軸、奥行き方向を Z 軸とする。各パラメータの算出に利用したホームベースの三次元座標の一例を図 3.4 に示す。

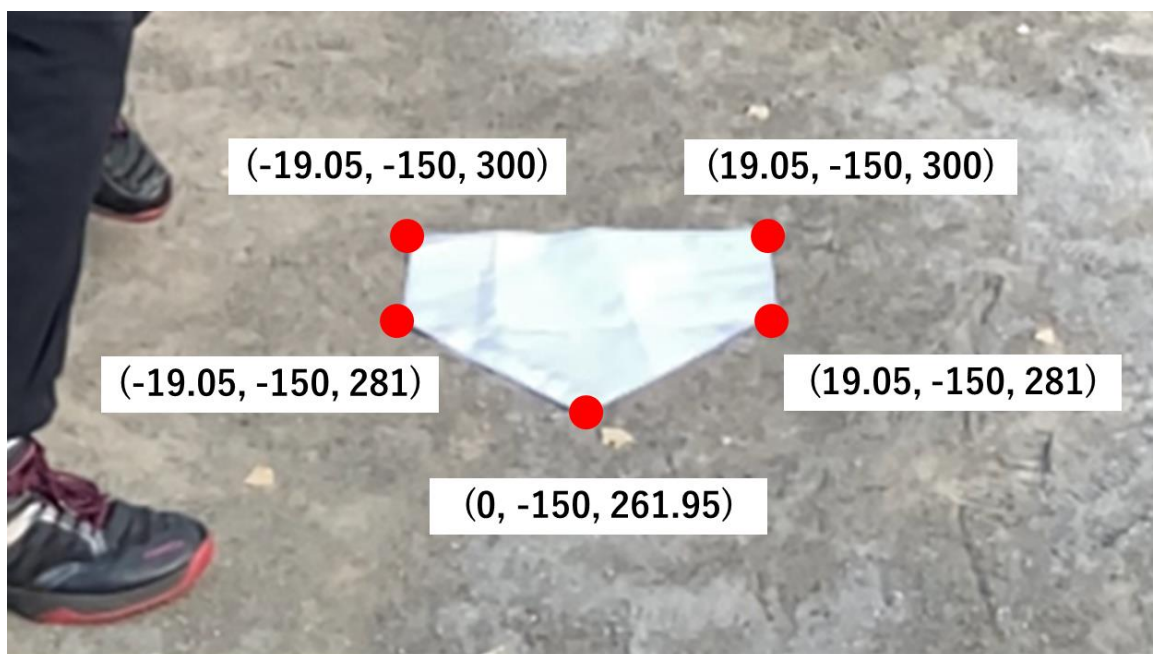


図 3.4 ホームベースの三次元座標

ステップ 4

打者は $Z=270[\text{cm}]$ の位置が体の中心になるように打席に立つと仮定し、カメラ位置を原点としたストライクゾーンの上端と下端の Y 座標を算出する。算出した Y 座標とカメラ位置を原点としたホームベースの三次元座標から、打者の骨格情報を基にしたストライクゾーンを立体五角柱で再現することが可能となる。

ステップ 5

ボール軌道の三次元座標取得を行う。 Z 座標取得には画面内でのボールの直径と実際の直径の比較により算出する。本研究では、利用したボールサイズは $6.6[\text{cm}]$ である。画面内でのボールの直径は $(x_{max} - x_{min})$ として考える。 Y 座標は X 座標に比べて座標の時間変化が大きいことから、ボールの速度によるブラーが発生して見える可能性があるかと判断し、 X 座標を利用した。取得した Z 座標を基にボールの中心座標 (x_{cen}, y_{cen}) から XY 座標の取得する。

ステップ 6

透視投影の逆変換により取得したボール軌道とストライクゾーンの三次元座標情報を合成する。合成した三次元情報を仮想三次元空間でアニメーション表示することで、投球されたボールがストライクゾーンのどこを通過したかを可視化することが可能となる。画面内での座標取得に OpenPose と YOLOv5 を利用するため、時間情報により対応付けが可能である。

ステップ 7

ボール軌道の三次元座標情報とストライクゾーンの三次元座標情報から、投球されたストライク判定を行う。

3.3 むすび

本章では、本研究で提案する球審視点単眼映像によるストライク判定を行うための手法について述べた。

第4章 実験結果と考察

4.1 まえがき

本章では，提案手法に基づく実験の概要，結果及び考察について述べる．実験では複数視点から取得した正解のストライク判定結果と比較することで判定精度を評価した．

4.2 データセット

本実験では，まず球審視点により撮影された投球映像のデータセットを作成した．カメラ位置はホームベースから後ろに 300[cm]，高さ 150[cm]の位置で固定して撮影を行った．実験に用いた投球映像は様々なコースに投げ分けた 113 投球である．球速は少年野球の平均球速である約 70km/h 程度を想定した．実験における正解判定は，投手打者捕手の三視点による判定を基に決定した．実験に利用した投球の正解判定を表 4.1 に示す．

表 4.1 実験に利用した投球データ正解判定

判定	投球数
ストライク	53
ボール	60

4.3 評価指標

クラス分類の評価指標である，正解率 (Accuracy)，適合率 (Precision)，再現率 (Recall)，F 値 (F-measure) について述べる．本実験では，ストライク判定を二値分類とみなし，4 つの分類評価指標で評価する．二値分類における予測値と真値の関係を表す混同行列を図 4.1 に示す．

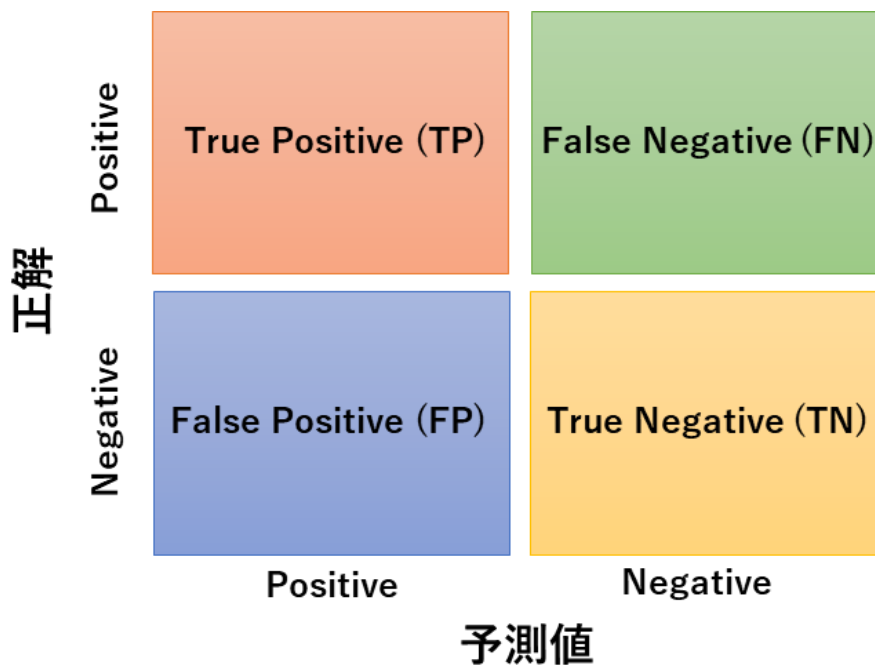


図 4.1 二値分類の混同行列

正解率 (Accuracy) は全データの中で正しく分類予測ができた割合を示し、式 (4.1) で表される.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (4.1)$$

適合率 (Precision) は Positive と予測されたデータのうち、実際に Positive であった割合を示し、式 (4.2) で表される.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4.2)$$

再現率 (Recall) は正解が Positive であるデータのうち、正しく Positive と分類予測ができた割合を示し、式 (4.3) で表せる.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4.3)$$

適合率と再現率はトレードオフの関係にある. 適合率が高い場合、再現率は低く、再現率が高い場合、適合率は低い. そのため、適合率と再現率の調和平均である F 値 (F-measure) で分類精度を評価することがあり、式 (4.4) で表される.

$$F - measure = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4.4)$$

4.4 ボール軌道とストライクゾーンの合成

取得したボール軌道とストライクゾーンの三次元座標情報を合成してアニメーション表示した例を図 4.2 (a), 図 4.2 (b)に示す. 図 4.2 (a)は投球を上空から見た場合のボール軌道とストライクゾーンであり, 図 4.2 (b)は投球を横から見た場合のボール軌道とストライクゾーンである. 三次元空間に表示されるストライクゾーンは打者の打撃姿勢に合わせて時間変化し, ボール軌道も同様に時間変化するよう対応付けた. これにより, ストライクゾーンの定義に従ったストライク判定が可能となる.

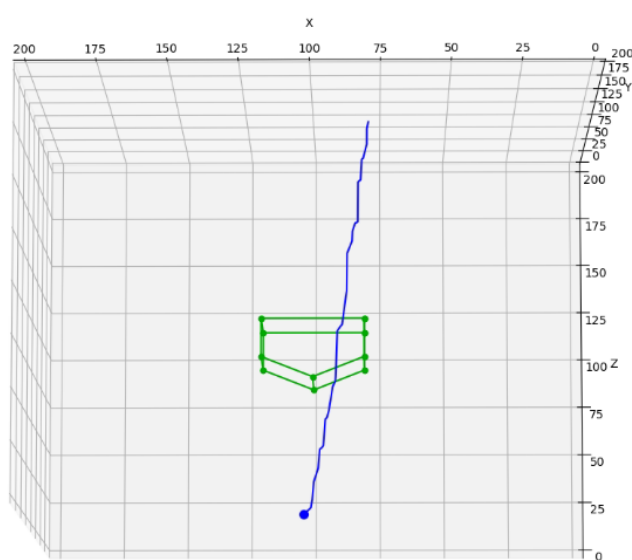


図 4.2 (a) 合成した三次元空間 (上空)

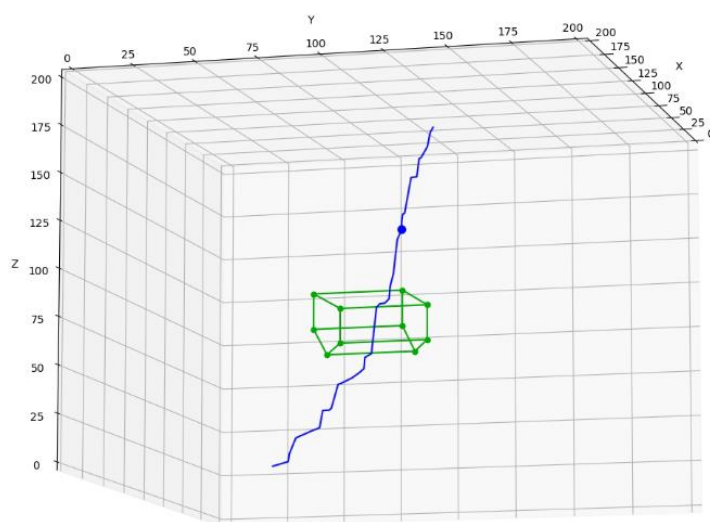


図 4.2 (b) 合成した三次元空間 (横)

4.5 ストライク判定

従来の二次元でストライクゾーンを再現しストライク判定を行った結果と、提案手法による三次元ストライク判定を行った結果を分類評価指標により、評価する。従来手法と提案手法によるストライク判定結果を示した混同行列を図 4.3 に示す。混同行列を基に、従来手法と提案手法を分類評価指標で評価した結果を表 4.2 に示す。

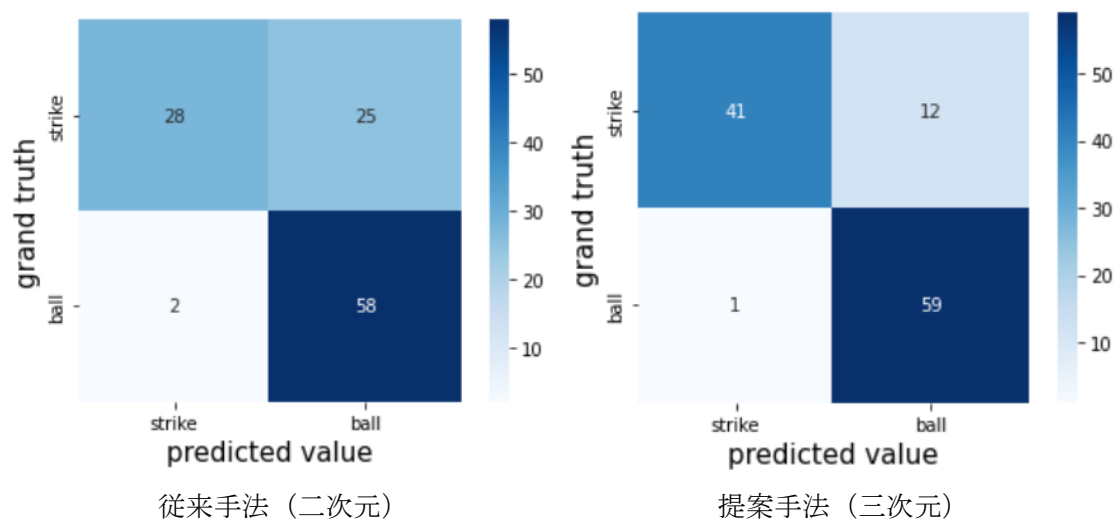


図 4.3 ストライク判定結果

表 4.2 分類評価結果

評価指標	従来手法	提案手法
正解率 (Accuracy)	0.76	0.88
適合率 (Precision)	0.93	0.98
再現率 (Recall)	0.53	0.77
F 値 (F-measure)	0.68	0.86

4.6 打撃姿勢によるストライクゾーンの差

打撃姿勢は打者によって異なり、特徴的な打撃姿勢の打者も存在する。ストライクゾーンは打者の打撃姿勢により決定される[9]ため、ストライクゾーンの大きさは打者ごとに变化する。そこで、打撃姿勢を変更した際に、ストライクゾーンの大きさが変化しているか検証する。比較に用いた打撃姿勢と対応するストライクゾーンの一例を図 4.4 (a), 図 4.4 (b) に示す。

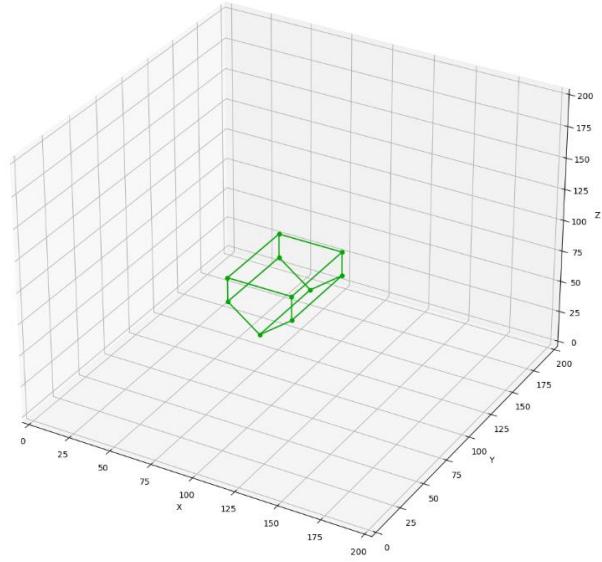


図 4.4 (a) 打撃姿勢 1 とストライクゾーン

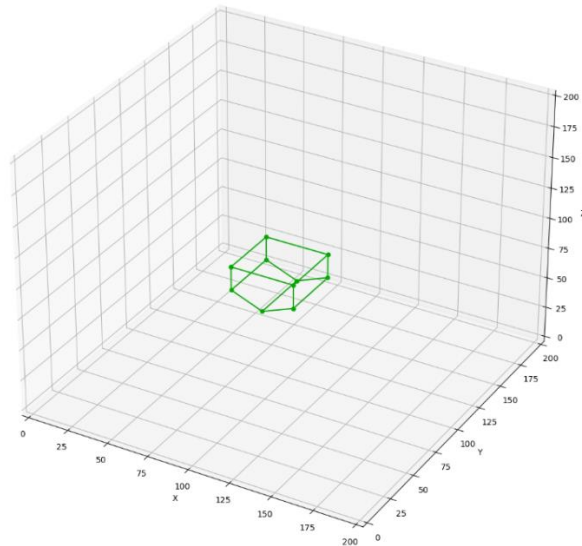


図 4.4 (b) 打撃姿勢 2 とストライクゾーン

4.7 球審視点による映像取得可否

打者の動きや投手の投げ方によって球審視点による映像取得が妨害される可能性のある事例の検証を行う．妨害される可能性のある事例として，極端な打撃姿勢をとる打者，バ

ントの姿勢，アンダースローやサイドスローの投手の場合を想定した．妨害可能性のある事例を図 4.5 に示す．各事例の判定可能性の結果を表 4.3 に示す．



図 4.5 映像取得妨害可能性事例

表 4.3 映像取得の可否

事象	可否
バントの構え	可
極端な打撃フォーム	可
アンダースロー・サイドスロー	可
右打者右投手・左打者左投手	可
右打者左投手・左打者右投手	可

4.8 考察

図 4.2 (a), 図 4.2 (b)より, ストライクゾーンとボール軌道を時間対応させ, 仮想三次元空間で再現できていることが確認できる. なお, 本研究では取得したボール座標を全て接続したため, ボール軌道が滑らかではない形をしている. しかし, ストライク判定はボール軌道の座標を基に行うため, 本質的なストライク判定に影響はないと考えられる.

図 4.3 より, 混同行列の右上の値 (FN) が左下の値 (FP) に比べて大きいので, ストライクのボールを誤ってボールと判定してしまう事例が多いと確認できる. 本研究ではボールの扱いを, ボールを検出した際のバウンディングボックス中心と設定したことと, 透視投影の逆変換による三次元座標取得精度が関係していると考えられる. また, 二次元でのストライク判定に比べて, 提案手法を用いた三次元でのストライク判定により, 混同行列の右上の値 (FN) と左下の値 (FP) が減少し, 誤判定の数を低減できたと言える.

表 4.2 より, 提案手法がすべての指標で従来の二次元でのストライク判定を上回った. 提案手法による正解率 (Accuracy) は 88%である. メジャーリーグにおけるプロの球審による判定の正解率が約 88%[10]であることから, 球速や変化球の精度などの条件は異なるが試合の運営に問題のない判定精度が得られたと考えられる. しかし, 試合内で投球されるボールのコースは試合ごとに異なるため, データに依存している可能性がある.

図 4.4 (a), 図 4.4 (b)より, 打撃姿勢を 1 から 2 に変化させると, 変化に伴い, ストライクゾーンも変化していることが確認できる. 打撃姿勢 1 は直立に近い打撃姿勢であるため, 図 4.4 (b)に比べてストライクゾーンが大きいことが確認できる. また, 打撃姿勢 2 は屈んだ打撃姿勢であるため, ストライクゾーンが小さいことが確認できる. したがって, 提案手法により, 打者によって異なる打撃姿勢を反映したストライク判定が可能であると言える.

図 4.5 と表 4.3 より, 想定したすべての事例において映像取得が可能であったことから, 球審視点による投球映像の取得が妨げられる事例はないと判断できる. 理由として, 球審はストライク判定を行うために, 投球されたボールやホームベースが見える位置に立つことが考えられる. そのため, 球審視点による投球映像取得は有効であると言える.

4.9 むすび

本章では, ストライク判定結果および球審視点による映像取得の可能性について述べた. 結果として, 球審視点による映像取得は有効であり, ストライク判定を行うことが可能であると確認できた.

第5章 結論と今後の課題

5.1 結論

本研究では、単眼カメラを用いて球審視点により取得した映像を使用してストライク判定を行う方法を提案した。既存の研究は複数台のカメラ映像を用いたものや、野球中継映像を用いたものであり、球審視点による単眼カメラを用いたストライク判定は初の試みであると考えられる。

提案手法では、球審視点により取得した映像に対して、姿勢推定を用いたストライクゾーンの算出、物体検出を用いたボールの座標変化取得、三次元座標への変換、三次元座標情報の合成という処理でストライク判定を行った。

実験では球審視点により取得した投球映像を基に、提案手法によるストライク判定を行い、正解のストライク判定と比較し、評価した。そして、113投球の判定結果として、88%の正解率を示した。

5.2 課題

本研究では、透視投影の逆変換を用いて三次元座標を取得する手法をとった。しかし、カメラによるレンズ歪みや測定誤差をないものと仮定したため、三次元座標取得について、精度向上の余地がある。また、打者の三次元姿勢を精度良く取得可能にすることで、より正確なストライクゾーンを用いた判定が可能となる。さらに、ボールや打撃姿勢の三次元座標の取得精度を向上させることで、ストライク判定の精度改善に繋がると考えられる。

また、ボール座標の扱いをバウンディングボックス中心から、ボールの大きさを反映したものに変更し、判定結果を比較することによって、適切なボール座標の扱いを決定する必要がある。ストライクゾーンの一部のみを通過するボールの判定が正しく行われるように、ボールの動きによって生まれる誤差の定量的評価を行い、誤差の低減を図る必要がある。また、試合によって投球されるボールのコースは異なるため、ストライクゾーンの一部のみを通過するようなボールに対する有効性を確保することが、本質的なストライク判定の精度向上につながる。

また、本研究ではカメラ位置を固定で考えたが、実際は球審の動きによる位置の変化が生じる可能性がある。そのため、球審の頭につけたカメラや手持ちカメラからでも同様に三次元座標情報が得られるように、野球ならではの基準物を用いた視点位置のキャリブレーション方法を考えることが必要である。

謝辞

本研究にあたり，熱心かつ丁寧にご指導をいただいた渡辺裕教授に感謝いたします。

また，本論文の校閲を始めとし，多くのご指導を頂いた早稲田大学国際情報通信センターの石川孝明様に感謝いたします。

また，常日頃から相談に乗ってくださり，研究に関する助言やご指摘をくださった研究室の皆様にお礼申し上げます。

最後に，私をここまで育ててくださり，精神面や金銭面で多くの力添えをしていただいた家族に心より感謝致します。

参考文献

- [1] 公共財団法人日本サッカー協会, “VAR,” (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 10 日) ,
<https://www.jfa.jp/rule/var.html>

- [2] Matthew Whitrock, “Developing MLB’s Automated Ball/Strike System (ABS),” Published in MLB Technology Blog, 2021. (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 10 日) ,
<https://technology.mlbblogs.com/developing-mlbs-automated-ball-strike-system-abs-d4f499deff31>

- [3] Joe Lemire, “ESPN Innovates MLB Broadcast With 3D K-Zone, Field Mics, Low-Home Camera,” Sporttechie, 2017. (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 10 日) ,
<https://www.sporttechie.com/espn-mlb-3d-kzone-field-mics-low-home-camera/>

- [4] 森 享宏, “スポーツ競技の映像技術との関わり,” 映像メディア学会誌 vol.69, no.4, pp. 309-312, Nov. 2015.

- [5] 齊藤, 井口, : “野球におけるストライク・ボールの自動判定システム,” 電子情報通信学会ソサイティ大会, p.158, Mar. 2007.

- [6] Z. Cao, T. Simon, S. Wei, and Y. Sheikh, “Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Field,” IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.1302-1310, Jul. 2017.

- [7] Glenn Jocher, “ultralytics/yolov5,” (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 10 日) ,
<https://github.com/ultralytics/yolov5>

- [8] Zhengyou Zhang, “A flexible New Technique for Camera Calibration,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), vol. 22, no.11, pp.1330-1334, Nov. 2000.

- [9] 日本野球規則委員会, “野球規則集,” 2019, (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 10 日) ,
<http://ru.ishibb.com/wp/wp-content/uploads/2019/03/3149527570a5c8c6b99ba438bb04c30f.pdf>

- [10] UmpScorecards, “Umpire Scorecards,” (最終閲覧日 : 2023 年 1 月 10 日) ,
<https://umpscorecards.com/>

表一覧

表 4.1	実験に利用した投球データ正解判定	9
表 4.2	分類評価結果	12
表 4.3	映像取得の可否	14

図一覧

図 2.1	OpenPose 出力画像例	3
図 3.1	提案手法概要図	5
図 3.2	座標系設定	6
図 3.3	ストライクゾーン算出利用キーポイント	6
図 3.4	ホームベースの三次元座標	7
図 4.1	二値分類の混同行列	10
図 4.2 (a)	合成した三次元空間 (上空)	11
図 4.2 (b)	合成した三次元空間 (横)	11
図 4.3	ストライク判定結果	12
図 4.4 (a)	打撃姿勢 1 とストライクゾーン	13
図 4.4 (b)	打撃姿勢 2 とストライクゾーン	13
図 4.5	映像取得妨害可能性事例	14

研究業績

- [1] 福田大翔, 中島聖, 渡辺裕, “骨格絶対長を考慮した三次元姿勢推定手法の検討 (A Study on 3D Pose Estimation with Absolute Skeletal Length),” 2023 年 電子情報通信学会総合大会, Mar. 2023. (発表予定)

- [2] 中島聖, 福田大翔, 渡辺裕, “骨格の左右対称性を考慮した三次元姿勢推定法の検討 (A Study on 3D Pose Estimation with Skeletal Symmetry),” 2023 年情報処理学会オーディオ・ビジュアル複合情報処理研究会, Feb. 2023. (発表予定)