

LiDAR センサーを用いたバレーボールのサーブにおける ボール軌跡フィードバックシステムの検討

増村 雅尚*

A Study of Ball Trajectory Feedback System in Volleyball Serving Using LiDAR Sensor

by

Masanao MASUMURA *

要 旨

近年のバレーボールにおいて、サーブの重要性が増している。そのためには選手に自身や相手選手のサーブ軌道をフィードバックし「どのようなサーブが効果的か」を認識することが重要である。そのため、本研究の目的は、LiDAR センサーのスポーツ現場での性能を比較検討し、センサーの利点を生かした物体の3次元座標取得を目指すものである。まとめると以下ようになる。①従来のデジタイズでは、作業の時間がかかる。②画像認識では、ボールの回転などの影響がある。③LiDAR センサーでは、インパクト付近の詳細がわからなかった。④LiDAR センサーでは、実測90km/hのサーブは測定不能であった。

今回 LiDAR センサーを使用し、バレーボール競技におけるセンシングを行ったが、レーダーの設置場所や複数台使用など工夫する必要がある。しかしながら、3次元座標を即座に測定できることは有益であると考え。今回の研究で用いた3つの方法を活用し、目的によって使い分けることが重要であり、加えて、LiDAR センサーのような新しい技術を活用し、センシング方法の選択肢が増えることは今後のスポーツ競技におけるコーチングなどにも必ず有益であると考え。

Key Words : バレーボール、デジタイズ、画像認識、LiDAR センサー

1. 背景

近年のバレーボールにおいて、サーブの重要性が増している。サーブの目的は、①得点すること、②自チームの次の攻撃を有利に導くことである。テニスなどとは異なり、ボールを受けるだけの段階が存在するバレーボールでは、十分な準備が可能なサーブレセプションサイドの有利性は否定できない。「得点する」ことを最

大の目的としながらも、次に攻撃する際に有利になるようにサーブを打つことを考えなければならず、第1攻撃としての攻撃的なサーブを打つ必要があると考えられる。したがって、効果的なサーブや正確なサーブレセプションの習得がこれまで以上に求められるようになり、そのためには選手に自身や相手選手のサーブ軌道をフィードバックし「どのようなサーブが効果的か」を認識することが重要であると考え。

これまで、サーブ軌道、すなわちボール中心の3次元座標値を取得するためには、デジタル

*崇城大学総合教育センター准教授

ビデオカメラで撮影した画像を手動でデジタル化することが一般的であった。この方法では、簡単に精度良くボール中心の3次元座標値を取得できる一方で、分析に膨大な時間と労力を要するというデメリットがある。競技において、選手への素早いフィードバックが重要となるため、この作業の高速化や自動化が可能となれば選手の競技力向上に大いに役立つと考えられる。しかし、バレーボールの試合を撮影した画像には、ボール以外にも選手や審判、観客などが写っている。このため、画像上のボール位置を自動で認識することは容易ではない。

そこで、センシングにおいて近年、加速度的な進歩を遂げている画像認識技術に加え、自動運転技術などの最新のセンシング技術などが応用できるのではないかと考えた。画像認識技術は現在もテニスやサッカーなどでも用いられ、スポーツ競技においてその重要性を増してきているが、そのセンシングには高価な機材やマンパワーを必要とし汎用性が高いとは言い難い。

現在用いられる自動運転技術などのセンサーは小型化、安価となってきており、ボールゲーム等に应用されている例はなく、両者を融合することにより、安く、簡単に誰でもコーチング材料を得ることができ、より良いコーチングに結び付くのではないかと考えた。「CES2020」において、従来よりも汎用性の高い高性能、高信頼性 LiDAR センサーが登場した。自動運転技術から派生したユニットであるが、スポーツの現場に応用できないかと考えている。

そこで LiDAR センサーのスポーツ現場での性能を比較検討し、センサーの利点を生かした物体の3次元座標取得を目指す。様々な技術を融合することにより、さらに良いコーチングに結び付くのではないかと考える。加えて、3D マッピング・測量から、ロボティクス、エンジニアリングに及ぶさまざまな産業で LiDAR テクノロジーは導入されており、これを教育現場で活用することにより、高度な技術を擁する学生育成などにつながると期待できる。

2. 方法

2.1 マニュアルデジタルイズ(以下DIG)

2021年9月に崇城大学男子バレーボール部に行われた部内紅白戦を撮影対象とした。図1は、撮影時のカメラ配置、撮影範囲および用いたキャリブレーションボールの位置を示している。ネットに向かって左右方向をX軸、前後方向をY軸、鉛直方向をZ軸とする右手系の静止座標系を定義した。撮影には2台のFHDカメラ(パナソニック社製、HC-VX980M)を用い、撮影スピードを60fps、シャッタースピード1/500秒とした。2台のカメラの同期は、各プレーにおけるボールインパクト時のコマをもとに行なった。DLT法により分析点の3次元座標値を算出するため、試合の撮影前にキャリブレーションボール(高さ3.5m、4個のコントロールポイントを取り付けたボール)を撮影範囲内8箇所に鉛直に立て、順に撮影した。画像をデジタルイズすることにより測定点の2次元座標値を得た。次に、コントロールポイントの座標から得られたDLTパラメータを用い、DLT法により計測点の3次元座標を算出した。なお、較正点の実座標値と推定値の差の最大値は、X方向(横方向)で0.012m、Y方向(縦方向)で0.000m、Z方向(鉛直方向)で0.003mであった。得られた3次元座標値は、Wells and Winter(1980)の方法によって最適遮断周波数(5~12Hz)を決定し、Butterworth digital filterにより平滑化した。

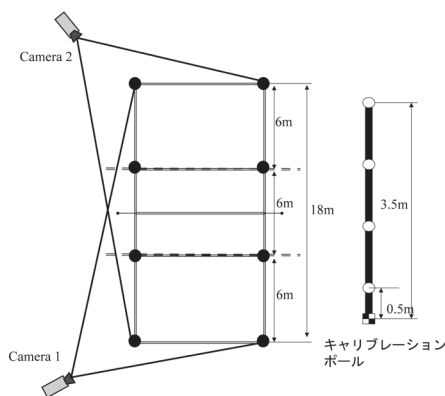


図1 撮影範囲

2.2 DeepLabCutによるトラッキング

次に、各カメラで撮影した画像から画像認識によるボールの2次元座標値を得るために、DeepLabCut（以下 DLC）を使用した。DLCはマーカーレス姿勢推定（markerless pose estimation）をベースとし、動画内の特定行動だけでなく、特定部位の検出・トラッキング・分析が可能となる python ベースのパッケージである。推定する位置をユーザーが定義することができ、ラベリングするフレームがかなり少ない（200枚程度）のが特徴である。DLCの解析は次の4段階からなる。①分析する範囲を動画からクロップする、②トラッキングしたい部分のラベリングを行う、③ラベリングを元に学習する、④ラベリングしていないフレームを、学習済みモデルでラベリングする、である。

今回使用した学習環境は以下の通りである。

- ①GPU：NVIDIA GeForce RTX2070
- ②Python：3.8
- ③Tensorflow：gpu2.5.0
- ④CUDA：11.2.2
- ⑤cuDNN：8.1.1

今回の学習で用いたラベルは20枚とし、学習繰り返し回数を20000とし学習した。20000の学習において、loss：0.0005（lr：0.02）であった。得られたトラッキングデータからデジタイズ同様にDLT法を用いて3次元座標を算出した。

2.3 LiDARセンサーによるトラッキング

LiDARセンサーにおいてはセンサーを2台、3脚にて固定し、コートエンドからセンシングを行った（図2）。

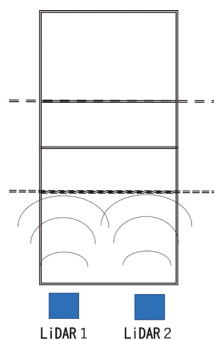


図2 LiDARセンサー配置図

今回使用したLiDARセンサーはLivox社製Mid-40を用いた。Mid-40は軽量コンパクトであり、複数のセンサーをルーター経由にてIPアドレスで管理し、ネットワーク内パソコンにてデータ取得が可能となるものである。将来的にはバレーボール会場にてセンシング活動を行うことを考え、今回はMid-40を用いた。得られたデータはLivox Viewer 0.11.0（64bit）を用いて処理を行い、トラッキングデータはCSV形式のファイルとして保存可能である。しかしながら、今回2台のMid-40を用いたが、Livox Viewer 0.11.0がプロトタイプであるため、2台のセンサーは独立して動作し、キャリブレーションが不能であった。将来的には自動で可能になる（ソフトウェア注釈）ということである。得られたトラッキングデータは3次元座標であり、センサーごとにCSVで保存した。

3. 結果と考察

座標の比較検討として、マニュアルデジタイズデータをもとに、比較検討を行った。比較データはウイングスパイカーのジャンプスパイクサーブを用いた。ボール速度は実測値で90.0km/h（YUPITERUスピードガンBSG-1 Basic）であった。

まず、DIGによる結果を下記に示す。

(1) DIGによる結果

Hit Hight 2.8752m
Hit Velocity 86.123km/h
Reception Velocity 67.273km/h



図3 DIG画像

次に、DLCによる結果を下記に示す。

(2) DLCによる結果

Hit Hight 2.896m

Hit Velocity 85.5206km/h
 Reception Velocity 69.4602km/h

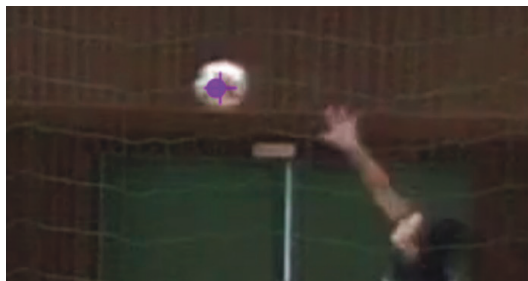


図4 DLC画像

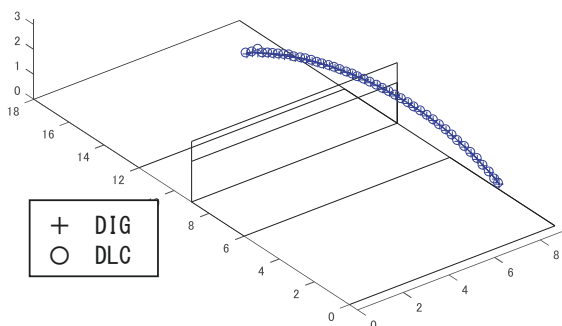


図5 DIG、DLCのボール軌跡

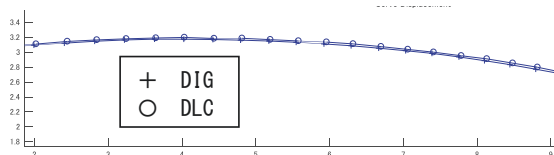


図6 DIG、DLCのY-Z平面上のボール軌跡

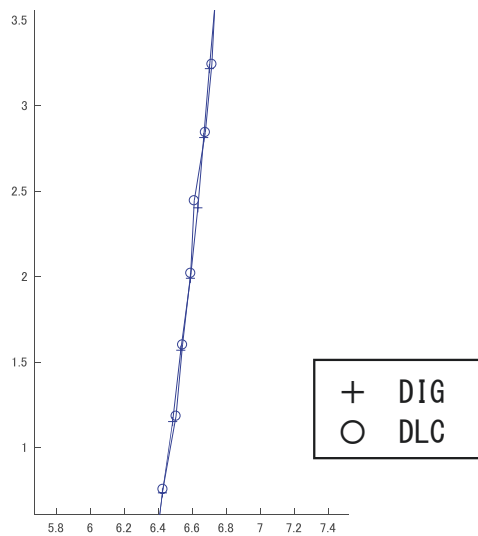


図7 DIG、DLCのX-Y平面上のボール軌跡

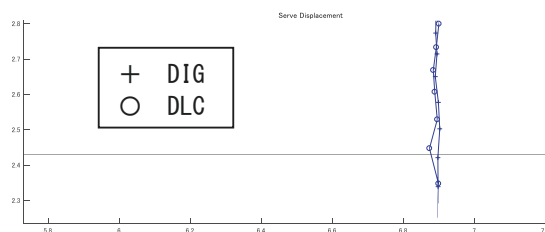


図8 DIG、DLCのX-Z平面上のボール軌跡

まず、DIGではパソコン上でのデジタイズ作業にて座標を得るが、その際に軌跡を表示しながらデジタイズを行っている。また、見えない部分も複数のカメラから見えている部分を活用し、デジタイズ作業に活かすことができる。しかしながら、DLCでは平面画像上のボールをラベリングし、その内容を学習していく。その過程で複数枚のラベリングから学習するが、図4はラベリングされたもの(+)と学習し推定されたもの(●)を表示しており、若干のずれがある。これは今回使用しているボールはMolten製フリスタテックバレーボールV5M5000(図9)を使用しており、一定の部分をラベリングしたとしても、回転することにより、画像上の配色やパターンが変化する。加えて、今回使用したカメラにおいてズームインした画像(図3、4)では、配色や画像ピクセルの影響による円形が再現されているとは言い難い。これは、本撮影では解像度



図9 V5M5000

1920 × 1080のFHD、シャッター速度を1/500としたが、画像上の形状、光色、光量に影響を及ぼしていることも考えられる。近年では民生機器でも4K60fps撮影の可能なビデオカメラも登場しており、今後の課題といえる。また、図6、図7、図8からもDIGとのずれがみられ、DLCにおいてボールの回転などが影響していると考えられる。加えて、図5のレセプション部分ではDLCにおいてずれが発生していた。これはレセプションする際に、ボールが腕の中に隠れるため、ボールが非常に見えにくい状況もある。以上のことからDLCの3次元座標構築の精度向上には、①確度が低いデータは

消去、②座標でノイズを削除、加えて③複数台のデータがあれば、epipolar geometryであるノイズを除去、④カメラの解像度を上げる、などの処理が考えられる。

次に、LiDARセンサーの結果を示す。

(3) LiDARセンサー結果

Hit Hight 2.643m

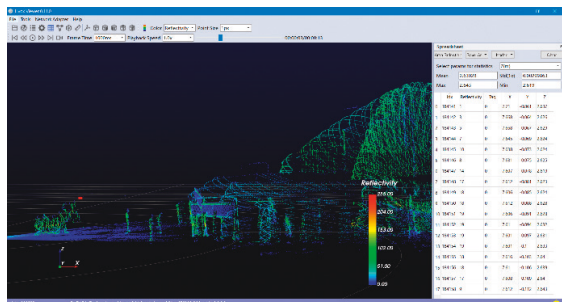


図10 Livox Viewerでの座標表示

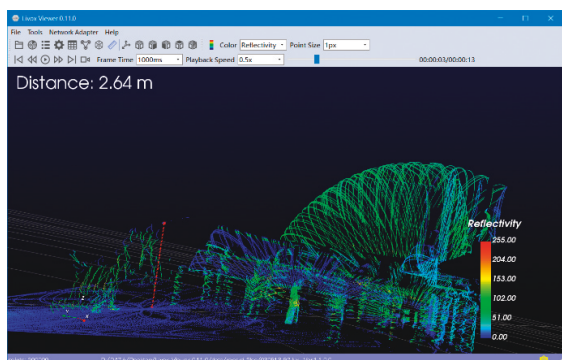


図11 DIG、DLCと同様のサーブ場面

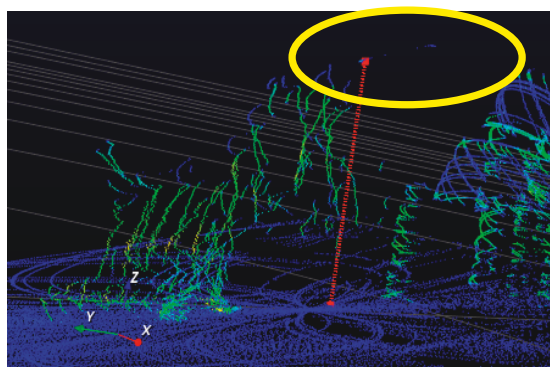


図12 DIG、DLCと同様のサーブ場面 (拡大)

Livox Viewerでの計測はマウス操作にて対象物を選択し、選択された物体の3次元座標が即座に表示される(図10)。範囲選択も可能であるが、煩雑になるため、なるだけ対象物は絞る必要がある。

今回、LiDARセンサーでは、Hit Hightのみ測定可能であり、DIGとDLCに比べて低い値であった。LiDARセンサーではマウス操作で物体を選択するため、インパクトした瞬間のセンシングされた物体は「三日月」のような形状をしており、掌なのかボールなのか、さらにはボールのどこを計測しているのかは詳細にわからなかった。そのため、DIGとDLCと異なる結果であったと考えられる。また、Hit Velocityに関しては、DIGとDLCにおいてサーブインパクトから3コマの移動平均をHit Velocityとしたが、LiDARセンサーではインパクト以降の3コマが計測されていなかった(図11、図12の黄円)。今回選択した試技はジャンプスピンサーブであり、日本代表クラスでは100km/hを超えてくるプレーである。今回は実測90km/hであったが測定不能という結果であった。また、ボールV5M5000は直径20cmの球体であり、計測可能な速度と物体の大きさなど今後の調査課題であると考えられる。加えて、今回LiDARセンサーはコートエンド後方に設置し、ジャンプスピンサーブはセンサーから離れていく方向への打撃であった。全体を測定するには複数台を反対コートなどに設置し、全体をキャリブレーションして測定するなど、センシング方法なども検討する余地があると考えられる。

本研究では、LiDARセンサーを使用し、バレーボール競技におけるセンシングを行ってみたが、物体の速さ、大きさ、形状などを正確に把握することは非常に難しかった。設置場所や複数台使用などのセンシング方法などを工夫する必要があると考えられるが、3次元座標を即座に測定できることは有益な情報を得ることができると考える。現在、バレーボールにおいてサーブやスパイクの打点を計測するためには、DIGのような方法がとられる。しかしながら、非常に手間と時間がかかり、即座のフィードバックは不可能である。また、DLCなどのディープラーニングによる画像認識はデジタイズする手間がなくなるため、DIGよりもはるかに短時間で座標が算出できる。しかしながら、映像収録後に映像から学習するため、その時間が多少必要である。その点、LiDARセンサーはマウス

操作で即座の3次元座標取得が可能であり、形状や計測部位などの問題があるが、Livox Viewerにはメジャー機能もあり(図13)、距離を即座に計測することが可能である。例を挙げれば、現在のコロナ禍にあって「ソーシャルディスタンス」が求められるが、対面授業などで複数の学生が行動する場合、お互いの距離をその場で示すことで、感染予防対策への活用なども考えられる。

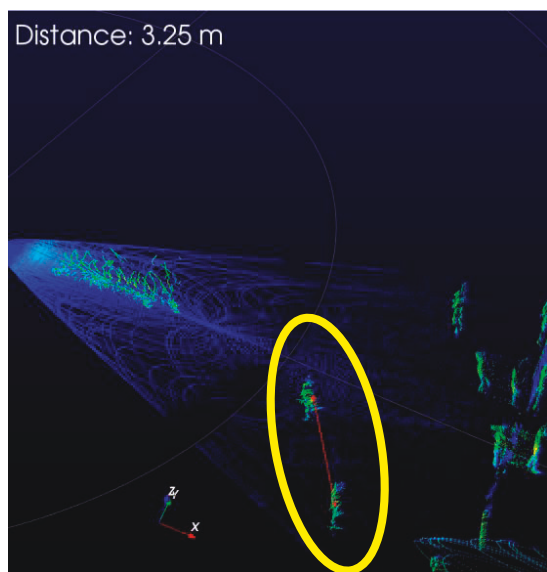


図13 Livox Viewerのメジャー機能

4. まとめ

本研究の目的は、LiDARセンサーのスポーツ現場での性能を比較検討し、センサーの利点を生かした物体の3次元座標取得を目指すものであった。まとめると以下ようになる。

- ① DIGでは、デジタイズ作業の時間がかかる。
- ② DLCでは、ボールの回転などの影響がある。
- ③ LiDARセンサーでは、DIGとDLCとは異なる座標値であり、インパクト付近の詳細がわからなかった。
- ④ LiDARセンサーでは、実測90km/hのサーブは測定不能であった。

今回LiDARセンサーを使用し、バレーボール競技におけるセンシングを行ってみたが、設置場所や複数台使用などのセンシング方法などを工夫する必要があると考える。3次元座標を

即座に測定できることは有益であり、メジャー機能などの存在も今後の活用方法次第では有効なフィードバック方法になりうると考える。

今回の研究で用いた3つの方法は、どの方法にもメリット、デメリットがあるため、目的によって使い分けることが重要であると考え。さらに、LiDARセンサーのような新しい技術を活用し、センシング方法の選択肢が増えることは、今後のスポーツ競技におけるコーチングなどにも必ず有益であると考え。

謝辞

本研究は令和3年度崇城大学男子バレーボール部の協力のもと行われました。ここに感謝の意を述べたいと思います。誠にありがとうございました。

参考文献

- 1) 浅井正仁(2001)バレーボールゲームの得点に関するゲーム分析的研究—ラリーポイント制における得点構成及び連続得点について—。大阪体育学紀要、32:13-24
- 2) セリンジャー・アッカーマンブレント(1993)セリンジャーのパワーバレーボール。ベースボールマガジン社:東京、113-125
- 3) 柳沢美樹子(2000)バレーボールのゲーム分析。平成12年度筑波大学修士論文集、22:243-246
- 4) Wells RP and Winter DA(1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal. Pathological and Sporting Gaits, Human Locomotion, I: 92-93
- 5) Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K.M. et al. (2018) DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. Nature Neuroscience volume 21, pages 1281-1289
- 6) DeepLabCut
<http://www.mackenziemathislab.org/deeplabcut>
(2021年10月5日アクセス)
- 7) Mid-40/Mid-100
<https://www.livoxtech.com/jp/mid-40-and-mid-100>
(2021年10月5日アクセス)