

2次元画像基底展開を用いたラインスキャンカメラによる

ゴルフボールの初期状態推定手法の提案

Initial state of golf ball estimation by two-dimensional basis expansion
applying to line scan image八幡 和磨[†] 浜田 百合[†] 栗原 陽介[†]

Kazuma Yahata Yuri Hamada Yosuke Kurihara

1. はじめに

スクリーンゴルフの登場により、ゴルフの人気は加速している。スクリーンゴルフでは、スクリーン上でのボールの軌道を再現するため、赤外線センサ、レーザー、ハイスピードカメラによって、インパクト直後のゴルフボールの初速度、打ち出し角度、バックスピンの初期状態を推定する必要がある。しかし、赤外線センサやレーザーは、打ち出し直後のゴルフボールを捉えるにはスキャンレートが遅く、計測範囲が狭いため、推定精度が低い。また、ハイスピードカメラのスキャンレートは速いが、一度に撮影する画像枚数が多いため、初期状態を算出する処理コストが多く、ハイスペックなコンピュータが必要となる。筆者らはこれまで、ラインスキャンカメラを用いて撮影したインパクト時のラインスキャンカメラ画像(LSCI)から初速度、打ち出し角度、バックスピンを推定する手法を提案してきた[1]。本研究では撮影したLSCIにたいし、2次元フーリエ変換による振幅、位相を用いて初期状態を推定した場合と、ガウス関数、シグモイド関数を基底とした2次元線形基底展開を行い初期状態を推定した場合の推定精度を比較する。

2. 提案手法

2.1 CNNを用いたゴルフボール初期状態推定モデル

図1(a),(b)は、本提案手法の全体像を示したものである。本提案手法は、大きく分けて図1(a)の学習フェーズ、図1(b)の推定フェーズに分かれる。学習フェーズでは、学習画像を確保するため実際に撮影したLSCIに加えシミュレーションで作成したLSCIを使用する。まず学習画像は後ほど説明する各基底関数で変換した変換画像を作成する。その変換画像をグレースケール化したものをCNNの学習画像として用いる。その後初速度、打ち出し角度、バックスピンそれぞれで学習を行い、CNNモデルを構築する。推定フェーズでは、LSCIを二値化、ノイズ除去を行い、各基底関数で変換した変換画像を作成する。その変換画像を学習フェーズで作成したCNNモデルに入力することで、初速度、打ち出し角度、バックスピンそれぞれのゴルフボールの初期状態を推定する。

[†] 青山学院大学 理工学部 経営システム工学科 Department of Industrial and Systems Engineering, College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

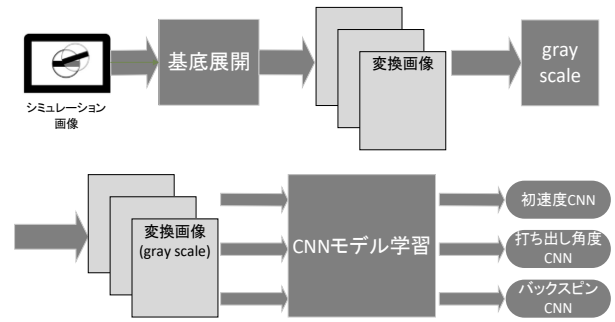


図1(a) CNNの学習フェーズ

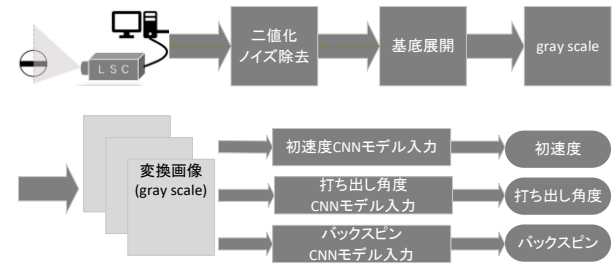


図1(b) CNNの推定フェーズ

2.2 2次元線形基底展開による特徴量抽出

本実験では2次元画像での線形基底展開を用いる。図2は2次元画像における線形基底展開の概要を表している。被乗数がオリジナル画像。乗数が基底関数の濃淡。積が変換後の画像を表している。変換後の1行1列の水色の箇所は、オリジナル画像と基底関数の1行1列の水色の箇所との内積をとったものが入る。同様に変換後の緑の箇所は、オリジナル画像と基底関数の1行2列の緑色の箇所との内積をとったものが入る。以下に計算式を記載する。この計算を繰り返すことにより基底展開を行う。

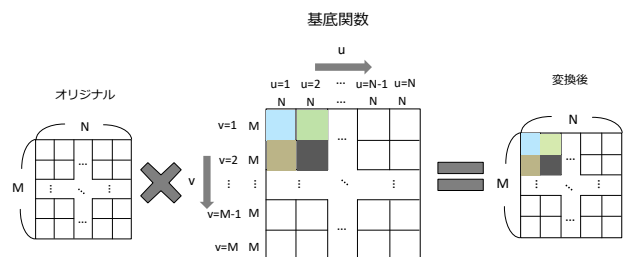


図2 2次元画像における線形基底展開

3. 検証実験

3.1 実験システム

検証実験では、ラインスキャンカメラ(NED社: XCM20125GIG)を使用し撮影した16枚のLSCIを用いる。16枚のLSCIにおける初速度、打ち出し角度、バックスピンの範囲は、初速度は2.14~4.28 m/s、打ち出し角度は0.18~0.66 rad、バックスピンは33.05~139.51 m/sとなる。また、学習に用いるLSCIをシミュレーションで作成するための初速度、打ち出し角度、バックスピンの範囲は、初速度が5、10~90 m/s(分解能10 m/s)、打ち出し角度が0~60度(分解能10度)、バックスピスが0~200 rad/s(分解能50 rad/s)とし、それぞれの組み合わせ及びノイズを加えた8万4000枚の画像を作成した。推定値のリファレンスとしてラインスキャンカメラによる撮影と同時にハイスピードカメラでもボールを撮影し、初速度、打ち出し角度、バックスピンの真値を求める。

3.2 実験条件

本実験では、基底関数として、以下の3つの基底関数を候補として用いる。

$$z = \cos\left(2\pi\left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M}\right)\right) - i \sin\left(2\pi\left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M}\right)\right) \quad (1)$$

$$z = \frac{1}{\sqrt{2\pi(u+1)}} \exp\left(-\frac{\left(x - \frac{N}{2}\right)^2}{2(u+1)}\right) * \frac{1}{\sqrt{2\pi(v+1)}} \exp\left(-\frac{\left(y - \frac{M}{2}\right)^2}{2(v+1)}\right) \quad (2)$$

$$z = \frac{c}{1 + \exp\left(-\frac{aux}{N} + \frac{avy}{M}\right)} - \frac{c}{2} \quad (3)$$

振幅及び位相では式(1)を用いる。この式は一般的に信号処理でよく用いられるFFT(高速フーリエ変換)である。FFTで画像を変換した後の空間周波数領域には、振幅と位相情報を持ち、本実験ではそれぞれ用いている。ガウスでは式(2)のガウス関数を、シグモイドでは式(3)のシグモイド関数を用いる。

ここで、 x はラインスキャンカメラ画像の横軸、 y は縦軸を表している。また u は基底関数を2次元に表した時の横軸、 v は縦軸を表している。今回学習に用いる画像は、 100×100 としているため、 $N = 100$ 、 $M = 100$ である。式(3)にあるシグモイド関数にある定数 a と定数 c は、今回 $a = 0.1$ 、 $c = 1$ とした。

3.3 評価方法

評価手法は、ラインスキャンカメラで撮影したLSCIの16データにたいし、Leave-one-data-out交差検証を行う。リファレンスとして用いたハイスピードカメラの真値にたいし二乗平均平方誤差(RMSE)を用いて、推定精度を比較する。

4. 実験結果

表1~表3に、初速度、打ち出し角度、バックスピンの基底関数ごとによるRMSEの結果を示す。

表1. 初速度(m/s)推定におけるRMSE

振幅	位相	ガウス	シグモイド
14.93	70.00	38.35	9.79

表1は初速度の推定結果を示している。それぞれの平均RMSEは振幅が14.93 m/s、位相が70.00 m/s、ガウス関数が38.35 m/s、シグモイド関数が9.79 m/sとなった。シグモイドでの9.79 m/sが最も良い結果となった。

表2. 打ち出し角度(rad)推定におけるRMSE

振幅	位相	ガウス	シグモイド
0.40	21.85	37.45	8.40

表2は打ち出し角度の推定結果を示している。それぞれの平均RMSEは振幅が0.40 rad、位相が21.85 rad、ガウス関数が37.45 rad、シグモイド関数が8.40 radとなった。振幅の0.40 radが最も良い結果となった。

表3. バックスピン(rad/s)推定におけるRMSE

振幅	位相	ガウス	シグモイド
29.04	80.92	69.36	68.44

表3はバックスピンの推定結果を示している。それぞれの平均RMSEは振幅が29.04 rad/s、位相が80.92 rad/s、ガウス関数が69.36 rad/s、シグモイド関数が68.44 rad/sとなった。振幅の29.04 rad/sが最も良い結果となった。

5. むすび

本提案手法では、ゴルフスイングにおけるインパクト時のゴルフボールを、LSCIを用いて初速度、打ち出し角度、バックスピンを推定する手法を提案した。検証実験では、初速度、打ち出し角度、バックスピンを推定において、2次元フーリエ変換による振幅、位相を用いて初期状態を推定した場合と、ガウス関数、シグモイド関数を基底とした2次元線形基底展開を行い初期状態を推定した場合の推定精度を比較した。検証実験の結果、初速度、打ち出し角度、バックスピン推定におけるRMSEはそれぞれ、9.79 m/s、0.40 rad、29.04 rad/sとなった。

今回は、基底関数にたいし線形基底展開を用いて特徴量を算出したが、今後は別の基底関数や、非線形による変換の検討が課題としてあげられる。

参考文献

- [1] T. Yamasaki, et al, "Golf Ball Initial Condition Estimation Method of Based on a High Time Resolution Simulation Image," 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Beppu, Japan, 2020