

並列分散遺伝的アルゴリズムによるゴルフボールの回転角検出

Detection of Rotation Angle of Golf Ball with Parallel Distributed Genetic Algorithm

非 佐野 正樹 (同志社大院) 正 廣安 知之 (同志社大工)
正 三木 光範 (同志社大工) 正 角田 昌也 (住友ゴム工業)
非 植田 勝彦 (住友ゴム工業) 正 大貫 正秀 (住友ゴム工業)

Masaki SANO, Graduate School of Engineering, Doshisha University
Tomoyuki HIROYASU, Doshisha University, Tatara Miyakodani 1-3, Kyo-Tanabe, Kyoto
Mitsunori MIKI, Doshisha University
Masaya TSUNODA, Sumitomo Rubber Industries, Ltd.
Masahiko UEDA, Sumitomo Rubber Industries, Ltd.
Masahide ONUKI, Sumitomo Rubber Industries, Ltd.

Key word: Genetic algorithm Distributed genetic algorithm Parallel processing

1 はじめに

ゴルフボールの回転はその飛翔経路に大きな影響を及ぼす。このため、ゴルフボールの回転の計測は、その飛翔経路の予測または制御において重要である。回転を精度良く測定することは、ゴルファーの技術の分析や、良く飛ぶボールやクラブのより効率的な開発につながる。

本研究では、打撃直後に所定の時間間隔をあけて撮影した2つのゴルフボールの2次元画像から、並列遺伝的アルゴリズムによって回転角度を同定するシステムの提案を行う。提案システムではボールの輪郭を利用しないので、不明瞭な輪郭の画像であっても高い測定精度が期待できる。

2 並列分散遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) は、生物の進化を工学的に模倣した確率的な最適化手法である¹⁾。GAでは、探索空間上の探索点を生物個体とみなす。個体の母集団 (population) に対して、選択 (selection)、交叉 (crossover)、突然変異 (mutation)、という遺伝的操作 (genetic operator) を繰り返し適用することにより、環境への適合度 (fitness) が向上し、最適解に到達することが期待される。

分散遺伝的アルゴリズム (Distributed GA: DGA) は、GAの並列モデルの一つである。DGAでは、母集団を複数の島 (island) に分割して遺伝的操作を繰り返す。一定世代ごとに島間で個体の移住 (migration) を行う。本論文では、1つのプロセッサに1つの島を割り当てた並列モデルを、並列分散遺伝的アルゴリズム (Parallel DGA: PDGA) と呼ぶ。

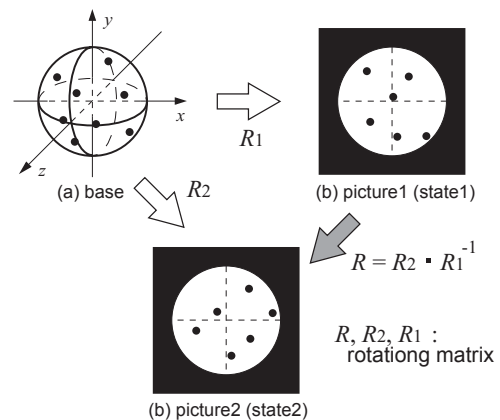


Fig. 1: Detection of rotation angle

3 ゴルフボールの回転角度検出法

本研究で提案するゴルフボールの回転角度検出法は、飛翔するボールを2つの時点 (状態1, 状態2) で撮影した画像を用い、状態1と状態2の間の回転角度を特定するものである (Fig. 1)。

3.1 基準状態からの回転角度の検出法

提案手法の第1ステップでは、基準状態から状態1および状態2への回転行列を、PDGAを用いた最適化によって検出する。ボール表面のスポットの3次元座標が基準状態である。状態1と状態2に対しては、それぞれ対応する撮影画像から算出された、スポットの2次元座標データが存在する。

最適化における設計変数は、X軸・Y軸・Z軸周りの回転角度 (3つ)、拡大率、撮影画像における中心位置 (x, y) の計6つである。最適化によって得られた回転角度から、回転行列 R_1 , R_2 が求まる。 R_1 は基準状態から状態1への回転を示し、 R_2 は状態2

への回転を示す。

目的関数を、式 (1) に示す。 X_i は撮影画像におけるスポットの座標を示し、 Y_j は、基準座標から GA の個体に対応する角度で回転させた後の投影図におけるスポットの座標を示す。 N は撮影画像上のスポットの数であり、 $distance(X_i, Y_j)$ は、2つの点 X_i と Y_j の距離を示す。 X_i と Y_j のペアには重複を許さないこととする。

$$fitness = - \sum_{i=1}^N \min_j (distance(X_i, Y_j))^2 \quad (1)$$

また、式 (1) を適用する前に、スポット座標に対し、拡大率 m と中心位置 O の補正を行う。

$$X_{revised} = (X_{origin} - O) \cdot m \quad (2)$$

3.2 2 状態間の回転角度の算出

提案手法の第2ステップでは、2つの回転行列 (R_1 と R_2) をもとに、状態1・状態2間の回転角度を算出する。基準状態におけるスポットの座標を a とし、状態1と状態2とにおけるスポットの座標を、それぞれ、 b 、 c とすると、 $b = R_1 a$ 、および $c = R_2 a$ が成り立つ。

状態1・状態2間の回転を表す行列 R を、式 (3) によって求める。

$$R = R_2 R_1^{-1} \quad (3)$$

回転行列 R から、式 (4) を用いて、回転角度 θ を求める。ここで、 r_{ij} は R の i 行 j 列の要素である。

$$\cos \theta = \frac{1}{2}(r_{11} + r_{22} + r_{33} - 1) \quad (0 \leq \theta < \pi) \quad (4)$$

3.3 特徴

提案手法は、撮影画像において、ボールの中心位置や大きさが未知の場合でも適用可能である。撮影条件によっては、ボールの輪郭が不明瞭で中心位置が特定できない場合がある。また、カメラと飛行するゴルフボールとの距離は一定ではないので、撮影画像上のゴルフボールの大きさは一定ではない。このような場合でも、撮影画像上の半径や中心位置を、回転角度と同時に PDGA によって特定しているからである。

4 数値実験

4.1 実験方法

使用したスポット配置法は、平面 $x = 0$ 、 $y = 0$ 、 $z = 0$ 、 $y = x$ 、と球が交わる計4つの円周上に、ランダムにスポットを配置するものである。撮影画像

の2次元座標データについては、ボールを所定の軸周りに所定の角度だけ回転させた3組のテストデータを用いた。

逐次モデル (Simple GA) と、並列モデル (DGA) との比較を行った。逐次モデルは、単一プロセッサを使用した単一母集団のモデルである。並列モデルにおける島数 (プロセス数) は8とした。パラメータについては、個体数400、エリート保存1個体、遺伝子長 (L) 60、ルーレット選択、一点交叉、突然変異率 $1/L$ 、移住率0.3、移住間隔5とした。交叉率は、逐次モデルで0.6、並列モデルで1.0とした。終了世代は1000世代である。各テストデータについて20試行ずつ、合計60試行の計算を行った。

計算環境は、PentiumIII 500MHzのプロセッサからなるPCクラスタである。メモリは256MB、オペレーティングシステムはLinux kernel2.2.18、ネットワークにFast Ethernetを使用している。

4.2 実験結果

回転角度の誤差の統計を、Table 1に示す。同表の値は、どの程度の誤差が60試行中何回生じたかを示している。誤差の小さい試行が多いほど良好な結果である。これらの結果より、並列モデルでは、逐次モデルと比較して良好な解が得られているといえる。

Table 1: Error of the rotation angle (60 trials)

error of angle [degree]	1 proc.	8 proc.
$0.0 \leq \text{error} < 1.0$	46	59
$1.0 \leq \text{error} < 2.0$	9	0
$2.0 \leq \text{error}$	5	1

計算に要した時間の平均は、逐次モデルで209秒、8プロセスの並列モデルで33秒である。DGAを採用した並列モデルでは、逐次モデルと比較して、計算時間がおよそ1/6に短縮されている。

5 まとめ

本研究では、並列分散遺伝的アルゴリズム (PDGA) を用いて飛行するゴルフボールの回転角度を検出する方法を提案した。数値実験の結果、並列モデルの適用により、計算時間を短縮することができた。また、通常の逐次モデルと比較して良好な性能を実現した。

参考文献

- 1) D.E.Goldberg. *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.

出典：

日本機械学会 第 15 回計算力学講演会 講演論文集,
No.02-02,
pp.51-52,
(2002 年 11 月)

問い合わせ先：

同志社大学工学部/ 同志社大学大学院工学研究科
知的システムデザイン研究室
(<http://mikilab.doshisha.ac.jp>)