

ラインスキャンカメラを用いた バッティングにおける3次元軌跡の推定

阿部博斗[†] 楠木崇史[†] 渡辺嘉二郎^{††} 栗原陽介[†]

青山学院大学 理工学部 経営システム工学科[†] 法政大学 理工学部 創生科学科^{††}

1. はじめに

野球の打撃に関して、打者はバットの最も反発するスイートスポットにボールを当てることが重要とされる。しかし、スイートスポットでボールに当たった場合でも、その高さによってゴロやライナー、フライなど打球方向が変化する。そのため、バットの表面ではなく、バットの重心を含む内側の断面が描く軌跡を計測することが重要であり、バットとボールが当たるインパクト近傍における断面の動きを高精度に計測することが求められる。打撃では身体の動きに注目した研究[1]や、バットの軌道についての研究[2][3]が行われている。現在、バット軌跡を推定する方法は、複数のカメラを用いた Direct Linear Transformation method (DLT法)[2]や、ハイスピードカメラ[3]が用いられる。しかし、これらの方法は、大規模、高価格であり、日常的に練習することは難しい。筆者らはこれまでラインスキャンカメラを用いて、ゴルフスイングのクラブの軌跡を計測するシステムを提案して来た[4][5]。そこで本研究では、ラインスキャンカメラを用いて、簡易的にバットの断面の軌跡を計測する方法を提案する。

2. 提案手法

図1に提案手法の流れを示す。スイング中のバットを、ラインスキャンカメラで撮影したローカル座標系データから、グローバル座標系に変換することでバットの軌跡を推定する。ラインスキャンカメラは、1次元センサを搭載したカメラで、画素数が多く高分解能という特長がある。

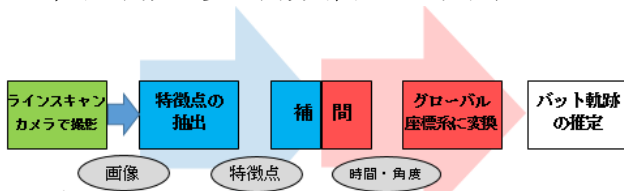


図1 提案手法の流れ

バットの動きをカメラで読み取るため、ヘッド先端からスイートスポット付近にかけてマーキングを施す。

上, 中, 下段のマーキングポイントをそれぞれ U_i, C_j, B_k とする。

$$\begin{aligned} U_i &= (x_{U_i} \ y_{U_i} \ z_{U_i}) \\ C_j &= (x_{C_j} \ y_{C_j} \ z_{C_j}) \\ B_k &= (x_{B_k} \ y_{B_k} \ z_{B_k}) \end{aligned}$$

本論文では、求めるバットの断面を四角形で表現する。この四角形の頂点の座標を $F_n = (x_{F_n} \ y_{F_n} \ z_{F_n})$ ($n=1,2,3,4$) とし、マーキングポイント U_i, C_j, B_k から F_n の軌跡を推定する。

次にカメラの画像から上, 中, 下段のマーキングポイントを通過する時刻 t と角度 θ を求める。有効開始スキャン数を v_0 [scan], 角度を求める時の基準となるボールの中心を h_0 [pixel] とする。

$$\begin{aligned} t_{U_i} &= (v_{U_i} - v_0) \cdot \Delta t & \theta_{U_i} &= (h_{U_i} - h_0) \cdot \Delta \theta \\ t_{C_j} &= (v_{C_j} - v_0) \cdot \Delta t & \theta_{C_j} &= (h_{C_j} - h_0) \cdot \Delta \theta \\ t_{B_k} &= (v_{B_k} - v_0) \cdot \Delta t & \theta_{B_k} &= (h_{B_k} - h_0) \cdot \Delta \theta \end{aligned}$$

上式で求めた時刻において、2つの特徴点のローカル座標系における座標を補間する。隣り合う特徴点間は狭いため、バットが等速運動し特徴点間は線形補間できるとする。

$$\begin{aligned} U(t) &= U_i + (U_{i+1} - U_i) \cdot \frac{t - t_{U_i}}{t_{U_{i+1}} - t_{U_i}} \\ C(t) &= C_j + (C_{j+1} - C_j) \cdot \frac{t - t_{C_j}}{t_{C_{j+1}} - t_{C_j}} \\ B(t) &= B_k + (B_{k+1} - B_k) \cdot \frac{t - t_{B_k}}{t_{B_{k+1}} - t_{B_k}} \\ \theta_U(t) &= \theta_{U_i} + (\theta_{U_{i+1}} - \theta_{U_i}) \cdot \frac{t - t_{U_i}}{t_{U_{i+1}} - t_{U_i}} \\ \theta_C(t) &= \theta_{C_j} + (\theta_{C_{j+1}} - \theta_{C_j}) \cdot \frac{t - t_{C_j}}{t_{C_{j+1}} - t_{C_j}} \\ \theta_B(t) &= \theta_{B_k} + (\theta_{B_{k+1}} - \theta_{B_k}) \cdot \frac{t - t_{B_k}}{t_{B_{k+1}} - t_{B_k}} \end{aligned}$$

これらの式と図2の三角形を使用し、ある時刻 t におけるグローバル座標を求める。

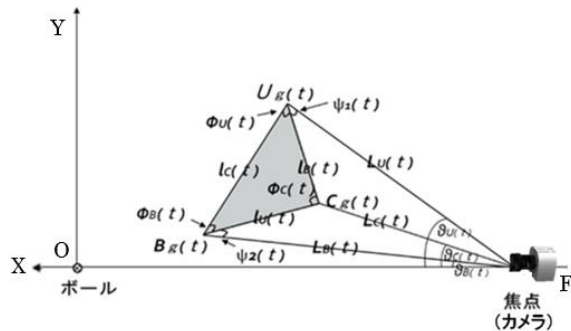


図2 X-Y平面内のグローバル座標値

グローバル座標は

$$\begin{aligned} U_G(t) &= (0 \quad L_U(t) \cdot \sin \theta_U(t) \quad Z_F - \cos \theta_U(t)) \\ C_G(t) &= (0 \quad L_C(t) \cdot \sin \theta_C(t) \quad Z_F - \cos \theta_C(t)) \\ B_G(t) &= (0 \quad L_B(t) \cdot \sin \theta_B(t) \quad Z_F - \cos \theta_B(t)) \end{aligned}$$

となる。

3. 実験方法

図3のように、格子の交差点を特徴点($U_1 \sim U_{35}$, $C_1 \sim C_{35}$, $B_1 \sim B_{35}$ の計105点)としたバットを使用する。ラインスキャンカメラで特徴点を読み取り、提案手法を用いて三次元化する。さらに、モーションキャプチャを用いた実験を同時に行い、それらの誤差から比較を行う。



図3 ラインカメラで読み取る格子の特徴点

4. 実験結果

図4は提案手法とDLT法で計測した断面の軌跡を示す。また、表1にはスイングごとに推定した4点の誤差と誤差の平均、標準偏差を示す。ス

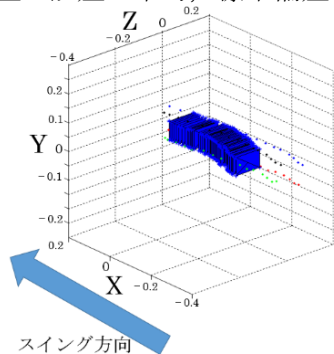


図4 DLT法と提案手法における断面の軌跡

表1 スイングごとの誤差の平均と標準偏差

スイング数	F_1	F_2	F_3	F_4	各スイング $F_1 \sim F_4$ の平均
1	0.0225	0.0333	0.0285	0.0195	0.0260
2	0.0311	0.0358	0.0396	0.0217	0.0321
3	0.0224	0.0290	0.0369	0.0153	0.0259
4	0.0254	0.0385	0.0406	0.0163	0.0302
5	0.0399	0.0310	0.0469	0.0358	0.0384
6	0.0259	0.0474	0.0303	0.0139	0.0294
7	0.0334	0.0278	0.0243	0.0275	0.0283
8	0.0220	0.1322	0.0948	0.0274	0.0691
9	0.0284	0.0260	0.0350	0.0346	0.0310
10	0.0166	0.0414	0.0148	0.0348	0.0289
11	0.0135	0.0272	0.0265	0.0257	0.0232
12	0.0175	0.0475	0.0301	0.0465	0.0354
13	0.0153	0.0267	0.0174	0.0167	0.0190
誤差の平均	0.02415	0.04183	0.03582	0.02582	0.03191
標準偏差	0.00768	0.02817	0.01991	0.00989	0.01641

(単位[m])

イングごとの推定した4点の誤差は、

$$\begin{aligned} F_1 &: 0.0135\text{m} \sim 0.0399\text{m}, F_2 : 0.0260\text{m} \sim 0.1332\text{m} \\ F_3 &: 0.0148\text{m} \sim 0.0948\text{m}, F_4 : 0.0139\text{m} \sim 0.0465\text{m} \end{aligned}$$

であった。

5. 結び

本研究では、高時間分解能であるラインスキャンカメラを使用し、安価でコンパクトにインパクト近傍において連続的にバットの重心を含む断面の軌跡を推定する方法を提案した。また、ハイスピードカメラを使用したDLT法との比較を行い、提案手法においても十分な精度であることが確認できた。

参考文献

- [1] 高木他:異なる投球速度に対する野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究, バイオメカニズム学会誌, Vol.32, No.3 (2008)
- [2] 前田:野球におけるバットスイングの再現性に関する研究, スポーツ方法学研究, Vol. 14, No.1 (2001)
- [3] 大室他:野球のバットスイングの解析, 日本機械学会 シンポジウム講演論文集, No.04-26 (2004)
- [4] 瀬川他:ゴルフクラブスイング時のヘッドの三次元移動軌跡と姿勢の計測, 計測自動制御学会論文集, Vol. 39, No.10 (2003)
- [5] 小坂部他:ラインスキャンカメラを用いたゴルフクラブフェース軌跡計測システム, 電子情報通信学会 2015年総合大会講演論文集, D-12-45

Estimation of Batting Loci in the Three-dimensional Space by Using the One-dimensional Scan Camera
 Hiroto Abe[†] Takashi Kaburagi[†]
 Kajiro Watanabe^{††} Yosuke Kurihara[†]
 Aoyama Gakuin University[†]
 Hosei University^{††}