

蛍狩りカメラを用いたアスリートの運動解析システムの提案

A method for Performance Analysis of Athlete using Firefly Capturing Camera

藤原 孝幸†
Takayuki Fujiwara

室伏 広治‡, *
Kohji Murofushi

湯浅 景元‡
Kagemoto Yuasa

奥水 大和†
Hiroyasu Koshimizu

1. まえがき

本論文では蛍狩りカメラ[1, 2]を用いて、アスリートの運動軌跡を3次元的に取得し、それらを運動解析に用いる手法を提案する。モーションキャプチャ技術における計測方式には光学式・機械式・磁気式などが知られ、それぞれに長所・短所があり、また様々な分野でそれらの応用事例が見られる[3-6]。近年ビジョンベースの研究も行われているが[3, 6]、人間の動作等に限定しており、また運動動作においては撮像センサのフレームレートにも依存し、その画質(運動動作による被写体のブレ)も処理に耐え難いものとなりうる。

我々の提案する「蛍狩り計測法」に基づく蛍狩りカメラでは、球面収差の大きいレンズにより点光源をリング像に変換し、そのリング像の直径と位置から光源の3D位置を計測する手法を用いることにより、複数光源のリアルタイム計測を実現している。モーションキャプチャ技術の分類ではカメラとマーカーを用いているものとなるが、光学式のような複数のカメラを必要とせず、またLED光源をマーカーとして用いているため、機械式・磁気式のようなマーカーの制限(重量・大きさ)も非常に有利なものとなっている。

さらに、1台のカメラで撮像したリング像の直径と位置から光源の3D位置を求めるため、複数カメラを用いる手法にみられる、キャリブレーションやオクルージョン問題が発生しない。本論文では、提案システムの詳細を、現役競技者を被験者とした予備計測・解析結果とともに述べ、本システムの有効性を明らかにする。

2. 蛍狩りカメラの概要

通常のレンズ設計では、対象物を鮮明な像として撮影するために、対象物上の一点が点像に変換されるよう、レンズの収差はできるだけ小さく設計される。しかし、蛍狩り計測法では、レンズの球面収差をできるだけ大きくし、光軸より離れた場所を通過した光が光軸付近を通過した光よりもレンズで大きく屈折されるようにする。点光源はレンズの焦点位置より対象物側に設置されたイメージセンサ上でリング像に変換される。球面収差の大きいレンズとして、複数の半球レンズを用い、さらに半球レンズの球面側を図1のように向かい合わせることで、リング像の半径が小さくなり、かつ光軸近傍にリング像が形成される。半径が小さくなることでリング像の輝度は高くなり、球面収差は単レンズの場合よりも大きくなるため、円直径の変化量が大きく、距離方向の分解能向上に寄与している。

レンズの第1面と光軸との交点を原点とし、LED光源の

† 中京大学情報理工学部, ‡ 中京大学体育学部

* ミズノ株式会社

位置を (x, y, z) とした場合、原点からLEDまでの距離を L とすると、 L は式(1)に示すように求められることが予備実験よりわかっている[1]。

$$L(t1) = a2(t1)/D^2 + a1(t1)/D + a0(t1) \quad (1)$$

ここで、 $t1$ は光源が光軸となす角度で、 D はリング像の円直径である。 $a0, a1, a2$ は角度 $t1$ の関数であり、 $t1$ によって決定される定数である。角度 $t1$ は角度 $t2$ によって式(2)に示すように求められる。

$$t1 = b1 \cdot t2 + b0 \quad (2)$$

ここで、 $b0, b1$ は定数であり、角度 $t2$ はリング像の中心位置と光軸のなす角度である。これによりリング像の中心位置を検出することで、光源が存在する位置方向である角度 $t1$ が求められる。 $t1$ が得られることにより、式(1)にて円直径から光源の距離が導出される。つまり、極座標として距離 L と方向 $t1$ が求められることとなり、光源の3D位置 (x, y, z) は式(3)にて算出される。

$$\begin{aligned} x &= L(t1) \cdot \cos(t1), \\ y &= L(t1) \cdot \sin(t1) \cdot \cos(s), \\ z &= L(t1) \cdot \sin(t1) \cdot \sin(s) \end{aligned} \quad (3)$$

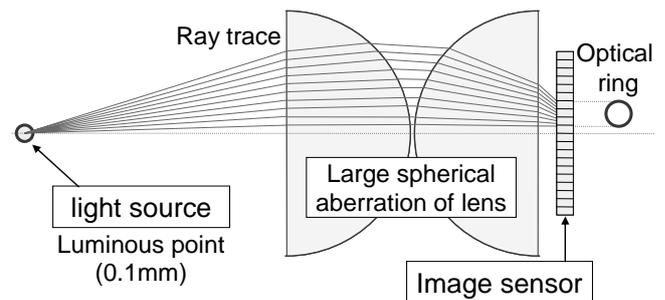


図1 球面収差の大きいレンズの光線軌跡とリング像

3. 多数円像の検出

蛍狩りカメラの利点として、画面内の複数の点光源を個々の円像として撮像できることがあげられる。これら円像に対し、円のHough変換を用いて投票原理による円の検出をする。図2に計測される円像の例を示す。得られた円の中心座標よりXY位置座標を、円の半径よりZ座標値を求める。図2の例では個々の円像が離れている状態であるが、本手法を用いて、重なった円像においてもHough変換を用いることでそれぞれを抽出することができた。投票原理からなるHough変換を用いることにより、多様な状態の

円を確実に検出できることがわかっている。また、多点位置計測で重要な問題として、円像の追跡が考えられる。個々の円を識別しながら追跡することで、同一対象物を連続的に計測することができる。その追跡には、円の位置の予測に加速度を加えたカルマンフィルタを用いた。状態空間モデルを式 (4) に示す。

$$\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{F}\mathbf{x}_t + \mathbf{G}\mathbf{w}_t \quad (4)$$

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{H}\mathbf{x}_t + \mathbf{v}_t$$

ここで、 \mathbf{x}_t は離散時刻 t (画像フレーム) における、画像上の円中心位置 $\mathbf{x}(t)$, $\mathbf{y}(t)$ とその移動速度 $\mathbf{v}_x(t)$, $\mathbf{v}_y(t)$ とその加速度 $\mathbf{a}_x(t)$, $\mathbf{a}_y(t)$ を要素とする状態ベクトルである。また \mathbf{F} は状態遷移行列, \mathbf{G} は駆動行列, \mathbf{H} は観測行列となる。

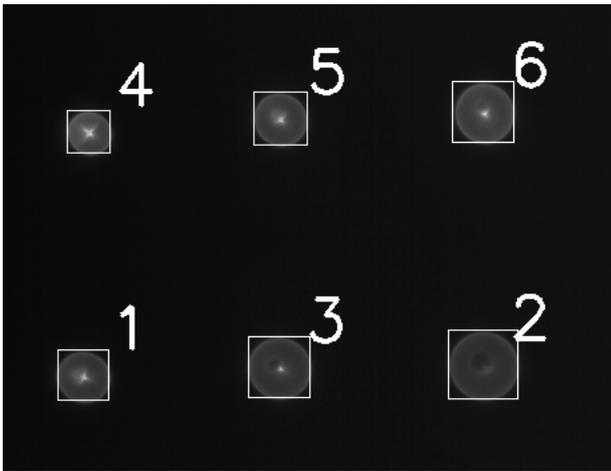


図2 円像の検出例

4. 実験

4.1 実験環境の詳細

蛍狩りカメラを用いて複数の点光源の 3D 位置が計測できることを利用し、運動競技者の運動動作の計測を試みる。本実験においては、頭頂部にマーカを設置し、運動動作における頭の動作位置を計測することとした。頭頂部には図3に示すように LED を配置したボードを取り付けた。複数の LED を配置することにより、計測誤差および適切な位置に検出されなかった点光源の影響を削減することとした。また、本システムの計測可能範囲を図4に示す。イメージセンサへ写像されるリング像の直径にて距離を計測するため、写像される円の半径とイメージセンサの素子サイズより、本システムの計測できる距離の限界は、およそ 1000mm となっている。図5に示すように帽子を被る事で LED ボードを装着し、図4の計測可能範囲において、頭上に設置されたカメラで運動動作における LED 光源を撮像した。本システムにおいては、イメージセンサには画素数 1280x1024, サイズ 14x12mm の CMOS センサを用い、3.4GHz-CPU のパソコンで 30fps を実現している。

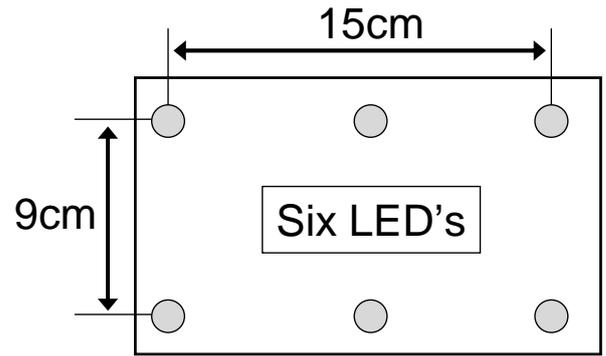


図3 実験に用いた LED ボードの配置図

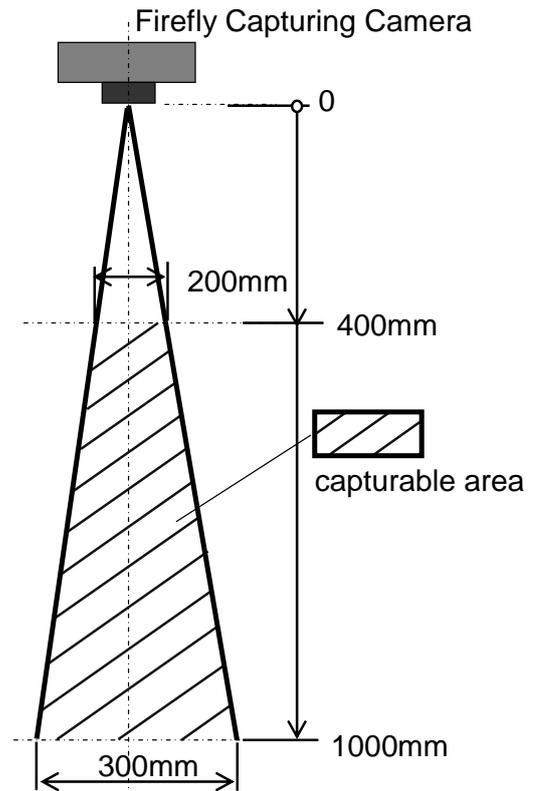


図4 本システムにおける計測範囲



図5 計測例, および帽子に取り付けた LED

4.2 実験結果

蛍狩りカメラを用いた本システムは、LED による軽量かつ取り扱いが簡便なマークを設置することで、陸上競技者の運動動作を計測することができた。今回計測した競技者は、ハンマー投げ、円盤投げ、短距離走、ハードル走各 1 名の計 4 名であった。計測した運動動作は、屈伸をした後に、回転動作をすることとし、それぞれの運動で詳細な指示は設けなかった。計測結果とその分析を表 1 に示す。また、これらの分析に際しては、図 6 に示すような簡易のビューワを設計し運動動作の視覚化も図っている。現状では、各フレームの位置と軌跡を表示する程度となっているが、これら運動動作を効果的に視覚化することで、被験者への運動動作の教示システムへの展開も考えられる。

被験者 1 と被験者 2 は、それぞれハンマー投げ、円盤投げの選手であり、競技においては回転運動を用いている。今回の計測実験では、運動動作に関する詳細を指示しなかったため、被験者 1 と被験者 3 は屈伸運動を含めた回転運動となっていた。そのため、分析結果にも表れているように競技者に即した計測結果は得られなかった。しかしながら、本システムを用いることで、運動動作の頭部位置を詳細に計測できることが明らかになった。

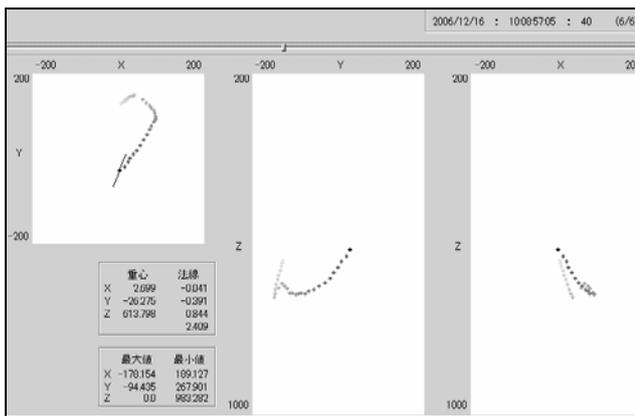


図 6 身体運動の三面図表示

5. 今後の課題

頭頂部に設置する計測法としては、運動動作における意識付けを含め、より詳細な指示を被験者に与えるとともに、フィギュアスケートのスピン等の様々な運動動作を分析するとともに、運動競技者のパフォーマンス支援システムとしての応用も検討している。さらに、頭頂部のみに設置するだけでなく、肩や腕さらにラケット等にも配置することで、他の競技への応用も検討しており、それらを可能とするため、蛍狩りカメラの計測範囲拡大も試みている。

参考文献

- [1] 瀬古保次, 佐口泰之, 山口義紀, 堀田宏之, K. Murai, 宮崎淳, 興水大和: 蛍狩り計測法 - レンズの球面収差とハーフ変換を利用した同時多点単眼 3D 位置計測-, ViEW2005 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, pp.300-305 (2005)
- [2] 瀬古保次, 佐口泰之, 堀田宏之, 伊與田哲男, 興水大和: 蛍狩りカメラにより位置と方向を計測する Local Positioning System, ViEW2006 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, pp.177-181 (2006)
- [3] 岡本賢一, 八村広三郎, 中村美奈子: 舞踊譜 Labanotation に基づく身体運動データ入力・編集・表示システムの開発, 情報処理学会「人文科学とコンピュータ」シンポジウム論文集, pp.73-80 (2001)
- [4] R. Okada, B. Stenger, T. Ike, and N. Kondoh: Virtual Fashion Show Using Real-Time Markerless Motion Capture, Proc. of Asian Conference on Computer Vision, Vol. 2, pp.801-810 (2006)
- [5] 富山仁博, 片山紀生, 岩館祐一, 今泉浩幸: 視体積交差法とステレオマッチング法を用いた多視点画像からの 3次元動オブジェクト生成手法, 映像情報メディア学会誌, Vol.58, No.6, pp.797-806 (2004)
- [6] A. W. B. Smith and B. C. Lovell: Measurement Function Design for Visual Tracking Applications, Proc. of International Conference on Pattern Recognition 2006, P-I-3-63 (2006)

表 1 計測実験の分析結果

(A: The number of seconds and frames, B, C, D: The variance of x, y, z , E, F, G: The average of x, y, z)

	A	B	C	D	E	F	G
Subject 1	2:23	26.674	19.473	2380.649	-0.975	5.938	664.131
Subject 2	1:22	1.101	2.542	206.544	1.661	12.829	615.444
Subject 3	1:11	11.703	20.832	1846.457	-5.418	12.515	602.821
Subject 4	3:17	30.981	20.015	594.745	-4.835	2.673	604.941