

E-1

三角測量の原理をそのまま用いた 3 次元移動軌跡の計測

A Measuring Method for 3D Trajectory using Straightforward Triangulation

○山崎 健太¹, 清水 雅夫²*Takehiro Yamazaki¹, Masao Shimizu²

Abstract: The report proposes a new measuring method to estimate a 3D trajectory in large scale outdoor environment using asynchronous cameras such as wearable camera. The method eliminates the extrinsic camera parameters obtainable from calibration object images. Experimental results illustrate effectivity of the proposed method.

1. はじめに

各種球技でのボールの飛翔軌跡の 3 次元計測結果は、テレビなどの放送をはじめとして、ゲーム解析や選手のスポーツスキル分析などに利用されている。球技場に設置されたテレビカメラは、放送に利用することが前提なので、完全に同期していて同じタイミングで撮影対象を時間的にサンプリングする。このため、放送用のカメラ群を使えば、同じタイミングで撮影したステレオ画像を使って 3 次元計測を行うことができる。しかし、競技によっては、必ずしもこのように整った施設で行われないこともあるが、そのようなときにもボールの飛翔軌跡を計測したい場合もある。

ところで、市販のウェアラブルカメラは、撮影レンズと撮像素子はもちろん、撮影画像を確認するための小型液晶パネルと時系列画像を保存するメモリーカードが搭載されていて、充電式電池で動作する。このようなカメラを使って、屋外でのボールの 3 次元移動軌跡や、ペットボトルロケットやドローンの飛翔軌跡が簡単に計測できれば、より多くのアプリケーションで利用できると考えられる。

屋外などの大空間で、ウェアラブルカメラを使って 3 次元移動軌跡を計測するときには、2つの問題点がある。まず、3次元計測を行うときには、テキスト[1]などに紹介されているカメラの透視投影行列を用いる方法では、計測対象を撮影する前にキャリブレーションオブジェクトを配置する必要がある。しかし、屋外などの大空間でのこのようなキャリブレーションを行うことは現実的ではない。次に、ウェアラブルカメラは、他のカメラとの同期を考慮していないので、移動対象を同じタイミングで撮影している保証がない。異なるタイミングで撮影したステレオ画像を使った 3 次元計測結果は、本来の結果とは異なったものになってしまう。

2. 提案手法

まず、キャリブレーションオブジェクトが不要な 3 次元位置計測方法を述べる。ステレオカメラは 2 台で構成して、三脚などで固定する。各カメラから見た移動物体（点とする）方向への半直線を、カメラからの視線と呼ぶことにする。カメラの位置関係がわかっているとすれば、この 2 つの視線の式の交点座標が移動物体の 3 次元位置である。実際には誤差を含むため、この視線の式は 3 次元空間内で交差する保証はないが、多くの場合は、この 2 本の視線間の最短距離線分の中点を対象の 3 次元位置とする。カメラの位置関係を知るために、計測に先立ち鉛直物体（重り付きの糸など）を画像中心を通位置で撮影することと、2 台のカメラは同一高度に設置されていて画像中にお互いのカメラが撮影されていることを前提とした。これらの条件を使うことで、画像座標系の水平軸とレンズ光軸を地球に対して水平に補正することができる。また、レンズ歪みやレンズ焦点距離のパラメータが必要になるが、OpenCV などのキャリブレーション関数を利用して、あらかじめ高精度に求めることができる。

次に、2 台のウェアラブルカメラが非同期であり、同じタイミングで移動対象を撮影していない問題を解決する。ただし、カメラ間は同期していないが、2 台のカメラのフレームレートは同一とする。もしも 2 台のカメラが同期していて、しかもあらかじめ求めたレンズ歪みパラメータに誤差がなければ、2 台のカメラの視線は 3 次元空間中の 1 点で交差する。しかし、対象が移動していて、しかもその移動がエピソード平面を回転させるときには、カメラ間の撮影時刻差が大きいほど、2 本の視線間の最短距離線分の長さが大きくなる。そこで、各カメラで撮影した時系列画像間に、あるフレームずれを設定して、対象の 3 次元位置を求めるときに同時に求まる最短距離線分の長さの 2 乗和

1 : 日大理工・院 (前) ・精機, 2 : 日大理工・教員・精機

を求める。この 2 乗和は、時系列画像間が同期したときに最小になるので、そのときのフレームずれから時系列画像を同期させることができる。

提案手法は、玉城らの方法[2]に似ているが、画像間の基礎行列を推定する必要がない点で、より簡易で安定である。

3. 実験結果

ウェアラブルカメラとして、GoPro HERO4 を使用した。実験室環境で OpenCV のキャリブレーション関数を用いて、あらかじめレンズ歪みとレンズ焦点距離を求めた。全ての撮影は動画撮影モード (1920×1440 画素, 24FPS) で行った。

カメラの透視投影行列を使う 3 次元位置計測方法 (従来法) と比較するために、Figure 1 に示すようなキャリブレーションターゲットをあらかじめ撮影した。

計測対象は、Figure 2 に示す、回転数を任意に変更できるように改造したレコードプレーヤーのターンテーブルに固定した白玉である。白玉は、半径 160mm の円軌道を描く。回転数が遅いときには、対象のフレーム周期間における移動量が小さいので、同期したステレオカメラでの計測 (正解) と見なすことができる。

白玉のトラッキング結果を使って、従来法と提案手法での 3 次元軌跡を求めた。Figure 3 に、従来法での計測結果を示す。低速回転 (青) に対して、高速回転 (赤) の移動軌跡がずれている。Figure 4 に、提案手法での計測結果を示す。回転数によらず、移動軌跡はほとんど同一となっている。これは、高速回転 (赤) の 3 次元軌跡を求めるときに、サブフレーム位置補間 (本稿では説明していない) を行い、完全に同期したカメラでステレオ計測をしていることに相当するためである。

参考文献

- [1] 奥富ほか編：「デジタル画像処理」, 公益財団法人画像情報教育振興協会, pp. 315--319, 2015.
 [2] 玉城・斎藤：「非同期カメラを用いたボールの 3 次元軌跡復元法」, 精密工学会誌, vol. 80, No. 12, pp. 1157--1165, 2014.



Figure 1. Stereo images of calibration object for a conventional method.



Figure 2. Stereo images of a tracking target.

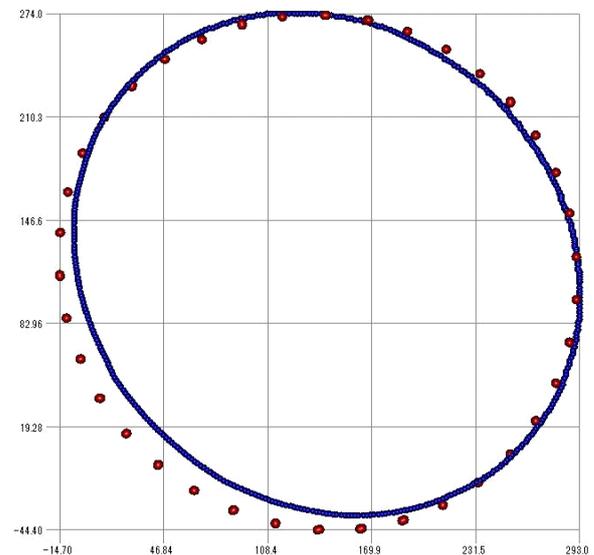


Figure 3. Trajectory using a conventional method.

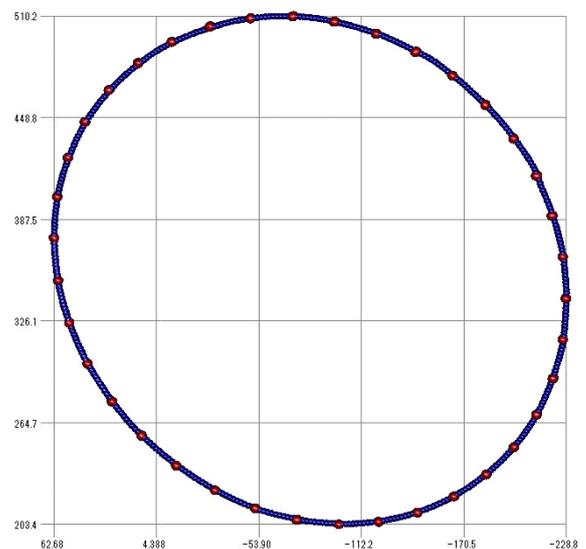


Figure 4. Trajectory using the proposed method.