

三次元情報を用いた 走り高跳びトレーニング支援システムの提案

郭建坤 水野慎士

概要: 近年、スポーツ分野での情報処理技術の活用が大いに注目を集めている。このような背景の中、本研究は走り高跳びに着目して、走り高跳びのトレーニングを支援する手法の提案とシステムの開発を行う。このシステムでは走り高跳びの一連の跳躍動作を時系列三次元データとして取得する。このデータを可視化することで、跳躍動作を任意の視点から観察することが可能である。そして、時系列三次元データを統合して得られる跳躍動作全体の統合三次元データを用いることで、跳躍動作の分析を行うことが可能である。この分析では、その跳躍における理論的な最高記録、および最適な跳躍位置や跳躍方向の推定を行うことができる。本システムを用いることで、同じ跳躍でもより良い記録を出すことが可能となり、走り高跳びトレーニング支援のひとつとして、活用できることが期待される。本論文ではプロトタイプシステムを実装して提案手法の有効性を検証する。

A Proposal of a High Jump Training Support System using Three-Dimensional Information

GUO JIANKUN

MIZUNO SHINJI

Abstract: Use of information technology in the field of sports is getting attention recently. In those circumstances, we propose and develop a high jump training support system. The system records time series 3D data of the high jump motion. It is possible to create 3DCG from the data and to observe high jump motion from arbitrary viewpoint. It is also possible to analyze the high jump motion and calculate the theoretical best record and the optimum position and direction of jumping by using unified data of the time series 3D data of high jump motion. Our method could be useful to help the training of high jump. In this paper, we develop a prototype system and verify efficiency of our method.

1. はじめに

近年、情報処理技術の発達とともに、様々なデータをリアルタイムで取得できるようになってきた。音声のような一次元データ、画像などのような二次元データに加えて、三次元データをリアルタイムに取得することも可能となってきている。そして、動画などの時系列データの取得も二次元および三次元データとして取得できるようになってきた。そして取得したデータを分析したり、可視化したりするデータ処理技術も発達してきた。このような情報処理技術は様々な分野に応用されている。

情報処理技術や可視化技術はスポーツの分野も活用されている。瀧らはスポーツ競技における運動情報の可視化に関する研究を行っている[1]。この中では、ゴルフ動作中に各関節の三次元座標やデータや筋電位を測定して、それらを三次元CGとして可視化したり分析したりすることで、動作フォームを視覚的かつ直感的に理解することを可能にしている。また、サッカー映像から優勢領域を抽出して可視化することで、サッカーの試合の分析を行っている。田中らは空手のバーチャル練習システムに関する研究を行っている[2]。ここではモーションキャプチャを用いて、CGで再現した空手上級者と仮想的な練習を行うことで、空手上級者の読みや駆け引きを習得することを目的とする。ま

た、NHKはロンドンオリンピックに合わせて「ツイズカム」を開発した[3]。これは水中と水上に設置した2台のカメラの映像が水面を境界にして合成し、水面にレンズを置いて撮影したかのような映像を表現することができるカメラである。このとき、水と空気との光の屈折率の違いを考慮して、カメラのズーム比や映像の自動調整を行うことで、スムーズな映像合成を実現している。情報技術の活用は本格的なスポーツだけでなく日常の健康維持のための運動にも及んでおり、桑野らはGPSデータや心拍数データを用いて、適切な負荷で楽しくウォーキングを行うことができるシステムの開発を行っている[4]。

このような背景の中、著者らは走り高跳びに着目する。走り高跳びははさみ跳び、1910年代に登場したベリーロール、そして1960年代に登場した背面跳びなど、様々な跳躍法がある。そして、走り高跳びは「助走」「踏切り」「クリアランス」という要素で構成され、助走における姿勢、踏切りにおいて助走を上昇力に変える技術、クリアランスにおける空中姿勢など、様々な要素や技術が組合わされた複雑な競技である。そのため、跳躍技術の向上のためには跳躍動作の分析と適切な指導が必要である[5]。

走り高跳びの跳躍動作は複雑であり、通常のビデオ撮影に基づく跳躍動作分析だけでは十分ではない。そのため、石井は2台のカメラを用いて走り高跳びの跳躍動作を撮影して、手動で身体の各部の三次元座標を計算して、骨格モデルによる跳躍動作の三次元CG再現や重心高の算出、ク

リアランス効率などの分析を行っている[6]。ここでは、走り高跳び跳躍動作の三次元データに基づくトレーニング支援の有効性を示しているが、三次元データ生成には手間と時間が必要であり、競技者に対する練習最中の分析結果のフィードバックは困難である。

そこで、本研究では Kinect を用いた走り高跳び跳躍動作の三次元データの取得と分析による走り高跳びトレーニング支援システムを提案する。跳躍動作の時系列三次元データを取得してリアルタイムに可視化するとともに、跳躍動作の三次元データを統合して分析することで理論的な最高記録や理想的な踏切り位置や角度を推定することが可能となる。

2. システムの概要

提案システムの外観を図1に示す。空間中の物体形状をリアルタイムに三次元的にスキャンすることができる Kinect をバー付近に設置する。これにより、走り高跳びの跳躍動作の時系列三次元データを取得することができる。

取得したデータは空間中の大量の三次元座標情報および色情報で構成される。そこで、この情報を用いて CG 空間に点を描画することで、走り高跳びの跳躍動作を三次元 CG アニメーションとして可視化することができる。そして、任意の視点から跳躍動作アニメーションを確認することが可能である。

時系列三次元データを一つの三次元 CG 空間に統合することで、跳躍動作の統合三次元データが生成される。このデータには助走終盤、踏切り、そしてクリアランス中の競技者の様子が三次元座標データとして全て含まれている。このデータを三次元 CG として可視化することで、跳躍動作中の競技者の一連の姿勢や軌跡を確認することができる。そして、クリアランス中の領域で仮想的なバーを移動させることで、その跳躍動作における理論的な最高記録を算出することが可能である。また、理論的な最高記録における仮想的なバーの位置と実際のバーの位置を比較することで、理想的な踏切り位置や踏切り方向を算出することも可能で

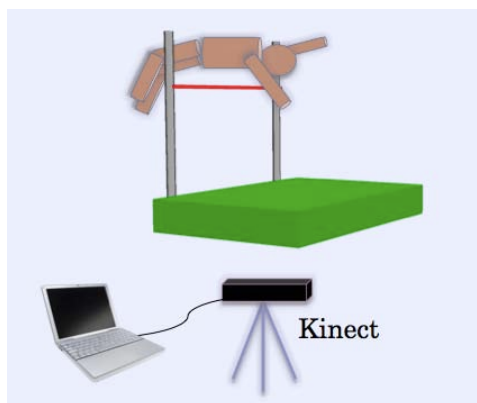


図1 提案システムの外観

ある。

3. 実現方法

3.1 時系列三次元データ生成

前章で述べたように、跳躍動作の様子を Kinect で三次元スキャンすることで、時系列三次元データを取得する。データ取得は毎秒 30 フレームで 3.3 秒(100 フレーム)行い、各フレームのデータはスキャン点の三次元座標と色情報で構成される。Kinect を用いることでユーザの関節データを取得することも可能であるが、走り高跳び中は競技者が三次元的に様々な方向を向き、精度の高い関節点の取得は困難であるため、現状では関節点の取得は行っていない。

Kinect で得られる三次元スキャンデータの解像度は 640 × 480 画素である。また、垂直視野角は 43 度である。ここで跳躍動作を 4m 離れた場所から三次元スキャンすることを考えた場合、上下方向の長さは 315cm となる。走り高跳びの世界記録は 2m45cm であり、通常の走り高跳び跳躍動作の取得には十分なスキャン範囲を持つ。また、1 画素あたりの長さは約 0.66cm となるが、走り高跳びの計測は通常 1cm 刻みであるため、Kinect で取得する三次元スキャンデータは走り高跳びの記録測定に対して理論的には十分な解像度を持っていると言える。

取得した時系列三次元データを CG 空間に点で描画することで、走り高跳びの跳躍動作を三次元 CG アニメーションとして可視化することができる。そして、任意の視点から跳躍動作アニメーションを確認することが可能である。図2に時系列三次元データを可視化した例を示す。

3.2 統合三次元データ生成

時系列三次元データを一つの三次元 CG 空間に統合することで、走り高跳び跳躍動作の統合三次元データが生成される。

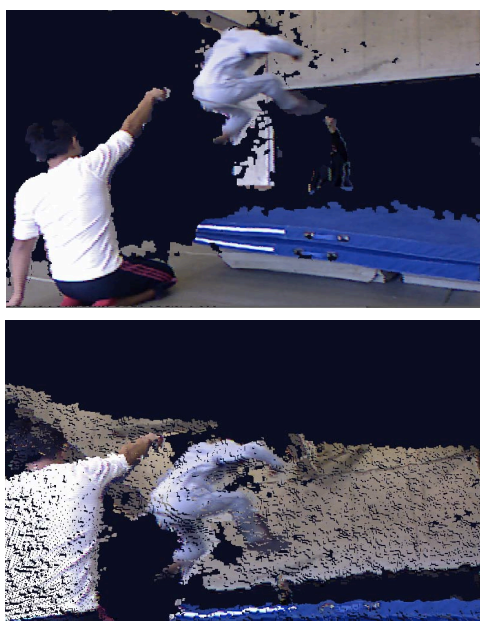


図2 時系列データの可視化の例

ここで、時系列三次元データの解像度は 640×480 画素であるため、1 フレームあたり 30 万 7200 個の点で構成されている。そのため、100 フレームの時系列データを単純に統合したとすると、統合三次元データは 3072 万個の点で構成されることになる。この場合、統合三次元データをリアルタイムで表示することは困難となり、データ分析も非常に大きな時間がかかってしまう。

そこで、統合三次元データの生成時にスキャン点の削減を行う。統合三次元データは時系列三次元データのフレームを順次進めながら、スキャン点を CG 空間に配置していく。ここで、新たなフレームの各スキャン点を CG 空間に配置する場合、対象スキャン点の座標付近にすでにスキャン点が配置されていないかどうかを調べて、しきい値以内に配置されたスキャン点がない場合にのみ対象スキャン点を新たに空間に配置する。これにより、同一場所でのスキャン点の重なりを防ぐことができ、統合三次元データのスキャン点を削減することが可能となる。新たなスキャン点を配置するかどうかのしきい値は実験的に 5mm としている。そして 3072 万点のスキャン点が最終的な統合三次元データでは約 100 万点に削減される。

生成された統合三次元データは、時系列三次元データと同様に CG 空間に点で描画する。これにより競技者の走り高跳び跳躍動作の軌跡を三次元 CG として可視化して、任意の視点から確認することが可能である。図 3 に統合三次元データを可視化した例を示す。

3.3 統合三次元データの分析

統合三次元データを用いて跳躍動作の分析を行うが、その前にデータの傾き補正を行う。Kinect の設置状態によっては、CG 空間鉛直方向と実空間の鉛直方向がずれる場合がある。そこで、統合三次元データの床面上の 3 点をマウスクリックで選択することで実空間の鉛直方向を決定したあと、これが CG 空間の鉛直方向と一致するように統合三次元データ全体に対して回転移動を施す。これにより、統合三次元データ中の高さが実空間の高さと一致するように補正後の統合三次元データからは、まず理論的な最高記録を算出する。そのため、図 5 に示すように統合三次元デー

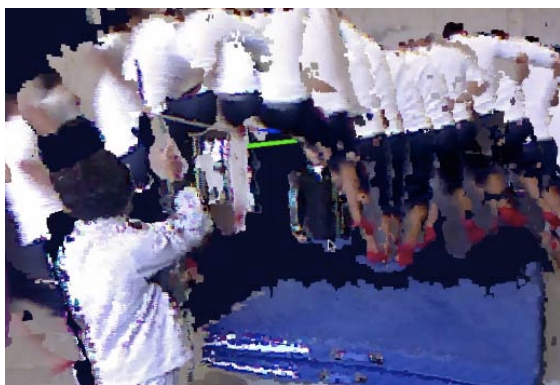


図 3 統合三次元データの可視化の例

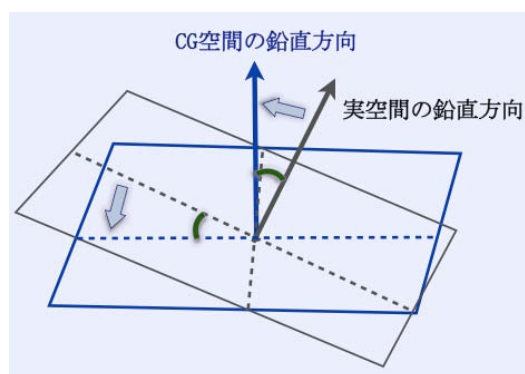


図 4 統合三次元データの補正



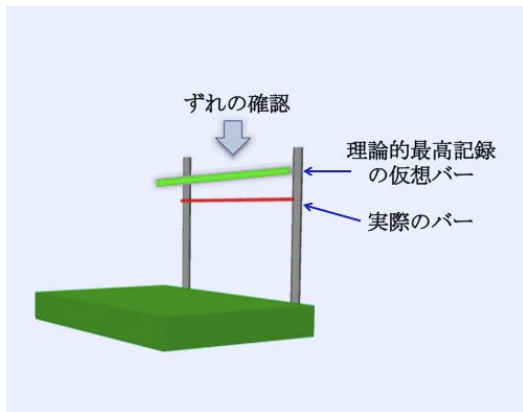
図 5 統合三次元データの分析の様子

タの CG 空間内に走り高跳びの仮想バーを設置する。そして、空間内で仮想バーの位置と角度を少しずつ変化させながら上下移動させて統合三次元データの各スキャン点との接触判定を行い、しきい値以上の個数と接触した場合にはバーと競技者が接触したと判定する。これにより、各地点で競技者と接触しない仮想バーの取り得る高さを調べる。そして、この処理によって最も高い位置を記録した仮想バーの高さを理論的な最高記録とする。

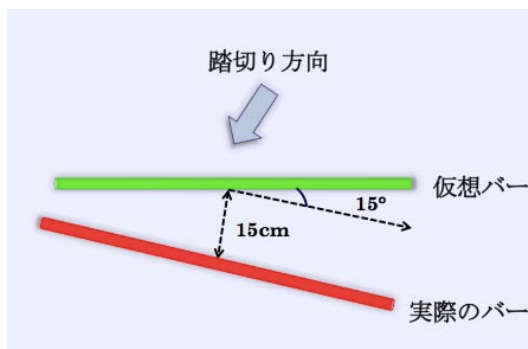
理論的な最高記録での仮想バーと実際のバーとの水平位置と角度との関係から、その跳躍における最適な踏切り位置と鉛直方向周りの最適な踏切り角度を算出することができる。図 6 に示す例で仮想バーの高さが実際のバーより 5cm 高かった場合には、競技者は同じ跳び方であっても跳躍位置が 15cm バー近くで、跳躍方向が鉛直方向反時計周りに 15 度回転して踏切り動作を行っていたら、あと 5cm より高い跳躍ができたと推測できる。

4. 実験

提案した手法に基づいてシステムを実装して、走り高跳び動作の三次元データ取得および分析の実験を行った。実験ではバーの高さは 1m から 1.3m までに設定して、走り高跳びの専門家ではない学生に「はさみ跳び」と「ベリーロール」の二種類の方法で走り高跳びを行ってもらった。3.1 節で述べたように時系列三次元データの解像度は $640 \times$



(a) 実際のバーと仮想バー



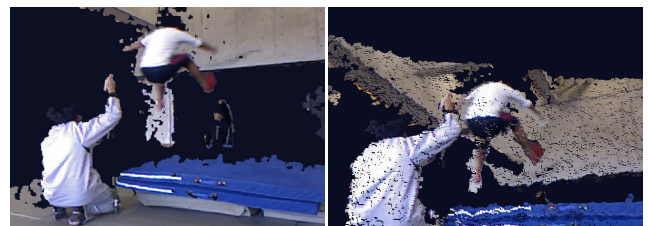
(b) 鉛直方向から眺めた場合の実際のバーと仮想バーとの位置と角度とのずれ

図 6 実際のバーと仮想バーとの位置関係に基づく最適な踏切り方向の推定

480 で、毎秒 30 フレームで 3.3 秒 (100 フレーム) 取得した。Kinect の設置は、跳躍後に着地するマットから約 2m 離れた場所から跳躍動作全体がスキャン範囲内に収まるように設置した。統合三次元データの分析での仮想的バーの移動量は、平行移動は 1 cm 間隔、回転移動は 3 度間隔で行った。なお、統合三次元データの分析において実際のバーがスキャン点に含まれると接触判定時の誤判定の原因となるため、Kinect に写りにくいようにバーの代わりに細いひもを用いている。

図 7 と図 8 にはさみ跳び、およびベリーロールによる走り高跳び動作の時系列三次元データと統合三次元データの可視化の例を示す。いずれも、競技者の踏切り動作およびクリアランス動作の様子を三次元的に取得できていることが確認できた。これにより、ビデオカメラの撮影では困難な踏切り動作やクリアランス動作における体の三次元的な姿勢を様々な角度から確認することが可能である。

表 1 にはそれぞれの跳躍動作の統合三次元データに対する分析結果を示す。はさみ跳びの実験ではバーの高さを 1m としたが、競技者とバーの間にはある程度の余裕があることが目視で確認できた。そして、実際に統合三次元データを分析した結果、理論的な最高記録は 1m10cm であった。

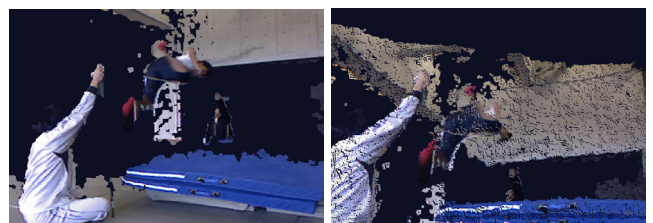


(a) 時系列三次元データ



(b) 統合三次元データ

図 7 はさみ跳びの三次元データの可視化の例



(a) 時系列三次元データ



(b) 統合三次元データ

図 8 ベリーロールの三次元データの可視化の例

表 1 統合三次元データの分析例

跳び方	はさみ跳び	ベリーロール
バーの高さ	1m	1m30cm
理想的高さ	1m10cm	1m30cm
最適踏切り位置 (助走方向)	-5cm	0m
最適踏切り方向 (反時計周り)	3度	0度

そして、理想的な踏切り動作は、踏切り位置が 5cm 手前、踏切り方向が鉛直方向反時計周りに 3 度回転していたとき実験ではバーの高さは 1m30cm としたが、競技者とバーの間にはほとんど余裕が確認できなかった。そして統合三次元データの分析結果は、理論的な最高記録は実際の記録と

同じ 1m30cm で、理想的な踏切り位置および方向も実際と同じであると算出された。

5. まとめ

本研究では走り高跳び動作の三次元データ取得と分析を行った。ここでは、Kinect を用いて跳躍動作の三次元スキャンを行い、時系列三次元データを取得した。また時系列三次元データから跳躍動作の統合三次元データを生成した。これらデータを可視化することで、跳躍動作を様々な視点から観察することができ、跳躍動作を目視で確認することが可能となった。そして統合三次元データを分析することで、その跳躍における理論的な最高記録と最適な踏切り位置・方向を算出することが可能となった。

今後の課題としては、複数の Kinect を用いて得られた異なる地点からの三次元データを統合することで、より死角の少ない三次元データの生成や、走り高跳び選手による背面跳びなどによる実験に基づく提案システムの有効性の調査などが挙げられる。

参考文献

- 1) 瀧剛志, 長谷川純一, 北川薫: スポーツ競技における運動情報の可視化, 情報処理学会 FIT2007 論文集, 6C2_3 (2007)
- 2) 田中一基, 長谷川誠, 黒瀬能幸: 空手道の攻め技のタイミングを修得支援するためのバーチャル練習システム, 教育システム情報学会誌, Vol. 24, No. 4, pp. 231-241 (2007)
- 3) NHK: ツインズカム,
<http://www.nhk.or.jp/pr/marukaji/m-gju333.html>
- 4) 桑野優基, 伊藤淳子, 宗森純: 位置情報と心拍数を利用した運動継続支援システムの開発, DICOMO2012 論文集, pp. 669-674 (2012)
- 5) 真鍋周平: 走り高跳び コツや練習方法,
http://sports.geocities.jp/sss_manabe/
- 6) 石井政弘: 十種競技選手の走高跳におけるクリアランス効率, 東京情報大学研究論集, Vol. 14, No.1, pp. 49-57 (2010)