

離散型密度関数を用いた尤度推定によるスピードスケート動作解析の検討

Basic Consideration for Tracking Analysis of Speed Skating by likelihood estimation by discrete density function

小島 匡顕^{*1}, 松澤 拓也^{*2}, 香山 瑞恵^{*3}, 橋本 昌巳^{*3}, 二上 貴夫^{*4}
 Masaaki KOJIMA^{*1}, Takuya MATSUZAWA^{*2}, Mizue KAYAMA^{*3}, Masami HASHIMOTO^{*3}, Takao FUTAGAMI^{*4}
^{*1}信州大学大学院総合理工学研究科 / ^{*2}信州大学大学院理工学系研究科
^{*1,2}Graduate School of Science & Technology, Shinshu University
^{*3}信州大学工学部
^{*3}Faculty of Engineering, Shinshu University
^{*4}東陽テクニカ
^{*4}TOYO Corporation
 Email: 16w2026e@shinshu-u.ac.jp

あらまし：本研究の目的は、尤度推定を動作解析へ適用することによる効率化である。計測データを用いて速度、位置座標を算出するための座標変換を行うには修正値が必要となる。従来、修正値の候補を算出し、その中から人力で尤もらしい修正値を選出していた。その過程において尤度推定を適用する。尤度推定に用いる確率密度関数は過去に取得した実データ群に基づいて定義する。本稿では、この成果を1台の小型慣性計測装置を用いたスピードスケート競技の計測データ解析に適用した結果について報告する。

キーワード：動作解析、尤度、最尤推定、スピードスケート

1. はじめに

近年、ビデオカメラやセンサなどを用いた動作解析の研究がなされている⁽¹⁾。動作解析では、人や物の動きを数値化し、分析・解析することで、動作の特徴を読み取ることができる。

我々はこれまで、慣性計測装置(以下、IMU)を内蔵した小型装置を用いた動作解析の研究^(2,3)をしてきた。被験者の腰部に装置を装着させられるので、解析可能範囲が広いことが特長である。現在、スピードスケートと歩行の動作解析が可能である。

IMUにより3軸の角速度、3軸の加速度などが得られる。これらのデータはIMUの座標系において数値化されているため、分析・解析を行うにはデータを変換する必要がある。ここで、変換に用いるのが修正値である。修正値は3軸のTilt角と3軸のBias値によって構成されている。本研究ではこの修正値の選出を効率化することを目的としている。

2. 尤度推定

2.1 最尤推定

本研究では、修正値選出を効率的に行うために、最尤推定⁽⁴⁾を用いる。一般に、標本 $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$ が観測されるとき、密度関数を $f(\mathbf{x}; \theta)$ とする。このとき、パラメータ θ を推定することが最尤推定である。標本値 $\mathbf{x}$ を観測したのは、その標本値 $\mathbf{x}$ を観測する確率が最大だったからであると仮定する。このとき、パラメータ θ の真値は、その標本値 $\mathbf{x}$ を観測する尤度 $L(\theta; \mathbf{x})$ を最大にする値である。よって、最尤推定値 $\hat{\theta}$ は尤度 $L(\theta; \mathbf{x})$ を用いて、[1]式のように表される。

$$\hat{\theta} = \hat{\theta}(\mathbf{x}) = \arg \max_{\theta} f(\mathbf{x}; \theta) = \arg \max_{\theta} L(\theta; \mathbf{x}) \quad [1]$$

2.2 スピードスケート動作解析への適用

最尤推定をスピードスケートの滑走軌跡計測へ適用する場合、離散的な密度関数を想定することとした。具体的には、被験者の滑走軌跡を微小区間 n に分割し、各区分における離散的な尤度を求めることとする。ここでは、半円であるスケートリンクのカーブでの滑走を取り上げる。位置座標を極座標系で表したとき、偏角 θ_k と動径 r_k を用いて、尤度 $L(\theta; r)$ は[2]式で表される。

$$L(\theta; r) = \sum_{k=1}^n L(\theta_k; r_k) \quad [2]$$

$n = 180$ とし、180等分された各区分において、尤もらしい軌跡を基準とし、尤度を求めていく。本手法では、専門家により尤もらしいと判断された実データ群の位置座標の平均値と標準偏差に基づき密度関数を定義する。ここでの実データ群とは、競技成績の異なる10名のスケーターによる実験的滑走に対して人力で選出した動作軌跡である。

分割された各区分における尤度を求め、[2]式より修正値候補の $L(\theta; r)$ を算出する。この値に基づき修正値候補の順位付けを行う。

2.3 密度関数

スピードスケートの動作を表現するために、2.2節で示した異なる微小区間毎に密度関数を定義した⁽⁵⁾。平均値±標準偏差、平均値±1/2標準偏差を算出し、範囲を定め、対象軌跡の位置によって尤度を求める。図1上部にカーブ部分における実データ群の平均値(点線)と、標準偏差(破線)を示す。横軸はカーブ開始地点からの角度である。この標準偏差では、

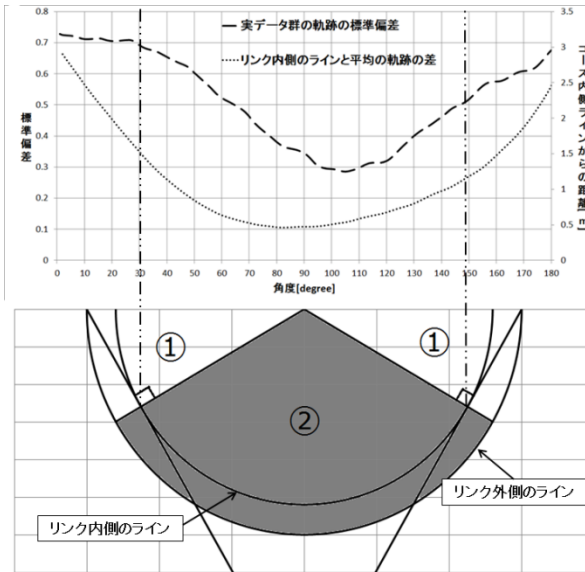


図 1 実データ群におけるカーブ滑走の特徴

カーブ開始付近とカーブ終了付近に比べて、カーブ中央付近の値は約 40 %となる。また、この平均値のコース内側からの距離はカーブ開始付近とカーブ終了付近に比べてカーブ中央付近の値は約 16 %である。よって、図 1 下部に示すように、カーブ部分を 3 区間に分け、それぞれ尤度の重みを変えることとした。カーブ開始地点と終了地点において、コースの外側から、半円であるカーブへの接線を引いた時の接点で、カーブ部分を 3 区間に場合分けをし、②における尤度は①の尤度の 2 倍に定義した。この場合、尤度の最大値は 301.0 となる。

3. 滑走軌跡計測への適用

本章では、尤度推定を実際の滑走軌跡計測に適用した成果について述べる。

3.1 実験概要

2 章に示した密度関数を定義した時に用いた実データ群(以下、学習データ)をテストデータとし、尤度推定を適用した場合に、尤もらしい軌跡が上位群に選出されることは分かっている⁽⁵⁾。ここでは、学習データとは異なる計測データ 6 データをテストデータとした場合の尤度推定を行った。

まず、IMU のセンサデータからスピードスケートの滑走特徴などを考慮し、修正値候補を求める。これらの修正値候補から算出された滑走軌跡のカーブ部分に対して、尤度推定を行う。その上で尤度の高い修正値候補から順に滑走軌跡グラフを 2 名の専門家に個別に提示し、尤もらしいものを選ばせた。このとき、専門家には滑走時に取得したビデオ映像を合わせて確認させた。提示した滑走軌跡グラフはたかだか 50 位までのものとした。

3.2 評価実験結果

専門家により尤もらしい軌跡であると選出された

表 1 実験結果

データ No	修正値候補の個数 (個)	尤度値の範囲	被験者が選んだ候補の尤度値	
			被験者 A	被験者 B
3	30	181.5～301.0	280.0 184.0	197.5
5	47	301.0	301.0	301.0
6	30	228.0～301.0	262.5	299.0

テストデータは被験者 A で 5 データ、被験者 B で 4 データであった。2 名の被験者がともに尤もらしい軌跡を選出できた 3 データの詳細を表 1 に示す。

データ 6 では 228.0 から 301.0 までの尤度を有する 30 種の修正値候補が示され、被験者 A は尤度が 262.5 の修正値候補、被験者 B は 299.0 の修正値候補を選出していた。他の 2 データについても、尤度が比較的高い修正値候補が選出されていた。

3.3 考察

本手法では尤度推定に基づき尤もらしいカーブ軌跡を定めることが可能である。このことは、カーブ部分以外の軌跡についてのみビデオ映像とともに検討すればよい状況を提供できる可能性を示唆していると考えられる。

今回の実験で尤もらしい軌跡がないと判断された理由は、ビデオデータ以外に妥当性を判断する材料がないことと、ビデオの画角が常に選手とリンクを捉えているわけではないことが挙げられる。

4. おわりに

本稿では、離散型密度関数を用いた尤度推定をスピードスケート動作解析に適用した成果について述べた。提案手法は、定量的根拠に基づき、候補を順位付けすることができる。今後は、さらに多くのテストデータへの適用を検討し、尤度を求める密度関数の精緻化を図る。

参考文献

- (1) 阿江通良: “スポーツ選手のスキルフルな動きとそのコツに迫る”, 人工知能学会誌, Vol.20, No5, pp.541-548 (2005)
- (2) 高橋佑, 香山瑞恵: “スピードスケート滑走における滑走速度の特徴に関する考察”, 人工知能学会 SIG-KST -2014-01-03, pp.1-6 (2014)
- (3) 松澤拓也, 香山瑞恵: “3 次元加速度センサの計測結果に基づく歩行特徴に関する基礎的検討”, 信学技法, Vol115, No.139-ET2015-66, pp.41-46 (2015)
- (4) 藤澤洋徳: “確率と統計”, 株式会社朝倉書店, pp.101-112 (2006)
- (5) 小島匡頭, 香山瑞恵: “実データに基づく離散型密度関数を用いた尤度推定による動作解析—スピードスケートへの適用—”, 平成 27 年度電子情報通信学会信州大学 Student Branch 論文発表会, A-5 (2015)