

# 最尤推定によるスピードスケート競技の滑走軌跡同定

## Consideration for Tracking Analysis of Speed Skating by maximum likelihood estimation

小島 匡顕<sup>\*1</sup>, 松澤 拓也<sup>\*2</sup>, 香山 瑞恵<sup>\*3</sup>, 橋本 昌巳<sup>\*3</sup>, 二上 貴夫<sup>\*4</sup>  
Masaaki KOJIMA<sup>\*1</sup>, Takuya MATSUZAWA<sup>\*2</sup>, Mizue KAYAMA<sup>\*3</sup>, Masami HASHIMOTO<sup>\*3</sup>, Takao FUTAGAMI<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup>信州大学大学院総合理工学研究科

<sup>\*2</sup>信州大学大学院理工学系研究科

<sup>\*1\*2</sup>Graduate School of Science & Technology, Shinshu University

<sup>\*3</sup>信州大学工学部

<sup>\*3</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University

<sup>\*4</sup>東陽テクニカ

<sup>\*4</sup>TOYO Corporation

Email: 16w2026e@shinshu-u.ac.jp

あらまし：MEMS 慣性計測装置を用いたスピードスケート競技の計測においては、滑走範囲内全てを探索し、位置座標の候補を算出し、候補の中から最も滑走軌跡に近い位置座標を同定する。この過程には多大な時間を要し、また人によっては違う滑走軌跡を同定する可能性がある。本研究では、過去に得られた計測データをもとに、最尤推定を用いることで位置座標同定の効率化を図る。

キーワード：尤度、最尤推定、スピードスケート、カーブ滑走

### 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<sup>(1)</sup>。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、MEMS 慣性計測装置(以下、IMU)を用いた動作解析の研究<sup>(2,3)</sup>をしてきた。IMU を内蔵した装置を被験者の腰部に装着し計測を行う。場所に囚われず計測できること、また軽量かつ小型であることが特長である。現在、スピードスケートと歩行の動作解析が可能である。

### 2. 従来手法の問題点

IMU による計測の問題点として、偶然誤差(ランダム誤差)がある。我々は、計測によって得られた加速度から位置座標候補を算出し、その滑走軌跡を可視化してきた。一般に、位置座標候補は数十～数万算出される。その上で、ビデオカメラによる滑走撮影動画を参照しながら、もっとも実際の滑走軌跡に近いであろう位置座標を同定してきた。この過程には多大な時間や経験、知識を要し、また、選ぶ人によっては異なる軌跡を同定することがある。

そこで本研究では、最尤推定を適用し、軌跡同定の支援となる手法を導くことを目的とする。その際、各位置座標候補における尤度を想定し、尤度が大きい候補から順に提示することとした。これまでの研究で、スピードスケート競技においてはストレート部分の滑走に比べて、カーブ部分の滑走では個人差が小さいことが分かっている<sup>(4)</sup>。このことより、本手法はカーブ部分に限定して適用する。このとき、カーブ部分を 180 の微小区間に分割し、各区間にお

ける微小尤度を求めることとした。

しかし、従来手法では次に示す 3 つの問題点が挙げられる。1 点目は、位置座標候補には解析の仕様上、位置誤差が含まれる点である。2 点目は、カーブ部分の滑走において、滑走コースよりも内側の滑走軌跡や、滑走コース外寄りの滑走軌跡に対する尤度が低くなることである。3 点目は、数万に及ぶ位置座標候補について、同じ尤度の候補が複数出現することである。本研究ではこれらの問題点の改善を試みる。

### 3. 密度関数の改善

前章の問題点を改善するため、滑走軌跡同定手法の再検討を行う。

#### 3.1 解析による位置誤差

本研究で使用している IMU での解析による最大位置誤差は約 0.5 m である。この位置誤差を考慮した密度関数を定義することで、より尤もらしい軌跡を上位に選出することを目指す。

#### 3.2 カーブ部分の滑走特徴

10 名のスピードスケーターによる滑走に対して、カーブ部分の位置座標を極座標系で表したとき、以下の特徴がみられた。

- カーブ中央付近に進行するにつれ、中央値より内側(原点に近い方)の狭い範囲に集中して分布している。
- カーブ中央付近からカーブ終了付近に進行するあたりでは、分布に偏りはみられない。
- カーブ終了付近では、中央値より外側の狭い範囲に集中して分布している。

### 3.3 密度関数の定義

前節までの特徴を踏まえて、各微小区間における密度関数を次のように定義した。

ある微小区間 $k$ では図 1 のような密度関数を定義する。まず、従来手法と同様に、10名のスピードスケーターによる滑走の位置座標の平均値と標準偏差を用いて範囲を定め、動径 $r_k$ の値によって微小尤度が定まる。そして、改善点として、偏角 $\theta_k$ の値で場合分けをし、最大微小尤度をとる区間 ( $L_k(\theta) = 1.0$  となる区間) を図 2 のように場合分けをし、変化させた。  $0^\circ \leq \theta_k < 30^\circ$  においては、最尤推定を適用しない。これは、カーブ部分において最も個人差が大きい区間であるからである。  $30^\circ \leq \theta_k \leq 100^\circ$  (図 2 ①) においては、図 1 の①の範囲で最大微小尤度を取り、  $100^\circ < \theta_k < 120^\circ$  (図 2 ②) においては、図 1 の②の範囲で、  $120^\circ \leq \theta_k \leq 180^\circ$  (図 2 ③) においては、図 1 の③の範囲で最大微小尤度をとる。

## 4. 密度関数の評価

前章で示した密度関数の評価を行う。

### 4.1 適用方法

前章で示した密度関数を用いた最尤推定を滑走軌跡候補に適用する。用いるデータは、密度関数の平均値、標準偏差を算出したデータとは異なる 6 データとした。これらのデータの位置座標候補の数は 1 桁から 5 桁とさまざまである。

### 4.2 適用結果

改善した最尤推定した結果、特定の尤度の値に偏らず、各候補の順位に差が出た。例えば、位置座標

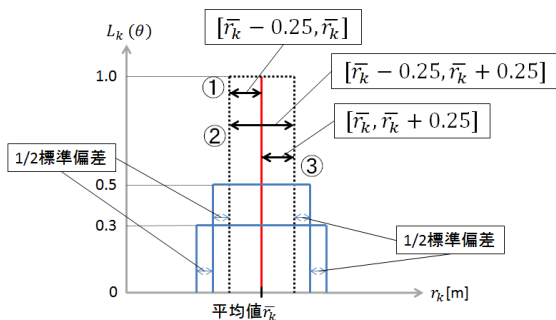


図 1 密度関数

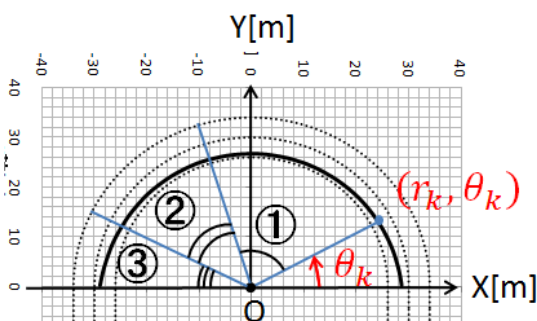


図 2 カーブ部分の場合分け

候補の数が 15682 のデータにおいては、最大尤度となった位置座標候補は 2 パターンに限定された。従来手法では 47 パターンであったことと比較しても改善が確認できた。

また、カーブ部分滑走時に滑走コースよりも内側の滑走軌跡についても、尤度が一意に低くなることはなく、その前後の滑走軌跡の尤もらしさが反映した順位となっていた。

### 4.3 考察

改善手法では、密度関数の平均値に位置誤差をもって範囲を定めることで、1 点目の問題点が改善された。2 点目の問題点については、リンク内側に位置する軌跡があったとしても一概に尤度が低くないことを確認できたデータもあった。しかし、今後適用事例を増やし、その改善を確認する必要がある。3 点目の問題点に対しては、滑走特徴などを加味することで、位置座標候補の尤度の差が明確になり、順位に差がついた。

さらに、各データにおける最尤推定後の上位候補に対して、滑走撮影動画を参照し、軌跡同定を行った。滑走撮影動画から位置を確認できる点に着目し、不適切なものを除外した。そして、尤度の大きい順番に候補を確認し、もっとも実際の滑走に近いであろう軌跡を同定することができる可能性を見出した。以上のことから、提案手法による軌跡同定の効率化が示唆されたと考える。

## 5. おわりに

本稿では、解析による位置誤差と、スピードスケート競技のカーブ部分の滑走特徴を考慮することで、従来手法の問題点を改善し、スピードスケート競技の滑走軌跡同定の支援となる手法を述べた。

今後は、IMU とは異なるデータを用いた平均値と標準偏差を用いて最尤推定するのが適切であると考え、その点について検討を行う。

### 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, No.5, pp.541-548 (2005)
- (2) 高橋佑他: “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) 松澤拓也他: “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, Vol.115, No.139-ET2015-66, pp.41-46 (2015)
- (4) 小島匡頭他: “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”, 教育システム情報学会 2015 年度学生研究発表会, 北信越地区, pp.19-20 (2016)