データ同化によるトラックレースにおける自転車－選手系に働く抗力の推定

Estimation of Drag Acting on Bike and Cyclist in Track Race by Data Assimilation

○学　田村 大吾\*1， 瀬尾 和哉\*2

小山浩之\*3，佐藤慶\*3

Daigo TAMURA\*1, Kazuya SEO\*2,

Hiroyuki Oyama\*3 and Kei SATO\*3

\*1 工学院大学大学院工学研究科　Graduate School of Engineering, Kogakuin University

\*2工学院大学工学部　School of Engineering, Kogakuin University

\*3 日本自転車連盟ハイパフォーマンスセンタ　High Performance Center of Japan Cycling

It is important to determine the drag coefficient in order to improve the performance of cycling track events. In this study, the drag coefficient was calculated on the basis of speed and power sensors attached to the bike. We propose an estimating method of the drag coefficient using data assimilation. This method has the advantage of user-friendly, quick feedback and the low cost. There are two types of track courses, one is a turning course and the other is a straight course. This causes a difference between the wheel speed measured by the sensors and the speed of the center of gravity. Therefore, it is necessary to determine the probability of which state the vehicle is in at the moment, and to combine the speeds of turning and straightening according to the probability. In this way, the drag coefficient can be obtained more accurately. The time variation of the drag coefficient of the bike and cyclist was constant, when they move on the record line at a constant speed and in a constant posture.

Key Words : Road bike, Bicycle track race, air drag coefficient Data assimilation, Kalman filter, Unscented Kalman Filter (UKF), Interacting Multiple Model (IMM),

1.　緒　　　言

　自転車のトラック競技では，タイム短縮を目指し，抗力最小化を目指す．競技中も含め，常に自転車には，速度計とパワー計が取り付けられ，計測が行われている．等速直線運動を仮定すると，これら2つの計測から抗力係数を見積もることができ，現場ではこれが行われていた．しかし，実際のレースでは等速直線運動である時間は限られている．そこで，本研究では，加速度を考慮した時々刻々の抗力係数を求めた．

抗力係数を測定する方法は，風洞試験やCFD解析等の方法がある．これらの方法の長所は再現性と試験条件を制御できることである．一方，短所は個々の選手へのフィードバックが困難な点である．これは，それぞれの選手の体形や車体が異なっており，風洞試験結果やCFD結果の各選手用の空気力への変換が困難なためである．そこで本研究では自転車取り付けた速度計とパワー計，およびデータ同化を用い，抗力を推定する方法を提案する．この方法の長所は，実際の走行から得られた速度とパワーを用いているため，それぞれの選手に対する抗力係数を求められる点である．

今回，伊豆ベロドドームで測定した速度の時間変動とシミュレーションによる速度をカルマンゲインを用いて重み付き足し算し，直線路と旋回路の速度の同化結果を求めた．相互干渉多重モデルにより直線路と旋回路の生起確率を求め，重み付き足し算により重心速度を求めた．以上の方法で時々刻々の重心速度を求め，それにより正確な（抗力係数×面積）を求めた．また，実際に走行実験の映像とデータ同化によって求めたを時間同期し，トラックコースの直線路と旋回路で妥当性を検証した．

2.　方法

図1は速度計の写真である．速度計は後輪の速度を測定するようにチェーンステに取り付けられている．

速度計(SRM)では，ホイール1回転に要する時間を計測し，速度を算出する．ホイールの周長は統一規格で決まっており，今回は2105mmである．

　図2はパワー計の写真である．パワー計はクランクの途中に取り付けられている．

パワー計(VerveInfocrank)では，ひずみゲージにより歪の変化量と一分間当たりの回転数（ケイデンス）を計測し，式(1)によりパワーを算出する．スロープ値は式(2)により算出される．

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
|  | (2) |

本研究では，以上の速度とパワーを用いて，を求める．

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Fig.1 Speed meter(SRM) | Fig.2 Power meter(Verve\_Infocrank) |

次に本研究の手順を図3に示した．図中の青枠①，⑧，⑨，⑩はデータ同化結果を示している．データ同化結果は，最も信頼できる値である．緑枠②，⑤，⑦，⑪は観測値である．ホイールで速度を測ったため，下付きのを添えた．赤枠③，④，⑥，⑫はシミュレーション値である．図中のは時間発展をさせる演算子で，式(3)の通りである．

|  |
| --- |
|  |
| Fig.3　Overview of this study |

同化結果①からシュミュレーション値③を求めた．その方法は式(3)のオイラー法である．

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3） |

一方，速度の観測値を重心周りのそれに変換する．式(4)の通りである．

|  |  |
| --- | --- |
|  | （4） |

ここで，は旋回路の半径，は重心と接地地面との水平距離である．以上で④～⑦まで到達した．図3の④と⑤は直線モデルの重心速度，⑥と⑦は旋回モデルの重心速度を表している．

次の工程は，式(5)の通り，各モデルでシュミュレーション値と観測値の重み付き足し算をする．つまり，これがデータ同化である．重みは無香料カルマンフィルタ(UKF)によるカルマンゲインとして求めた．これにより，同化結果⑧，⑨を求める．

|  |  |
| --- | --- |
|  | （5） |

最後に相互干渉多重モデル(IMM)で2つの同化結果⑧，⑨の重み付き足し算をし，同化結果⑩を求めた．IMMでは，直線と旋回の可能性を表すモード確率を求め，それを重み付き足し算の際に参照した．

次の時間ステップに進むためには，同化結果⑩から式(3)によりシミュレーション値⑫を求める．以降，同様の操作により時間を進行させる．

3.　結果及び考察

3・1　車輪速度と重心速度の比較

図4は，測定された車輪速度と同化結果である重心速度の時間変化である．とが一致している時間帯と不一致の時間帯がある．これらは，5秒周期で出現する．不一致の時間帯ではの方が大きい．この時間帯は旋回時である．が大きくなる理由は，式(4)の通りである．

3・2　の算出

　図5は，データ同化によって求められたの時間変化である．図5よりは一定値である．この理由は選手が一定速度，かつ一定姿勢でレコードライン上を走行した試技であるため，である．

|  |
| --- |
|  |
| Fig. 4 Time variation of Velocity of Center of gravity and Wheel |

|  |
| --- |
|  |
| Fig. 5 Time variation of |

3.　結　　　語

　自転車に取り付けた速度計とパワー計の測定結果とシミュレーション結果をデータ同化し，（抗力係数×面積）を求めた．その結果，一定速度，かつ一定姿勢でレコードライン上を走行する自転車-選手系のの時間変化は一定値であった．

謝　　　辞

本研究は競輪の補助を受けて公益財団法人日本自転車競技連盟と共同で実施しました.

文　　　献

(1) **LabbeR.Roger.** Kalman and Bayesian Filters in Python. (訳) inzkyk. 出版地不明 : GitHub, 2015年