

## 拡張カルマンスムージングによる 3 次元プローブ車両走行軌跡と運転挙動の推定<sup>1</sup>

(株)アイ・トランスポート・ラボ 正会員 堀口 良太<sup>2</sup>  
千葉工業大学 正会員 赤羽 弘和  
ナレッジ・アンド・テクノロジー(株) 舟橋 賢二

### 1. はじめに

本研究は, 車両挙動を計測するプローブ車両のデータから, それらに含まれる欠損値を補完し, かつ誤差を補正して 3 次元空間上でのより精緻な走行軌跡と運転挙動データをカルマンスムージングにより推定するものである. 以下では, 記録データの誤差要因を考察し, カルマンスムージングを適用するための前処理とモデル式, および実際のデータを用いた推定結果について述べた後, 本手法の利用可能性を考察する.

### 2. 運転挙動プローブデータの欠損と誤差

ここでは, GPS で位置と時刻, およびその時刻での車速, 加速度, 角速度などの運転挙動指標を記録するプローブを考える. 一般にこのようなプローブデータには次のような欠損区間や誤差要因が存在する.

- 1) トンネルや高架道路下での GPS 信号の遮蔽や, 都心部でのマルチパス発生に起因する位置検出異常.
- 2) 各種センサー信号のサンプリング周期の違いによるデータ欠損. たとえば GPS 位置座標は 1Hz で更新されるが, 加速度の更新は 10Hz であるため, 位置が対応づけられていないデータ区間があるなど.
- 3) センサーの種類によって測定できない状態量がある. たとえば安価なセンサーでは XY 軸の加速度計と Z 軸角速度計しか搭載していないため, Z 軸加速度やピッチ・ロール角速度が計測できない.
- 4) 加速度センサーの取り付け方向のずれによる加速度・角速度のバイアス誤差.
- 5) 走行地点の勾配により生じる加速度バイアス誤差.
- 6) 車体の振動特性やセンサーの追従特性により加速度・角速度に混入するノイズ誤差.
- 7) GPS 測位の限界精度範囲内での位置ずれ.
- 8) タイヤ摩耗や空気圧低下により生じる車軸パルス速度と実際の移動速度の乖離.
- 9) 離散化された車軸パルスを連続値の速度に換算する際の離散化誤差.

### 3. 拡張カルマンスムージングによる車両軌跡と挙動の推定

上記のような欠損や誤差は, 運転挙動の安全性を評価する際に適正に補完あるいは補正されなければならない. ここで提案するカルマンスムージング<sup>[1]</sup>による推定は次のような長所を持つ.

- a) 市販の自律走行カーナビなどで採用される周波数フィルタを用いた補正と比べ, 物理的な法則に従う運動モデルを元に推定するので, 説明能力が高い.
- b) 汎用性のある運動モデル記述を採用すれば, 観測方法が変わっても, 観測モデルを変更するだけで対応できる.
- c) 複数のセンサー観測値の情報を用いて状態量全体の推定を行うので, データの一部が欠損した場合でも推定が可能である.
- d) モデルに各種誤差要因を明示的に取り込むことで, 未知のバイアス誤差やノイズ誤差を最小二乗推定により除去できる.

図 1 に運動モデルの概念図を示す(モデル式の全体は割

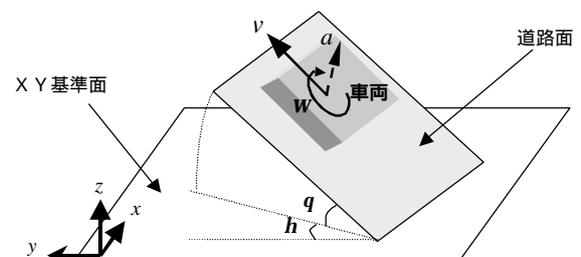


図 1: 3 次元空間上の 5 自由度運動モデル

<sup>1</sup> キーワード: プローブ, 運転挙動, 走行軌跡, 拡張カルマンスムージング, 交通安全

<sup>2</sup> 連絡先: 〒162-0824 東京都新宿区揚場町 2-12-404 Tel. 03-5261-3077

愛する) . すなわち地表面に対して傾きを持つ道路面上を走行する車両を 5 自由度(XYZ 位置と方位角, 迎角) の運動方程式で表すものである . なお, GPS 位置は緯度経度高度で測定されるが, 運動モデルは SI 単位系のユークリッド空間上で記述されるため, あらかじめ GPS 座標を楕円地球面上の WGS84 ワールド座標系に変換し, さらに 3 次元アフィン変換で走行エリアの地表面座標系に変換しておく .

各自由度については, 変位量の 2 階微分までと, バイアス項, ノイズ項の時間更新関係が記述されている . ただし, 位置はグローバル座標系で規定されるが, 速度, 加速度は車両周りのローカルな座標系で規定されるので, グローバル座標軸の方向成分を用いた非線形式となる(たとえば X 位置の時間更新を示す(式 1)) . よって, スムージングも非線形モデルを扱える拡張カルマンスムージングのアルゴリズムを適用する .

$$x_{t+1} = x_t + v_t \cdot \cos q_t \cdot \sin h_t \cdot Dt + 0.5 a_{lt} \cdot \cos q_t \cdot \sin h_t \cdot Dt^2 + 0.5 a_{rt} \cdot \cos q_t \cdot \sin h_t \cdot Dt^2 \quad \dots \text{(式 1)}$$

$x$ : X 座標,  $v$ : 車速,  $q$ : 迎角,  $h$ : 方位角,  $a_l$ : 前後加速度,  $a_r$ : 左右加速度,  $Dt$ : 更新間隔

観測モデルには, センサー取り付け面や道路面の傾きによる加速度のバイアス誤差を考慮した観測方程式を記述する(全体は割愛) . たとえば(式 2)は前後加速度の観測を示すものであるが, これも非線形となっている .

$$A_t = (a_t + g \cdot \sin q_t) + b_t \quad \dots \text{(式 2)}$$

$A_t$ : 前後加速度観測量,  $g$ : 重力加速度,  $b_t$ : 前後加速度バイアス

#### 4 . スムージングの効果

本アルゴリズムを, 実際にプローブ車両から取得された車両挙動データに適用し, その効果を確認した . ここでは, データテック社製セーフティレコーダ<sup>[2]</sup>を搭載したプローブ車両を用いている . 取得した未加工データには, センサー取り付け面の傾きによるバイアス項が含まれるが, スムージングにより適正に除去されている(図 2) . また, GPS 測位不能区間でも, その他のセンサー情報から道路線形が推定されている(図 3) .

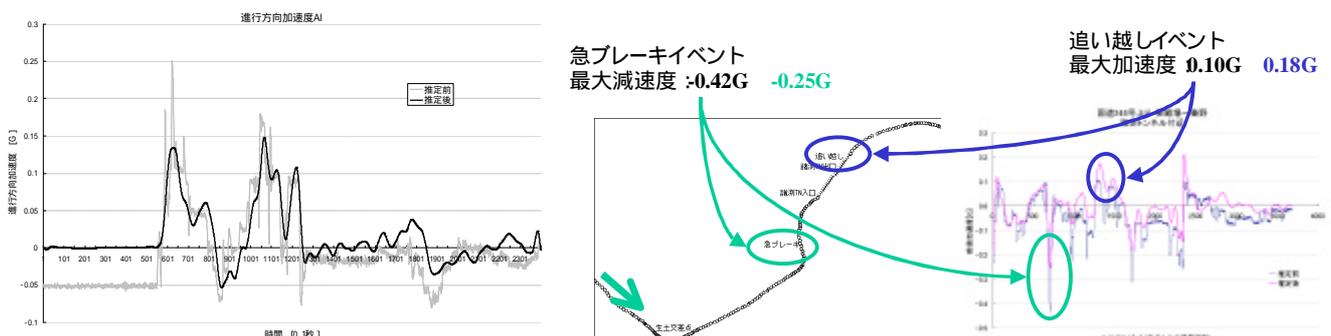


図 2 : 加速度バイアス誤差の除去効果 . 左...静止状態(前半の 1/3)を含むデータ区間, 右...急制動時のピーク加速度補正効果 .

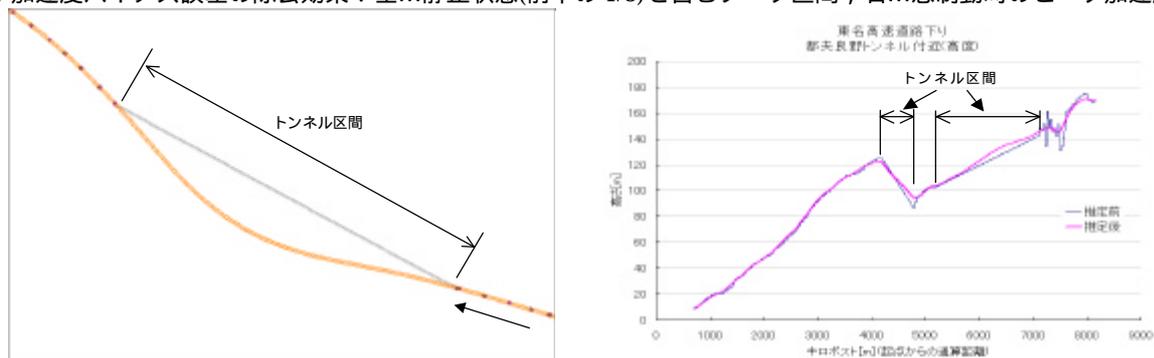


図 3 : GPS 測位不能箇所推定された 3 次元道路線形 . 左...推定平面線形(オレンジ), 右...推定縦断線形(ピンク)

#### 5 . まとめ

以上において, 3 次元での車両挙動を推定するスムージングアルゴリズムの概念と効果を述べた . このようなアルゴリズムを加速度計付きのプローブ車両データに適用すれば, 簡易に 3 次元デジタル道路線形データを作製できたり, 車両の追従走行挙動を分析できたりするなど, 様々な利用方法が考えられる .

#### 参考文献

- [1] たとえば, 片山徹著「新版応用カルマンフィルタ」朝倉書店, 2000 年, などのテキスト
- [2] データテック社ホームページ, <http://www.datatec.co.jp>