

電気自動車の車体すべり角の推定と制御に関する基礎研究

学生員 井上 友子 (東京大学)

学生員 長瀬 啓明 (東京大学)

正員 堀 洋一 (東京大学)

Basic Study on Estimation and Control of Body Slip Angle for Electric Vehicle

Tomoko INOUE, Student Member, Hiroaki NAGASE, Student Member, Yoichi HORI, Member (University of Tokyo)

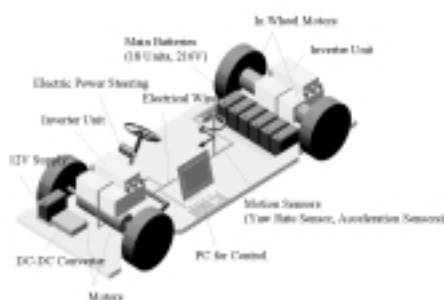


図1 東大三月号 II の構成

Fig.1. Configuration of Our Newly Made EV UOT March-II

1. はじめに

近年自動車に対する予防安全の観点から、危険を未然に防ぐアクティブセーフティの技術が研究されている。その中でもVSC[†]のような高度なアクティブセーフティ技術の登場に伴い、車両の様々な信号を測定する必要が生じてきた。車体すべり角 β はその信号の中のひとつであり、車体の向いている方向と車体速度のなす方向のつくる角度を指す。 β の測定には対地センサを必要とするため、コストとセンサ性能の問題から推定によって求めることが一般的である。

車両の運動学にはタイヤ-路面間の摩擦特性が大きな影響を及ぼす⁽¹⁾。例えば滑りやすい路面で旋回時にタイヤ-路面間の粘着が失われたとき β は大きくなり、もはや操舵角を大きくしてもヨーモーメントを増大させることが出来なく

なるため、ドライバが横方向の運動を制御することが不可能になる⁽²⁾。ゆえに β を推定し、補償ヨーモーメントの生成によってそれを制御することは、車体運動の安定化に大きく貢献する。

従来の内燃機関車は各輪が駆動方向にしか力を発生できない。しかし電気自動車の駆動源であるモータには、

- 指令トルクを速く正確に実現できる
- 駆動力を把握できる
- 小さいので分散配置ができる

という長所があるため、モータを各輪に設置した電気自動車は全車輪を独立に駆動できる、各輪が駆動制動両方向に力を発生できる、駆動力の命令値を数字で与えることが出来るという利点をもつ⁽³⁾。これらの特性を利用し、本論では図1に示す完全独立四輪駆動電気自動車”東大三月号 II”を用いた β 制御について論ずる。

2. 線形オブザーバによる β 推定

車体の四輪モデルを左右輪の特性を同じとみなし、図2のような二輪モデルに近似すると、(1)式のような線形方程式が得られる。

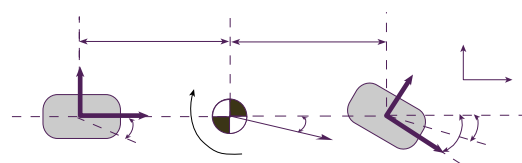


図2 車両の二輪モデル

Fig.2. Two Wheeled Model of Vehicle

[†]Vehicle Stability Control: 車体の横方向の運動制御。VDC(Vehicle Dynamics Control)と呼ばれることもある。

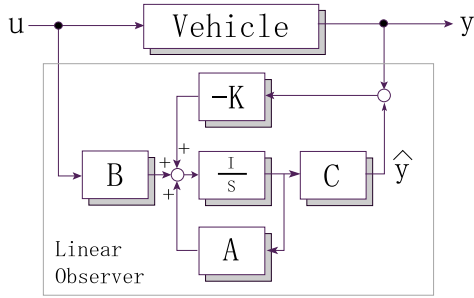


図3 線形モデルに基づくオブザーバのブロック線図

Fig. 3. Block Diagram of Linear Observer

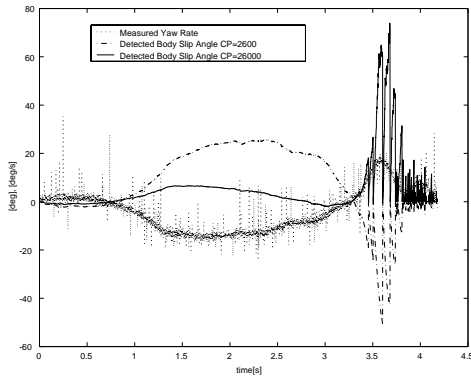


図4 実験結果:線形オブザーバによる車体すべり角推定

Fig. 4. Experimental Result: Detection of Vehicle's Body Slip Angle based on a linear observer

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad \dots \quad (1)$$

$$y = (0, 1)x, \quad x = \begin{pmatrix} \beta \\ \gamma \end{pmatrix}, \quad u = \delta_f \quad \dots \quad (2)$$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{-2(C_f + C_r)}{mV} & \frac{-2(C_f l_f - C_r l_r)}{mV^2} - 1 \\ \frac{-2(C_f l_f - C_r l_r)}{I} & \frac{-2(C_f l_f^2 + C_r l_r^2)}{I} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (3)$$

$$B = \begin{pmatrix} \frac{2C_f}{mV} \\ \frac{2C_f l_f}{I} \end{pmatrix} \quad \dots \quad (4)$$

ここで、出力 y をヨーレート γ として未知状態変数 β を推定する図3のような線形オブザーバを設計する。

図4は”東大三月号 II”を用い、低 μ 路で減速しながらステアリングホイールを左に切った時の γ の値から β を線形オブザーバで推定した値である。車体は左向きにスピンし、 β の値は一時的に増大する。線形オブザーバはタイヤの線形領域を想定したモデルであるため、タイヤが非線形領域に陥る運転状況に於いてコーナリングパワーの違いによる推定値の差が顕著である。

3. 四輪独立駆動電気自動車を用いたDYCによる β 制御

”東大三月号 II”を用いた β 抑制制御のシミュレーション

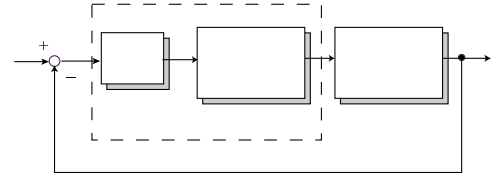


図5 車体すべり角制御器のブロック線図

Fig. 5. Block Diagram of Side Slip Angle Controller

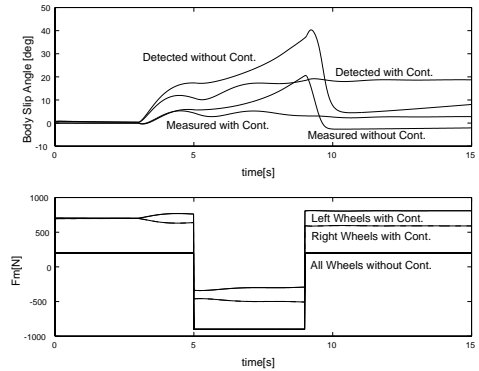


図6 シミュレーション:PID フィードバックによる車体すべり角制御 CP=2600

Fig. 6. Simulation: PID feed-back control of body slip angle with CP=2600

を示す。図5は制御系のブロック線図である。 β の推定値をフィードバック制御で参照値に近づけるために適当な駆動力配分を行いDYC[†]制御をする。

図6に示すシミュレーションは β の急激な変化を抑えることに成功している。ただし、系の挙動を安定させるためにコーナリングパワーを適当な値に設定する必要がある。また、操舵に対する制御を施していないために、制御中の操舵に対する応答性が悪いことが考えられる。さらなる改善を目指すには、操舵角と入力ヨーモーメントを二入力とし、 γ, β の二出力を制御対象とする必要がある。今後実験によりそのような β 制御手法の有効性を検証する予定である。

文 献

- (1) A. Dai β , U. Kiencke: Estimation of Tyre Slip during Combined Cornering and Braking Observer Supported Fuzzy Estimation, Proceedings of IFAC 1996, pp. 41-46
- (2) Kihong Park and Seung-Jin Heo: Design of a Control Logic for Improving Vehicle Dynamic Stability, Proceedings of AVEC 2000, August 2000
- (3) Shin-ichiro Sakai, Hideo Sado and Yoichi Hori: Motion Control in an Electric Vehicle with Four Independently Driven In-Wheel Motors, IEEE Trans. on Mechanics, Vol.4, No.1, pp.9-16, 1999.03

[†]車輪に非対称な制駆動力を配分することでヨーモーメントをつくり出すこと