

前後独立操舵四輪車による障害物回避制御

児玉 貴宏, 友國 伸保, 黄 健

A Control Strategy for Obstacle Avoidance by 4 Wheel Steering Mobility

Takahiro KODAMA*, Nobuyasu TOMOKUNI** and Jian HUANG**

Abstract

Automatic driving technology is important for enhancement of intelligent transport system (ITS). In this paper, A motion by steering is compared theoretically between 4-Wheel-Steering(4WS) and 2WS mobile platform. A 4WS mobile platform equipped with a small size computer is developed. Carried on calibration between steering angle and reference pulse width for servo motors that steer front wheels and rear wheels.

key word : Turning motion analysis, Electric Vehicle, Automatic driving, Four Wheel Steering

1.はじめに

車をより効率的かつ快適に移動させるシステムである ITS は自動走行システム構築が重要な課題である。これを実現するため車の自動操縦技術の開発は急務となっている。しかし、天候による路面状況の変化や車体重量、エンジンをはじめとする駆動系統の性能の違い等が、車の自動操縦に大きな影響を与えシステム構築を遅らせている(1),(2)。

また、省エネルギー等で4WSが注目されているが、4WSは2WSと違い前輪だけではなく後輪も操舵する

ためステアリング感覚に違和感を持つドライバーは多い。しかし、4WSには操縦性や安定性の点でメリットがあるため、自動操縦技術と組み合わせることで今後増加していく可能性がある。

そこで、本稿ではRCモデルカーに小型PCとレンジファインダを取り付け自動操縦可能なモデル車を構築し、前後輪を独立操舵したときドライバーの違和感を軽減し、効率的に障害物を回避する技術開発を目的とする。その先行研究として、二輪に等価できる四輪車両モデルの運動解析を行う。

*近畿大学大学院システム工学研究科

**近畿大学工学部知能機械工学科

Graduate School of Systems Engineering, Kinki University

Department of Intelligent Mechanical Engineering,

Faculty of Engineering, Kinki University

2. 車両の旋回運動解析

本稿では、前輪操舵と前後輪操舵の旋回運動解析を行い、障害物との接触がなく旋回するための条件を導く。解析を行うため、車体中心 O_v を座標の原点とし、車幅 W 、車体長さ L 、前後輪距離 L_T 、障害物との仮想接触位置 $P(x_P, y_P)$ を既知条件として与える。また、解析上便宜を図るため、前後輪タイヤの中心位置に仮想タイヤを等価変換し、操舵角を仮想タイヤに入力する^{(3),(4)}。

2.1 前輪操舵時

前輪操舵角 θ_f が制御量であり、障害物と接触なしで旋回できる条件を導き出す。ここで、図1に示すように仮想前輪タイヤの中心位置を $P_f(L_T, 0)$ 、仮想後輪タイヤの中心位置を $P_r(-L_T, 0)$ とすれば、前輪操舵角 θ_f による旋回運動の旋回中心 $O_c(x_c, y_c)$ が図1のように得られる。また、障害物との接触位置 P と旋回中心 O_c との距離を R_o 、仮想後輪タイヤの中心 P_r と旋回中心 O_c との距離を R とする。

障害物に接触せずに旋回するためには、車体との最短旋回半径 $(R-W/2)$ が障害物との半径 R_o より大きくないといけないので、以下の条件が成り立つ。

$$R - \frac{W}{2} \geq R_o \quad (1)$$

さらに、旋回中心 O_c と点 P_r の距離 R が三角関数から次式のように求められる。

$$R = \frac{2L_T}{\tan \theta_f} \quad (2)$$

式(2)を式(1)に代入すると、

$$\frac{2L_T}{\tan \theta_f} \geq R_o + \frac{W}{2} \quad (3)$$

が得られる。これらのことより障害物に接触せずに旋回するための操舵角を求めることができる。

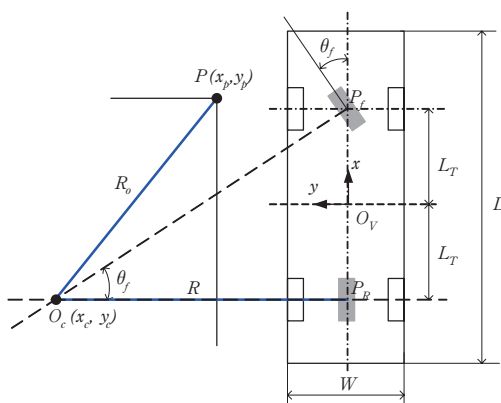


Fig. 1 Turning motion of front wheel steering

$$\tan \theta_f \leq \frac{2L_T}{R_o + W/2} \quad (4)$$

したがって、障害物と接触せずに旋回する条件は

$$\theta_f \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{2L_T}{R_o + W/2} \right\} \quad (5)$$

である。既知条件を代入すれば、

$$\theta_f \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{8L_T(2Y_P - W)}{4Y_P^2 - W^2 + 4(X_P + L_T)^2} \right\} \quad (6)$$

で求められる。

2.2 前後輪操舵時

図2に前後輪操舵の解析モデルを示す。前輪操舵角を θ_f 、後輪操舵角を θ_r とする。このとき前後輪のそれぞれの進行方向に対し垂直方向に延長線を引くと、延長線の交点 O_r が旋回中心として得られ旋回半径 R となる。このとき θ_r を大きくすると背車両の旋回半径 R は大きくなる。また障害物との接触位置 $P(x_P, y_P)$ から旋回中心 $O_c(x_c, y_c)$ との距離を R_o 、仮想後輪タイヤの中心 $P_r(-L_T, 0)$ と旋回中心 O_r との距離を R とする。

障害物に接触せずに旋回するためには、車体との最短旋回半径 $(R-W/2)$ が障害物との距離 R_o より大きくないといけない。また、前輪操舵時の旋回中心 O_c 、点 P_r と点 P_f から成す三角形から

$$R_f = \frac{2L_T}{\tan \theta_f} \quad (7)$$

が得られるため、旋回中心 O_r 、 O_c と点 P_r の頂点とする三角形から、正弦定理を用いて距離 R を次式のように求めることができる。

$$\frac{R_f}{\sin(\theta_f - \theta_r)} = \frac{R}{\sin \theta_f} = \frac{R_o}{\sin \theta_r} \quad (8)$$

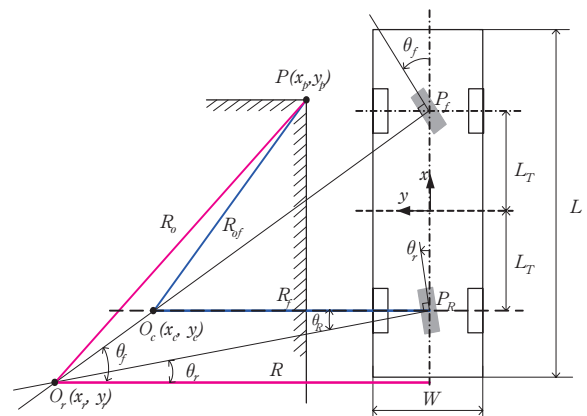


Fig. 2 Turning motion of four wheel steering

$$R = \frac{\sin \theta_f \cos \theta_r}{\sin(\theta_f - \theta_r)} R_f = \frac{\sin \theta_f \cos \theta_r}{\sin(\theta_f - \theta_r)} \frac{2L_T}{\tan \theta_f} \quad (9)$$

$$= \frac{\cos \theta_f \cos \theta_r}{\sin(\theta_f - \theta_r)} 2L_T$$

式(9)を接触のない条件式(6)に代入すると

$$\frac{\cos \theta_f \cos \theta_r}{\sin(\theta_f - \theta_r)} 2L_T \geq R_o + \frac{W}{2} \quad (10)$$

が得られる。上式を整理すると、

$$\frac{\sin(\theta_f - \theta_r)}{\cos \theta_f \cos \theta_r} \leq \frac{2L_T}{R_o + W/2} \quad (11)$$

が求められる。また、三角関数を利用し、

$$\tan \theta_f \mp \tan \theta_r \leq \frac{2L_T}{R_o + W/2} \quad (12)$$

$$\tan \theta_f \leq \frac{2L_T}{R_o + W/2} \pm \tan \theta_r \quad (13)$$

が得られる。したがって、前後輪操舵する場合障害物との接触がなく旋回できる条件は

$$\theta_f \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{2L_T}{R_o + W/2} \pm \tan \theta_r \right\} \quad (14)$$

であり、既知条件を代入すると

$$\theta_f \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{8L_T(2Y_P - W)}{4Y_P^2 - W^2 + 4(X_P + L_T)^2} \pm \tan \theta_r \right\} \quad (15)$$

となる。その結果、前輪操舵時に比べ前後輪操舵時は、後輪操舵角 θ_r を制御することによって前輪操舵角 θ_f の大きさが増減し、旋回半径が変化することがわかった。

3. 4WS 移動体

四輪駆動車両は、四輪すべてに駆動力を伝え駆動輪とする車両である。二輪駆動に比べると四輪駆動の場合すべての車輪に駆動力を伝えているため牽引力が増し、空転を起こすような悪路でも駆動力を各タイヤが分散し安定に走行することが可能である。

本稿では、4WS 移動体を構築するため市販の RC モデルカーの四輪駆動車両 (1/10th SCALE RADIO CONTROL 4×4 PICK-UP TRUCK FORD F-350 HIGH-LIFT, タミヤ (株)) を用いる。その仕様と外形を表 1, 図 3 に示す。規格よりこの車両モデルが操舵出来るのは前輪のみだが、後輪も操舵できるように部品を作成し、標準車両モデルの機構に加えることによって前後輪駆動可能な車両に改造する。

4WS 移動体には制御用の PC が取り付けられ、ホスト PC と制御 PC の二台を用いる。ホスト PC と制御 PC は TigerVNC を用い無線 LAN で接続している。サーボモータは、ホスト PC を通して制御 PC 上でパルス幅を指令し、制御 PC に USB 接続された変換基板を介して電気的なパルスで駆動している。タイヤはリンク機構を用いてサーボモータと接続され操舵を行う。

4. キャリブレーション

キャリブレーションの手法として、サーボモータの回転角度指令を与えその時の操舵角を測定した。測定時にヒステリシスの影響を取り除くため、操舵角の変化方向が正の場合と負の場合の両方について測定を行った。

4本のタイヤの操舵角がタイヤを操舵するサーボモータの回転角度に比例すると考えキャリブレーションを行った。キャリブレーションを行う目的としては操舵機構であるリンク機構による、非線形バックラッシュによってヒステリシス等が発生するためである。サーボモータの回転角度指令パルス幅を p 、回転角を θ とすると、 θ は p に比例する。従って、パルス幅とサーボモータ回転角度の関係式は、

$$p = a * \theta + b \quad (16)$$

となる。(16)の式より、前輪操舵角を a_f 、前輪操舵角のサーボパルス幅を p_f とすると、

$$\theta_f = a_f p_f + b_f \quad (17)$$

となり(17)式より、前輪操舵角に対するパルス幅、後輪操

Table. 1 Specification of mobile platform

項目	仕様
全長	492mm
全幅	216mm
車高	220mm
ホイールベース	282mm
重量	3.1kg
トレッド	182mm
操舵角	±20deg 以下

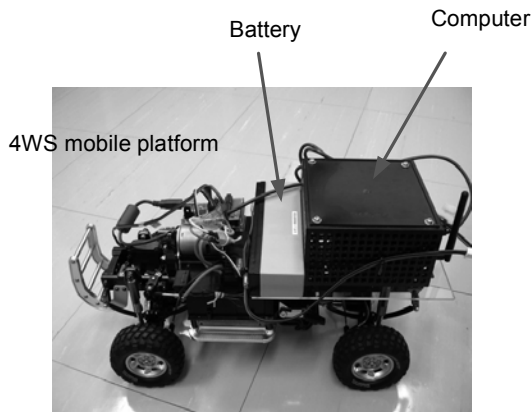


Fig. 3 Experimental mobile platform

舵角に対するパルス幅は,

$$p_f = \frac{1}{a_f}(\theta_f - b_f) \tag{18}$$

$$p_r = \frac{1}{a_r}(\theta_r - b_r) \tag{19}$$

となる.

本稿では(18), (19)式の関係を用いて, 必要な操舵角に対するパルス幅を求める. 操舵角とサーボモータの回転角の関係を測定するために, タイヤ中心と操舵角中心が合う図を描きタイヤの向きを合わせ, 一定角度に操舵するパルス幅を求めた. 測定値はパルス幅と操舵角の最小二乗法を用いて(17)に近似させた. 測定値とキャリブレーション結果の関係を図 5, 6 に示す.

5.まとめ

本稿では, 四輪車両を等価二輪車両に置き換え, 前輪操舵時と前後輪操舵時において障害物と接触せず旋回可能な理論的条件を調べた. また, RC モデルカーを改造することで 前後輪を独立操舵可能にし, サーボモータによって任意の角度に操舵可能にした. 前後輪が独立操舵可能なため, 逆位相, 同位相, 前輪操舵, 後輪操舵で走行可能な 4WS 移動体を実現した.

逆位相は前輪操舵に比べると旋回半径を小さくでき, 同位相では 4WS 移動体が正面を向いたまま左右前後に斜め移動できることを確認した. さらに, 今後の走行実験を遂行するために小型 PC とレンジファインダを搭載する.

参考文献

- (1)坂井真一郎, 佐渡秀夫, 堀洋一: 4 輪独立駆動電気自動車における動的な制駆動力配分法, 電気学会産業応用部門誌, Vol.120-D, No.6, pp.761-768, 2000.
- (2)小野英一, 服部義和, 相澤博昭, 加藤博章, 田川真一, 丹羽悟: 車両運動統合制御における理論限界の明確化と達成, 機械学会論文集 (C), Vol.73 No.729, pp.1425-1432, 2007.
- (3)大川進: 自動車のモーションコントロール技術入門 よくわかる図解とシミュレーションで学ぶ, pp.64 - 71, 山海堂, 2006.
- (4)安部正人: 自動車の運動と制御 車両運動力学の理論形成と応用, pp.49 - 66, 東京電機大学出版局, 2008.

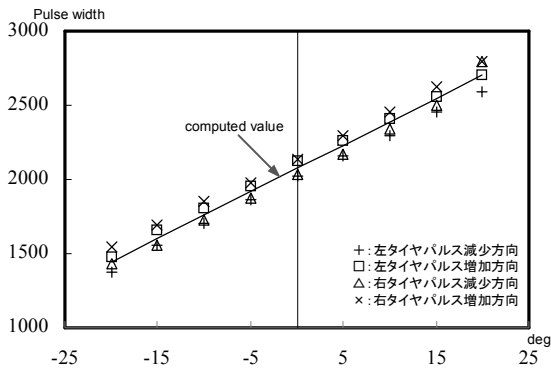


Fig. 5 Relation between front wheel steering angle and pulse width

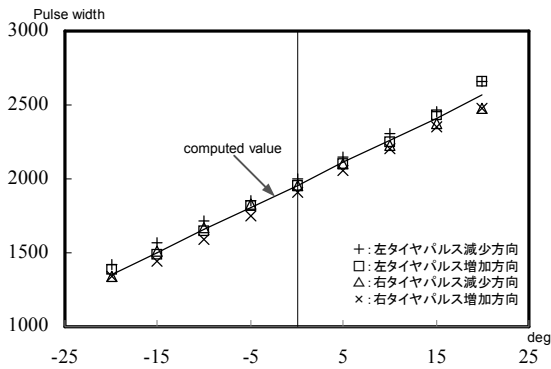


Fig. 6 Relation between back wheel steering angle and pulse width