3307 悪天候時のレーンキーピングシステム — 走行実験用システム —

Development of Lane Keeping System in Adverse Weather Conditions - Actual Running Test System -

○田上 浩平 (秋田県立大学) 高梨 宏之 (秋田県立大学)
御室 哲志 (秋田県立大学) 磯田 陽次 (秋田県立大学)

Kohei Tagami, Akita Prefectural University, 84-4 Tsuchiya, Yurihonjo, Akita
Hiroyuki Takanashi, Akita Prefectural University
Tetsushi Mimuro, Akita Prefectural University
Yoji Isota, Akita Prefectural University

The authors have proposed the lane keeping system using road-side markers and onboard laser sensor to achieve safer and smoother road traffic in adverse weather conditions. The system acquires the relative position of road-side passive markers by the laser sensor, and the absolute position of them by communication with road-side active markers. The system estimates a vehicle position in the lane from the both positional information of the markers and warns the driver of a lane departure risk to assist the driver to keep the lane. This paper explains the actual running test system to examine the system operation and performance.

Key Words: Actual Running Test, Lane Keeping, Control, Vehicle Dynamics, Adverse Weather

1. はじめに

これまで悪天候時の対策は、道路側、車両側の双方で種々実施されてきている。しかしまだ不十分で、悪天候下での重大な事故も報告されている⁽¹⁾。特にレーン逸脱は重大な事故に直結するので、この対策が必要である。

現在、様々なレーンキーピングシステム技術が実用化されているが、これらのシステムはカメラ映像を用いている等、悪天候下での使用が困難である。

そこで筆者らは悪天候時の利用を想定した路肩マーカを用いたレーンキーピングシステムを提案した⁽²⁾。路肩マーカは道路の左路肩に、ある間隔で設置するものと仮定する。この路肩マーカから通信で得られる道路線形情報と、車載レーザセンサによる路肩マーカと車両の相対位置情報を用いてレーンキーピングを行う。このコンセプトを実証するための走行実験用システムを構築中であるので、状況を報告する。

Fig.1 Example of lane keeping system with camera
Honda's LKAS[Lane Keep Assist System]⁽³⁾

Fig.2 Lane keeping system using roadside marker and onboard laser sensor

2. 従来のレーンキーピングシステム

ここではレーン逸脱警報、レーンキーピングアシスト、自動操縦を伴うレーンキーピングシステム等を総称してレーンキーピングシステムと呼ぶ。様々な機関や自動車メーカーでレーンキーピング技術の開発が進められている。図1に代表的なレーンキーピング技術を示す⁽³⁾。

現在、実用化されているレーンキーピング技術は主にカメラの映像で白線を検出するものであり、豪雨や豪雪、地吹雪などの悪天候下では、レーン認識が困難になる。

カメラを用いないレーン誘導システムとして、走行路直下に配置された磁気ネイルあるいは路肩マーカを用いた開発事例⁽⁴⁾もあるが、メンテナンスが難しいことや雨天時等のレーン誘導性能に課題があり、本格実用に至っていない。また自動走行研究用等にはRTK-GPSと高精度地図の組合せの絶対位置ベースのレーンキーピングも利用されている^(たとえば5)が、実用性という意味では、機器が高価であり、電波遮蔽に弱く、リアルタイム性に欠けるといった問題がある。

3. 悪天候用レーンキーピングシステムのコンセプト

3-1 路肩マーカの利用

本研究では悪天候下でも利用可能な路肩マーカと車載レーザセンサを用いたレーンキーピングシステムを提案する。図2に示すように、車両はレーザセンサにより、路肩パッシブマーカの相対位置情報を得る。また路肩アクティブマーカの絶対位置情報を通信で得て、両者からレーン位置を推定し、レーン内走行を支援する。

レーザセンサによる環境情報と、事前に構築された絶対位置情報を持つ距離データマップのマッチングによる高精度自車位置推定の先行研究⁽⁶⁾があり、本研究はその典型的なアプリケーションとも考えられる。

3-2 レーザセンサ

レーザセンサは車両の先端部に設置され、通常の目的は車間距離制御や衝突被害軽減ブレーキ用に先行車や障害物を検出することである。電波レーダは光学式センサに比べて悪天候下の性能に優れている⁷⁾が、角度分解能に難があるため、今回は使用しなかった。本研究におけるレーザセンサの使用目的は、パッシブマーカと車両の相対位置情報を得ることである。最悪条件でも車両から10m程度の距離にあるパッシブマーカ位置を得る必要があるが、これは現在市販されているレベルのレーザセンサで可能と考えている。

3-3 路肩パッシブマーカ

左路肩にマーカ設置間隔ルールに従ってパッシブマーカを設置する。ここで、パッシブマーカとはレーザセンサで検出し易い部品で構成され、積雪期においては道路境界を視覚的に識別し易いものである。マーカ設置間隔ルールとは、標準的な道路曲率毎の設置密度に適合するとともに、その範囲で積極的に不等間隔として、一種の暗号を盛り込むものとする。

PM (Passive Marker) 情報

レーザセンサは図3に示すように車両から路肩マーカまでの距離 d_n と角度 θ_n を検出する。至近距離マーカの極座標 (d_1, θ_1) を自動車 x - y 座標で (x_{PM0}, y_{PM0}) と表し、その後サンプリング時間 Δt 毎の車両の移動に対応して(1)式の変換を行い、至近距離マーカから車両後方へ10個のマーカの相対位置情報を蓄える。この蓄えた(2)情報をPM情報と呼ぶ。

$$\begin{bmatrix} x_{PMi+1} \\ y_{PMi+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta \varphi & \sin \Delta \varphi \\ -\sin \Delta \varphi & \cos \Delta \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{PMi} - \Delta x \\ y_{PMi} - \Delta y \end{bmatrix} \quad \cdots (1)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, 9$$

(x_{PM}, y_{PM}) : 路肩マーカの相対位置座標

$\Delta x, \Delta y$: Δt の間の車両移動距離

$\Delta \varphi$: Δt の間の車両移動ヨー角

$$\text{PM 情報} = \begin{bmatrix} x_{PM0} & x_{PM1} & x_{PM2} & x_{PM3} & \dots & x_{PM9} \\ y_{PM0} & y_{PM1} & y_{PM2} & y_{PM3} & \dots & y_{PM9} \end{bmatrix} \quad \cdots (2)$$

Fig.3 PM- information

3-4 路肩アクティブマーカ

10個のパッシブマーカ列の1個目にはアクティブマーカ機能を持たせる。ここで、アクティブマーカとは車両に搭載されている電波マーカ受信器からの電波を受けるとスリープモードから出て、それ自身および前方の9個、計10個分のパッシブマーカの絶対位置情報(緯度経度情報)を送信する。使用するアンテナには指向性を持たせ、隣り合うアクティブマーカとの干渉はないとする。

AM (Active Marker) 情報

図4に示すように、電波マーカ受信器の受信範囲に入ったアクティブマーカにより、車両に送られた情報と、既に通過した分を含め20個分のアクティブマーカ列の絶対位置を(3)式のように蓄えておき、これをAM情報と呼ぶ。

$$\text{AM 情報} = \begin{bmatrix} x_{AM0} & x_{AM1} & x_{AM2} & x_{AM3} & \dots & x_{AM19} \\ y_{AM0} & y_{AM1} & y_{AM2} & y_{AM3} & \dots & y_{AM19} \end{bmatrix} \quad \cdots (3)$$

マッチング

マッチングに使用するのはPM情報(2)式とAM情報(3)式である。PM情報とAM情報において、それぞれのマーカ間の距離を(4)、(5)式のように求める。

$$\ell_{PMi} = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, 9 \quad \cdots (4)$$

$$\ell_{AMj} = \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2} \quad j = 1, 2, 3, \dots, 19 \quad \cdots (5)$$

10個のマーカからなるPM情報がマーカ間距離の意味で最も適合する10個のマーカ列を、20個のマーカからなるAM情報から特定するために、(6)式の最小2乗演算を行う。

$$\Delta_i^2 = \sum_{j=1}^9 \left[\left\{ \ell_{AM(i+j-1)} \right\}^2 - \left\{ \ell_{PMj} \right\}^2 \right] \quad \cdots (6)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 11$$

Fig.4 AM- information

Fig.5 Matching PM- information to AM- information

Fig.6 Matching diagram

Δ_i^2 の最も小さい i を選ぶと、これが正しい PM 情報と AM 情報の組み合わせとなる。これにより、現在位置よりも前方の AM 情報を使用して、自車と路肩の相対位置関係を判別できるようになる (図 5, 6)。

4. 走行実験用システム

4-1 実験車両

実験車両に搭載した車載機器を表 1 に示す。

Table1 車載機器一覧

車載機器	仕様
ノート PC	
無線 LAN ルータ	IEEE802.11b,g
レーザセンサ LD-MRS	分解能 0.25° 上下 4 レイヤー
姿勢センサ VSAS-2GM	3 軸角速度, 3 軸加速度等
警報表示用	7 インチ Tablet
指向性アンテナ	2.4GHz 帯 2 パッチアンテナ 利得 10dBi, ビーム幅 30°
A/D 変換器	8 inputs, 12-bit

車両ではレーザセンサから路肩マーカ相対位置情報、姿勢センサから GPS による経緯度と車両の 3 軸角速度と加速度、A/D から車速パルスとアクセル開度の情報をノート PC でリアルタイム処理する。無線 LAN 通じて助席側のダッシュボード上に取り付け付けたタブレットに警報などの情報を表示する。(図 7)

Fig.7 Configuration of test vehicle

4-2 路肩パッシブマーカ

大学構内道路に、路肩パッシブマーカとして、スノーポール 21 本を図 8 のように設置した。マーカの絶対位置は GPS 測量により高精度に計測されており、マーカ間距離は、3-3 で述べたように意図的に不等間隔とした (表 2)。

Fig.8 Layout of passive markers

Table2 路肩マーカ間距離 (P1~P9)

	緯度	経度	前のマーカとの距離 [m]	備考
P1	39-23-29.0584	140-04-22.5121		
P2	39-23-29.0653	140-04-21.6787	19.94	
P3	39-23-29.0700	140-04-20.8444	19.96	
P4	39-23-29.0778	140-04-20.1746	16.03	AM
P5	39-23-29.0832	140-04-19.5484	14.98	
P6	39-23-29.0877	140-04-19.0267	12.48	
P7	39-23-29.0932	140-04-18.4001	14.99	
P8	39-23-29.1545	140-04-17.8831	12.51	
P9	39-23-29.2584	140-04-17.4876	9.99	

4-3 路肩アクティブマーカ

今回の実験ではスタート地点側から 4 本目のスノーポール近傍に通信用 PC と 2.4GHz 帯ルーターと試作した 2 パッチアンテナを設置し、アクティブマーカとした。このアクティブマーカが自身を含め前方の 10 個分のパッシブマーカの絶対位置情報を送信する。送信された絶対位置情報を車両側の指向性アンテナを使い受信する (図 9)⁽⁸⁾。

Fig.9 Active marker

4-4 レーザデータからの路肩マーカの位置検出

スタート地点側からコースに進出し、2 本目から 4 本目のパッシブマーカがレーザセンサで捕えられている状況を図 10 に示す。レーザビームは縦に 0.8° ずつの 4 つのレイヤを持ち、反射データは下から赤、青、緑、黄で表示されている。道路両側の縁石は赤を主体に表示されている。左の縁石上には、黄の点 (実は 4 色が重なった点) があり、これがパッシブマーカである。その間隔は 2 本目と 3 本目の間が 20.03m で、3 本目と 4 本目の間が 16.01m であり、表 2 の設置間隔によく一致している。以上のことから、レーザセンサによる至近距離マーカの相対位置計測は、十分な精度で行えることが分かる。

図 11 は別のシーンであるが、4 つのレイヤの全反射点を示し、図 12 はそれをレイヤ別に表示している。今回のシンプルな試験コースでは、左縁石付近で 4 つのレイヤの反射点位置が重なればマーカと判断できる。

Fig.10 Reflection data by laser sensor

Fig.11 Laser reflection data of all layers

Fig.12 Laser reflection data of each layer

4-5 通信確認

無線 LAN (ルーター 1 台) を用いた障害物がない場所での路車間通信は 100m 程度まで可能である。混信を避けるため指向性アンテナを使用し、スタート地点では非接続とした。路肩マーカ設置区間に約 15km/h 一定で進入したところ、再接続に時間がかかり、アクティブマーカの直前で、車両搭載 PC によりマーカ座標の受信を確認できた。実用化に向けては再接続時間が短いプロトコルを採用する必要がある。

5. 結論

本研究では、提案中の悪天候下でも利用可能な路肩マーカとレーザセンサを用いたレーンキーピングシステムの走行実験用システムの構築について報告した。レーザセンサによるバンプマーカとの高精度相対位置の取得が可能であることを確認した。そのリアルタイム処理については今後の開発テーマである。PM 情報と AM 情報のマッチングアルゴリズムについても、リアルタイム化が今後の開発テーマである。通信の再接続が遅いことについては、アクティブマーカ側の課題とし、当面の実車システム実験においては、現状無線 LAN 利用で可能な範囲で進める予定である。

本研究は JST 研究成果最適展開支援プログラム フィージビリティスタディ【FS】ステージ 課題番号 AS232Z01853A の一環として実施した。

参考文献

- (1) 安藤和彦; 交通視環境問題と交通事故, 照明学会誌, Vol.89, No.9, pp.632-635 (2005)
- (2) クアドラバニア, 高梨宏之, 御堂哲志; 悪天候時のレーンキーピングシステム, 日本機械学会交通・物流部門大会講演論文集, Vol.2011, pp83
- (3) Honda's LKAS (レーンキープアシストシステム)
<http://www.honda.co.jp/tech/auto/acc-lkas/lkas-top/>
- (4) AHS 公道実験成功
<http://www.hido.or.jp/letter/review2/1-5.html> (1997)
- (5) Omac M. et. al.; The Application of RTK-GPS and Steer-by-wire Technology to the Automatic Driving of Vehicles and an Evaluation of Driver Behavior, IATSS Research Vol.30 No.2, 2006
- (6) 洪久奈保, 他; 車載レーザスキャナによる距離データマップの構築と高精度自車位置推定, 電子情報通信学会論文集 D Vol.J92-D No.2, 2009
- (7) Kurata.R. et al.; Evaluation of Detection Characteristics of Road Sensors under Poor Visibility Condition, 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services., ERTICO. Madrid, 2003-11
- (8) 田口卓弥, 磯田陽次; 無線 LAN を用いた電波マーカの研究, 電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, Vol.2010, pp. 263 (2010)