

レーザレーダデータ系列間対応付けによる自車位置推定

渋谷 奈保^y 佐藤 准嗣^y 高橋 友和^y 井手 一郎^y 村瀬 洋^y

小島 祥子^{yy} 高橋 新^{yy}

^y 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

^{yy} (株) 豊田中央研究所 〒480-1192 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41-1

E-mail: yfnshibu,jsato,ttakahashi,ide,murase^g@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本報告では、事前に構築したレーダマップと走行中の自車が測定したレーザレーダデータを照合することで、普及型 GPS よりも精度良く自車位置推定を行う手法を提案する。レーダマップとは地図上の位置とその位置における車両走行方向の奥行きマップ（レーザレーダデータ）を高精度に対応付けたものであり、この構築手法についても述べる。照合では走行中に獲得したレーザレーダデータ系列とレーダマップから GPS の情報を基に抽出したレーザレーダデータ系列に対し、2 段階の照合を行う。第 1 段階では、レーザレーダデータを車線横方向にずらしながら照合することにより、走行車線を推定し、第 2 段階では走行車線別に DP マッチングにより高精度な照合を行う。照合の結果、同一地点と推定されたレーダマップ中の位置を自車位置とする。複数車線ある道路の同一区間を走行しながら GPS と同期して測定された 10 本のデータ系列を用い、実験を行った。実験の結果からレーザレーダデータ系列間の対応付けにより高精度な位置推定と走行車線分類が可能となることを確認した。

キーワード ITS, 車載レーザレーダ, GPS, DP マッチング

Estimating vehicle location by corresponding multiple laser radar data series

Nao SHIBUHISA^y, Junji SATO^y, Tomokazu TAKAHASHI^y, Ichiro IDE^y, Hiroshi MURASE^y,

Yoshiko KOJIMA^{yy}, and Arata TAKAHASHI^{yy}

^y Graduate School of Information Science, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi,
464-8603 Japan

^{yy} Toyota Central Research & Development Laboratories, Inc 41-1, Aza Yokomichi, Oaza Nagakute,
Nagakute-cho, Aichi-gun, Aichi, 480-1192 Japan

E-mail: yfnshibu,jsato,ttakahashi,ide,murase^g@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

Abstract We propose a vehicle location estimation method using in-vehicle laser radar and an ordinary GPS to improve the accuracy of vehicle locations obtained by a GPS. The proposed method estimates vehicle locations by matching the laser radar data series of a traveling car to a radar map. The radar map consists of a geographical position on the road map and the corresponding laser radar data at the position. We also describe how to construct the radar map. The estimation is performed in two stages. The first stage categorizes traffic lanes by examining the lateral gaps of the laser radar data series to a standard series. The second stage accurately matches each pair of the laser radar data series from the same traffic lane by DP matching, then obtains the vehicle location from corresponding laser radar data in the radar map. In experiments using 10 data sets collected while cars traveled the same route with multiple traffic lanes, our method showed the ability of the vehicle location estimation and the cruising lane classification methods.

Key words ITS, In-vehicle laser range sensor, GPS, DP matching

1. はじめに

近年、交通事故を未然に防ぐ安全運転システムや、高度なカーナビゲーションシステムの発展が期待されている。これらのシステムを有効に活用するためには、自車位置を正確に知る必要がある。現在、GPS を用いて緯度経度を取得し、自車位置を推定する手法がある。RTK-GPS などの高精度 GPS を用いれば、数 cm の誤差で自車位置を推定できる。しかしながら、RTK-GPS は高価であり、建物などの遮蔽により衛星からの電波の計測が不安定になるなどの問題点のため、カーナビゲーションシステムなどでは安価な普及型 GPS が用いられている。ところが普及型 GPS は電離層遅延や建物によるマルチパスなどの影響で、5-30m の誤差を含む。そのため、普及型 GPS 単体では高精度な自車位置推定は困難である。小野らは GPS を用いずにレーザレーダのみを用いて、直線道路の走行を仮定した自車位置推定手法を提案している [3]。これに対して、佐藤らはこれまで車載センサとして全方位カメラと普及型 GPS を用い、異なる時期に撮影した複数の映像間対応付け手法を提案し、同一地点の位置情報を平均化することで、高精度位置推定を行う手法を検討している [5]。GPS 測位における誤差は、測定のたびに变化する誤差成分（ランダム成分）と、時刻により变化する誤差成分（バイアス成分）からなる [11] が、この手法では同一地点において長期間にわたり計測された複数の GPS 座標を平均することにより、両成分の低減をねらっている。

しかし、この手法は画像情報を用いるため、精度が日照条件に影響されやすく、また夜間には適用が困難である。そこで、本研究では全方位カメラの代わりに車両前方の奥行き方向の距離分布を計測できるレーザレーダを用いることで、日照条件や時間帯に依存しない自車位置推定手法を提案する。

本手法では、事前に構築したレーダマップと走行中の自車が測定したレーザレーダデータを照合 [7] することで自車位置を推定する。レーダマップとは地図上の位置とその位置における車両走行方向のレーザレーダデータを高精度に対応付けたものであり、レーダマップ構築手法にもふれる。

以下、2 節にてレーザレーダについて、3 節で自車位置推定手法について、4 節でレーダマップの構築について、5 節で実験について、6 節にてまとめを述べる。

2. レーザレーダによる奥行き距離の計測

本研究では、前方物体までの距離を測定するために水平ラインスキャン型レーザレーダを用いる。レーザレーダは、照射したレーザの伝播時間を用いて、対象物までの距離を測定する。レーザレーダは物体の 3 次元形状を容易に取得できることから、車両の側面にレーザレーダを設置し、街並みの 3 次元形状を復元する研究が従来多数行われてきた [2] [4]。

しかしながら、近年アダプティブクルーズコントロールなどに用いるために、一般に実用化されているレーザレーダは車両前方に設置されていることが多い。図 1 に車両前方中央のバンパ付近にレーザレーダを設置した場合の、ある地点におけるレーザレーダデータと、対応する車載カメラ映像を示す。

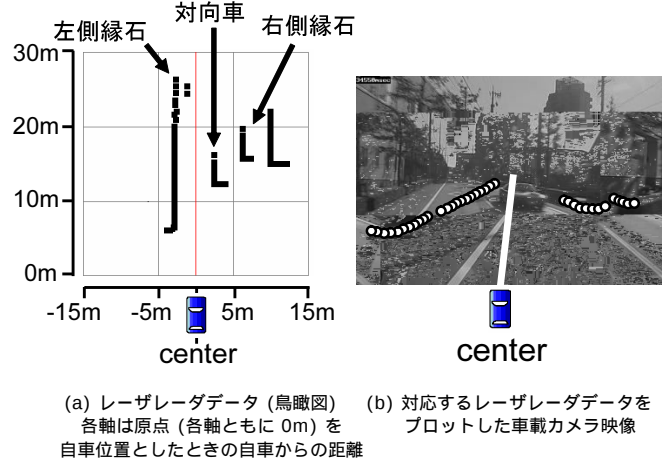


図 1 ある地点におけるレーザレーダデータと車載カメラ映像
：道路の縁石や対向車両までの距離が測定されている。

レーザレーダの技術開発が進み、性能が向上していることから、レーザレーダデータの様々な応用に期待がよせられている。Sparbert らは、レーザレーダにより前方奥行き情報を取得し、得られた奥行き情報を物体毎にモデリングすることで、車線を検出し、道路の種類を分類する手法を提案している [1]。また、城殿らは車両運動推定及び横断歩行者検出手法を提案している [6]。これらの研究結果から、車両前方に設置されたレーザレーダの測定データから車両の現在位置を推定できる特徴を抽出可能であり、また、これらの研究では用いられていない GPS からの情報を併用することで、車両を絶対位置で推定可能となると考える。

3. 自車位置推定手法

走行中の車両が現在までに得たレーザレーダデータ系列と、事前に構築したレーダマップから、GPS 座標で概ね同一区間を走行している部分のレーザレーダデータ系列を切り出し、それらを照合することで、自車位置推定を行う。車線が複数ある場合、レーダマップは各車線毎のレーザレーダデータ系列を持つので、車線本数分のレーザレーダデータ系列を切り出す。

自車位置推定の流れを図 2 に示す。照合では、レーザレーダデータ系列間に対応付け、同一地点を推定する。速度の違いによるデータ系列の時間方向の伸縮を吸収するため、DP マッチングを用いる。ここで、走行車線分類及び走行車線別レーザレーダデータ系列間の対応付けを照合と定義する。走行車線が異なるとレーザレーダデータは進行方向に対して垂直方向にずれるため、このままでは高精度な自車位置推定は困難である。そこで本研究では DP マッチングを用いた 2 段階の照合を行う。1 段階目は、レーザレーダデータを横方向にずらしながら照合を行い、ずらし幅から走行車線を推定する。2 段階目は、同一走行車線のレーザレーダデータ系列間に DP マッチングを適用し、高精度な同一地点対応付けを行う。対応付けの結果からレーダマップ上の位置情報を取得し、自車位置とする。

3.1 DP マッチング

DP マッチングとは、動的計画法を用いたマッチング手法で

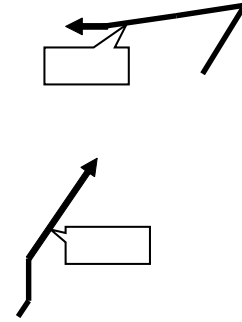


図 5 実験に使用するデータの測定区間 [12]

図 3 レーダマップ構築の流れ

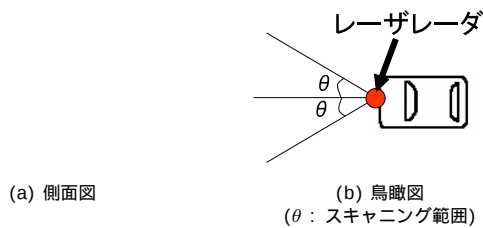


図 4 実験車両と使用機器の位置関係

を目視により評価するため、RTK-GPS は自車位置推定精度を調査するための真値として用いる。実験車両とレーザーレーダ及び車載カメラの位置関係を図 4 に示す。

表 1 レーザレーダの仕様	
距離計の性能	
測定距離範囲	150m (反射率 10%以上)
測定精度	標準 $\pm 25\text{mm}$
レーザー波長	近赤外線
アイセーフティー	クラス 1
スキャナー性能	
スキャニング範囲	± 40 度
スキャニングレート	20 スキャン/秒
角度分解能	0.036 度

搭載した各機器の測定レートを以下に示す。

- ² レーザレーダの測定レート：20 スキャン / 秒
- ² 映像のフレームレート：30 フレーム / 秒
- ² 普及型 GPS の測定レート：1 測定 / 秒
- ² RTK-GPS の測定レート：1 測定 / 秒

各機器の測定レートが異なることに対処した対応付け方法は、実験結果で述べる。

5.2 実験条件

以下の 2 つの実験について報告する。

図 6 レーザレーダデータ (鳥瞰図)：走行車線分類では破線で囲まれた領域に存在するデータのみを用いる。

(1) レーザレーダデータ系列間照合

- ・走行車線分類
- ・同一地点対応付け

(2) 同一地点の GPS 座標の平均化

これら 2 つの実験結果を評価することで、自車位置推定及びレーダマップ構築手法の有効性を示す。

実験には図 5 に示す区間 A, B を走行しながら測定した 20 組のデータ系列を使用した。区間 A, B とともに片側 2 車線の道路で、各データ系列中に車線変更はない。区間 A, B の詳細を表 2 に示す。

表 2 実験に使用するデータ		
走行区間	距離	走行車線 (データ組数)
A	917m	左車線 (10), 右車線 (10)
B	717m	左車線 (10), 右車線 (10)

区間 A は経路の右側に新都市交通の高架の影響で、マルチパスによる GPS 座標の誤差が大きいと考えられる。区間 B は見通しの良い道路で、経路の両側には背の高い建物はほとんど存在しない。

走行車線分類の際、図 6 に示すように自車から走行方向に 10m ~ 20m, 横方向に $\pm 10\text{m} \sim 10\text{m}$ に測定点が多く分布しているため、 $u = 20$ とした。また、式 (2) で用いる横方向の最大ずらし幅は $w = 5$ とした。式 (3) で用いるレーザーレーダの 1 スキャンの測定データ点数は $L = 444$ である。

実験では 1 回目に左車線を走行して測定したデータを基準系

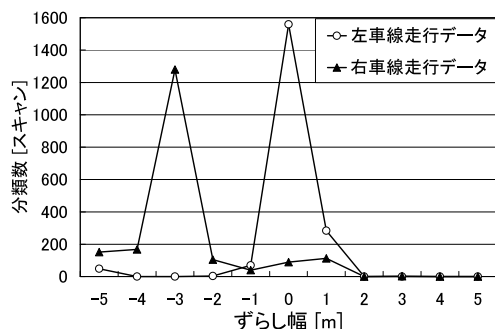


図 7 ずらし幅と分類数の関係：走行車線の違いにより異なるクラス
タを形成している。

列とし、その基準系列に他のデータ系列をずらし照合でおおま
かに対応付け、ずらし幅から車線を分類し、走行車線別に DP
マッチングで対応付けた。その後、DP マッチングにより同一地
点と推定される GPS 座標を平均し、平均値を自車位置とした。

5.3 実験結果

実験結果は車線の分類成功率、走行車線別レーザレーダデー
タ系列間の対応付け成功率、及び自車位置推定精度にわけて評
価する。

5.3.1 走行車線分類

本実験では、基準系列が左車線を走行しながら測定したデー
タ系列であったため、ずらし幅^⑥が $j-1 \sim 1$ [m] であれば左車線
を、 $j-5 \sim j-2$ [m] であれば右車線を走行していると判断した。全
スキャン中の分類成功数を分類成功率とし、各区間における 1
スキャン単位の走行車線分類成功率を表 3 に示す。

測定データ	分類成功率
区間 A (左車線)	85.3%
区間 A (右車線)	88.1%
区間 B (左車線)	73.5%
区間 B (右車線)	90.2%

図 7 は走行車線の異なる 2 つのレーザレーダデータ系列に関
するずらし幅の頻度分布を示している。本実験で用いたデータ
系列は車線変更がなかったため、最も多く分類されたずらし幅
からデータ系列の走行車線を一意に分類した。1 つのデータ系
列中に車線変更がある場合は、今後検討する。

5.3.2 走行車線別レーザレーダデータ系列間対応付け

レーザレーダデータ系列どうしの対応付け成功率を、評価の
ためにレーザレーダデータと同期をとって撮影した車載カメラ
映像から目視で成否を判定した。レーザレーダの測定レートと
映像のフレームレートが異なるため、レーザレーダデータが測
定された時刻に最も近い時刻に撮影された映像を対応付けた。

実験結果の評価には、対応付けられたレーザレーダデータ系
列中からランダムに抽出した車載カメラ映像 300 フレームを用
いた。目視で判断して DP マッチングにより対応付いたフレー
ムが最も類似したフレームと対応付いていた場合は成功、類似
するフレームが他に存在していた場合は失敗とした。

対応付け成功率を表 4 に示す。データ系列の走行車線を一意

に分類したため、この対応付け成功率は表 3 の結果には依存し
ない。実験結果から良好に同一地点が対応付いていることを確
認した。

測定データ	対応付け成功率
区間 A (左車線)	79.9%
区間 A (右車線)	88.2%
区間 B (左車線)	88.7%
区間 B (右車線)	84.7%

5.3.3 自車位置推定精度

走行車線別レーザレーダデータ系列間対応付けにより推定さ
れた同一地点の GPS 座標の平均化による、位置情報の高精度
化の効果を調査した。レーザレーダの測定レートと普及型 GPS
及び RTK-GPS の測定レートが異なるため、線形補間を施して
レーザレーダに両 GPS 座標を対応付けた。

自車位置推定精度は、走行車線別レーザレーダデータ系列間
の対応付け精度に依存する。同一地点以外の GPS 座標が平均
化されることを防ぐために、GPS 座標を平均する際に平均値よ
りも 30m 以上離れた地点の座標は平均化していない。

推定された自車位置の真値からの誤差の平均を表 5 に示す。
実験結果から普及型 GPS で推定された自車位置よりも、提案
手法で推定された自車位置の方が精度良く推定できていること
がわかる。この結果は表 4 の結果に依存するため、レーザレー
ダデータ系列間の対応付け精度が向上すれば、自車位置推定精
度も向上することが期待できる。

測定データ	普及型 GPS	提案手法
区間 A (左車線)	7.2m	3.3m
区間 A (右車線)	4.4m	2.7m
区間 B (左車線)	6.1m	3.2m
区間 B (右車線)	4.9m	2.2m

5.4 考察

DP マッチングによるレーザレーダデータ系列間対応付けと
自車位置推定にわけて検討する。

5.4.1 DP マッチングによるレーザレーダデータ系列間 対応付け

図 8 に示すように、同一地点を走行しながら測定したデー
タでも、前方車両などの影響により部分的に異なる測定データと
なる場合が生じる。前方車両の有無や前方車両までの距離は測
定ごとに変化するので、DP マッチングの際に雑音となり、精度
の低下につながる。そこで DP マッチングの際に使用するレー
ザレーダデータの各スキャン点に重みをつけることを考える。
雑音の表れやすい方向のデータ点の重みを低くすることで、DP
マッチングによる対応付け精度向上が見込まれる。

5.4.2 自車位置推定

自車位置推定の際に用いるデータ系列数（走行回数）の違い
により、推定された位置情報がどの程度真値に近づくかを調査
した。走行回数と自車位置推定精度の関係を図 9 に示す。走行
回数が増加するに従い、推定された位置が真値に近づいている

