

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

渋久 奈保[†] 佐藤 准嗣[†] 高橋 友和[†] 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]
小島 祥子^{††} 高橋 新^{††}

[†] 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
^{††} (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: †{nshibu,jsato,ttakahashi,ide,murase}@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[†], Junji SATO[†], Tomokazu TAKAHASHI[†], Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†],
Yoshiko KOJIMA^{††}, and Arata TAKAHASHI^{††}

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi,
464-8603 Japan

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

E-mail: †{nshibu,jsato,ttakahashi,ide,murase}@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を用いずにレーザー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、測定のために変化する誤差成分(ランダム成分)と、時刻により変化する誤差成分(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ー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。

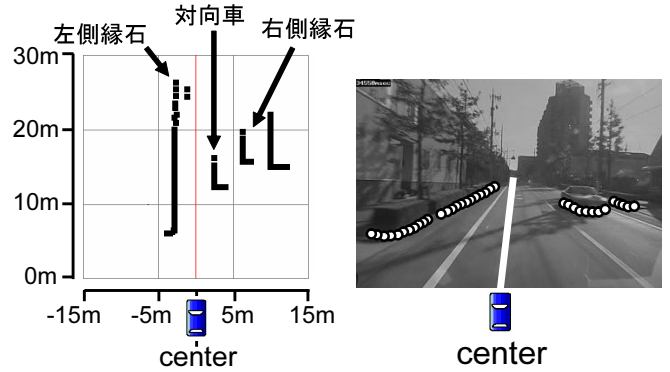
本手法では、事前に構築したレーダマップと走行中の自車が測定したレーザーレーダデータを照合[7]することで自車位置を推定する。レーダマップとは地図上の位置とその位置における車両走行方向のレーザーレーダデータを高精度に対応付けたものであり、レーダマップ構築手法にもふれる。

以下、2節にてレーザーレーダについて、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ーレーダを用いる。レーザーレーダは、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。レーザーレーダは物体の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ーレーダを設置し、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ーレーダは車両前方に設置されていることが多い。図1に車両前方中央のパンパ付近にレーザーレーダを設置した場合の、ある地点におけるレーザーレーダデータと、対応する車載カメラ映像を示す。



(a) レーザレーダデータ (鳥瞰図) (b) 対応するレーザーレーダデータを各軸は原点 (各軸ともに 0m) を自車位置としたときの自車からの距離
プロットした車載カメラ映像

図1 ある地点におけるレーザー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。

レーザーレーダの技術開発が進み、性能が向上していることから、レーザー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、レーザー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ー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ー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ー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ーレーダデータ系列を持つので、車線本数分のレーザー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、レーザーレーダデータ系列間を対応付け、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ー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ー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、レーザー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ー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

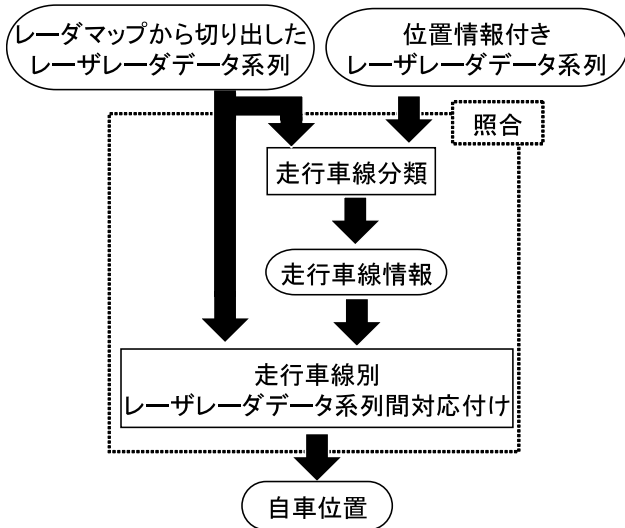


図 2 自転車位置推定の流れ

ある [10]. データを伸縮させながら照合するので、照合したいデータに局所的な伸縮が存在する場合に有効である。

2 つのレーザレーダデータ系列 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ に対して、以下の通りに対応付けを行う。 m, n はレーザレーダデータ系列の長さを表す。また a_i は i スキャン目のレーザレーダデータを表す L 次元のベクトルである。ここで、 L は 1 スキャンで測定するデータ点数である。はじめに、 $D(1, 1) = d(1, 1)$ とし、漸化式

$$D(i, j) = \min \begin{cases} D(i-1, j) + d(i, j) \\ D(i-1, j-1) + d(i, j) \\ D(i, j-1) + d(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

を計算する。ここで $d(i, j)$ はレーザレーダデータ間の距離とする。漸化式を計算する際に、選んだレーザレーダデータ対 (i, j) を記録しておく。 $D(m, n)$ を計算するまでに選んだレーザレーダデータ対 (i, j) の系列が、2 つのレーザレーダデータ系列間の対応を表す。

3.2 走行車線分類

走行車線を分類するために、レーザレーダデータを横方向にずらしながら照合を行う。レーザレーダデータを r, θ から x, y 座標に変換することで、横方向のずらし照合による車線判定を可能にする。

具体的には、レーザレーダデータ系列 A, B を r, θ 座標から x, y 座標に変換し、車両前方のレーザレーダ測定範囲から u [m] \times u [m] の範囲を抜き出す。また、走行車線を分類することが目的であるので、1 [m] 単位でデータを横方向にずらす。つまり、1 [m] 四方の $u \times u$ 次元のヒストグラム系列 $A' = \{a'_1, a'_2, \dots, a'_m\}$, $B' = \{b'_1, b'_2, \dots, b'_n\}$ を作成する。走行車線分類で用いる式 (1) のレーザレーダデータ間の距離尺度を、

$$d(i, j) = \min G_{i,j}(\alpha) \quad (2)$$

$$(\alpha = -w, -w+1, \dots, 0, \dots, w-1, w)$$

とする。ここで $G_{i,j}(\alpha)$ は A' と x 軸方向に α [m] ずらした B'

との L1 距離、 w は x 軸方向へずらす最大値である。式 (2) で最小となるずらし幅 α から走行車線を分類する。

3.3 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高精度な対応付けを行うために、走行車線分類により各車線毎に分類されたレーザレーダデータ系列を用いる。走行車線分類では、レーザレーダデータを低解像度化してずらし照合を行ったが、ここでは高精度に対応付けを行うためにレーザレーダデータの値をそのまま用いる。分類された走行車線に応じたレーダマップとレーザレーダデータ系列を DP マッチングで対応付ける。この際、レーザレーダデータ間の距離尺度として、L1 距離を用いる。つまり、

$$d(i, j) = \sum_l^L |a_{i,l} - b_{j,l}| \quad (3)$$

である。ここで、 $a_{i,l}$, $b_{j,l}$ は a_i , b_j の l 番目の距離データである。DP マッチングによる対応付けにより、対応付けられたレーザレーダデータを同一地点で計測されたものとする。

4. レーダマップの構築

レーダマップの構築には、レーザレーダデータとそれに対応付けられた高精度な位置情報が必要である。レーザレーダと RTK-GPS を搭載した車両があらゆる道路をあらゆる方向に走行し、データ収集を行うことによりレーダマップが構築できる。しかしながら、RTK-GPS は高価であり、GPS 衛星の配置により高精度な自転車位置を測定できないこともある。そこで本報告では、同一地点と推定された GPS 座標の平均化による位置情報の高精度化を利用し、レーザレーダと普及型 GPS を用いてレーダマップを構築する。平均する GPS 座標が多いほど平均値は真値に近づくと考えられるため、複数の車両にレーザレーダと普及型 GPS を搭載させ、自由に走行することで大量のデータを取得する。この際、レーザレーダデータ系列間の対応付けを行うために、大量のデータから同一経路を走行して測定したデータを取り出す必要がある。普及型 GPS の誤差は 30m 以下なので、データの GPS 座標を用いれば概ね同じ経路を走行している部分のレーザレーダデータ系列を取り出すことが可能である。

レーダマップ構築手法を図 3 に示す。具体的には、レーダマップは 1 回目に走行しながら測定したレーザレーダデータを普及型 GPS 座標で地図上に対応付けて構築する。2 回目以降に走行したデータ系列では、事前に構築したレーダマップとの照合により対応付けられた同一地点の GPS 座標を平均化することでレーダマップを更新し、高精度化を図る。

5. 実験

本手法の有効性を調査するため、自転車位置推定実験を行った。

5.1 搭載センサ

実験車両には、データ収集用にレーザレーダと普及型 GPS [11] を搭載した。今回実験に使用したレーザレーダ (RIEGL LMS-Q140i-80 [8]) の仕様を表 1 に示す。また実験結果の評価用に車載カメラ (Panasonic WV-CP650) と RTK-GPS [11] を搭載した。車載カメラは DP マッチングによる同一地点対応付け精度

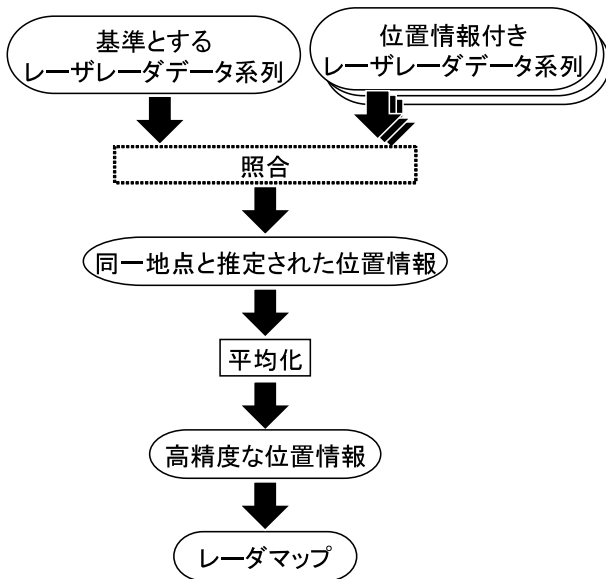


図3 レーダマップ構築の流れ

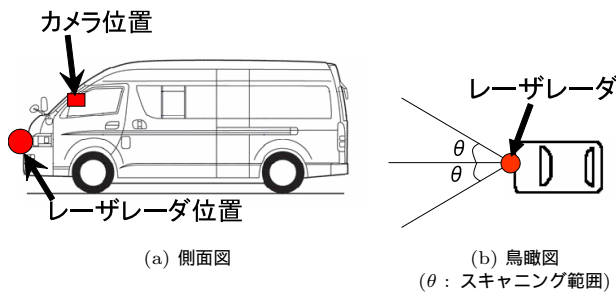


図4 実験車両と使用機器の位置関係

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 ± 25mm
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	
スキャンング範囲	± 40度
スキャンングレート	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。

- レーザレーダの測定レート：20 スキャン / 秒
- 映像のフレームレート：30 フレーム / 秒
- 普及型 GPS の測定レート：1 測定 / 秒
- 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応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5 実験に使用するデータの測定区間 [12]

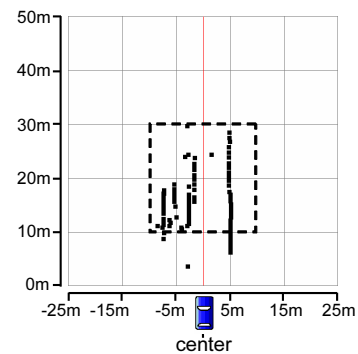


図6 レーザレーダデータ (鳥瞰図)：走行車線分類では破線で囲まれた領域に存在するデータのみを用いる。

(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-10m~10m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

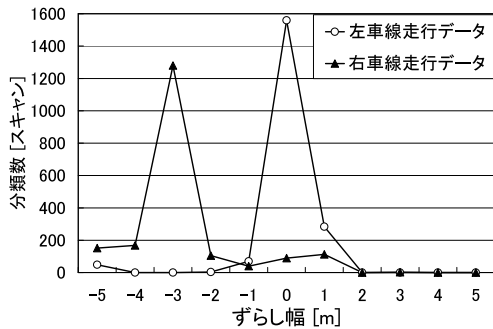


図 7 ずらし幅と分類数の関係：走行車線の違いにより異なるクラスターを形成している。

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 α が $-1 \sim 1$ [m] であれば左車線を、 $-5 \sim -2$ [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けていた場合は成功、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け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

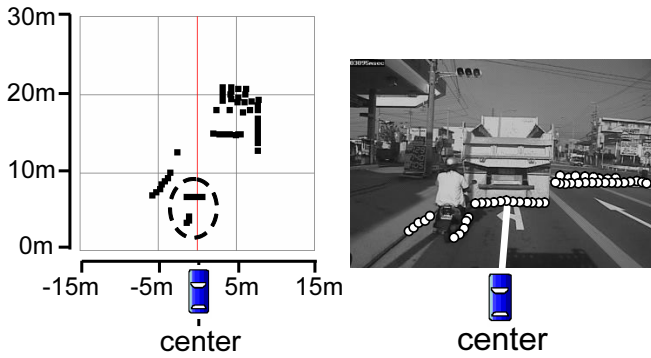
DP マッチングによるレーザレーダデータ系列間対応付けと自車位置推定にわけて検討する。

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

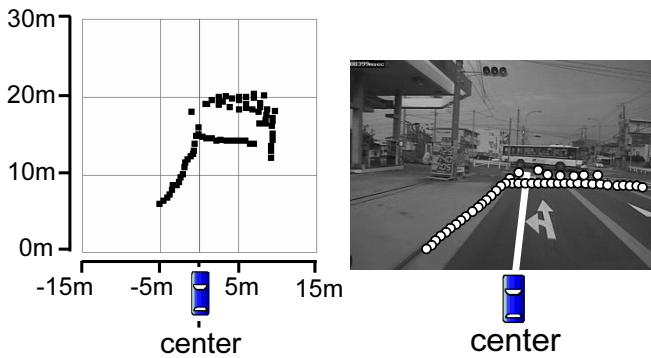
図 8 に示すように、同一地点を走行しながら測定したデータでも、前方車両などの影響により部分的に異なる測定データとなる場合が生じる。前方車両の有無や前方車両までの距離は測定ごとに変化するので、DP マッチングの際に雑音となり、精度の低下につながる。そこで DP マッチングの際に使用するレーザレーダデータの各スキャン点に重みをつけることを考える。雑音の表れやすい方向のデータ点の重みを低くすることで、DP マッチングによる対応付け精度向上が見込まれる。

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



レーザレーダデータ (鳥瞰図) 対応するレーザレーダデータをプロットした車載カメラ映像
(a) 1 回目走行時の測定データ (前方車両有り)



レーザレーダデータ (鳥瞰図) 対応するレーザレーダデータをプロットした車載カメラ映像
(b) 3 回目走行時の測定データ (前方車両無し)

図 8 同一地点走行時のレーザレーダデータと車載カメラ映像：
(a) の破線で囲まれた前方車両の影響により測定データが異なっている。(b) では (a) で測定できなかった道路の左前方の縁石が測定できている。

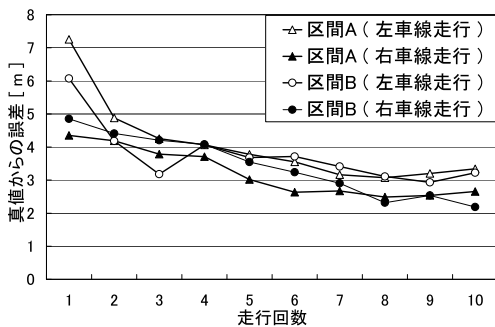


図 9 走行回数と自車位置推定精度の関係

ことが確認できる。しかしながら、図 9 では走行回数が 10 回に近づくにつれ、真値からの誤差が収束しているように見える。これは GPS 測定値のバイアス成分の誤差が残ったためと考えられる。異なる日時に収集した大量のデータを用いることでバイアス成分を低減させ、さらなる位置情報の高精度化が期待できる。

6. まとめ

本報告では車載レーザレーダと普及型 GPS を用いた高精度な自車位置推定手法を提案した。提案手法の有効性を調査する

ために、レーザレーダデータ系列間照合と同一地点の GPS 座標の平均化実験を行った。実験データには、複数車線ある約 1km の道路を走行して測定した 20 組のデータ系列を用いた。走行車線分類成功率は平均 84.2% であった。車載カメラ映像を用いて目視により DP マッチングの対応付け結果を評価した結果、1 フレーム単位で平均成功率 85.4% であった。また、本手法を適用した結果、RTK-GPS を真値とした場合、普及型 GPS 座標と比べて真値からの誤差を 48.9% 減少することができた。このことから本手法を用いることによって自車位置情報の推定精度が向上し、同時に走行車線の分類も可能であることを確認した。

今後の課題として、以下のことをあげる。

- 車線変更への対応
- レーザレーダデータ間の距離尺度の検討
- 様々な道路環境で収集した大量データへの適用
 - 3 車線以上の道路を走行
- 自由走行経路への適用の検討
 - 部分的に同じ経路を走行

謝辞 日頃より熱心に御討論頂く名古屋大学村瀬研究室諸氏に深く感謝する。本研究の一部は 21 世紀 COE プログラム、文部科学省科学研究費補助金による。

文 献

- [1] J. Sparbert, K. Dietmayer and D. Streller, "Lane Detection and Street Type Classification using Laser Range Images," Proc. 4th International IEEE Conf. on Intelligent Transport System, pp.454-459, August 2001.
- [2] D. Manandhar and R. Sibasaki, "Vehicle-Borne Laser Mapping System (VLMS) for 3-D Urban GIS Database," Proc. 7th Intel Computer in Urban Planning and Urban Management Conf. (CUPUM 2001), CD-ROM publication, July 2001
- [3] S. Ono, H. Kawasaki, K. Hirahara, M. Kagesawa and K. Ikeuchi, "Ego-Motion Estimation for Efficient City Modeling by using Epipolar Plane Range Image Analysis," Proc. 10th World Congress on Intelligent Transport System and Services (ITSWC2003), November 2003.
- [4] H. Zhao and R. Shibasaki, "A Vehicle-Borne Urban 3-D Acquisition System using Single-Row Laser Range Scanners," IEEE Trans. SMC Part B: Cybernetics, vol.33, no.4, pp.658-666, August 2003
- [5] 佐藤 准嗣, 高橋 友和, 井手 一郎, 村瀬 洋, "市街地映像マップ構築のための車載カメラ映像間対応付け," 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005) 講演予稿集 IS1-08, pp.341-346, July 2005.
- [6] 城殿 清澄, 高橋 新, 二宮 芳樹, "レーザレーダを用いた高信頼な歩行者検出," 2006 年電子情報通信学会総合大会, A-17-8, March 2006.
- [7] 渋谷 奈保, 佐藤 准嗣, 高橋 友和, 井手 一郎, 村瀬 洋, 小島 祥子, 高橋 新, "レーザレーダデータ間の対応付けによる自車位置情報の精度向上の検討," 2006 年電子情報通信学会総合大会, D-12-50, March 2006.
- [8] RIEGL 社, Short-Range Airbone Laser Scanner LMS-Q140i-80, http://www.rieglusa.com/products/lms-q140/e_lms-q140i.html
- [9] Trimble 社, Trimble 5700 GPS, <http://www.nikon-trimble.co.jp/pdf/5700.pdf>
- [10] 田村秀行, "コンピュータ画像処理," オーム社, 2003.
- [11] 坂井文泰, "GPS 技術入門," 東京電機大学出版局, 2003.
- [12] 昭文社 Super Mapple Digital Ver.4 地図使用承認 ©昭文社第 47G009 号