

車載レンジセンサを利用した路上駐車車両の自動検出

小野晋太郎^{†a)} 平原 清隆[†] 影沢 政隆^{††} 池内 克史^{††}

Detection of Street-Parking Vehicles by Using Laser Range Sensor Mounted on a Measurement Vehicle

Shintaro ONO^{†a)}, Kiyotaka HIRAHARA[†], Masataka KAGESAWA^{††}, and Katsushi IKEUCHI^{††}

あらまし 計測用車両に搭載したレーザレンジセンサを利用した路上駐車車両の自動検出手法を提案する。渋滞の主要な原因の一つとなっている路上駐車の状態を把握することは、日本の道路行政にとって今後の都市計画のために重要な課題となっている。現在も駐車状況の調査は行われているが、それらは完全に人手に頼っており、膨大なコストと調査頻度の低下を招いている。我々はデータ計測車両にレーザレンジセンサを搭載して走行し、自動的に路上駐車車両を検出・計数する手法を開発した。レンジセンサは垂直方向にラインスキャンを繰り返し、計測車が走行すると二次元の領域にわたって駐車車両や背景を含んだ距離画像が得られる。この距離画像から三次元空間の点集合を復元した後、車体側面と路面に着目した二種類の相補的なアルゴリズムによって駐車車両領域の抽出を行う。両手法は車体と路面のレーザ反射率に関して独立している。また、実際に都内の公道上において実験を行い、提案した手法が非常に有効であることを確認した。本手法によれば、従来は得られなかった道路の占有率が得られ、車種別の台数把握にも応用することが可能である。

キーワード 路上駐車車両、レーザレンジセンサ、距離画像、ITS

1. ま え が き

今日の日本では、交通渋滞がさまざまな側面から問題となっている。渋滞の原因の一つに挙げられるのが路上駐車車両による道路容量の減少である [1]。例えば東京都内の多くの道路では、図 1 のように、片側 2~3 車線の道路のうち左端の車線が路上駐車によって塞がれ、その結果道路容量が 1/2~2/3 に減少している光景が多く見られる。このような駐車車両のうち割合をなくすことができれば交通渋滞は大幅に緩和されるとも言われており、従って道路の空間的・時間的容量、すなわちどの程度の数の車両がどの程度の時間に渡って駐められているかを把握することが日本の道路行政にとって非常に重要な課題となっている。



図 1 都内の典型的な道路状況
Fig. 1 Typical situation of arterial roads in Tokyo

現在これらの統計量は国土交通省道路局が実施する「道路交通センサス」などで取得されている [10] が、その手法は全てを人手に頼るものであり、大掛かりな計測体制を敷いて数年に一度という少ない頻度でしか取得されていない。従ってこの作業を効率化して統計量取得の頻度を増やすため、効率的な駐車車両自動認識システムを開発する必要性が高まっている。

このような状況において我々は、計測用車両に積載したレーザレンジセンサによって路上を走行しながら計測を行って得られた距離画像から自動的に駐車車両を認識するシステムを開発を行っている。レーザレンジセンサは物体検出を目的とした場合、奥行き情報が直接的に得られるという点でカメラよりも有利であ

[†] 東京大学情報理工学系研究科，東京都
Graduate School of Information Science and Technology,
The University of Tokyo, Institute of Industrial Science, 4-
6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 Japan
^{††} 東京大学情報学環，東京都
Graduate School of Interdisciplinary Information Studies,
The University of Tokyo, Institute of Industrial Science, 4-
6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505 Japan
a) E-mail: onoshin@cvt1.iis.u-tokyo.ac.jp

る。さらに、駐車車両を含めた街路の形状を取得することができ、車両計数のみならず都市空間のデジタルモデリングなどに応用することができる。また、装置としても近年の技術進歩により小型・軽量、安全で精度に優れた製品が開発されているほか、製品によっては価格が数十万円程度のもも登場しており、カメラのように身近で扱いやすいものになりつつある。

本稿では、レーザレンジセンサを計測用車両に積載し、得られたデータから自動的に路上駐車車両の台数を得るシステムを提案する。構成は以下のとおりである。まず 2. で関連する研究について述べ、3. でデータ収集システムの構成について述べる。次に、4. で路上駐車車両の認識アルゴリズムを提案する。5. では実際の路上からデータを取得し、そのデータに提案したアルゴリズムを適用した結果を示す。6. でまとめとする。

2. 関連研究

一般にレーザレンジセンサを計測用車両に積載し、周囲の幾何モデルを取得した研究例としては [6] ~ [8] などがある。[7] は水平ラインスキャンと航空写真のマッチングにより広域に渡って正しい位置に街路の形状を復元する手法を提案しているが、対象空間の再構成のみを行っており、内部オブジェクトの認識にまでは踏み込んでいない。レンジデータの自動分類としては [8] では分散部・平面部・直線部の分類が、[6] では道路・立ち木などの分類が行われているが、いずれも手法の目的、一般性や分類精度の面から駐車車両検出に適用することは難しい。

路上駐車車両の認識を行った研究例は [2] ~ [4] に挙げられる程度である。[4] では車載したレンジセンサから得られた距離画像からクラスタ分析により駐車車両の抽出を行った。また [2], [3] はいずれも車載したカメラから得られた画像を利用して車両検出を行っている。[2] は車両のタイヤ（ホイール）を手がかりとして車両を検出しており、[3] は EPI（エピポーラ平面画像）解析により得られる距離情報を利用して車両を検出している。これらの研究はカメラ画像を用いているため、光源環境など撮影条件の変動には比較的安定でなく、また走行速度・経路の変動に柔軟に対処することは難しい。

距離を測る方式としてはレーザを利用したものや EPI などのビジョンベースの方式のほか、超音波を利用したものも知られている。超音波センサは目に安全であるが、精度が充分でなく、また複数台を使用する

と相互干渉が発生しやすいことが知られている。

レンジセンサを利用すると、カメラのような撮影条件に依存しない幾何形状データが得られ、走行速度や走行経路が変動する場合でも GPS や INS（慣性航法装置）、あるいは [5] などの手法から得られた位置情報を容易に形状データに反映することができる。また、都市空間のデジタルモデリング等にも応用することができる。

3. データ収集システムの構成

本システムでは、広範囲にわたった領域を効率的に測定する必要があることから、レンジセンサを実験用データ収集車に積載し、走行と計測を同時に行う方式をとる。

3.1 レーザレンジセンサ

本手法で用いるセンサは、以下の要件を満たす必要がある。

- 走行しながらの計測に十分なレートで連続的に距離データが得られる
- 車両検出に十分な精度を備えている
- 出力が目安全的なレベルである

一般にレーザレンジセンサは一度の計測で二次元の領域を長方形にスキャンできるものが多いが、二次元領域の計測を瞬時に行うことは難しく、ある程度の時間を要する。本手法では公道上を走行しながら同時に計測を行うため、比較的計測時間の短いラインスキャンを繰り返す方式のレーザレンジセンサを用いる。

更に計測時間の短いレーザセンサとしてはポイント照射型のものも知られているが、後述の車体反射率に依存しない手法へ適用できない。また、今後の応用として広域空間の三次元幾何モデル構築や、その中からの前景・背景を分離するための第一段階としての本研究の位置づけを考え、提案手法ではラインスキャン型を用いる。

表 1 に積載しているレーザレンジセンサの仕様を示す。JIS 規格の定めるレーザ保護クラスは 1 であり、目に安全な出力レベルとされている [9]。計測原理は Time-of-flight 方式であり、レーザ光の伝播時間から距離を計測する。ラインスキャンの周波数は 100Hz であり、36km/h で走行時にはスキャンラインの間隔は 10cm となる。最大誤差は $\pm 50\text{cm}$ であるが、この精度でも車両検出には充分である。

3.2 計測車両

図 2 にデータ収集システムの構成を示す。レーザレ

表 1 レーザレンジセンサの仕様
Table 1 Specifications of the laser range sensor

計測原理	Time-of-flight 方式
スキャン周波数	100Hz
スキャン角度	70°
最大誤差	±50cm
レーザ保護クラス	1
製造元	石川島播磨重工業(株)

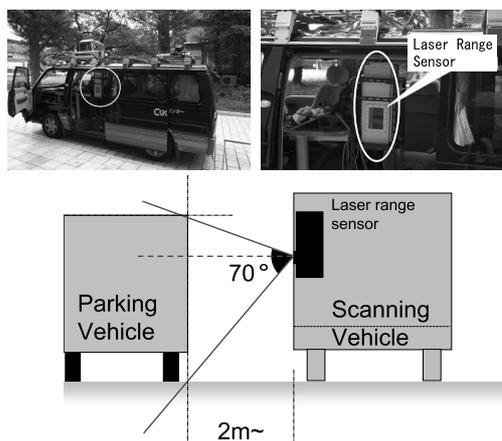


図 2 データ収集システム
Fig. 2 Data acquisition system

レンジセンサは計測車両の進行方向に対して左側に設置し、垂直方向にラインスキャンを繰り返す。計測車が走行するにしたがって一次元の垂直な距離画像が連続的に得られ、走行経路の左側領域全体にわたって距離画像を得ることができる。レーザは、センサのスキャン角度の制限から、仰角 20°、俯角 50° の領域にしか照射されないが、計測車両と対象物体の距離が約 2m 程度離れていれば、車両程度の大きさの物体はその領域内に含まれる。通常、計測車両と路上駐車車両の間ではこの距離は確保される。

計測車が等速度で走行するか、または適当な自己位置取得システムを利用することにより、各々のスキャンラインは実空間上と同様の正しい位置に合わせられる。

4. 路上駐車車両の認識アルゴリズム

ここでは、レンジセンサによって得られる幾何情報から駐車車両を認識するアルゴリズムについて述べる。本手法では計測車両の左側で適当な奥行き位置に存在し、かつ適当な大きさを持つ物体はすべて駐車車両とみなす。

出力の弱いレーザレンジセンサでは反射率の低い黒色の物体は鮮明な像が得られず、車両を認識できない可能性がある。そこで我々は、二種類の異なる検出アルゴリズムを考案した。

4.1 解析の流れ

本システムでは、得られた同一のデータに対して、以下の二種類の検出手法を用いる。

- (I) 車体側方シルエットに着目した手法
- (II) 路面上の遮蔽に着目した手法

これら二手法では、車両の存在位置を独立に検出することができる。それぞれの検出位置について、存在する(1)/しない(0)に関する論理和 (OR) をとったものを、システム全体としての検出結果とする。

(I) の手法では、以下のような流れに沿って解析を行う。

- (1) 得られたデータによる街路の三次元形状の復元
- (2) 車体側面 (Side surface of vehicles) 点データの抽出
- (3) 側方シルエット曲線 (side silhouette curve) の作成
- (4) 1 車両の判別
- (5) 計数

(II) の手法では、以下のような流れに沿って解析を行う。

- (1) 街路の三次元形状の復元 (I と共通)
- (2) 路面 (Road surface) 点データの抽出
- (3) 遮蔽境界曲線 (Occluding boundary curve) の作成
- (4) 1 車両の判別
- (5) 計数

図 3 に解析の手順を示す。

以下、4.2 節では (I)(II) に共通の処理である三次元形状の復元について説明し、4.3 節では手法 (I) の、4.4 節では手法 (II) の処理の詳細を述べる。

4.2 三次元形状の復元

取得したレンジデータは、センサ位置からの相対座標で表されている。これをセンサの自己位置をもとに世界座標 (道路座標) に変換し、街路の三次元形状の復元を行う。道路座標の原点は計測車両の走行開始点とし、軸は以下のように定めるとする。

- z 軸: 鉛直上方向
- x 軸: 道路に沿った方向 (計測車の進行方向)
- y 軸: z 軸と x 軸の外積方向 (計測車から見て)

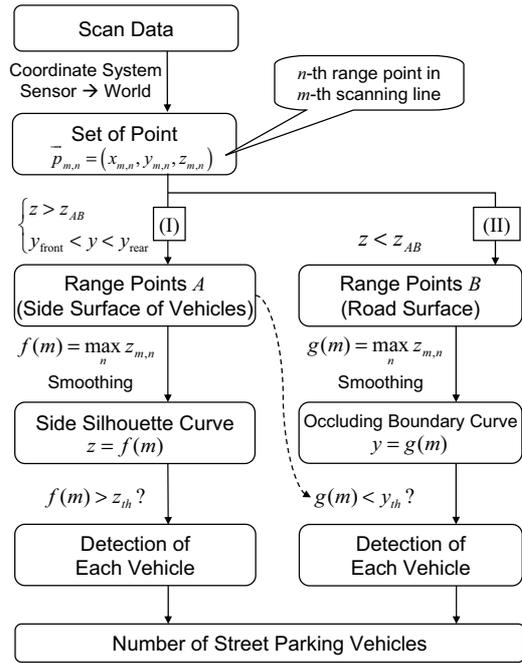


図3 解析の手順
Fig. 3 Flow of the analysis

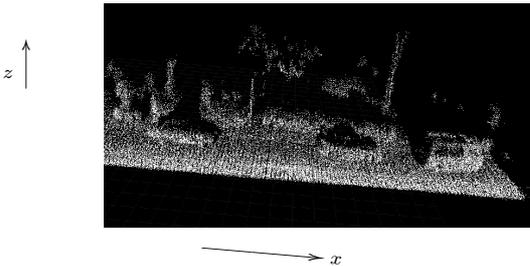


図4 形状復元した街路
Fig. 4 Reconstructed range image of a street

奥方向)

図4に形状復元を行った例を示す。

取得したレンジデータはラインスキャンを繰り返して得られたものであるため、すべての計測点(レンジポイント)は、 m 番目のスキャンライン内の n 番目の点、すなわち以下のように表すことができる。

$$\vec{p}_{m,n} = (x_{m,n}, y_{m,n}, z_{m,n}) \quad (1)$$

以下では、このスキャンラインごとの情報から駐車車両の候補を抽出し、最後に車両の長さで候補を絞る。したがって街路全体が厳密な形状に復元される必要はなく、すなわち計測車両の厳密な自己位置やレーザー

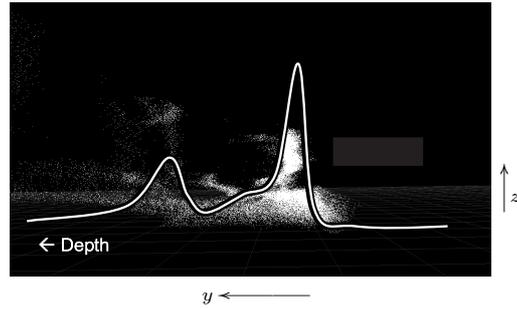


図5 点の個数のヒストグラム
Fig. 5 Histogram of the number of range point

レンジセンサの厳密なキャリブレーションは本手法には必要ない。駐車車両の長さが補正できる程度の情報で充分である。

4.3 手法I: 車体側方シルエットに着目した手法

図4から、駐車車両を形成する点群は以下の特徴を持つことがわかる。

- 車両はおおよそ一定の奥行き位置に整列している。
- 車両の側面はレーザー光を受け、垂直に切り立っている。

図5は、復元した街路形状の点群を yz 平面に射影し、 y 方向に点の個数に関するヒストグラムをとった様子を表している。この図では両特徴が明示的に表わされており、車両が存在する付近にヒストグラムのピークが現れる。本手法では、この特徴を利用して車体側面点群を抽出し、台数を計数する。

4.3.1 車体側面点群の抽出

車体側面点群 A は以下のように抽出した。

$$A = \{(x, y, z) \mid z > z_{AB}, y_{front} < y < y_{rear}\} \quad (2)$$

$$y_{rear} = y_{peak} + w_A \quad (3)$$

ここで y_{peak} は、図5のような奥行き方向に沿った点の個数に関するヒストグラムにおいて極大点を与える最小の y である。これは、駐車車両は計測車両から見て左方の最も手前に位置するという仮定と、垂直に切り立った車体側面にレーザーが照射されると同程度の奥行き位置にレーザーの反射点が激しく集中すること、また車両が複数台存在する場合も計測車両から概ね同程度の奥行き位置に車体が存在することを考慮したものである。

z_{AB} はノイズを含んだ路面の高さより高く、かつ車体が十分に現れるレベルにとる。 y_{front} はそれぞれ車両

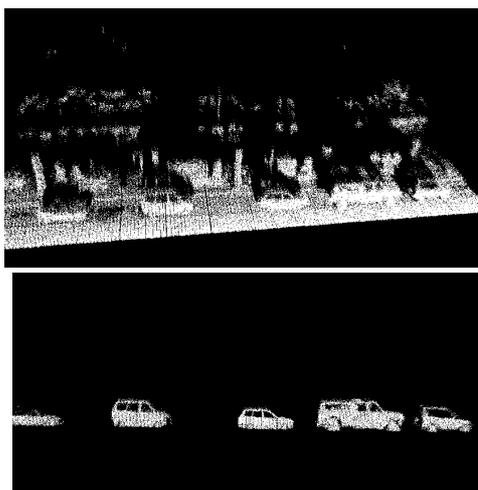


図 6 抽出した車体側面点群 (上: 抽出前, 下: 抽出後)
Fig. 6 Extracted body surface of vehicles (Upper: before, Lower: after)

毎の差異およびノイズを含んだ車体の存在位置よりも手前に, y_{rear} はそれよりも奥にくるようにとる. 前者については定数, 後者については y_{peak} で決まる値とし, w_A は一般的な車幅の半分程度にとる. ここではこれらのパラメタは $z_{AB} = 0.5(\text{m})$, $y_{front} = 1.0(\text{m})$, また w_A は普通乗用自動車と小型乗用自動車^(注1)の境界となる車幅が 1700mm であることを考慮して $w_A = 1.0(\text{m})$ とした. これらの値は安定に機能し, 定数としても問題ないことを実験により確認している.

このようにして抽出した車体側面点群の例を図 6 に示す.

4.3.2 側方シルエット曲線の作成

次に, 車体側面点群から側方シルエット曲線を作成する. この曲線は, 点群内の各スキャンラインについて, z 座標が最大となる点を結ぶことによって得られる.

$$z = f(m) = \max_n z_{m,n} \quad (4)$$

m はその点の所属するスキャンライン (フレーム) の番号, n はフレーム内での点番号である. 曲線には移動平均フィルタをかけて平滑化する. 図 7 に側方シルエット曲線の例を 2 つ示す.

4.3.3 1 車両の判別と計数

次に, 得られたシルエット曲線を利用して個々の車

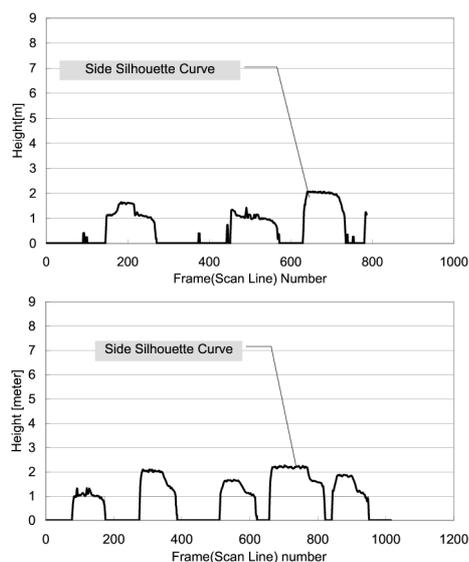


図 7 側方シルエット曲線 (上: 例 1, 下: 例 2)
Fig. 7 Side silhouette curve (Upper: Ex.1, Lower: Ex.2)

両の判別と計数を行う. この曲線は低周波成分が大きく, 極大・極小を繰り返すため, 適当な「しきい値線」を与えることで個々の車両の存在する部分を検出する. 具体的には,

$$f(m) > z_{th} = z_{AB} \quad (5)$$

を満たす連続した m の区間が $[m_s, m_e]$ であるとき, 道路方向上でのそれらの端点間の距離 $|x_{m_e,0} - x_{m_s,0}|$ が 2m 以上ある場合に 1 台の駐車車両とみなす. 図 8 に 1 車両を検出する様子を示す.

4.4 手法 II: 路面上の遮蔽に着目した手法

手法 I では, 車体の側面をそのまま認識に利用している. この手法は車体のレーザ反射率に依存する手法である. 一般にレーザの反射率は対象物体表面の材質や色によって変化することが知られている. 特に黒い物体は反射率が低くなるため計測結果にノイズを与えたり, 検出もれをひき起こす可能性がある. ここでは, 車体のレーザ反射率に依存しない別手法として, 路面上の遮蔽に着目した手法を導入する.

図 9 は, 図 4 と同様に形状復元を行った街路の例である. この図から, 駐車車両を形成する点群は以下の特徴を持つことがわかる.

- 車体の背面には, レーザ光の届かない「影」の領域 (レーザ遮蔽領域) が発生し, 路面上に穴が空いているかのように見える.

(注1): いわゆる「3ナンバー車」と「5ナンバー車」.

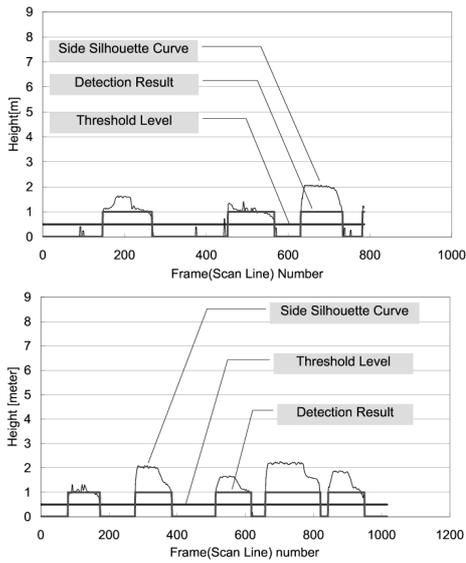


図 8 個々の車両の検出 (手法 I; 上: 例 1, 下: 例 2)
Fig. 8 Detection of each vehicle (Approach I; Upper: Ex.1, Lower: Ex.2)

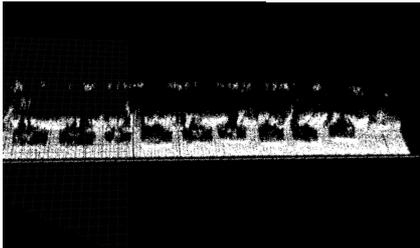


図 9 形状復元した街路 (上方から)
Fig. 9 Reconstructed range image of a street (from upper viewpoint)

• 遮蔽領域は、おおよそ一定の奥行き位置に並んでいる。
本手法では、この特徴に着目し、路面上の遮蔽領域を利用して台数を計数する。この遮蔽領域は、車体のレーザ反射率にかかわらず必ず発生する。従って、反射率の低い車両であっても確実に認識することが可能であると考えられる。一方で、この手法は、逆に路面からの反射率が低い場合には十分に機能しない可能性がある。

4.4.1 路面点群の抽出

遮蔽領域を利用するため、路面点群を抽出する。路面点群 B は各点の垂直位置のみを利用し、以下のように抽出した。

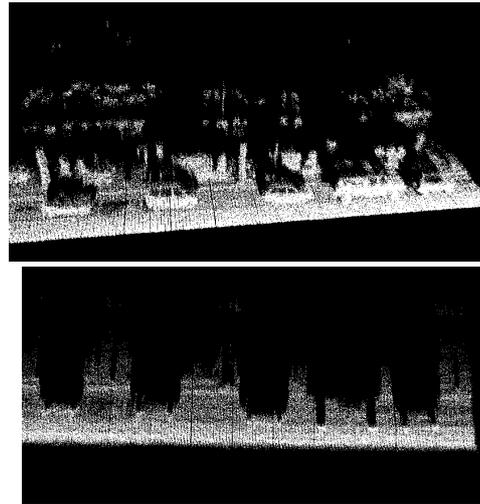


図 10 抽出した路面点群 (上: 抽出前, 下: 抽出後)
Fig. 10 Extracted road surface (Upper: before, Lower: after)

$$B = \{(x, y, z) \mid z \leq z_{AB}\} \quad (6)$$

このようにして抽出した路面点群の例を図 10 に示す。図の上方 (実空間では奥方) の点群の存在しない部分が遮蔽領域に相当する。

4.4.2 遮蔽境界曲線の作成

次に路面点群から遮蔽境界曲線を作成する。この曲線は、点群内の各スキャンラインについて、 y 座標が最大となる点を結びことによって得られる。

$$y = f(m) = \max_n y_{m,n} \quad (7)$$

曲線には移動平均フィルタをかけて平滑化する。図 11 に遮蔽境界曲線を示す。

4.4.3 1 車両の判別と計数

次に、得られた遮蔽境界曲線を利用して個々の車両の判別と計数を行う。

先の手法 I では、シルエット曲線に対し適当なしきい値線を与えて個々の車両の判別を行った。一方、手法 II における遮蔽境界曲線は、側方シルエット曲線と比較して極大・極小の変動にばらつきが大きく、高周波成分も大きくなっている。前者の原因は、遮蔽領域の生じる位置が車両の種別に左右されやすい、すなわち大型車では車体と地面の間の空間が大きく、遮蔽領域が奥へずれ込むことによるものであり、後者の原因はレーザの照射角度に対する反射点の位置変化が大きいことによるものであると考えられる。

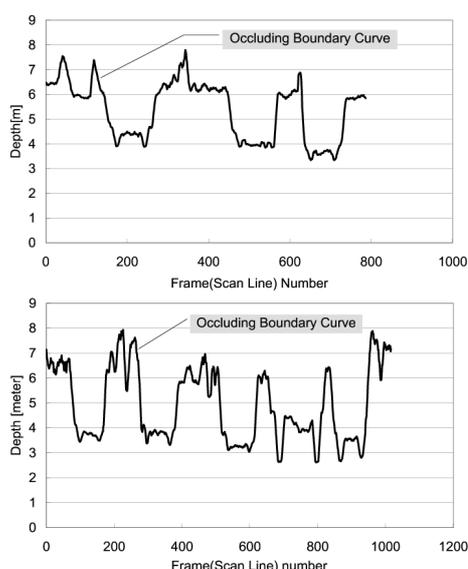


図 11 遮蔽境界曲線 (上: 例 1, 下: 例 2)

Fig. 11 Occluding boundary curve (Upper: Ex. 1, Lower: Ex. 2)

しかしながら, この曲線は側方シルエット曲線よりも極大と極小の差が大きいため, 「しきい値線」を適切に設定すれば, 同様の手法によって個々の車両の存在する部分を検出することができる. 具体的には,

$$g(m) < \overline{y_A} = y_A + w_B \quad (8)$$

を満たす連続した m の区間が $[m_s, m_e]$ であるとき, 道路方向上でのそれらの端点間の距離 $|x_{m_e,0} - x_{m_s,0}|$ が 2m 以上ある場合に 1 台の駐車車両とみなす.

しきい値を決定する $\overline{y_A}$ は, 車体側面点群 (A) における y の平均値である. これは, 路面上の遮蔽境界が車体側面が存在する位置よりも奥方向に存在していることを利用したものである. 車体側面位置の情報は, 手法 I において抽出した点群の平均奥行き位置として得ることができる. この値は反射率の問題により一部の車両から車体像が完全な形で得られなかった場合でも取得可能であり, 他の車両があればより安定に得られる. w_B は手法 I における w_A と同様に決定するが, 車両の前輪と後輪の間部分から車台下の路面にレーザが入り込むことを考慮し, より大きい値とする. ここでは一般的な大型車のタイヤ径が $2r = 0.8 \sim 1.0$ (m), また図 2 でレーザのスキャン角 (俯角) が $\theta = 50^\circ$ であることから, $w_B = w_A + r / \tan \theta \simeq 1.5$ (m) とした.

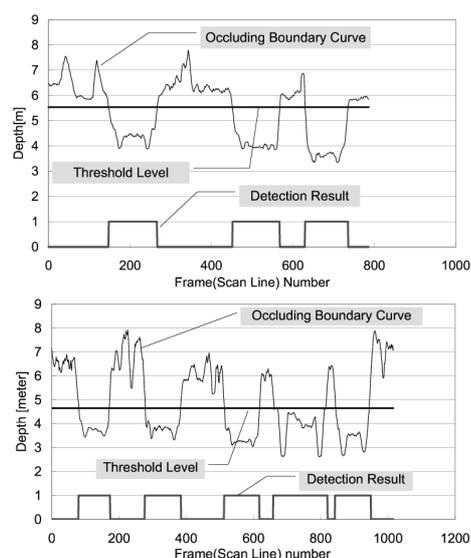


図 12 個々の車両の検出 (手法 II; 上: 例 1, 下: 例 2)

Fig. 12 Detection of each vehicle (Approach II; Upper: Ex. 1, Lower: Ex. 2)

図 12 に, 遮蔽境界曲線から 1 車両を検出する様子を示す.

5. 実 験

前述の検出アルゴリズムは, 実際に都内の路上を走行して収集したデータに適用し, 駐車車両の計数実験を行った. ここではデータ収集実験の概要と, 計数実験の結果を述べる.

5.1 データ収集実験の概要

計測日時, 場所などは以下のとおりである. 本実験では計測車は等速直線運動をするものとした.

日時: 2001 年 9 月 5 日 11~16 時ごろ

場所: 国道 246 号線 神泉~上馬 間 3.5km, および代々木公園内の横断道路 1.0km 内のうち, 数 10m 程度の直線小区間 15 箇所 (代々木公園内の 1 箇所については 300m 程度)

走行速度: 10km/h, 20km/h

図 13 に計測地の道路に関するおおよその諸元を, 図 14 に実験風景を示す.

5.2 計数結果

表 2 に路上駐車車両の計数結果を示す. 本手法により, 対象としたすべての計測データに対し正しく駐車車両の台数を数えることができた.

表 2 計数結果
Table 2 Counting result

実験場所	走行速度	駐車車両数(台)	手法 I の結果(台)	手法 II の結果(台)	システム全体の結果(台)	検出率
国道 246 号	20km/h	5	5	5	5	100%
		5	5	5	5	
		4	4	4	4	
		2	2	2	2	
		7	7	7	7	
代々木公園	20km/h	2	2	2	2	100%
		10	10	10	10	
		3	3	3	3	
		3	3	3	3	
		53	53	53	53	
代々木公園	10km/h	2	2	2	2	100%
		3	3	3	3	
		5	5	5	5	
		1	1	1	1	
		2	2	2	2	

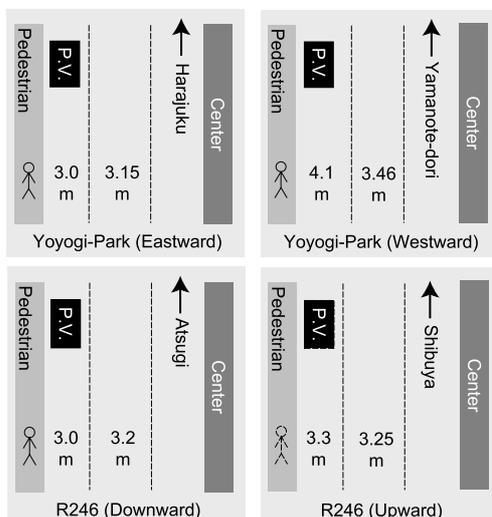


図 13 道路のおおよその諸元(代表的な 1 地点の値)
Fig. 13 Approximate properties of the roads (Typical value)



図 14 実験風景
Fig. 14 Experimental situation

6. 考 察

本実験では直線道路上において等速直線走行による

データ取得を行い、好結果を得たが、システムとして実環境で運用する場合にはさまざまな問題が考えられる。ここではこれらの問題について考察する。

システムとして実環境で運用する場合の問題点としては以下が挙げられる。

- 直線走行・等速走行でない場合
- 計測車両の揺れ
- 計測車両の走行速度
- 二輪車の計測車両左側すり抜け
- 実時間処理
- 周囲の走行環境がわからない場合

非直線走行に関しては、(1) 道路が直線でない場合と (2) 計測車両が走行車線を変更する場合の二つの意味が考えられる。(1) については 4.2 で x 軸を道路方向にとるため、計測車が路上の車線に沿って走行する限りは直線道路の場合と同様に適用が可能である。(2) 後者については、次に述べるように走行速度を可変とすれば、道路工事などの例外事例を除き、計測車が常に最も左側の車線を走行すると仮定して問題ないと考えられる。

非等速走行に関してはデバイス側で充分に対応可能であると考えられる。一つは GPS, INS などの外部測位装置、あるいは [5] のような方法で計測車両の自己位置を得てスキャン結果を補正する方法である。RTK-GPS を利用すれば電波状況の良い箇所では数 cm の精度で自己位置を決定できる。また、電波状況が悪い場合でも別の方法として、レーザセンサのスキャン周波数を計測車の走行速度と比例(車速パルス

信号と同期) させる方法も考えられる。この方法では車速にかかわらずレーザのスキャンラインを等間隔に描くことが可能である。

計測車両の揺れに関しては、本手法で問題となるのは主にロール角成分である。揺れはスタビライザによる補正もある程度は可能であるが、本研究の目的は街路形状の正確な復元ではなく駐車車両の計数であるため、揺れの小ささに対する要求は比較的緩やかである。計測車両に全方位カメラを搭載して外苑東通りを30km/h程度で走行しながら撮影した全方位画像をブロックマッチングにより解析した結果では、計測車の揺れ(ロール角)は平均 1° 程度であった。この程度であれば本文中の各式の値設定にも問題は生じない。

計測車両の走行速度に関しては、本実験における20km/hの走行速度は都市部一般道の典型的な交通流と比較すれば遅く、渋滞を発生させる可能性はある。しかし、路面清掃車(ロードスイーパー)や高压洗浄車などの公共車両の例を考えれば、計測目的である限り十分に正当化できる速度である。

二輪車の左側すり抜けは計測対象に対してオクルージョンを発生させ、台数の計数誤差を招く可能性がある。実環境で運用する場合は、簡単な方法としてはすり抜けを禁止するのが最も現実的であるが、すり抜けを認める場合は[4]のようにスキャンラインのクラスタ分析などを検討する必要がある。

また、本システムでは統計量の取得が目的であるため、実時間処理は必要ではなく、走行が終了後に結果を出力すれば充分である。計算量はレーザスキャン回数を n として $O(n)$ であるため、長距離を走行しても計算時間が飛躍的に増大することはない。

本手法は計測車両から最も近い位置にあり道路方向に関して適当な長さを持つものを駐車車両と見なすため、周囲環境がわからない場合でもこの仮定が満たされる限りは問題ない。駐車車両の統計が必要とされる都内の道路では、計測車が最も左の車線を走行する限り概ねこの仮定は満たされると考えられる。

また別の見方としては本システムは路上駐車車両の計数を自動化により支援することが目的であり、歩道と駐車車両の区別が難しいような状況であっても、例えば運転者は押しボタン等により駐車車両の有無状況をだけ記録し、その計数を計算機が行うなど、運転者との協調における補助システムとしても本手法の有用性は充分にあると考えられる。

7. む す び

本稿では、レーザレンジセンサを利用して路上駐車車両を自動認識する手法を提案した。本手法ではセンサを計測車両に積載して移動と計測を同時に行うことによって効率的にデータを取得することが可能である。また、これらのデータに対する二種類の認識アルゴリズムを提案し、実際の路上から得られたデータに対して双方のアルゴリズムが有効であることを確認した。また本手法を利用すれば、従来は得られなかった道路の占有率を自動的に算出することが可能になる。

今後は、レーザレンジセンサと測位システムを結合することにより、等速走行など、実験上の制限条件を取り除くほか、固有窓法を適用して駐車車両の車種分類を行い、車種別の駐車車両数を自動的に算出するシステムを構築する。また、都市空間など屋外広域環境のモデリングに応用することを目指す。

文 献

- [1] 末永伸一, 本間正勝, 森健二, 斎藤威, “都市における路上駐車動機に関する一考察,” 第14回交通工学発表会論文集, pp.69-72, 1994.
- [2] 佐久間聡, 高橋裕子, 塩昭夫, 大塚作一, “パノラマ画像を用いた路肩駐車車両計数システム,” 信学論(D-II), vol.J85, no.8, pp.1361-1364, Aug. 2002.
- [3] K. Hirahara, M. Matsuda, S. Kamijo, and K. Ikeuchi, “Detection of street-parking vehicles using line scan camera,” Proc. The 9th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services, CD-ROM, Chicago, USA, 2002.
- [4] K. Hirahara, and K. Ikeuchi, “Detection of street-parking vehicles using line scan camera and scanning laser range sensor,” Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp.656-661, Columbus Ohio, USA, 2003.
- [5] 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. The 10th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services, CD-ROM, Madrid, Spain, 2003.
- [6] H. Zhao, and R. Shibasaki, “High accurate positioning and mapping in urban area using laser range scanner,” Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp.125-132, Tokyo, Japan, 2001.
- [7] C. Fruh, and A. Zakhor, “3D model generation for cities using aerial photographs and ground level laser-scans,” Proc. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hilton Head Island, USA, 2000.
- [8] N. Vandapel, D.F. Huber, A. Kapuria and M. Hebert

“Natural terrain classification using 3-D ladar data,”
Proc. IEEE International Conference on Robotics
and Automation, New Orleans, USA, 2004

- [9] JIS 規格番号 C6802, 日本工業標準調査会
(Japanese Industrial Standards Comitee; JISC),
<http://www.jisc.go.jp>
- [10] 国土交通省道路局 (Road Bureau, Ministry of Land,
Infrastructure and Transport),
<http://www.mlit.go.jp/road>

(平成 xx 年 xx 月 xx 日受付)

ロボット学会, 日本バーチャルリアリティ学会, OSA, IEEE 各
会員 (Fellow) .

小野晋太郎

2001 東大・工・電子情報 卒 . 2003 同
大大学院・情報理工・電子情報学専攻 修士
了 . 現在, 同専攻博士課程在学中 . 日本学
術振興会特別研究員 . 空間情報解析, ITS
に関する研究に従事 .

平原 清隆

1996 東大・理・情報科学科卒 . 1998 筑
波大大学院理工学系研究科修士課程修了 .
2001 東大大学院工学系研究科修士課程修
了 . 現在, 同大学院博士課程在学中 . ロ
ボティクス, コンピュータビジョンの研究
に従事 . IEEE, ロボット学会, 電気学会,
情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, 人工知能学会,
各会員 .

影沢 政隆

1986 千葉大・理・数学 卒 . 1988 都立大
大学院・理工 修士了 . 1990 より東京大学
生産技術研究所勤務 . 現在, 同大情報学環
助手 . 博士 (工学) . ITS に関する研究に
従事 . 電気学会, 日本シミュレーション学
会各会員 .

池内 克史 (正員)

1973 京大・工・機械 卒 . 1978 東大大学
院・工・情報工学 博士了 . 博士 (工学) .
MIT 人工知能研究所, 電総研, CMU 計
算機科学部を経て, 1996 より東京大学生
産技術研究所教授 . 現在, 同大情報学環教
授 . 人間の視覚機能, 明るさ解析, 物体認
識, 人間による組立作業の自動認識, 文化財のデジタル保
存, ITS などの研究に従事 . 論文賞 (ICCV-90, CVPR-91,
AIJ-92, ロボット学会誌-97, IEEE R&A 誌-98, 日本バーチャ
ルリアリティ学会論文誌-99) 等受賞 . 人工知能学会, 日本ロ

Abstract It has been one of the important issues for Japanese road administrators to obtain the situation of street-parking, a main cause of traffic congestion. However, in present method, the number of street-parking vehicles are counted completely manually with high cost and human error. We propose a novel method for detecting these vehicles by using a LRF on our measuring vehicle. By our two kinds of algorithm, street-parking vehicle regions are automatically extracted from two-dimensional depth images from LRF and the number of them are counted. As a result of evaluational experiments performed on public roads, we could obtain perfect result.

Key words Street-parking vehicles, Laser range finder, Range image, ITS