

街並み画像系列と2台の車載カメラの画像系列との照合による 自車の走行位置推定

内山 寛之[†] 出口 大輔[†] 高橋 友和^{††} 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

[†] 名古屋大学大学院 情報科学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 岐阜聖徳学園大学 経済情報学部 〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶯 1-38

E-mail: †{uchiyama,ddeguchi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahachi@gifu.shotoku.ac.jp

あらまし 車両の正確なナビゲーションや衝突防止支援システムの実現には高精度な自車位置推定が必要であるが、現在主流である普及型 GPS には 5~30m の位置推定誤差が含まれている。そこで、街並み画像系列と位置情報からなるデータベースと、車載カメラから得られる画像列とを照合することで、自車の進行方向および横方向の位置を正確に推定する手法を提案する。まず、向きを変えて設置した2台のカメラから得られる画像をデータベースと照合し、同じ見え方の画像が得られる地点をデータベース中から得る。そして、カメラの光軸の方向とデータベース中の位置を用いて三角測量を行い、自車の走行位置を計算する。また、車両の走行に伴う街並みの見え方の変化の連続性に着目し、画像系列間の時系列照合を行うことで位置推定精度向上を図る。実際の路上における実験により、車両の進行方向の位置のみならず、道幅方向の位置も推定することができ、提案手法の有効性を確認した。

キーワード 自車位置推定, アピアランス, ランドマーク, DP マッチング

Ego-localization by Matching between Streetscape Image Sequence and Image Sequences from Two In-vehicle Cameras

Hiroyuki UCHIYAMA[†], Daisuke DEGUCHI[†], Tomokazu TAKAHASHI^{††},

Ichiro IDE[†], and Hiroshi MURASE[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University,

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi 464-8601 Japan

^{††} Faculty of Economics and Information, Gifu Shotoku Gakuen University,

Nakauzura 1-38, Gifu-shi, Gifu 500-8288 Japan

E-mail: †{uchiyama,ddeguchi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahachi@gifu.shotoku.ac.jp

Abstract Precise estimation of ego-localization is required to realize accurate car navigation and driver assistance system such as a collision prevention system. General GPS, however, has from 5 to 30 meters error. As a solution, we propose a method for estimating the two-dimensional self-position by matching images of two in-vehicle cameras with images in a streetscape database which has image sequences and their corresponding positions. First, an image with the most similar appearance is searched from the database. Then, the self-position is calculated based on triangulation by using the position obtained from the database and the directions of two cameras. By taking advantage of the fact that the appearance of a streetscape changes continuously, the sequential image matching algorithm is used to improve the accuracy of the ego-localization. From experimental results, we confirmed the effect of the proposed method.

Key words Ego-localization, Appearance, Landmark, DP Matching

1. はじめに

車両の正確なナビゲーションや衝突防止支援システムの実現

には高精度な自車位置推定が必要である。現在のカーナビゲーションシステムでは普及型 GPS を用いることで自車位置を推定している。しかし、建築物等による電波の反射や遮蔽のため、

普及型 GPS には 5 ~ 30 m の誤差が含まれる．一方，RTK-GPS を用いることで数 cm の精度で自車位置の推定が可能である．しかし，RTK-GPS は建物などによる遮蔽に弱く，車載化には課題が多い．これらの問題を解決し，かつ高精度な自車位置推定を実現する方法の 1 つとして，カメラ画像を用いた自車位置推定が研究されている．以下で，まずこれらの研究例を紹介する．

公道を走行する車両の自車位置推定は，移動物の自己位置推定の 1 分野として研究されている．カメラを用いた自己位置推定は，主に幾何特徴やランドマークを用いた手法とアピアランススペース（ビューベース）の手法に分けられる [1]．前者は環境中に存在するランドマークの位置をあらかじめ記憶しておき，入力カメラ画像中で検出されたランドマークとそれらを照合することにより，各ランドマークの位置関係から自己位置を推定する手法である．ここで，ランドマークとは人工的に設置したもの [2] だけでなく，物体のコーナーやエッジ，SIFT 特徴などの自然特徴点を利用したもの [3] がある．人工的なランドマークは設置のための人的コストや景観を損ねるという問題があり，自然特徴点を利用したものは安定して特徴点を抽出することが困難であるという問題がある．

一方，アピアランススペースの手法では，物体の“見え方”を利用する．以降，ある地点のある方向から得られる画像を見え方と呼ぶことにする．具体的には，各地点の位置情報と画像そのものをデータベースに記憶し，入力カメラから得られた画像に最も類似する画像をデータベース中から探索することで自己位置を得る．佐藤らは自己位置を決定する際に，全方位カメラ映像間の対応付けに DP マッチングを用い，固有空間上で画像間の照合を行った [4]．前田らは通常カメラによる複数の観測を統合し，信頼性を向上させる手法を提案した [5]．また，我々は DP マッチングにより全方位カメラ映像と通常カメラ映像を照合する手法を提案した [6]．これらのアピアランススペースの手法には被写体の位置を知る必要がないことや，特徴点の抽出・照合が不要であるという利点がある．しかし，自己の位置はデータベース上に存在するという前提の下で自己位置推定を行うため，自己の位置がデータベース構築時の撮影位置から離れるほど，位置推定誤差が大きくなるという問題がある．

上記の問題を解決するため，本研究では，方向が既知の 2 台の車載カメラから得られる画像系列をデータベース中の街並み画像系列と照合することで，進行方向のみならず，道の幅方向の位置をも推定する手法を提案する．本手法では，アピアランススペースの手法と同様に，入力画像に対して見え方が同じ地点をデータベース内から探索する．そして，被写体の方向から，ランドマークベースの手法と同様に三角測量を用いて走行位置を計算する．このとき，入力画像系列とデータベース画像系列の時系列照合を行うことで精度向上を図る．

以下，2 節で提案手法を説明する．3 節で評価実験について述べ，4 節で考察を行う．最後に 5 節でまとめを述べる．

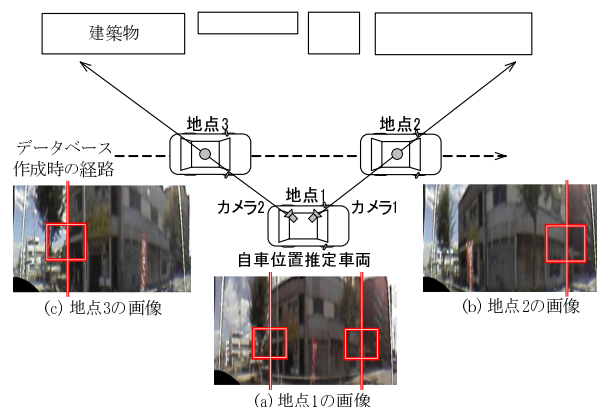


図 1 街並み画像を用いた三角測量

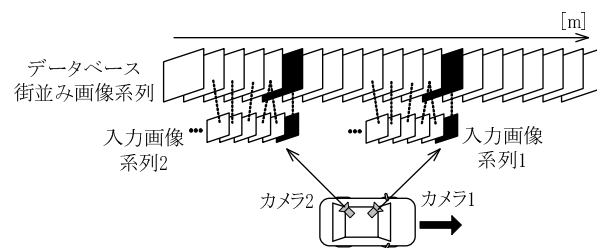


図 2 街並み画像の系列間照合

2. 街並み画像系列間の照合による走行位置推定

提案手法は大きく分けて，データベース構築と自車位置推定の 2 つの過程に分けられる．データベース構築の過程では，カメラを搭載した専用車が街中を走りまわり，街並み画像系列と位置情報の組を収集する．ここでは，広い範囲が一度に撮影できる全方位カメラを使用する．次に自車位置推定の過程では，方向が既知で固定の 2 つの通常カメラから得られた画像に対して，類似する街並み画像が得られる位置をデータベース上から探索する．そして，その位置関係とカメラ方向から自車位置を計算する．

図 1 を用いて位置推定の概要を説明する．自車位置推定を行う車両が地点 1 にある場合，カメラ 1 からの画像はデータベース上の地点 2 から同じ方向を見た街並みに類似したものとなり，カメラ 2 からの画像はデータベース上の地点 3 から見た街並みに類似したものとなる．(a) ~ (c) はそれぞれ全方位カメラによる地点 1 ~ 3 の画像の例である．画像中の矩形は通常カメラの視野とそれに対応する領域を表し，縦線は光軸を通る鉛直な線を表している．地点 2, 3 の位置が分かれば，カメラ 1, 2 の角度から三角測量を用いて地点 1 の位置を計算することができる．

このように，街並みの見え方は，幾何学的位置関係を用いて自車の位置を計算する手がかりになる．そこで，本研究では街並みの見え方をランドマークと考えて処理を行う．本手法では，ランドマークが経路に沿って系列として存在することを利用して，単一の画像対の照合ではなく，画像系列間の照合を行うことによって位置推定精度の向上を図る (図 2)．

本研究では，カメラの内部パラメータ，車両上の装着位置，

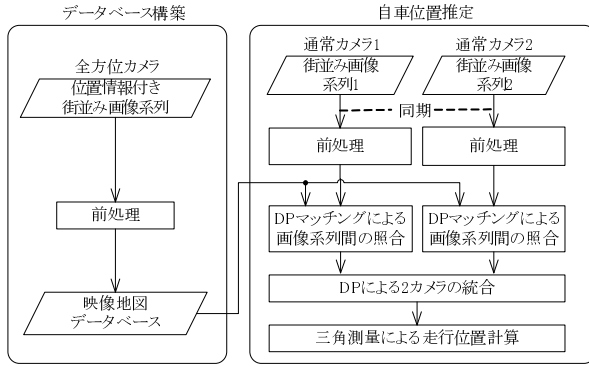


図 3 走行位置推定の流れ

方向はすべて既知とし、図 3 の手順で自転車位置を推定する。以降、提案手法の詳しい処理について述べる。

2.1 データベースの構築

データベース構築用の専用車両を用い、車両に取り付けた全方位カメラから得られる画像系列と GPS から得られる位置情報を同時に取得する。取得した情報により、地図上の位置と画像系列を対応付ける。

次に、フレーム速度の正規化を行う。走行速度によっては、データベース車両と位置推定車両の極端な速度比が発生し、系列間対応付けの際に問題となる。そのため、後の処理を簡便にする目的で次の正規化を行う。手順として、画像系列の各フレームが地図上で等間隔になるように、フレームの間引きと挿入によるリサンプリングを行う。このとき、地図上で再近傍のフレームをリサンプリング後のフレームとして選択する。

最後に、カメラの光学的特性を正規化するため、それぞれの映像フレームに対して球面投影を行う。球面投影は、カメラ中心を球の中心とする球面に画像を投影する方法である [3]。

2.2 自転車位置推定

まず、2 台のカメラから入力された街並み画像系列に対し、それぞれ独立に DP マッチングを行うことで、データベース内の画像系列と対応付ける。次に、それぞれのカメラの対応付け結果を DP で統合することで、誤対応の削減を行う。最後に、データベース上の位置とカメラ方向を用いることで、自転車の走行位置を計算する。

2.2.1 DP マッチングによる画像系列間の照合

まず、2 台の通常カメラからの入力画像系列に対し、データベース構築時と同様の球面投影を行う。以後、画像照合は球面座標上で行う。

入力画像系列はデータベース作成時の撮影位置と異なるため、画像の見え方が異なる。そこで、弱透視投影を仮定し、カメラを設置する高さの違いや車両の揺れを球面座標上での上下の平行移動で近似する。また、撮影対象物との距離の違いを画像の拡大縮小で近似する。

入力画像系列とデータベース画像系列の間にはこのように平行移動、拡大縮小の 2 自由度が存在する。本手法では、街並みの連続性、車両の移動の連続性から、これらのパラメータは連続的に変化すると仮定する。この仮定の下、パラメータの

連続性を保持しつつ、データベース画像系列と入力画像系列のフレームの対応付けを行うために、1 次元-3 次元パターン間の DP マッチング [6] を導入する。1 次元-3 次元パターン間の DP マッチングは 1 次元-2 次元パターン間の DP マッチング [7] を拡張したものである。これにより、自転車が過去から現在までに獲得した入力画像系列 $0, 1, \dots, \tau_0$ をデータベース画像系列 $0, 1, \dots, t, \dots, T$ と照合する。ここでは、現在の入力フレーム τ_0 に対応するデータベース画像系列内のフレームが t であり、座標のインデックスが x 、スケールパラメータのインデックスが s のコスト $g(x, s, t, \tau_0)$ を得る。

画像の比較を行う際、撮影機器や撮影環境の違いによる色変化への対応が必要となる。ここでは、前処理としてカラーヒストグラムの平坦化により、これに対応する。また、パラメータ s, x のデータベース画像 $I_1(x, s, t)$ と入力画像 $I_2(\tau)$ の距離 $d(x, s, t, \tau)$ はカラー画像の SAD (Sum of Absolute Difference) で定義する。

$$d(x, s, t, \tau) = \text{SAD}\{I_1(x, s, t), I_2(\tau)\} \quad (1)$$

x の範囲は $0 \leq x \leq X - 1$ 、 s の範囲は $0 \leq s \leq S - 1$ とする。

具体的な、DP マッチングのアルゴリズムを以下に示す。

[Step1] Initial condition

計算空間の範囲外に ∞ を代入する。

$$\begin{aligned} g(-1, s, t, \tau) &= g(x, -1, t, \tau) \\ &= g(X, s, t, \tau) = g(x, S, t, \tau) \\ &= \infty \end{aligned} \quad (2)$$

$$g(x, s, -i, \tau) = \infty \quad (i = 1, 2, \dots, t_s) \quad (3)$$

[Step2] Iteration

$\tau = 0, 1, \dots, \tau_0$ について、次の漸化式を計算する。

for $\tau = 0$

$$g(x, s, t, 0) = d(x, s, t, 0) \quad (4)$$

for $\tau \geq 1$

$$\begin{aligned} g(x, s, t, \tau) &= \min \left\{ \begin{array}{l} -1 \leq x_p \leq 1 \\ -1 \leq s_p \leq 1 \\ 0 \leq t_p \leq t_s \end{array} \right. \\ &w(x_p, s_p, t_p, \tau)g(x - x_p, s - s_p, t - t_p, \tau - 1) \\ &\quad \left. + d(x, s, t, \tau) \right\} \quad (5) \end{aligned}$$

[Step3] Output

出力として、 τ_0 が入力されたときに、パラメータ x, s, t をとるコスト $g(x, s, t, \tau_0)$ を得る。

式中の $w(x_p, s_p, t_p, \tau)$ は重みである。 t_s はフレーム軸方向に関する傾斜制限であり、位置推定車両の想定される最大速度およびデータベースの 1 フレームあたりの距離を考慮して設定する。具体的には、位置推定車両はデータベース車両の t_s 倍の速度比まで許す。また、DP マッチングはビームサーチおよび整合窓 [7] によって高速化を行う。ビームサーチは最適経路になる見込みがない点の計算を省略する手法であり、整合窓は計算

範囲を設定してその範囲内だけを計算する手法である．実用を考えた場合，データベース内のすべてについて照合することは計算量とメモリ容量の観点から困難であるため，整合窓は高速化だけではなく，メモリ使用量削減にも使用する．

2.2.2 DP による 2 カメラの統合

通常の両端点フリー DP マッチングでは，パラメータ x, s, t に関して最小の $g(x, s, t, \tau)$ を探索し， τ に対応する x, s, t を決定する．しかし，両端点フリー DP マッチングの末端点付近では雑音によって対応付けが不安定となる．ここで，車両が道路に沿って走行している場合，進行方向の移動量が横方向の移動量に比べて大きいと仮定する．図 1 の地点 2, 3 間の距離の τ に関する変化量は小さいと仮定する．本手法では，2 カメラについて独立に得られた 2 つの $g(x, s, t, \tau)$ に対して，この仮定を導入することで，誤対応の削減を行う．カメラ 1, 2 について，選択されるデータベースのフレームを t_1, t_2 とする．まず，入力画像 τ が入力されたとき，データベースのフレームの組 (t_1, t_2) が選択されるコストに関する場 $d(t_1, t_2, \tau)$ を作成する (図 4)．そして，上記の仮定による移動の拘束を受けながら， (t_1, t_2, τ) に関する空間で，コストの累積が最小となるパスを探索することで最適な (t_1, t_2) の組を選択する．

具体的な方法を以下で説明する．まず， τ フレーム目を入力したときにデータベースのフレーム t が選択されるコストを次式で定義する．

$$d(t, \tau) = \min_{x, s} \frac{g(x, s, t, \tau)}{\tau + 1} \quad (6)$$

ここで，分母の $(\tau + 1)$ はコストを入力フレーム数で正規化する項である．以後， $d(t, \tau)$ をカメラ 1, 2 についてそれぞれ $d_1(t_1, \tau)$, $d_2(t_2, \tau)$ と表記する．

また，入力画像 τ が入力された時， (t_1, t_2) が選択されるコストを次式で定義する．

$$d(t_1, t_2, \tau) = d_1(t_1, \tau) + d_2(t_2, \tau) \quad (7)$$

そして， $t_{1,0}, t_{1,1}, \dots, t_{1,\tau}, t_{2,0}, t_{2,1}, \dots, t_{2,\tau}$ を変化させることで，次式を最小化する $t_{1,\tau}, t_{2,\tau}$ を探索する．

$$g(\tau) = \min \sum_{i=0}^{\tau} d(t_{1,i}, t_{2,i}, i) \quad (8)$$

ただし， $(t_{1,i}, t_{2,i})$ の組の選び方は次式で与える．

$$(t_{1,i}, t_{2,i}) = \{(t_{1,i-1} - 0, t_{2,i-1} - 0), \\ (t_{1,i-1} - 1, t_{2,i-1} - 1), \\ (t_{1,i-1} - 2, t_{2,i-1} - 2), \\ (t_{1,i-1} - 3, t_{2,i-1} - 3), \\ (t_{1,i-1} - 2, t_{2,i-1} - 3), \\ (t_{1,i-1} - 3, t_{2,i-1} - 2)\} \quad (9)$$

式 (9) は τ に関する $(t_{1,i} - t_{2,i})$ の変化量が小さいという制約を与える．これらの条件の下，式 (8) は DP によって効率的に解くことができる．出力として，入力フレーム τ に対するデータベース画像系列の最適なフレームの組 $(t_{1,\tau}, t_{2,\tau})$ を得る．

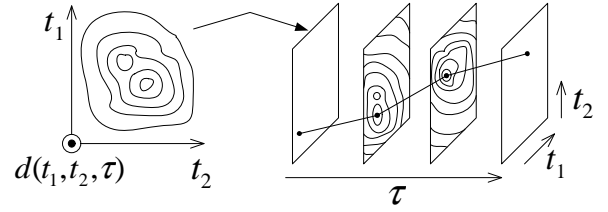


図 4 DP の概念図

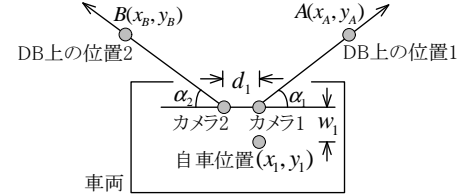


図 5 走行位置の計算

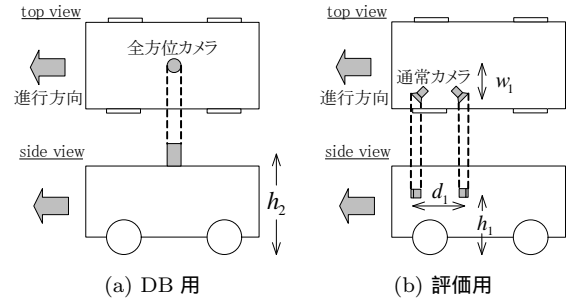


図 6 カメラの装着位置

2.2.3 三角測量による走行位置の計算

走行位置の計算は以下の手順で行う．2 台のカメラから得られる入力画像をデータベースと照合することで，データベース内の対応する画像が撮影された地点を得る．カメラ 1, カメラ 2 の画像を照合して得られたデータベース上の地点をそれぞれ A, B とし (図 5)，A, B の座標，カメラの角度 α_1, α_2 ，カメラの自車での装着位置より車両の位置を計算する．図のように自車位置の基準を設定すると，自車位置 (x_1, y_1) は次の 2 式を解くことで得られる．

$$y_1 + w_1 - y_A = (x_1 - x_A) \tan \alpha_1 \quad (10)$$

$$y_1 + w_1 - y_B = -(x_1 - x_B - d_1) \tan \alpha_2 \quad (11)$$

また後処理として，車両は横方向に急激に移動しないと仮定し，横方向位置には移動平均をかける．

3. 実験

3.1 実験概要

提案手法の有効性を確認するために，車両の横方向の位置推定誤差，走行車線認識率，進行方向の位置推定誤差を以下の実験により評価した．実験に用いるカメラの車両への装着位置を図 6 に示す．データベース作成に用いる全方位カメラとして VStone 社製 VS-C14N を使用し，路面から $h_2 = 1.5 \text{ m}$ の位置に設置した．撮影した映像のフレームレートは 30 fps であった．次に，評価用の通常カメラは 2 台とも民生用の DV カメラで，

表 1 実験に使用するデータセット

データセット	DB 用と評価用の映像の撮影日時	車線	
		DB 用	評価用
A	同じ	左	左
B	同じ	右	右
C	異なる	左	左
D	異なる	左	右

車内の助手席サイドガラスに固定した、35 mm 判換算で焦点距離は前向きカメラが 44.7 mm、後ろ向きカメラが 48 mm であった。また、フレームレートはいずれも 30 fps であった。設置位置はいずれも車両の中心線から進行方向に対して左側に $w_1 = 0.5$ m 離れており、2 つの通常カメラの間隔は $d_1 = 0.2$ m とした。また、設置高さは $h_1 = 1$ m である。

実験に使用したデータを表 1 に示す。経路はほぼ直線の片側 2 車線の道路であり、データの測定中に車線変更は行わなかった。走行距離は約 300 m であった。また、データセットはデータベース用と評価用の映像を 1 度の走行で同時に撮影したものと、異なる日時に撮影したものの 2 種類を使用した。車両の車線内における推定位置を評価するためには、前者のデータセットを用いた。そして、後者のデータセットにより、車両が車線の中心を走行していると仮定した場合に、走行車線の認識率がデータベース作成時の走行車線と評価時の走行車線によってどのように変化するかを調査した。さらに、普及型 GPS 単体との精度比較を行った。

本実験では、データベース構築時に普及型の GPS により位置情報を測定しているため、十分な精度が得られなかった。そのため、位置情報を人手で補正した。DP マッチングの各パラメータは予備実験により求めたものを使用した。データベース正規化後のフレーム間の位置間隔は 0.4 m であり、DP マッチングにおける画像の平行移動は 1.44 度刻みで 35 段階、拡大縮小は 0.03 倍刻みで 13 段階とした。重みパラメータ $w(x_p, s_p, t_p, \tau)$ は基本を 1 として、 $x_p \neq 0$ または $s_p \neq 0$ のときは 1.1 を乗じた。さらに、車速から予測される傾斜との差に応じて 1~0.9 を乗じた。各評価用カメラの撮影方向は目視で求めた。水平角度は進行方向に対し、前方カメラで 35 度、後方カメラで 32 度であった。入力画像の下半分は道路領域であるため、上半分のみを使用した。また、実験結果の評価に用いる車両進行方向の位置の真値は手作業で求めた。

3.2 実験結果

データセット A, B による、データベース用と評価用の映像を同じ走行で撮影した場合の横方向の位置推定誤差を走行車線別に図 7 に示し、その分布を図 8 に示す。グラフの縦軸は進行方向に向かって左が正としている。

データセット C, D による、データベース用と評価用を異なる日時に撮影した場合の横方向の推定位置を図 9 に示す。走行車線認識の結果を表 2 に示す。走行車線認識は、車線幅を 3.0 m と仮定し、横方向のずれ x が $-4.5 \sim -1.5$ m の場合はデータベース中の車線に対して右隣の車線、 $-1.5 \sim 1.5$ m の場合は同じ車線、 $1.5 \sim 4.5$ m の場合は左隣の車線と判別した。図 9 の点

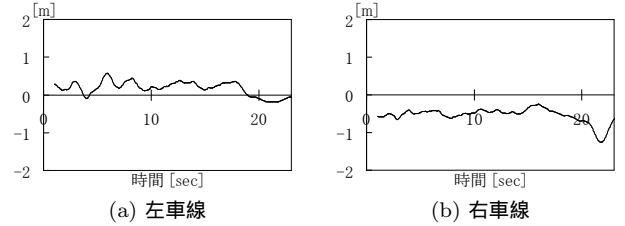


図 7 横方向の位置推定誤差

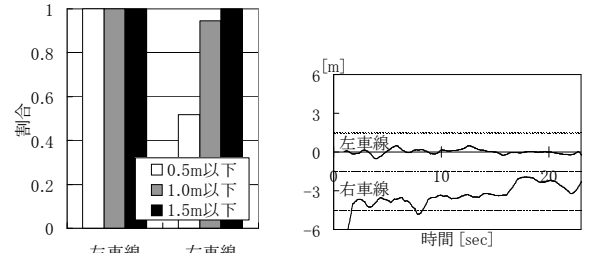


図 8 横方向の位置推定誤差の分布

図 9 横方向の推定位置 (DB 用:左車線)

表 2 走行車線認識率 (DB 用カメラの設置高 1.5 m)

	評価用:左車線	評価用:右車線
DB 用:左車線	100 %	94 %

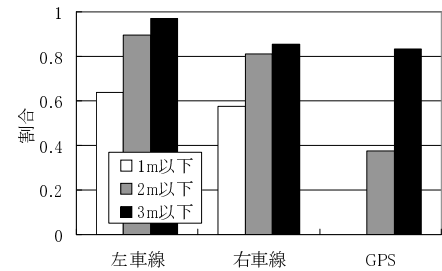


図 10 進行方向の位置推定誤差 (DB 用カメラ設置高 1.5 m)

線は走行車線認識に用いたしきい値である。入力画像系列のフレーム数に対する正しい車線の範囲内に入ったフレーム数の割合を成功率とした。なお、普及型 GPS では推定位置が道路から外れており、走行車線認識を行うことができなかった。

カメラおよび車線別の進行方向の位置推定誤差を図 10 に示す。提案手法は普及型 GPS より良い位置推定精度を得た。

4. 考 察

4.1 車線の違い

データベース用と評価用の映像を同時に撮影して実験を行った結果、右車線を走行している場合は、左車線を走行している場合に比べ、横方向の位置推定精度の低下が見られた (図 7, 図 8)。これは、カメラと被写体との距離が右車線ほど離れるため、三角測量の精度が低下するものと考えられる。また、一般道路の車線幅は約 3 m であり、誤差がすべて 1.5 m 以内に収まったことから、本手法は次に考察する走行車線認識に用いるための十分な精度が得られると考えられる。

データベース用と評価用の映像を異なる走行で撮影して実験を行った結果、データベース用と評価用で異なる車線を走行し

表 3 走行車線認識率 (DB 用のカメラ設置高 2.0m)

	評価用：左車線	評価用：右車線
DB 用：左車線	100%	88%



図 11 奥行きの違いによる見え方の変化

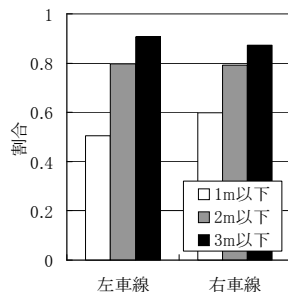


図 12 進行方向の位置推定誤差 (DB 用カメラ設置高 2.0m)

た場合、同じ車線を走行したときに比べ、精度の低下が見られた (表 2, 図 10)。これは、上で述べたカメラと被写体との距離の差も考えられるが、カメラの位置の違いによる被写体の見え方の変化も要因の 1 つと考えられる。本研究では、弱透視投影を仮定し、見え方の違いは画像の平行移動、拡大縮小で近似的に対応している。そのため、仮定を満たさない部分でフレーム対応付け誤りが発生したものと考えられる。例えば、建物の境界では奥行きの違いが発生し、平行移動・拡大縮小のパラメータの連続性が失われる (図 11)。そのため、DP マッチングによる対応付けが適切に行われず、位置推定誤差が発生したと考えられる。この問題を解決する方法の 1 つとして、画像の類似度の低下を検知し、その場合は一定時間位置推定結果を採用せず、速度情報から車両の位置推定を行う方法が考えられる。

4.2 カメラを設置する高さの違い

データベース用と評価用のデータ取得時に車線が異なる場合、同じ車線の場合に比べて、位置推定精度が低下するという結果が得られた。これは、カメラを設置する高さの違いが原因の 1 つとして考えられる。そこで、データベース用のカメラを設置する高さを 2.0m に変更して実験を行った。評価用の映像はデータセット C, D と同じである。全方位カメラは PointGreyResearch 社製 Ladybug2 を使用し、フレームレートを 15 fps とした。

車線認識の結果を表 3 に、進行方向の位置推定誤差を図 12 に示す。データベース用と評価用でカメラを設置する高さの違いにより結果が異なることが分かる。しかし、対応付け結果の画像を詳しく観察すると、図 11 のように大きく見えた目が見える場合以外は、大きな位置推定精度低下は見られなかった。カメラの高さを変更した場合、画像の縦方向に見た目の伸縮が起きる。しかしながら、街並みは横方向に動くため、自転車位置推定には横方向のエッジより縦方向のエッジの影響が強く、高さの違いの影響は小さかったと考えられる (図 13)。

また、カメラの種類による画質の違いも結果が異なる原因の 1 つとして考えられる。しかし、図 13 の (b) は (c) に比べて高

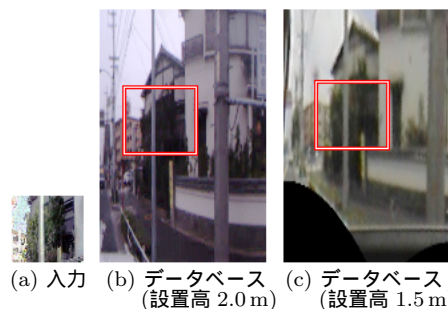


図 13 カメラを設置する高さの違いによる領域対応付けの違い

解像度であるが、図 10 と図 12 の結果に大きな差は見られなかった。これは、SAD による画像比較のため、カメラの画質の影響は小さかったと考えられる。

今後、カメラを設置する高さの違いと位置推定誤差の関係、カメラの画質による影響を詳細に調べる予定である。

5. ま と め

2 台のカメラから得られる街並みの見え方をランドマークとして利用し、三角測量の原理に基づき車両の走行位置を推定する手法を提案した。その際、街並み画像系列の時系列照合により位置推定精度向上を図った。評価実験の結果、横方向の位置推定誤差の大部分が 1.5m 以内に収まり、88~100% の車線認識率が得られた。また、データベース構築時と位置推定時の車線が異なる場合、位置推定精度が低下することを確認した。今後の課題として、見え方の変化への対処や、画像の変形に強い照合方法の検討が挙げられる。

謝 辞

日頃より熱心にご討論いただく名古屋大学村瀬研究室諸氏ならびに映像データの一部をご提供いただいた名古屋大学武田研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金によった。また、本研究では画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.suenaga.m.is.nagoya-u.ac.jp>) を使用した。

文 献

- [1] 松本吉央, 稲葉雅幸, 井上博允, “ビューベースアプローチに基づく移動ロボットナビゲーション,” 日本ロボット学誌, Vol. 20, No. 5, pp. 506-514, June 2002.
- [2] M. Betke, L. Gurvits, “Mobile Robot Localization Using Landmarks,” IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 13, No. 2, pp. 251-263, April 1997.
- [3] 薄充孝, 中川知香, 佐藤智和, 横矢直和, “ランドマークデータベースに基づく静止画像からのカメラ位置・姿勢推定,” 日本バーチャルリアリティ学論, Vol. 13, No. 2, pp. 161-170, June 2008.
- [4] 佐藤准嗣, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋, “GPS 座標付き全方位映像群からの市街地映像マップの構築と街並み変化の検出,” 信学論 (D-II), Vol. J90-D, No. 4, pp. 1085-1095, Apr. 2007.
- [5] 前田佐嘉志, 久野義徳, 白井良明, “固有空間解析に基づく移動ロボットの位置認識,” 信学論 (D-II), Vol. J80-D-II, No. 6, pp. 1502-1511, June 1997.
- [6] 内山寛之, 高橋友和, 井手一郎, 村瀬洋, “自転車位置推定のための車載全方位カメラ映像と通常カメラ映像のフレーム間対応付け,” 信学技報, PRMU2007-251, Mar. 2008.
- [7] 内田誠一, “DP マッチング概説 ~ 基本と様々な拡張 ~,” 信学技報, PRMU2006-166, Dec. 2006.