

## 空撮画像と車載カメラ画像中の道路面の時系列照合による自車位置推定

野田 雅文<sup>†</sup> 高橋 友和<sup>†,††</sup> 出口 大輔<sup>†</sup> 井手 一郎<sup>†</sup> 村瀬 洋<sup>†</sup>  
小島 祥子<sup>†,†††</sup> 内藤 貴志<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

<sup>††</sup> 岐阜聖徳学園大学 〒500-8288 岐阜県岐阜市中鶉 1-38

<sup>†††</sup> (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: <sup>†</sup>mnoda@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, <sup>††</sup>ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,

<sup>†††</sup>{ddeguchi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp, <sup>††††</sup>{yoshiko-k,naito}@mosk.tytlabs.co.jp

あらまし ITS 技術において、自車位置を高精度に推定することは重要な課題であり、車載カメラ画像を用いて自車位置を推定する研究が行われている。本稿では、空撮画像と車載カメラ画像に共通する道路面を時系列に照合することによって、自車位置を推定する。空撮画像と車載カメラ画像は、撮影条件の違いにより画像間の違いが含まれるため、これを考慮した照合を行う必要がある。提案手法では、道路面に存在する路面標示の特徴的な箇所から特徴点を抽出し、画像特徴を SURF 特徴量で記述する。また、空撮画像との照合に連続する複数フレームの車載カメラ画像中の特徴点を用いる。これによって、画像間の違いに対して頑健に空撮画像と車載カメラ画像を照合し、自車位置を推定する。オクルージョンの有無、撮影された時間帯が異なる場合などを含む画像系列に対して実験を行った結果、提案手法による自車位置の推定誤差が従来に比べて改善したことを確認した。

キーワード 自車位置推定, 空撮画像, 車載カメラ画像, 道路面, 画像照合

## Ego-localization by Sequential Matching of Road-surface in Aerial Image and In-vehicle Camera Images

Masafumi NODA<sup>†</sup>, Tomokazu TAKAHASHI<sup>†,††</sup>, Daisuke DEGUCHI<sup>†</sup>, Ichiro IDE<sup>†</sup>, Hiroshi MURASE<sup>†</sup>, Yoshiko KOJIMA<sup>†,†††</sup>, and Takashi NAITO<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601 Japan

<sup>††</sup> Gifu Shotoku Gakuen University Nakauzura 1-38, Gifu, Gifu, 500-8288 Japan

<sup>†††</sup> Toyota Central R & D Labs., Inc. 41-1 Aza Yokomichi, Oaza Nagakute, Nagakute, Aichi, Aichi, 480-1192, Japan

E-mail: <sup>†</sup>mnoda@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, <sup>††</sup>ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,

<sup>†††</sup>{ddeguchi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp, <sup>††††</sup>{yoshiko-k,naito}@mosk.tytlabs.co.jp

**Abstract** For ITS technology, the accurate ego-localization is important, and it is remarkable to estimate vehicle position using an in-vehicle camera image. In this paper, we estimate vehicle position by sequentially matching the road-surface in an aerial image and in-vehicle camera images. We must consider the matching of these images with the differences of images due to different camera conditions. We must, also, consider vehicle motion and the existence of forward vehicle. The proposed method extracts the feature-points from the unique area of road markings in road-surface, and describes the image feature by SURF descriptor. By using these approaches, we estimate vehicle position by robust image matching for the difference between the in-vehicle camera images and the aerial image. We confirmed that the proposed method improve the ego-localization error by the experiments to the image sequence containing various situation (ex. the existence of occlusion and, the difference of time to take the images).

**Key words** Ego-localization, aerial image, in-vehicle camera image, road-surface, image matching

## 1. はじめに

ITS (Intelligent Transport Systems) 技術において、自車位置を高精度に推定することは重要な課題である。通常、自車位置の推定は普及型 GPS (Global Positioning System) の計測値に基づいて行われ、主にカーナビゲーションシステムに利用されている。しかしながら、普及型 GPS は 5–30m 程度の誤差を持つ。また、RTK-GPS (Real Time Kinematic-GPS) を用いれば、数 cm の推定誤差で推定することが可能ではある。しかしながら、RTK-GPS は建物などの遮蔽物の存在に弱いなどの技術的な問題点を持ち、一般車両への搭載は未だ難しい。そのため、マップマッチング [1] やジャイロセンサなどを用いた自律航法などの技術によって、普及型 GPS により推定した自車位置を高精度化することが一般的に行われている。しかしながら、これらの技術は車両が走行している道路の判定は可能であるが、走行車線の判定、交差点や停止線までの正確な距離の測定などを行うためには不十分である。また、累積誤差の影響も無視できない。

一方、高精度に自車位置を推定するため、車載カメラから撮影された画像を利用する研究が行われている。車載カメラ画像を用いることで、多くの情報を環境から取得できる。車載カメラ画像を用いた自車位置推定は、一般的に画像から抽出した情報を事前に構築した地図と照合することによって行われる。そのため、累積誤差の影響が存在しない。このような従来研究として、内山ら [2] は撮影時の位置情報を付加した車載カメラ画像系列を地図として利用し、DP マッチングを用いて画像系列間を照合することによって自車位置の推定を行っている。また、農宗ら [3] は車載カメラ画像中の道路形状を利用した手法、大江ら [4] は車載カメラ画像中の建物などから抽出した特徴点を利用した手法を提案している。これらの手法が持つ問題としては、地図の構築のために様々な経路を走行する必要があることが挙げられる。

本研究では、前述した [2]–[4] と同様の考えに基づき、自車位置推定に用いる地図として空撮画像を用いる。空撮画像を用いる利点として、広域を撮影しているため、地図の構築が容易であることが挙げられる。空撮画像を用いる場合、図 1 に示すように空撮画像と車載カメラから撮影された画像に共通して写っている道路面を照合することにより、自車位置を推定する。このような研究として、Pink らは空撮画像と車載カメラ画像から抽出した特徴点を照合する手法 [5] を提案している。この手法では、道路面に印字された路面標示から特徴点を抽出し、ICP (Iterative Closest Point) 法によって、各画像から抽出された特徴点の位置合わせを行うことで自車位置の推定を行っている。しかしながら、ICP 法は照合に用いる特徴点の数が少ない場合や撮影状況の違いにより抽出される特徴点の位置が異なる場合に精度が低下することが知られている [6]。空撮画像と車載カメラ画像を照合

する場合、道路面のテクスチャが一樣であることから抽出される特徴点が少ないため、推定精度が低下すると考えられる。また、空撮画像と車載カメラ画像は、道路面を撮影する角度や撮影した時期が異なることも、推定精度が低下する要因となる。このため、高精度な自車位置推定を行うためには、以上のことに考慮してこれらの画像を照合する必要がある。さらに、Pink らの手法 [5] では、オクルージョンが存在する場合などの撮影条件下における性能が実験によって示されていない。そのため、前方車両などが存在する場合や夜間における手法の有効性を示す必要がある。一方、自車位置推定を目的としたものではないが、異なる時期に撮影された空撮画像間のレジストレーションを時系列に行う手法 [7][8] が提案されている。これらの手法は、撮影状況の違いにより起こる画像間の違いに不変な特徴量を用いることで、このような違いに対して頑健なレジストレーションを行っている。しかしながら、空撮画像と車載カメラ画像を照合する場合、利用できる特徴が道路面上に限られるため、これらの画像に適した特徴を選択する必要がある。また、車載カメラ画像は空撮画像に比べ、車両の動きによる影響が大きいため、このことを考慮しなければならない。

以上のことを踏まえた上で、本研究では空撮画像、および車載カメラ画像中の道路面を時系列に照合することによって、自車位置の推定を行う。提案手法では、道路面に存在する路面標示の特徴的な箇所 (矢印のコーナなど) を抽出した上で、画像間の違いに頑健な SURF 特徴量をより照合に用いる画像特徴を記述する。また、空撮画像との照合に連続する複数フレームの車載カメラ画像中の特徴点を用いる。これによって、従来に比べ高精度に自車位置を推定する。さらにオクルージョンの有無、撮影された時間帯が異なる場合などを含む画像系列に対して自車推定の実験を行うことで、提案手法の有効性を評価する。

本稿では、2. で空撮画像と車載カメラ画像中の道路面の時系列照合による自車位置推定手法について述べる。3. で自車位置推定の実験を行い、その結果について延べ、4. でまとめる。

## 2. 空撮画像と車載カメラ画像中の道路面の時系列照合による自車位置推定

本稿で述べる提案手法は、空撮画像からの特徴抽出による地図構築と、特徴点の照合による自車位置推定の 2 段階から構成される。提案手法では、撮影条件の異なる空撮画像と車載カメラ画像を照合するために、画像間の違いに対して頑健な照合が必要となる。また、従来研究である Pink らの手法 [5] の問題点として、道路面のテクスチャが一樣であるため、抽出される特徴点の数が少ないこと、車両の動きなどによりフレームごとに安定して特徴点を抽出することが出来ないことにより、照合が困難となることが考えられる。これらを解決するため、提

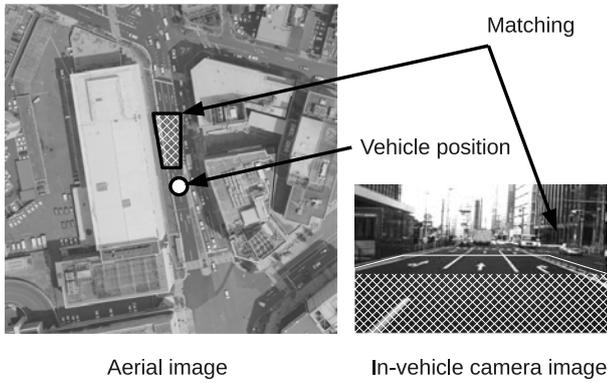


図 1: 空撮画像を用いた自車位置推定: 空撮画像, および車載カメラ画像中の網掛け領域を照合することで自車位置を推定する。

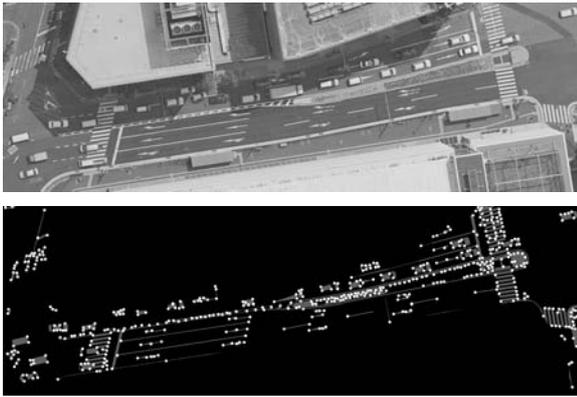


図 2: 上図: 元の空撮画像 下図: 特徴点の地図: 図中の丸印は抽出された特徴点を示す。

案手法では地図構築, および特徴点の照合による自車位置推定に対して, 以下の 2 つのアプローチを用いる。

(1) 道路面中に存在する路面標示の特徴的な箇所(矢印のコーナなど)を照合に適した点として抽出し, 周辺の画像特徴を SURF 特徴量 [9] で記述することで, 照合処理を画像間の違いに対して頑健にする。

(2) 車載カメラ画像中の道路面から抽出される特徴点は数が少ないため, そのまま空撮画像と照合することが難しい。また, 車両の動きなどによりフレームごとに安定して抽出できないことが考えられる。そのため, 連続する複数フレームの車載カメラ画像中の特徴点を照合に用いることで, 空撮画像と車載カメラ画像の撮影条件の違いに対して頑健な照合を行う。

以降では, 地図構築手法, および自車位置推定手法について述べる。

## 2.1 空撮画像からの地図の構築

提案手法では, 空撮画像中の照合に道路面に存在する路面標示から特徴点を抽出し, 事前に地図を構築する。図 2 に構築した特徴点地図の例を示す。ここで, 図 3 に示すように車載カメラ画像(俯瞰画像; 詳細は 3.2.1 で述べる。)中の路面標示は, 自車の姿勢や動き, 撮影条件の

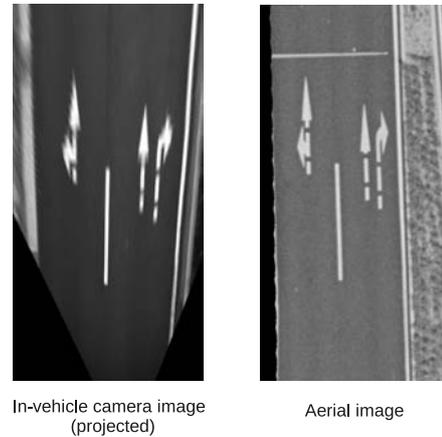


図 3: 路面標示の見えの違い: 車載カメラ画像(俯瞰画像)には車両の姿勢による形状の歪みや, 動きによるぼけなどが含まれる。また, 各画像には撮影条件の違いにより輝度が異なる。

違いなどにより空撮画像中の路面標示と見えが異なることが考えられる。このような画像間の違いに対応するため, 輝度や回転, スケールの変化に頑健な SURF 特徴量を画像特徴の記述に用いる。

地図構築の流れは以下の通りである。なお, 特徴点の抽出は道路領域のみから行い, 空撮画像中の道路領域は, 人手によりあらかじめ抽出してあるものとする。ただし, 道路面に存在する車両などは本稿では除去せずに, これらからも特徴点を抽出する。

(1) 路面標示領域の候補を得るため, 空撮画像に対して二値化とラベリング処理を用いて領域分割を行う。

(2) 得られた領域のうち, 路面標示として面積が小さすぎる, および大きすぎる領域を除去する。

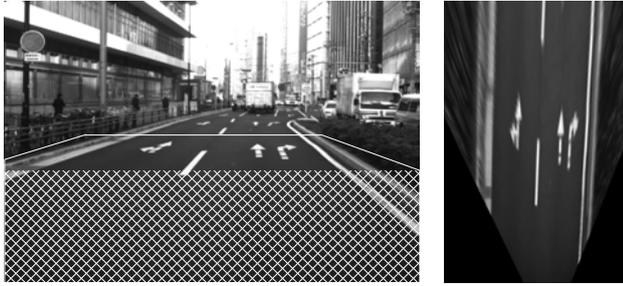
(3) 残された領域の周辺から, Harris オペレータによりコーナを抽出し, 特徴点とする。これによって得られる特徴点の位置を  $x_n (n = 1, \dots, N)$  と表す。

(4) 各特徴点周辺の画素から SURF 特徴量を計算する。SURF 特徴量の計算に用いるスケールは, 各特徴点が所属する領域の外接円の半径を用いる。 $x_n$  に対応する SURF 特徴量を  $f_n$  と表す。

## 2.2 自車位置推定

提案手法は, 車載カメラ画像中の道路面から抽出した特徴点を前節で構築した地図と照合することによって自車位置の推定を行う。空撮画像との照合を行う際, 照合範囲を制限しない場合, 多くの特徴点と照合する必要があるため, 照合が困難となる。そのため, 1 つ前のフレームと現在のフレームの車載カメラ画像(俯瞰画像)間を対応付け, 1 つ前のフレームにおける自車位置の推定結果を利用することによって, 地図との照合範囲を特定する。 $t$  フレームの自車位置を  $p_t$  で表す。 $p_t$  は空撮画像上における位置を表し, 測地座標系の変換によって, 実世界の経緯度に変換できる。

本稿で提案する自車位置推定の流れは, 以下の通りで



(a) 車載カメラ画像 (b) 俯瞰画像

図 4: 俯瞰画像への変換

ある．

- (1) 俯瞰画像への変換
- (2) 時系列の俯瞰画像間の対応付け
- (3) 俯瞰画像と地図（空撮画像）の照合
- (4) 自転車位置の推定

以降、各処理の詳細を述べる．

### 2.2.1 俯瞰画像への変換

車載カメラ画像と空撮画像は撮影する視点が大きく異なるため、そのまま照合することは困難である．また、本研究では路面上の特徴点を照合するため、あらかじめ路面領域を抽出することが好ましい．そのため、まず図 4 に示すように車載カメラ画像を仮想的に上空から見た俯瞰画像へと変換する．車載カメラ画像中の位置  $(x, y)$  と俯瞰画像中の位置  $(x', y')$  は、以下の関係となる．

$$[x' \ y' \ 1]^T \sim \mathbf{P}[x \ y \ 1]^T \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{P}$  は  $3 \times 3$  の平面射影行列を表す．

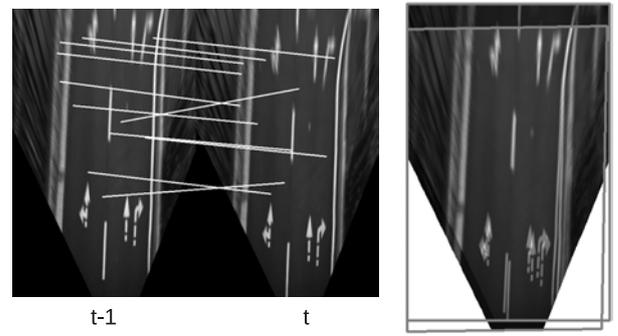
提案手法では、 $\mathbf{P}$  はフレームに依存せず、常に一定の値を与える．つまり、車載カメラ画像中の図 4 (a) に示す網掛け領域を含むような一定の台形領域を設定し、その頂点を俯瞰画像の端点に対応付ける． $\mathbf{P}$  を一定の値にすることによって、車両の姿勢の変動に伴い、俯瞰画像に含まれる路面標示の形状が歪む場合がある．この形状の歪みは、空撮画像との照合に用いる特徴点が抽出される位置が、各フレームにおいて異なる原因となるため、2.2.3 でこれを考慮して、照合を行う．

### 2.2.2 時系列の俯瞰画像間の対応付け

$t-1$ 、 $t$  フレームの俯瞰画像を対応付けることによって、 $t$  フレームの俯瞰画像を照合する空撮画像の範囲を絞り込む．

はじめに、各フレームの俯瞰画像から Harris オペレータによって抽出した特徴点に対して、Lucas-Kanade 法を用いて初期対応付けを行う．そして、対応付いた特徴点の組から LMedS 基準を用いて、 $t$  フレームの俯瞰画像中の点を  $t-1$  フレームの俯瞰画像中の点に変換する平面射影行列  $\mathbf{M}_t$  を求める．

図 5 に時系列の俯瞰画像間の対応付け例を示す．図 5 (a) は、各フレームの特徴点の対応を示し、図 5 (b) は、求めた  $\mathbf{M}_t$  を用いて  $t$  フレームの俯瞰画像を  $t-1$  の俯



(a) 特徴点間の対応 (b) 画像の重畳

図 5: 時系列の俯瞰画像間の対応付け: (a) において、線分は Harrise オペレータにより抽出した特徴点の対応を示す．(b) における矩形領域が  $t-1$ 、および  $t$  フレームの俯瞰画像を示す．

瞰画像上へ投影し、重ね合わせたものを示す．この図より、道路面上の路面標示が概ね重っており、俯瞰画像間の対応付けができています．

### 2.2.3 俯瞰画像と地図（空撮画像）の照合

前節で求めた  $\mathbf{M}_t$  を用いて照合範囲を特定した上で、 $t$  フレームの俯瞰画像と地図（空撮画像）の照合を行う．俯瞰画像中の照合に用いる特徴点は、地図構築段階と同様に抽出する．抽出された特徴点の俯瞰画像中の位置を  $y_{t,m_t}$  ( $m_t = 1, \dots, M_t$ ) とし、対応する SURF 特徴量を  $g_{t,m_t}$  とする．次に、 $t$  フレームの俯瞰画像から地図中への平面射影行列  $\mathbf{A}_t$  と、 $\mathbf{M}_t$  を用いて各特徴点の俯瞰画像中の位置  $y_{t,m_t}$  を地図中の位置  $y'_{t,m_t}$  に座標変換する．

$$y'_{t,m_t} = \mathbf{A}_{t-1} \mathbf{M}_t y_{t,m_t} \quad (2)$$

次に、特定した照合範囲において、地図に俯瞰画像を照合する．地図中に座標変換した俯瞰画像中の特徴点  $y'_{t,m_t}$  と対応付く地図中の特徴点  $x_n$  の関係を、平面射影行列  $\Sigma_t$  を用いて次式で表す．

$$x_n \simeq \Sigma_t y'_{t,m_t} \quad (3)$$

そして、俯瞰画像と地図間の特徴点を対応付けることで、 $\Sigma_t$  を求める．まず、次式を満たす  $y_{t,m_t}$  と  $x_n$  の組を見つけ、俯瞰画像と地図間の特徴点を対応付ける．

$$\begin{cases} \|y'_{t,m_t} - x_n\| < r \\ \min_m \|g_{t,m_t} - f_n\| \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $r$  は  $y'_{t,m_t}$  を中心とした探索範囲を表す．また、 $\|y'_{t,m_t} - x_n\| < r$  を満たす  $x_n$  が存在しない場合、 $y'_{t,m_t}$  はどの特徴点とも対応付けない．そして、対応付けられた特徴点の組から LMedS 基準を用いて、 $\Sigma_t$  を求める．また、 $\mathbf{M}_t$ 、 $\Sigma_t$  を用いて、 $t$  フレームの俯瞰画像から地図中への平面射影行列  $\mathbf{A}_t$  を求める．

$$\mathbf{A}_t = \Sigma_t \mathbf{A}_{t-1} \mathbf{M}_t \quad (5)$$

このとき、1 フレームの俯瞰画像から得られる特徴点の

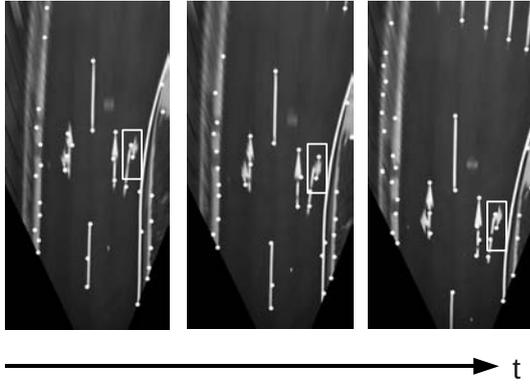


図 6: フレームごとの特徴点の違い: 矩形領域で示す特徴点の位置がフレームごとに異なることを表す。

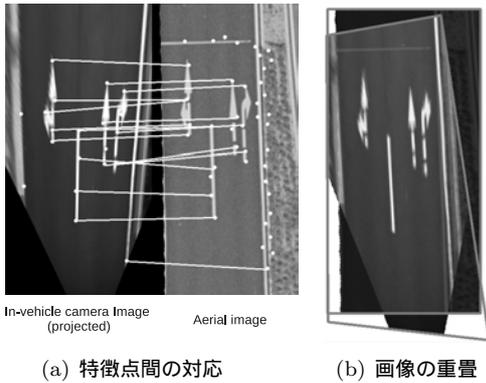


図 7: 俯瞰画像と空撮画像の照合: (a) において、丸印は抽出された特徴点を示し、線分はそれらの対応を示す。(b) における矩形領域は俯瞰画像、および地図 (空撮画像) の照合範囲を示す。

数が、地図との照合を行うために十分でないことが考えられる。また、図 6 中の矩形領域で示すように、各フレームの俯瞰画像中の特徴点は、車両の姿勢の変動による形状の歪みや、輝度の変化などにより抽出結果が異なる場合がある。そのため、提案手法では連続する複数フレームの特徴点を用いて地図と照合する。この照合のため、 $t'$  フレームの特徴点の集合  $\mathcal{Y}^{t'} = \{y^{t',1}, \dots, y^{t',M_{t'}}\}$  を、 $t$  フレームにおける点の集合  $\mathcal{Y}^t = \{y^{t,1}, \dots, y^{t,M_t}\}$  に座標変換して用いる。各特徴点は、 $y^{t',m_{t'}} = \mathbf{A}^{t'} y^{t,m_t}$  を満たす。そして、現在を含む過去  $F$  フレームの特徴点の集合  $\{\mathcal{Y}^t, \mathcal{Y}^{t-1}, \dots, \mathcal{Y}^{t-(F-1)}\}$  を、式 4 を満たす  $\mathbf{x}_n$  を対応付けることにより、 $\Sigma_t$  を求める。これにより、抽出される特徴点の違いに対応するとともに、地図と大域的な照合を行う。

図 7 に俯瞰画像と空撮画像の照合の例を示す。図 7 (a) は、俯瞰画像、および空撮画像から抽出した特徴点の対応を示し、図 7 (b) は、求めた  $M_t$ 、 $\Sigma_t$  を用いて俯瞰画像を空撮画像上へ投影し、重ね合わせたものを示す。道路面上の路面標示が良好に重っており、自車位置を精度良く求めることができる。

### 2.2.4 自車位置の算出

時刻  $t$  の自車位置  $\mathbf{p}_t$  を、 $t-1$  フレームの自車位置  $\mathbf{p}_{t-1}$  と、 $\Sigma_t$ 、 $M_t$  を用いて次式で求める。

$$\mathbf{p}_t = \mathbf{A}_t \mathbf{A}_{t-1}^{-1} \mathbf{p}_{t-1} \quad (6)$$

以上の処理を再帰的に行い、自車位置  $\mathbf{p}_t$  を推定する。

初期フレームにおける  $\mathbf{p}_0$ 、 $\mathbf{A}_0$  については、照合範囲の特定を行わずに照合することによって求める。

## 3. 実験

提案手法の有効性を示すため、実画像を用いて自車位置推定の実験を行った。本稿では、6 種類の条件が異なる空撮画像、および車載カメラ画像系列を用いて実験を行い、考察した。実験に用いた系列を表 1 に示し、図 8 に各系列に対応する画像例を示す。本実験で用いた空撮画像の解像度は 1pixel あたり 0.15m で、昼間に撮影されたものを用いた。また、車載カメラ画像の解像度は  $640 \times 480$  pixels であった。空撮画像中のオクルージョンは、道路面を遮蔽する車両や街路樹などを示す。そして、対象とする道路面全体に対してオクルージョン領域が目視で約 10% 以下のものをオクルージョン少、約 50% 以上のものをオクルージョン多とした。また、車載カメラ画像中のオクルージョンは、他車線を含む前方車両を示す。そして、前方車両が存在しないものや十分遠いもの (約 40m) をオクルージョン少、他車線を含めて前方車両が存在するものをオクルージョン多とした。ただし、車載カメラ画像ではオクルージョン多においても、前方 10m 程度は常に遮蔽されない状態であった。

自車位置の参照値として RTK-GPS の値を用い、この値と推定した自車位置の平均誤差を推定誤差を評価した。ただし、俯瞰画像と空撮画像間の特徴点の対応付け誤りにより照合が明らかに失敗する場合が見られた。そのため、このようなフレームを推定不可能と判定し、推定誤差から除外した。また、推定可能なフレーム数を計数し、推定成功率として評価した。推定不可能なフレームの検出は、空撮画像中に投影した俯瞰画像の領域の面積に対するしきい値処理と、その領域に対するねじれの判定 [10] により行った。以上をまとめると、提案手法の性能を以下の推定精度、および推定成功率で評価した。

$$\text{推定精度} = \frac{\text{推定可能フレームの誤差}}{\text{推定可能フレーム数}} \quad (7)$$

$$\text{推定成功率} = \frac{\text{推定可能フレーム数}}{\text{フレーム数}} \quad (8)$$

ただし、推定成功率が 50% 未満となった場合、その系列の推定精度は信頼できないものとして計測不可能とした。

比較手法として、Pink らの手法 [5] に基づく手法を用いた。これは、特徴点として現在のフレームにおける路面標示の中心点の位置のみを用いて、ICP 法によって空撮画像と照合を行い、自車位置を推定するものである。

比較手法は俯瞰画像から空撮画像への変換がアフィン変換ではなく平面射影変換である点で、Pinkらの手法と異なる。また、提案手法では空撮画像との照合に現在を含む5(=F)フレームの特徴点を用いた。

### 3.1 初期フレームにおける自車位置推定

初期フレームにおける自車位置  $p_0$ 、および俯瞰画像の空撮画像中への平面射影変換行列  $A_0$  は、前フレームの推定結果が存在しないため、普及型GPSの測定値を利用して推定を行った。普及型GPSは通常5-30m程度の推定誤差を含んでいるため、普及型GPSの測定値から30m範囲内の空撮画像を初期の照合範囲として与え、自車位置を推定した。初期フレームが推定不可能と判定された場合には、次のフレームから推定を再開した。また、途中のフレームで推定不可能となった場合においても、初期フレームと同様に推定を行った。

### 3.2 結果と考察

表2に各系列における結果を示す。いずれの系列においても、提案手法の推定精度が比較手法に比べて改善された。提案手法が比較手法と比べて改善した要因として、路面標示の特徴的な点を用いた上で、詳細な画像照合を行ったことが考えられる。また、連続する複数フレームから抽出した特徴点を用いたことも改善の要因として考えられる。空撮画像、車載カメラ画像ともにオクルージョンが少ない経路1においては、推定誤差が0.60mとなり、比較手法よりも誤差が小さくなった。これは、実環境における車線幅がおよそ3mであることを考慮すると、車線内の精度で自車位置推定が可能である。

推定成功率に関しても、いずれの系列においても提案手法が比較手法に比べ改善した。比較手法は、単一のフレームから抽出された少ない特徴点の位置のみを用いるため、平面射影行列を安定して求めることが困難であったと考えられる。これに対して、提案手法では、連続する複数フレームから抽出した多くの特徴点を用いることで、平面射影行列を安定して求めることができたと考えられる。また、提案手法、比較手法ともに一度フレームが推定不可能になった場合、その後のフレームが推定不可能になる場合が多く見られた。これから、広範囲(自車から30m範囲)から自車位置を求めることは、多くの場合、困難であると考えられる。そのため、推定不可能なフレームを減らすことが重要であると考えられる。

#### 3.2.1 オクルージョンの有無

車載カメラ画像中にオクルージョンが多く含まれる系列2では、比較手法では推定可能なフレーム数が全体の0.30であったが、提案手法では0.73と向上した。これは、提案手法では自車から前方車両までの限られた領域から抽出した特徴点であっても、連続する複数フレームを用いることで、空撮画像と照合できたためである。しかしながら、車載カメラ画像中のオクルージョンが少な

い系列1に比べて、推定誤差が0.98と増加した。これは、オクルージョン領域から抽出した特徴点が照合誤りの原因となったと考えられる。そのため、前方車両の検出により照合に適さない特徴点を除去するアプローチや、過去の照合で選択された特徴点の重み付け[11]により、照合に適した特徴点を選択することが有効と考えられる。

また、空撮画像中に多くのオクルージョンが含まれる系列3,4では、提案手法、および比較手法ともにほぼ全てのフレームで推定が不可能となった。これは、空撮画像中のオクルージョン領域から抽出された特徴点が照合に不適切であったと考えられる。そのため、車両などの検出によりオクルージョンの除去を行うことが必要となる。また、オクルージョンのない領域から、より照合に適した特徴点を得ることも精度向上に有効であると考えられる。よって、オクルージョンに頑健な照合に適した地図を構築することが今後の課題として挙げられる。

#### 3.2.2 道路形状の違い

カーブ区間である経路5では、比較手法では推定不可能なフレームが存在したが、提案手法では全フレームにおいて推定が可能であった。これによって、カーブ区間においても提案手法が有効であることが示された。しかしながら、直進区間である経路1と比べて、経路5では推定誤差が0.75mと増加した。これは、直進区間に比べカーブ区間において、車両の走行に伴う俯瞰画像の変化が大きいため、抽出した特徴点の位置ずれも大きくなるためであると考えられる。

#### 3.2.3 時間帯(昼夜)の違い

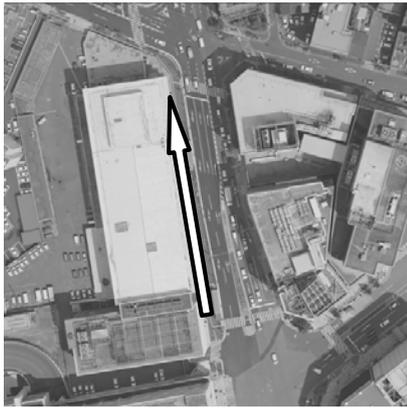
空撮画像と車載カメラ画像の撮影された時間帯が異なる系列6では、推定誤差が0.71mとなり、系列1の結果と同程度となった。これは、街灯やヘッドライトなどの照明により、道路面や路面標示の輝度が昼間と比べて同程度となるため、特徴点の抽出に影響がなかったと考えられる。

#### 3.2.4 処理時間

本実験では、計算機としてCPU: Intel(R) Core(TM) i7 860 2.80GHzを利用し、1フレームあたり平均処理時間0.6secを要した。より多くの特徴点の照合、他の処理の実行を考慮すると、更なる高速化が望まれる。

## 4. まとめ

本稿では、空撮画像と車載カメラ画像中の道路面の時系列の照合により、自車位置を推定する手法を提案した。提案手法のアプローチとして、道路面に存在する路面標示の特徴的な箇所(矢印のコーナなど)を抽出し、SURF特徴量で記述した。また、連続する複数フレームの車載カメラ画像中の特徴点を照合に用いた。これらによって、車載カメラ画像中の道路面から抽出される特徴点の数が少ない場合や、車両の動きなどにより安定して抽出できない場合に対応し、画像間の違いに対して頑健に空撮画像と車載カメラ画像の照合を行った。オクルージョンの

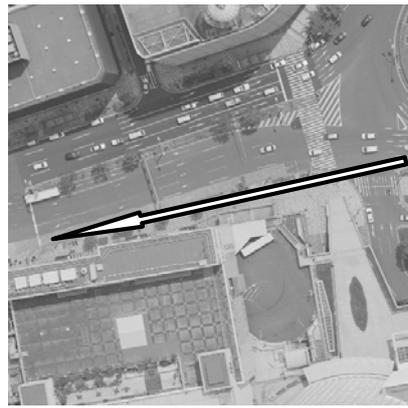


Aerial image



In-vehicle camera image

(a) 系列 1

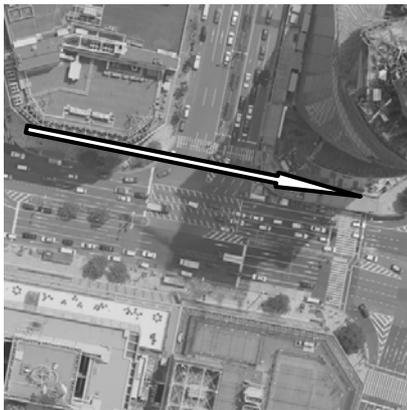


Aerial image



In-vehicle camera image

(b) 系列 2

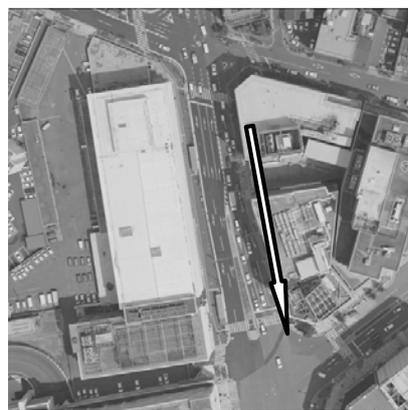


Aerial image



In-vehicle camera image

(c) 系列 3

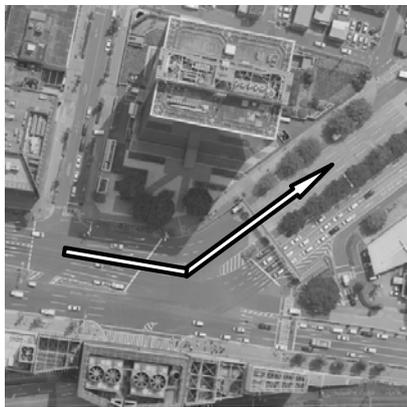


Aerial image



In-vehicle camera image

(d) 系列 4

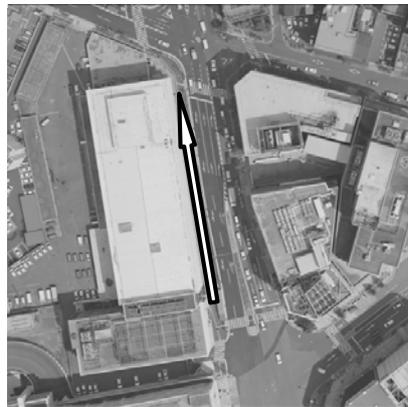


Aerial image



In-vehicle camera image

(e) 系列 5



Aerial image



In-vehicle camera image

(f) 系列 6

図 8: 走行経路: 空撮画像中の矢印は自転車の進行方向を示す.

表 1: 走行経路

系列番号	道路形状	経路長 (m)	空撮画像		車載カメラ画像	
			オクルージョン		オクルージョン	時間帯
系列 1	直線区間	85	少		少	昼間
系列 2	直線区間	100	少		多	昼間
系列 3	直線区間	100	多		少	昼間
系列 4	直線区間	75	多		多	昼間
系列 5	カーブ区間	72	少		少	昼間
系列 6	直線区間	85	少		少	夜間

表 2: 実験結果

系列番号	提案手法		比較手法	
	推定誤差 (m)	推定成功率	推定誤差 (m)	推定成功率
系列 1	0.60	1.00 ( 100 / 100 )	0.72	0.83 ( 83 / 100 )
系列 2	0.98	0.73 ( 87 / 120 )	N/A	0.30 ( 36 / 120 )
系列 3	N/A	0.12 ( 14 / 120 )	N/A	0.04 ( 5 / 120 )
系列 4	N/A	0.02 ( 2 / 120 )	N/A	0.00 ( 0 / 120 )
系列 5	0.75	1.00 ( 60 / 60 )	0.82	0.88 ( 53 / 60 )
系列 6	0.70	1.00 ( 150 / 150 )	0.75	0.90 ( 132 / 150 )

有無，撮影した時間帯の異なる場合などを含む画像系列に対して実験を行った結果，提案手法による自車位置の推定誤差が従来に比べて改善したことを確認した．

本稿で行った実験により，空撮画像に含まれるオクルージョンの存在が車載カメラ画像と照合する際，最も大きな問題であることが分かった．今後の課題として自車位置推定に適した地図構築手法を検討する必要がある．

## 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，JST 戦略的創造研究推進事業 CREST および科学研究費補助金による．また，本研究を進めるにあたり貴重なアドバイス，データを提供して頂いた（株）豊田中央研究所に深く感謝する．

## 文 献

- [1] S.Brakatsoulas, D. Pfoser, R. Salas, and C. Wenk, "On map-matching vehicle tracking data," Proc. 32th VLDB, pp. 853–864, Sep. 2005.
- [2] H. Uchiyama, D. Deguchi, T. Takahashi, I. Ide, and H. Murase, "Ego-localization using streetscape image sequences from in-vehicle cameras," Proc. IV2009, pp. 185–190, Jun. 2009.
- [3] 農宗千典, 小沢慎治, "道路形状情報と連続道路画像からの車両位置とカメラ姿勢の同時推定," 電子情報通信学会論文誌, Vol. J77-D-2, No. 4, pp. 764–733, 1994.
- [4] 大江統子, 佐藤智和, 横矢直和, 竹村治雄, "幾何学的位置合わせのための自然特徴点ランドマークデータベースを用いたカメラ位置・姿勢推定," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 285–294, 2005.
- [5] O. Pink, F. Moosmann, and A. Bachmann, "Visual features for vehicle localization and ego-motion estimation," Proc. IV2009, pp. 254–260, Jun. 2009.
- [6] J. Feldmar and N. N. Ayache, "Rigid, affine and locally affine registration of free-form surfaces," International Journal of Computer Vision, Vol. 18, No. 2, pp. 99–119, 1996.
- [7] Y. Lin, Q. Yu, and G. Medioni, "Map-enhanced uav image sequence registration," Proc. 8th WACV, pp. 15–20, Feb. 2007.
- [8] 西村孝, 藤吉弘巨, "空撮画像と衛星画像のレジストレーションによる道路状況把握のための車両移動方向の可視化," 情報処理学会研究報告. CVIM (36), pp. 129–136, 2008.
- [9] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool, "Surf: Speeded up robust features," CVIU, Vol. 110, No. 3, 2008.
- [10] 市村直幸, "局所不変特徴量に基づく複数広告看板の認識," 情報処理学会研究報告. CVIM (151), pp. 123–130, 2005.
- [11] 竹富貴史, 佐藤智和, 横矢直和, "拡張現実感のための優先度情報を付加した自然特徴点ランドマークデータベースを用いた実時間カメラ位置・姿勢推定," 電気電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-D, No. 8, pp. 1440–1451, 2009.