

## 空撮画像と時系列車載カメラ画像との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 岐阜県岐阜市中鷯 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: †{mnoda,ddeguchi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,  
†††{yoshiko-k,naito}@mosk.tytlabs.co.jp

あらまし 近年、車両の運転支援システムの高度化が望まれる中、自車の正確な位置を知ることが重要な課題となっている。正確な自車位置を知ることによって、高精度カーナビゲーションシステムなどへの応用が考えられる。本報告では、車載カメラ画像中の路面領域を仮想的に上空から見た俯瞰画像へと変換し、時系列の俯瞰画像と空撮画像を照合することによって自車位置を推定する手法を提案する。空撮画像を用いることで、高精度に自車位置を推定することができる。実験により、都心部において平均 0.61m、標準偏差 0.27m の自車位置推定精度を得た。

キーワード ITS, 自車位置推定, 車載カメラ画像, 空撮画像

## Ego-localization by Matching In-vehicle Camera Images with Aerial Image

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 Research & Development Laboratories, Inc. Nagakute, Aichi, 480-1192, Japan

E-mail: †{mnoda,ddeguchi,ide,murase}@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ttakahashi@gifu.shotoku.ac.jp,  
†††{yoshiko-k,naito}@mosk.tytlabs.co.jp

**Abstract** In recent years, the ITS technologies are researched actively. Especially, an accurate ego-localization estimation is becoming very important function in this field. By obtaining vehicle position accurately, it is possible to realize smart driving support system when changing driving lanes or entering cross-road. This paper proposes accurate ego-localization method consisting of two steps: (i) projection of in-vehicle camera images onto bird's-eye view, and (ii) sequential image matching of projection images and an aerial image. An aerial image is used for obtaining global position of a vehicle without accumulation error. We evaluated our method by comparing estimated vehicle position with gold standards. Experimental results showed that the average estimation error was 0.61m (SD: 0.27m).

**Key words** ITS, Ego-localization, In-vehicle Camera Image, Aerial Image

### 1. はじめに

近年、ITS (Intelligent Transport Systems) に関する研究が盛んに行われており、その中に自車の正確な位置を知ることが重要な課題として挙げられる。自車の正確な位置を知ること

によって、高精度カーナビゲーションシステムなどへの応用が考えられる。自車位置の推定には、センサとして GPS (Global Positioning System) を利用する方法が一般的であるが、普及型 GPS による自車位置推定精度は通常 5m 以上の誤差を有する。一方、車両に搭載されたジャイロセンサなどにより自車位

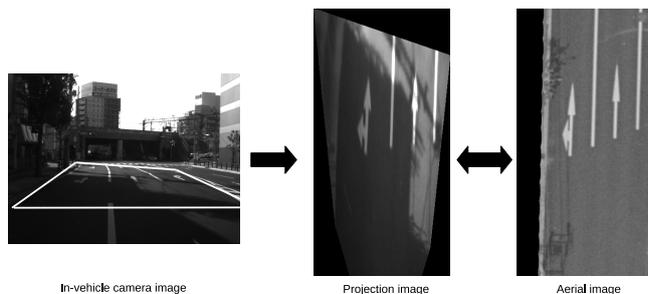


図 1: 車載カメラ画像と空撮画像の違い

位置を求める手法（自律航法）は、走行に伴う累積誤差の影響が無視できない。また、車載カメラ画像から自車の動き情報 [1] を推定する手法も同様の問題を持つ。

これに対して、累積誤差をなくすために、各時刻において自車から得られる情報を事前に構築した位置情報付きの地図と照合することによって誤差を補正する研究が行われている [2]–[5]。これらの従来手法はそれぞれ照合に用いる情報として、車載カメラで撮影された自車前方の道路形状 [2]、レーザデータから取得された距離情報 [3]、全方位カメラから撮影された街並み画像 [4] を利用している。また、Pink らは車載カメラ画像と地図として空撮画像を用いることで自車位置を推定する手法を提案している [5]。手法 [2]–[4] が地図の構築のために多くの経路を走行する必要があることに比べ、手法 [5] は一度に広範囲を撮影できるため、地図の構築が容易であるという利点を持つ。そこで本研究では、この手法と同様に空撮画像を利用することで自車位置を推定する。

従来手法 [5] は、車載カメラ画像と車載カメラ画像から抽出した特徴点の配置を ICP (Iterative Closest Point) 法を用いて照合することによって、自車位置を推定している。しかしながら、ICP 法は特徴点の配置のみを照合するため、各画像から抽出する特徴点の配置が概ね同じである必要がある。しかしながら、図 1 に示すように撮影時期の違いによる影などの存在によって、車載カメラ画像と空撮画像には違いが生じる（図 1 中では、車載カメラ画像を空撮画像と仮想的に視点を同じにした俯瞰画像に変換した上で、空撮画像と比較している）。これによって、抽出される特徴点に差異が生じるため、自車位置の推定が困難となる。他にも、走行に伴う自車の姿勢変動による画像変化に対応することが難しい。

本研究と目的は異なるが、Lin らはヘリコプタなどから撮影した空撮画像と広域を撮影した衛星画像の異なる画像を照合することによって、これらの画像のモザイクを行う手法を提案している [6]。この手法は、局所領域において詳細な画像照合を行うことで、色分布や車両などの存在による画像の違いに頑健な対応付けを実現している。また、空撮画像の時系列の対応付けにより、衛星画像と照合する範囲を制限することで、照合誤りを削減している。

本研究では、自車位置の推定には手法 [6] が持つ異なる画像間の画像照合と時系列の画像対応付けの考え方をを用いることで、車載カメラ画像中の自車前方の路面領域を空撮画像と照合し、

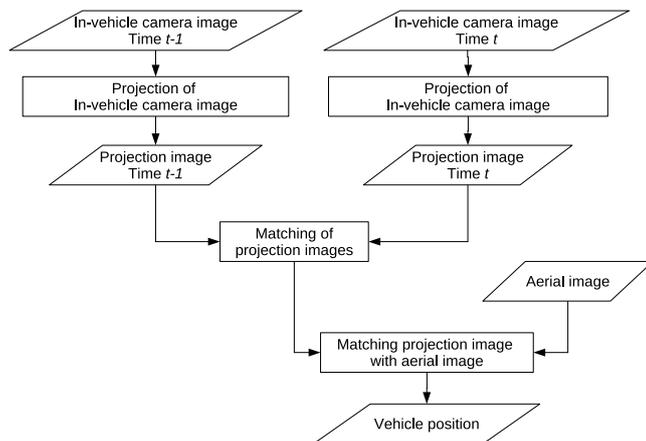


図 2: 処理の流れ

自車位置を推定する。これによって、従来手法 [5] が持つ撮影時期の違いや自車の姿勢変動による空撮画像と車載カメラ画像の違いに対応する。

本報告では、2. で空撮画像と車載カメラ画像の照合による自車位置推定手法について述べる。3. で自車位置推定実験を行い、4. でまとめる。

## 2. 提案手法

### 2.1 概要

本手法では、車載カメラ画像中の路面領域を空撮画像中の同領域と対応付けることで自車位置を推定する。時刻  $t$  における自車位置を空撮画像中の位置  $p_t = (x_t, y_t)$  として表す。ここで、空撮画像は地図と対応付けしており、緯度・経度情報を持っているため、 $p_t$  を求めることで、実世界の座標を求めることができる。車載カメラ画像と空撮画像では撮影する視点が大きく違うため、車載カメラ画像中の路面領域を直接対応付けることは難しい。そのため、車載カメラ画像を仮想的に上空から見た俯瞰画像へと射影変換し、俯瞰画像と空撮画像を照合する。

本手法では、異なる画像を時系列に対応付ける Lin らの手法 [6] と同じ考え方をを用い、俯瞰画像と空撮画像を照合することで、自車位置の推定を行う。時刻  $t$  の自車位置  $p_t$  は、時刻  $t-1$  の自車位置  $p_{t-1}$  から推定する。

図 2 に時刻  $t$  における提案手法の処理の流れを示す。はじめに、車載カメラ画像中の路面領域を俯瞰画像へと射影変換する。そして、連続する時刻の俯瞰画像を対応付けることで、俯瞰画像間の射影変換行列の推定を行う。この射影変換行列は、各時刻で俯瞰画像から抽出した特徴点の対応付けによって求める。次に、俯瞰画像間の射影変換行列を用いて俯瞰画像を空撮画像中へ射影変換し、空撮画像との共通領域を切り出す。そして、この共通領域において、俯瞰画像と空撮画像の照合を行うことで、これらの画像間の生じた誤差を求める。この誤差は、俯瞰画像間を対応付ける際に抽出した特徴点ごとにその周辺における空撮画像との相互情報量が最大となる位置を対応付けることで求める。

以下、2.2 で空撮画像と車載カメラ画像の照合による自車位置推定について述べ、2.3 以降で図 2 の各処理について述べる。

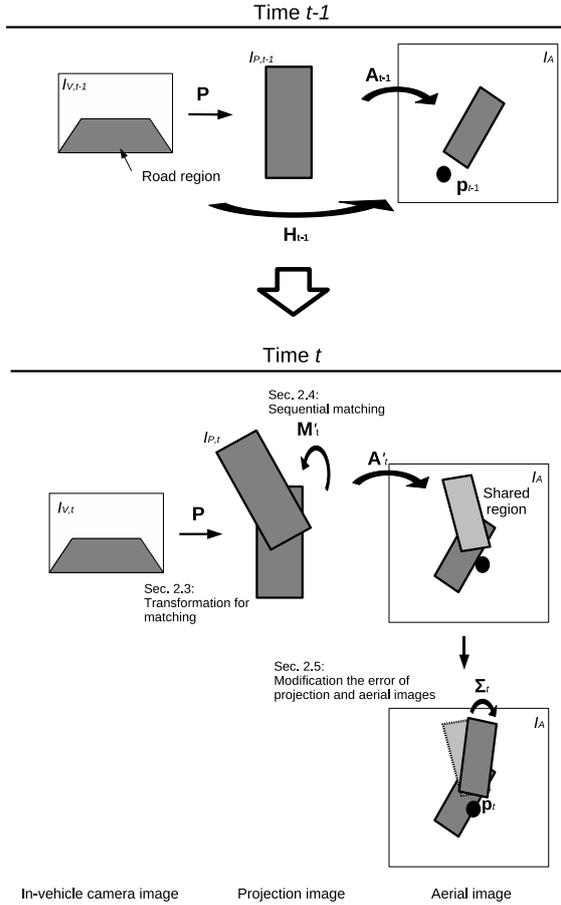


図 3: 空撮画像と車載カメラ画像の照合による自転車位置推定

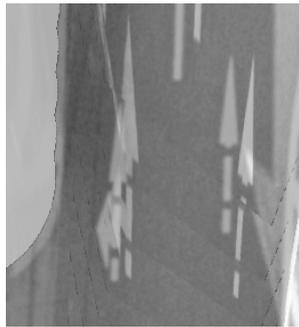


図 4: 空撮画像と俯瞰画像の共通領域におけるずれ

2.2 空撮画像と車載カメラ画像の照合による自転車位置推定  
提案手法による空撮画像と車載カメラ画像の照合の過程を  
図 3 に示す。空撮画像を  $I_A$ 、時刻  $t$  における車載カメラ画像を  
 $I_{V,t}$  とし、次式を用いて  $I_{V,t}$  の路面領域を  $I_A$  に射影変換する。

$$H_t = A_t P \quad (1)$$

ここで、 $P$  は車載カメラ画像中の路面領域から俯瞰画像への射  
影変換行列、 $A_t$  は時刻  $t$  における俯瞰画像から空撮画像への  
射影変換行列を表す。また、 $P$  を用いて  $I_{V,t}$  を射影変換して得  
られる俯瞰画像を  $I_{P,t}$  とする。時刻  $t-1$  において、図 3 中の  
 $P$ 、 $A_{t-1}$ 、 $p_{t-1}$  は既に求めているものとする。

本手法では、車両の運動が時間的に連続であり、隣接する時  
刻における車載カメラ画像中に共通して存在する路面標示など

を利用し、 $A_t$  を求めることを考える。任意の時刻  $t$  において、  
 $A_t$  は以下の関係を持つ。

$$A_t = M_t A_{t-1} \quad (2)$$

ここで、 $M_t$  は時刻  $t-1$  における俯瞰画像  $I_{P,t-1}$  を  $t$  にお  
ける俯瞰画像  $I_{P,t}$  上へ射影変換する行列を表す。 $M_t$  は連続した  
 $I_{P,t-1}$  と  $I_{P,t}$  間の対応付けによって求めることができる。しか  
しながら、対応付けには誤差が生じるため、実際には  $M_t$  は誤  
差  $\Sigma_t$  を持つ  $M'_t$  として得られる。ここで、 $M_t$  と  $M'_t$  には、誤  
差  $\Sigma_t$  を用いて次式が成り立つ。

$$M_t = \Sigma_t M'_t \quad (3)$$

また、同様に  $A_t$  は、誤差  $\Sigma_t$  を持つ  $A'_t$  として、式 (2) より  
次式で表される。

$$A'_t = M'_t A_{t-1} \quad (4)$$

次に、俯瞰画像  $I_{P,t}$  と空撮画像  $I_A$  を照合することによって、  
誤差  $\Sigma_t$  を求める。まず、 $I_{P,t}$  を  $A'_t$  を用いて、 $I_A$  中へ射影変  
換する。射影変換した  $I_{P,t}$  と重なる  $I_A$  中の共通領域には、図 4  
で示すように誤差  $\Sigma_t$  によりずれが生じる。そのため、共通領  
域で  $I_{P,t}$  と  $I_A$  の照合を行い、 $\Sigma_t$  を求めることで、このず  
れを補正する。また、式 (3) より  $M_t$  を求める。

最後に  $M_t$  を用いて、時刻  $t$  における自転車位置  $p_t$  を求める。

$$p_t = M_t p_{t-1} \quad (5)$$

以上の考えに基づき、自転車前方の車載カメラ画像中の路面領  
域を空撮画像と時系列に照合することで、自転車位置を求める。

また、式 (2) を再帰的に計算することで、次式が得られる。

$$\begin{aligned} A_t &= M_t A_{t-1} \\ &= (\Sigma_t M'_t \cdots \Sigma_1 M'_1) A_0 \end{aligned} \quad (6)$$

上式を用いて、式 (1)、および式 (5) は次のように置き換え  
られる。

$$A_t = (\Sigma_t M'_t \cdots \Sigma_1 M'_1) A_0 P \quad (7)$$

$$p_t = (\Sigma_t M'_t \cdots \Sigma_1 M'_1) p_0 \quad (8)$$

これによって、 $P$ 、 $A_0$ 、および  $p_0$  が既知であれば、各時刻で  
 $M'_t$  と  $\Sigma_t$  を求めることにより、時刻  $t$  の自転車位置を得るこ  
とができる。

以下に各処理の詳細を述べる。

### 2.3 俯瞰画像への射影変換

路面を平面と仮定し、射影変換行列  $P$  を用いて車載カメラ画  
像  $I_{V,t}$  中の路面領域を俯瞰画像  $I_{P,t}$  へと変換する。図 5 に車  
載カメラ画像と俯瞰画像の関係を示す。この射影変換は、図 5  
中の車載カメラから撮影された画像を上空の仮想的なカメラか  
ら撮影された画像に変換することに相当する。本手法では、自  
車前方の任意の矩形領域を路面領域とした上で、既知のカメラ  
パラメータを用いて車載カメラ画像を俯瞰画像上へ射影変換す  
る。そして、路面領域の端点の対応関係から  $P$  を求める。

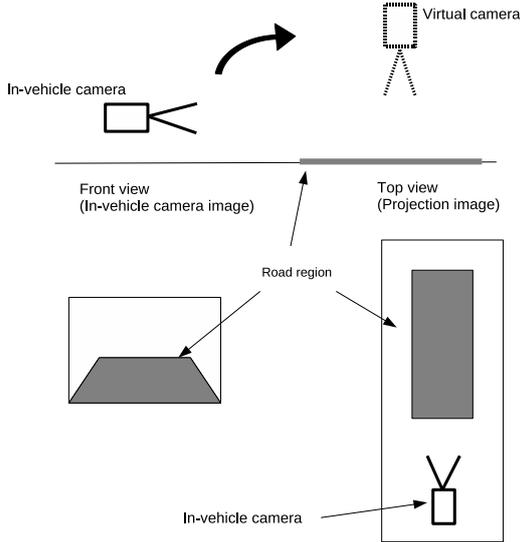


図 5: 車載カメラ画像と俯瞰画像の関係

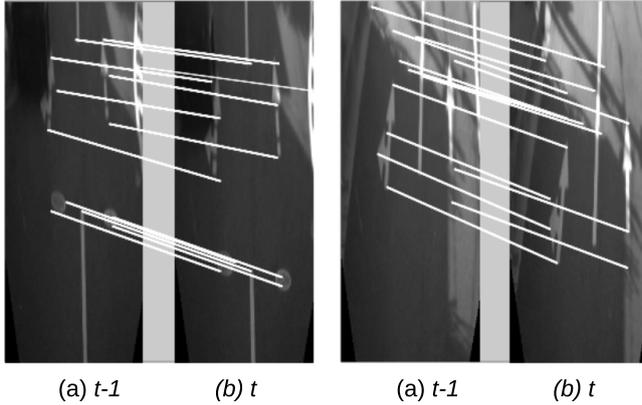


図 6: 時系列の俯瞰画像間の対応付け: 画像 (a) は時刻  $t-1$ 、画像 (b) は時刻  $t$  の俯瞰画像を示す。白い実線は各画像から抽出した特徴点間の対応を示す。

## 2.4 時系列の俯瞰画像間の対応付け

時刻  $t-1$  と  $t$  における俯瞰画像  $I_{P,t-1}$ ,  $I_{P,t}$  間の対応付けによって、 $M_t^i$  を求める。それぞれの俯瞰画像から Harris オペレータによって抽出した特徴点に対して、Lucas-Kanade 法 [8] を用いて初期対応付けを行う。このとき、時刻が連続する俯瞰画像に含まれる特徴点の位置は大きく変化しないため、対応付いた特徴点同士のユークリッド距離がしきい値以上ならば外れ値として除去する。そして、特徴点の組から RANSAC により 4 点を選択し、 $M_t^i$  を求める [9]。

図 6 に時系列の俯瞰画像間の対応付け例を示す。これらの図から路面標示のコーナや影の境界などを特徴点とし、各時刻において良好に対応付いていることが分かる。

## 2.5 俯瞰画像と空撮画像の照合

式 (6) で求められる  $A_t^i$  を用いて、俯瞰画像を空撮画像中に射影変換した上で、両画像の共通領域を切り出す。次に、車載カメラ画像と空撮画像の撮影条件の違いによる大きな輝度変化に対応するため、共通領域の平均輝度が俯瞰画像と同じになるように空撮画像の輝度変換を行う。

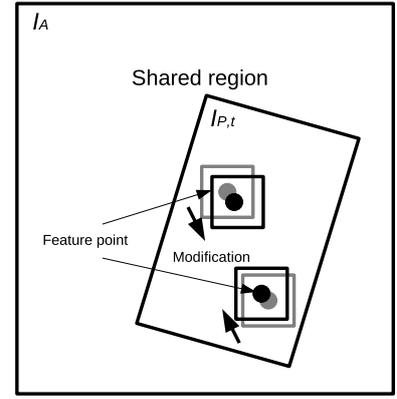


図 7: 俯瞰画像と空撮画像の対応付け

続いて、図 7 に示す共通領域において俯瞰画像と空撮画像を詳細に照合する。照合には主に医用画像の位置合わせに用いられる相互情報量を用いる [10]。俯瞰画像中の特徴点  $f$  を中心とした局所領域を  $\mathcal{R}_f$ 、 $f$  に対応する空撮画像中の特徴点  $f'$  を中心とした局所領域を  $\mathcal{R}_{f'}$  としたとき、これら領域間の相互情報量  $MI$  は次式で表される。

$$MI(\mathcal{R}_{f_i}; \mathcal{R}_{f'_i}) = E(\mathcal{R}_{f_i}) + E(\mathcal{R}_{f'_i}) - E(\mathcal{R}_{f_i}, \mathcal{R}_{f'_i}) \quad (9)$$

ここで、 $f_i$  は俯瞰画像中の  $i$  番目の特徴点の位置、 $f'_i$  は  $f_i$  に対応する空撮画像中の位置を表す。また、 $E(\mathcal{R}_{f_i})$ ,  $E(\mathcal{R}_{f'_i})$  はそれぞれ  $f_i$ ,  $f'_i$  を中心とした各画像中の局所領域のエントロピーを示し、 $E(\mathcal{R}_{f_i}, \mathcal{R}_{f'_i})$  は各画像中の局所領域の結合エントロピーを表す。各エントロピーは各局所領域において輝度ヒストグラムを求めた上で、領域中の画素の生起確率から求める。

相互情報量を用いた照合によって、2.4 で抽出した俯瞰画像中の各特徴点  $f_i$  について、次式で表される  $MI$  が最大となる空撮画像中の位置  $f'_{i,max}$  を求め、 $f_i$  と  $f'_{i,max}$  を対応点とする。

$$f'_{i,max} = \arg \max_{f'_i \in \mathcal{R}_i} MI(\mathcal{S}_{f_i}; \mathcal{S}_{f'_i}) \quad (10)$$

このとき、前方車両などのオクルージョンや強い影による照合誤りを抑えるため、相互情報量がしきい値未満であれば、外れ値として除去する。最後に、得られた対応点から RANSAC を用いて 4 点を選択し、 $\Sigma_t$  を求める。

図 8 に俯瞰画像と空撮画像の対応付け例を示す。照合誤りとなりうる影の境界上にある特徴点を避けて俯瞰画像と空撮画像が対応付いていることが分かる。

## 2.6 自転車位置の推定

最後に、 $M_t$  を求め、時刻  $t$  の自転車位置  $p_t$  を式 (8) により得る。

## 3. 実験

提案手法の有効性を確認するため、自転車位置の推定実験を行った。本実験では、名古屋駅近辺のおよそ 100m の道路区間における位置推定精度によって、提案手法を評価した。本実験で対象とした道路区間で撮影した時系列の車載カメラ画像 200 フレームを使用し、各フレームを時刻  $t$  として扱う。また、これらの車載カメラ画像には街路樹による影や駐車車両が存在し

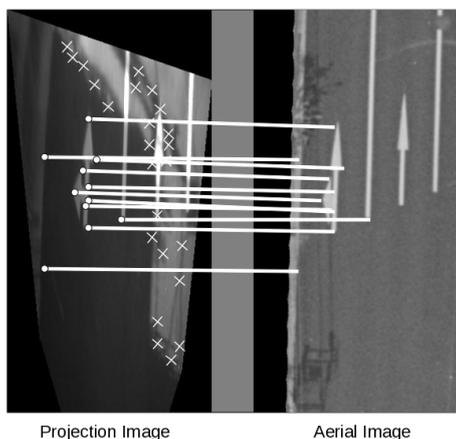


図 8: 俯瞰画像と空撮画像の対応付け例: 左側は俯瞰画像, 右側は空撮画像を示す. 白い実線は各画像の対応点を示し, 俯瞰画像中の印は対応付いた特徴点, x印は対応付かなかった特徴点を示す.

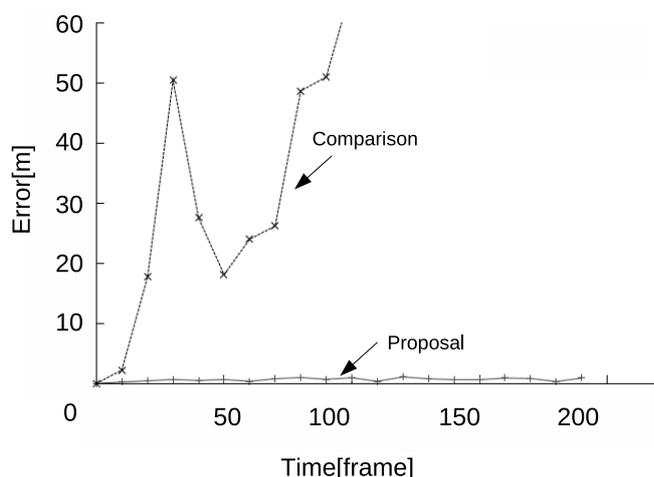


図 9: 自転車推定結果

ており, 空撮画像との違いが含まれた. 本実験に用いた車載カメラ画像の解像度は  $640 \times 480$  pixels, フレームレートは 10fps であり, カメラの内部パラメータは既知とした. また, 空撮画像の解像度は  $15\text{cm}/\text{pixel}$  であり, 照合範囲の路面領域は事前に手動で抽出した. 本実験では, 推定した自転車位置と真の自転車位置との誤差によって提案手法の自転車位置推定精度を評価した. ここで, 空撮画像上における推定した自転車位置と真の自転車位置とのユークリッド距離を自転車位置推定の誤差とした. また, 真の自転車位置は提案手法の処理を手動で行うことによって与えた. 車載カメラ画像から俯瞰画像への射影変換行列  $P$ , 時刻  $t = 0$  における俯瞰画像から空撮画像への射影変換行列  $A_0$ , および自転車位置  $p_0$  を既知として与えた. 比較手法として, 空撮画像との照合を行わずに各時刻の俯瞰画像の対応付けの累積によって自転車位置を推定する手法を用いた.

### 3.1 結果と考察

実験の結果, およそ 100m の道路区間における提案手法の推定精度は平均  $0.61\text{m}$ , 標準偏差  $0.27\text{m}$  となった. 図 9 に提案手法, および比較手法の各時刻 (横軸) における真の自転車位置に

に対する推定した自転車位置の誤差 (縦軸) を示す. 比較手法では, 92 フレームにおいて真の自転車位置との誤差が  $50\text{m}$  を超えたため, 以後の時刻では計測不可とした. 図 10 に提案手法によって推定した各時刻の射影変換行列を用いて, 自転車前方の路面領域をモザイク化した画像を空撮画像に重畳したものを示す. また, 図 11 に図 10 中の破線で示す矩形領域における提案手法, および比較手法による自転車位置推定結果を示す.

図 9, および図 11(a) より, 提案手法によって高精度に自転車位置を推定できていることが分かる. また, 図 10 に示すモザイク化結果より, 影などの存在により俯瞰画像と空撮画像に違いが生じていても, 良好にこれらの画像を照合できていることが分かる.

これに対して, 比較手法では時刻の経過に伴い真の自転車位置に対する誤差が増大していることが, 図 9 より分かる. これは, 自転車の走行に伴う姿勢変化によって, 図 11(b) から分かるように各時刻において対応付けに誤差が発生することに起因する. このような姿勢変動による誤差は, 特に自転車が交差点侵入時や車線変更時に速度を落とした場合, ハンドルを大きく切った場合に見られた. 各時刻において提案手法による推定した自転車位置が, 比較手法と比較して高精度であるため, 提案手法が自転車の姿勢変化にも頑健に自転車位置を推定できることが示された.

以上の結果から, 提案手法の自転車位置推定に対する有効性を確認した. また, 様々な状況で提案手法を適用する上で, 以下の事柄が今後の検討課題として挙げられる.

#### 路面のテクスチャが乏しい場合への対応

路面のテクスチャが乏しい場合, 時系列の俯瞰画像間, および俯瞰画像と空撮画像の対応付けが困難となることが考えられる. 本実験に用いたデータにはこのような状況が存在しなかったが, 今後の課題として検討する予定である.

#### 大きなオクルージョンの存在への対応

俯瞰画像と空撮画像を照合する際, 相互情報量が小さい対応点は除去するため, 多少のオクルージョンの存在は問題とならない. しかしながら, オクルージョンが大きい場合は, 射影行列の算出そのものが困難となる. そのため, そのような場合は, 他の自転車位置推定手法に切り替えるなどの処理が必要になると考えられる.

#### 複雑な道路形状への対応

本実験より, 車線変更時の姿勢変動に対応できることを確認した. そこで, 今後はカーブや坂道など複雑な道路形状への対応を検討する予定である.

#### 照合処理の高速化

本実験には, CPU が Core2 Quad 2.83GHz, メモリが 4.0GB の計算機を使用し, 1 枚の車載カメラ画像と空撮画像の照合に平均 1.5 秒を要した. 自転車位置推定はリアルタイムに動作する必要があるため, 処理の高速化は重要な検討課題である.

## 4. む す び

本報告では, 車載カメラ画像中の自転車前方の路面領域と空撮画像中の同領域を照合することによって, 自転車位置を推定する手法を提案した. 提案手法は, まず時系列の車載カメラ画像中

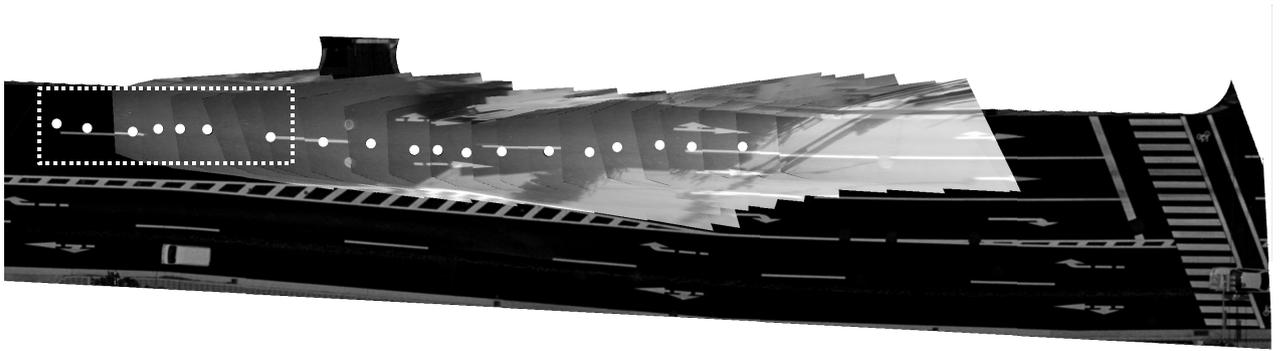
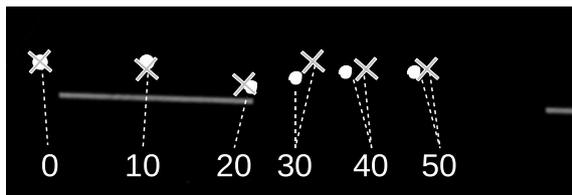
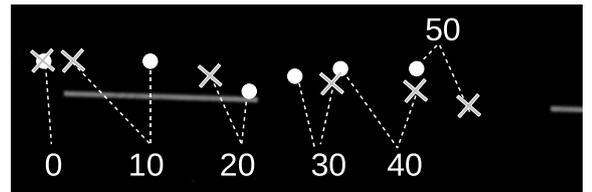


図 10: 提案手法によるモザイクング結果: 図中では俯瞰画像をモザイクングした領域を高い輝度で, 空撮画像を低い輝度で表す. また, 図中の  $\times$  印は真の自車位置を示す.



(a) 提案手法



(b) 比較手法

図 11: 図 10 中の破線で囲まれた矩形領域における (a) 提案手法, および (b) 比較手法の自車位置推定結果: 図中の  $\times$  印は真の自車位置,  $\times$  印は推定した自車位置を示す. また, 図中の数字は時刻  $t$  を示し, 破線は各時刻に対応する真の自車位置, および推定した自車位置を示す.

の路面領域を上空から見た俯瞰画像へと射影変換し, 時系列に対応付ける. また, 俯瞰画像と空撮画像を照合することに俯瞰画像間の対応付けの誤差を補正する. 最後に, 得られた時系列の照合結果を用いて自車位置の推定を行うものである. 実験の結果, 都心部のおよそ 100m の道路区間において平均 0.61m, 標準偏差 0.27m の自車位置推定精度を得た. これによって提案手法の有効性を確認した.

今後の課題として, 路面のテクスチャが乏しい場合や車両などのオクルージョンの存在する場合, 複雑な形状を持つ道路を走行している場合に提案手法を適用し, 精度を評価することが挙げられる. また, 照合処理の高速化, 空撮画像中の道路領域抽出の自動化などが挙げられる.

## 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, 本研究では画像処理に MIST ライブラリ (<http://mist.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/>) を使用した.

## 文 献

- [1] 関 晃仁, 奥富 正敏, “ステレオ動画画像を利用した道路路面領域の抽出と追跡による自車両の運動推定”, CVIM2006 (13) pp.90–pp.99, Mar., 2006.
- [2] 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 D-2, Vol. J77-D-2, No.4, pp.764–733, May, 1994.
- [3] 渋谷 奈保, 高橋 友和, 井手 一郎, 村瀬 洋, 小島 祥子, 高橋 新, “車載レーザスキャナによる距離データマップの構築と高精度自車位置推定”, 電子情報通信学科論文誌, Vol.J92-D, No.2, pp.215–225, Feb. 2009.

- [4] 内山 寛之, 出口 大輔, 高橋 友和, 井手 一郎, 村瀬 洋, “市街地映像マップと 2 台の車載カメラを用いた自車位置推定”, 第 12 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 2009 論文集, IS2-21, pp.992–999, 松江市 くにびきメッセ, Jul. 2009.
- [5] Oliver Pink, Frank Moosmann and Alexander Bachmann, “Visual Features for Vehicle Localization and Ego-Motion Estimation”, IEEE Intelligent Vehicle Symposium (IV2009), pp.254–260, Xi 'an, Shaanxi, China, Jun., 2009.
- [6] Yuping Lin, Qian Yu and Gerard Medioni, “Map-Enhanced UAV Image Sequence Registration”, WACV, pp.15–20, 2007.
- [7] Ke and Kanade, “Transforming camera geometry to a virtual downward-looking camera: Robust ego-motion estimation and ground-layer detection”, Proceedings IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2003), pp.390–397, June, 2003.
- [8] Bruce D. Lucas and Takeo Kanade, “An iterative image registration technique with an application to stereo vision”, Proceedings of Imaging understanding workshop, pp.121–130, 1981.
- [9] Martin A. Flisler and Robert C. Bolles, “Random sample consensus: A paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography”, Communications of ACM, 24, 6, pp.381–395, 1981.
- [10] Paul A. Viola, “Alignment by Maximization of Mutual Information”, International Journal of Computer Vision, 24(2) pp.137–154, 1997.