

自車位置推定のための空撮画像と車載カメラ画像の照合手法の検討

Matching In-vehicle Camera Image to Aerial Image for Vehicle Ego-localization

野田 雅文¹ 高橋 友和^{1,2} 出口 大輔¹ 井手 一郎¹

村瀬 洋¹ 小島 祥子^{1,3} 内藤 貴志³

Masafumi NODA¹, Tomokazu TAKAHASHI^{1,2}, Daisuke DEGUCHI¹, Ichiro IDE¹

Hiroshi MURASE¹, Yoshiko KOJIMA^{1,3} and Takashi NAITO³

¹ 名古屋大学 ² 岐阜聖徳学園大学 ³ 株式会社 豊田中央研究所

mnoda@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

概要: 本発表では、空撮画像と車載カメラ画像を用いた高精度な自車位置推定手法を提案する。提案手法では、空撮画像と車載カメラ画像に共通する道路面領域を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、撮影角度や撮影時期やなどの撮影条件が大きく異なるため、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、前方車両による道路面の遮蔽に対応するため、連続する複数フレームを用いて空撮画像と照合する。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を実現する。そして照合結果を用いて、自車位置を推定する。評価実験を行った結果、前方車両の有無、撮影された時間帯が異なる場合などに対する提案手法の有効性を確認した。

1 はじめに

本発表では、空撮画像と車載カメラ画像を照合することにより、地図上における高精度な自車位置の推定手法を提案する。高精度な自車位置を推定することによって、車線案内といった高度なカーナビゲーションなどに応用が可能となる。

近年、このような自車位置推定技術において、車載カメラ画像を用いた推定技術が注目されている [1, 2]。車載カメラを用いることにより、普及型 GPS などによる計測やマップマッチング [3] などの従来技術よりも高精度な自車位置を推定が可能となる。また、歩行者検出などの異なる目的と併用できるという利点もある。従来研究では、過去に撮影した車載カメラ画像を位置情報付きの地図として利用し、現在の画像と照合する。このとき、正確な位置情報を持つ地図を必要とするため、地図構築と同時に自車位置を推定する必要がある。

一方、近年では Google Maps [4] などの普及により、高解像度、かつ正確な位置情報を持つ空撮画像が、比較的容易に入手が可能である。このため、図 1 に示すように、本研究では空撮画像を位置情報付きの地図として用い、車載カメラ画像と共

通する道路面領域の照合を行うことにより、高精度な自車位置を推定する手法を提案する。空撮画像には車載カメラ画像と共通する路面標示が存在するため、画像照合を行う際に利用できる。また、空撮画像を利用することで、広範囲のデータを一度に取得でき、自車位置推定のための大規模な地図を構築しやすいという利点を持つ。従来研究として、Pink らは道路面に印字された路面標示領域の重心位置を特徴点として抽出し、空撮画像と車載カメラ画像を照合する手法を提案している [5]。しかしながら、この手法は、空撮画像と車載カメラ画像から抽出される特徴点の位置が異なる場合に推定性能が低下する。これは、図 2 に示すように撮影角度や撮影時期の違い、また路面標示の欠けなどが含まれることによる両画像間の違いが原因となる。また、前方車両により車載カメラ画像中の道路面が遮蔽されることも推定性能低下の要因となる。そのため、空撮画像と車載カメラ画像の違いに対して頑健に照合する手法が必要となる。

そこで提案手法では、空撮画像と車載カメラ画像を高精度に照合するため、特徴点として路面標示のコーナを抽出し、SURF 特徴量を用いる。また、前方車両による道路面の遮蔽に対して安定し

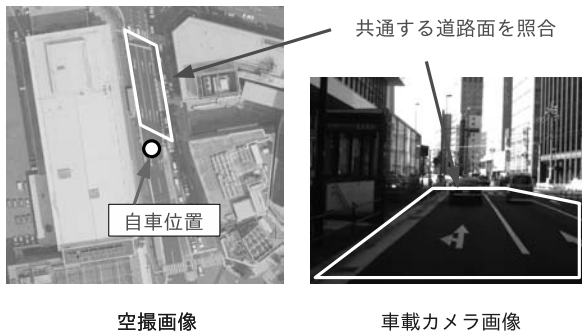


図 1: 空撮画像を用いた自車位置推定

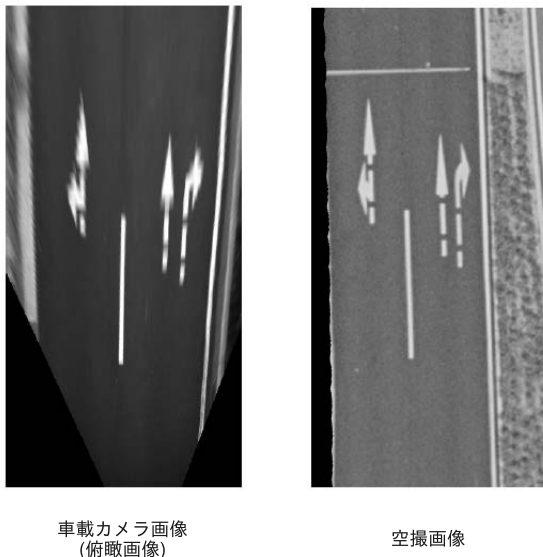


図 2: 路面標示の見えの違い

た照合を行うため、連続する複数フレームを用いて照合を行う。これらのアプローチによって自車位置を推定する。

提案手法は、空撮画像を用いて位置情報付きの特徴点地図を構築する処理と、特徴点地図と車載カメラ画像の照合による自車位置推定処理、の2つからなる。図 3 に各処理の流れを示す。本発表では、2 節で特徴点地図の構築処理、3 節で自車位置の推定処理について述べる。そして、4 節で実験結果を示し、考察する。最後に 5 節でまとめる。

2 特徴点地図の構築

空撮画像中の道路領域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。空撮

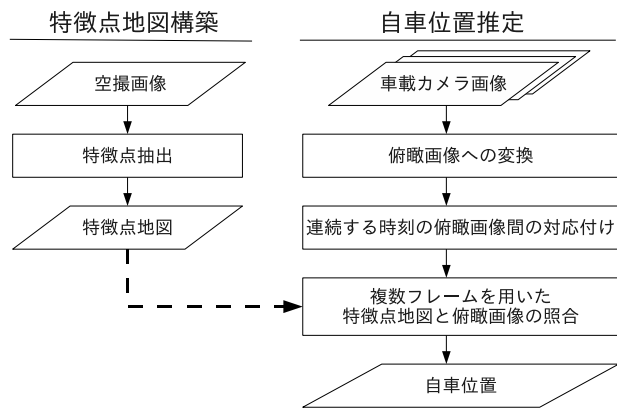


図 3: 処理の流れ

画像には経緯度情報が付随しており、画像中の位置と経緯度は 1 対 1 に対応する。図 4 に構築した特徴点地図の例を示す。

地図構築の詳細を以下に述べる。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。

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施し、領域分割を行う。
 2. 得られた領域のうち、しきい値以下の面積を持つ領域を除去する。
 3. 残された領域に対して、Harris オペレータ [6] を用いてコーナを抽出し、それらの特徴点とする。これによって得られる特徴点の位置を x_n ($n = 1, \dots, N$) と表し、図 4 中に白点で示す。
 4. 各特徴点周辺から SURF 特徴量 [7] を計算する。SURF 特徴量は、各特徴点が所属する領域の外接円の半径をスケールとすることで求めた。 x_n に対応する SURF 特徴量を f_n と表す。
- 以上の処理により得られる特徴点地図を $\{(x_1, f_1), \dots, (x_N, f_N)\}$ と表す。

3 特徴点地図と車載カメラ画像の照合による自車位置推定

提案手法では、図 5(a) に示すように、時刻 t における俯瞰画像 I_t (車載カメラ画像中の自車前方の道路領域) に対応する特徴点地図中の領域 \mathcal{R}_t を求めることにより、自車位置 p_t を推定する。 p_t は



図 4: 特徴点地図 (図中の丸印は抽出された特徴点を示す)

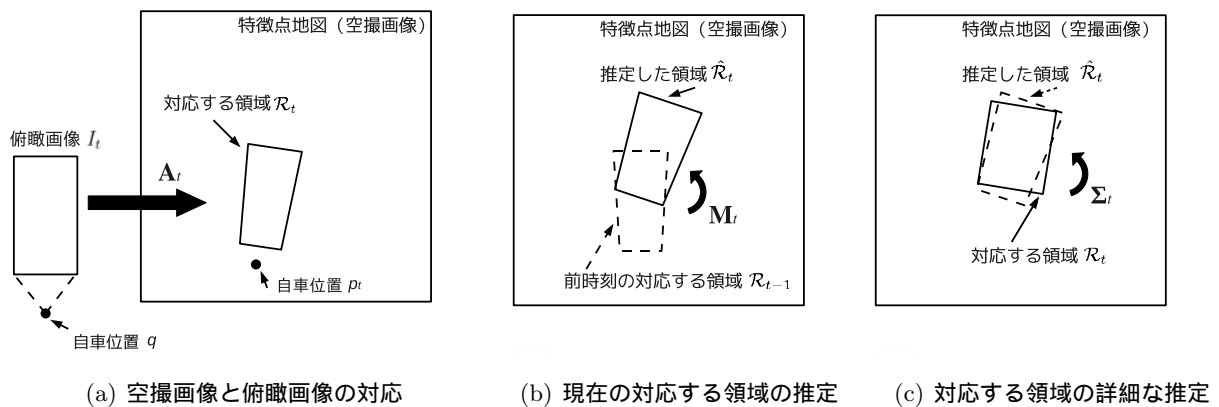


図 5: 提案手法による自転車位置推定の概要

特徴点地図中の自転車位置であり，空撮画像に付随した経緯度情報を用いて世界測地系の座標に変換する．このとき，俯瞰画像を領域 \mathcal{R}_t に変換する平面射影行列を A_t と表すと， p_t は次式により得られる．

$$p_t = A_t q \quad (1)$$

ここで， q は，俯瞰画像中の自転車位置を表す．つまり， A_t を求めることによって， p_t を得る．

提案手法では A_t を求めるため，時刻 $t-1$ における \mathcal{R}_{t-1} から図 5(b)，および図 5(c) に示す 2 段階の推定を行う．1 段階目では，図 5(b) に示す平面射影変換行列 M_t を求めることにより，時刻 t における俯瞰画像に対応する特徴点地図中の領域 $\hat{\mathcal{R}}_t$ を \mathcal{R}_{t-1} から推定する． M_t は，連続する時刻間の自転車の動きによる現在の時刻の俯瞰画像に対応する特徴点地図中の領域の変化を表す．この M_t を連続する時刻の俯瞰画像間の対応付けによって求める．しかしながら， $\hat{\mathcal{R}}_t$ は特徴点地図との照

合によって得られるものではないため， \mathcal{R}_t との誤差 Σ_t を持つ．そのため，2 段階目において図 5(c) に示す平面射影変換行列 Σ_t を求めることにより，正確な特徴点地図中の領域 \mathcal{R}_t を推定する． Σ_t は，時刻 t における俯瞰画像と $\hat{\mathcal{R}}_t$ を照合することで求める．以上の手順で求めた M_t と Σ_t を用い，次式によって A_t を更新する．

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

なお，初期時刻 t_0 においては， $\hat{\mathcal{R}}_t$ を推定せず，俯瞰画像と特徴点地図を直接照合することで \mathcal{R}_t を探索し， A_{t_0} を求める．

以降，各処理の詳細について述べる．

3.1 俯瞰画像への変換

はじめに，車載カメラ画像を俯瞰画像に変換する．俯瞰画像への変換は，照合対象とする自転車前方の領域を固定した上で，カメラの設置位置など

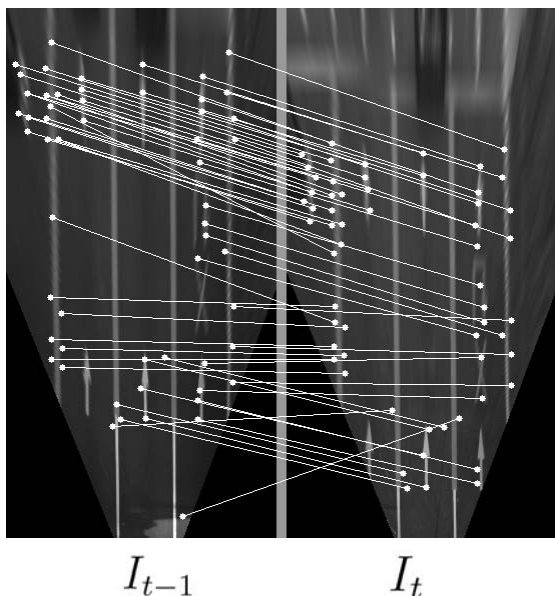


図 6: 連続する時刻の俯瞰画像間の対応付け

のパラメータから求まる平面射影変換行列を用いて行う。また、俯瞰画像中の自車位置 q も同様に求める。

3.2 連続する時刻の俯瞰画像間の対応付け

1段階目の推定として、図 5(b) に示す \hat{R}_t を推定するため、連続する時刻の俯瞰画像間の対応付けを行い、 M_t を求める。連続する時刻の俯瞰画像 I_t と I_{t-1} それぞれに対し、Harris コーナを抽出し、Lucas-Kanade 法 [8] により初期対応付けを行う。図 6 に特徴点の初期対応付け結果の例を示す。続いて、これらの対応点から LMedS 基準 [9] の最小化により、 M_t を求める。そして、 M_t と A_{t-1} を用いて \hat{R}_t を求める。

3.3 複数フレームを用いた特徴点地図と俯瞰画像の照合

2段階目の推定として、図 5(c) に示す Σ_t を求めるため、時刻 t の俯瞰画像を特徴点地図と照合する。この照合を行う際、連続する時刻の複数の車載カメラ画像を用いることによって、前方車両などにより発生する遮蔽に対して頑健にする。

はじめに、俯瞰画像から 2 節と同様の手法で特徴点を抽出する。俯瞰画像 I_t から抽出

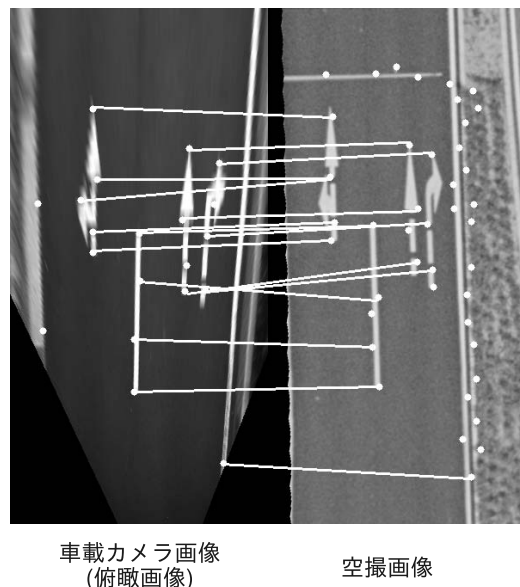


図 7: 俯瞰画像と空撮画像の対応付け

した特徴点の位置、および SURF 特徴量を $\{(y_{t,1}, g_{t,1}), \dots, (y_{t,L_t}, g_{t,L_t})\}$ と表す。ここで、 L_t は特徴点の数を表す。特徴点地図と照合するため、俯瞰画像中の特徴点の位置 y_{t,l_t} を次式を用いて、特徴点地図中の位置 y'_{t,l_t} に変換する。

$$y'_{t,l_t} = A_{t-1} M_t y_{t,l_t} \quad (3)$$

また、現在の時刻より以前の時刻 t' における俯瞰画像中の特徴点の位置 $y^{t',l_{t'}}$ を既に求めた $A_{t'}$ を用いて、特徴点地図中の位置 $y^{t',l_{t'}}$ に変換する。

$$y^{t',l_{t'}} = A_{t'} y^{t',l_{t'}} \quad (4)$$

そして、以上の式を用いて位置合わせした現在のフレームを含む過去 F フレームの特徴点を用いて、俯瞰画像と特徴点地図を照合する。俯瞰画像と特徴点地図中の特徴点は、次の条件により対応付ける。

$$\begin{cases} \|y'_{t,l_t} - x_n\| < r \\ \min_{l_t} \|g_{t,l_t} - f_n\| \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 r は探索半径を表す。図 7 に特徴点の対応関係を示す。そして、これらの対応点から LMedS 基準の最小化により、 Σ_t を求める。

表 1: 実験に用いたデータ, および実験結果

系列	前方車両	時間帯	道路形状	区間長	提案手法		比較手法	
					推定誤差	推定成功率	推定誤差	推定成功率
1	なし	昼間	直進	約 85 m	0.60 m	1.00	0.72 m	0.83
2	あり	昼間	直進	約 100 m	0.98 m	0.73	N/A	0.30
3	なし	昼間	カーブ	約 72 m	0.75 m	1.00	0.82 m	0.88
4	なし	夜間	直進	約 85 m	0.70 m	1.00	0.75 m	0.90

3.4 自転車位置の算出

最後に, 式 (2) を用いて A_t を求め, 式 (1) より自転車位置 p_t を推定する.

4 実験

本実験では, 交差点付近の道路を対象とした自転車位置推定を行い, 提案手法を評価した. 自転車には, 車載カメラ, 普及型 GPS, および推定した自転車位置の評価のため, 高精度自転車位置推定システム (Applanix 社, POSLV) [10] を搭載した. 高精度自転車位置推定システムの計測値を参照値として用いた. 本実験は, 4 系列の車載カメラ画像を対象とし, 各系列の詳細を表 1 に実験結果とともに示す. 各系列は, 前方車両の有無, 道路形状や時間帯の違いを含み, 100m 程度の区間であった. 車載カメラ画像は, 解像度が 640×480 (pixels), フレームレートが 10 (fps) であり, 各系列の画像中には照合に必要な路面標示が含まれていた. 空撮画像は, 解像度が約 0.15 (m/pixel), 各系列に対応した地点を昼間に撮影し, 道路面を遮蔽する車両などの物体がほぼ存在しないものを用いた.

本実験では, 自転車位置推定結果を推定誤差, および推定成功率により評価した. また, 推定成功率は空撮画像と車載カメラ画像が照合できたフレームの割合を表す. 照合不可能なフレームであるかは, 地図と俯瞰画像を照合する際に求めた平面射影行列が持つ歪みに対する判定により確認した [11]. 比較手法として, Pinkらの手法 [5] に基づき, 特徴点として画像中の路面標示の重心の位置のみを特徴点として用い, 単一フレームのみを用いて空撮画像と車載カメラ画像を照合した. 提案手法では, 現在時刻を含む過去 5 秒間を特徴点地図との照合に用いた.

初期時刻における自転車位置 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 の推定誤差を考慮し, 測定値から 30 (m) 半径の特徴点地図を初期の照合範囲として与えた. また, 途中で推定不可能となった場合も, 上記の処理により推定を再開した.

4.1 実験結果, および考察

実験結果を表 1 に示す. この表より, 全ての系列において, 比較手法に対して提案手法による推定誤差, 推定成功率が改善されていることが分かる. 比較手法は特徴点として路面標示の重心の位置のみを用いているため, 空撮画像と車載カメラ画像から抽出される特徴点の位置が異なる場合に照合が困難となる. これに対して, 提案手法で用いた特徴点が両画像間の違いに対して頑健に照合できたため, 比較手法に比べて推定誤差が 0.10m 程度改善した. また, 前方車両が存在する系列 2 で推定成功率が 0.30 から 0.73 と大きく向上したことから, 複数フレームの俯瞰画像を用いた照合が, 前方車両などの遮蔽に対して有効であったと考えられる.

系列 3 では道路形状に対して, 系列 4 では時間帯の変化に対して, 提案手法による推定誤差, 推定成功率が改善された. これから, 環境変化による画像の変化に対しても一定の有効性を確認した.

しかしながら, 系列 2 において, 推定不可能なフレームが一部生じた. また, 遮蔽が存在しない場合に比べて, 推定精度がおおよそ 0.40 低下した. これは, 区画線のみが連続し, 複数フレームを用いても俯瞰画像中から照合に適した十分な特徴点が得られないことが原因と考えられる. このため, より照合に適した特徴点の抽出手法, 特徴量を今後検討する. また, 雨天時など天候の変化に対する提案手法の性能評価も今後の課題として挙げられる.

5 まとめ

本発表では、空撮画像と車載カメラ画像を照合することにより、自車位置を推定する手法を提案した。提案手法では、空撮画像と車載カメラ画像に対して頑健な照合を行うため、特徴点として路面標示のコーナを抽出し、SURF 特徴量を用いた。また、前方車両による道路面の遮蔽に対応するため、連続する複数フレームを用いて照合を行った。実験の結果、従来手法に対して推定誤差、および推定成功率の改善が確認できた。今後の課題として、より照合に適した特徴点の抽出手法、特徴量の検討、様々な環境変化に対する実証実験、道路領域の自動分割などが挙げられる。

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。

参考文献

- 1) H. Uchiyama, D. Deguchi, T. Takahashi, I. Ide and H. Murase, "Ego-localization Using Streetscape Image Sequences from In-vehicle Cameras," Proc. Intelligent Vehicles Symposium 2009, pp. 185–190 (2009).
- 2) 武富 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," 電子情報通信学会論文誌, J92-D (8), pp. 1440–1451 (2009).
- 3) S. Brakatsoulas, D. Pfoser, R. Salas and C. Wenk, "On Map-matching Vehicle Tracking Data," Proc. 32th Conf. on Very Large Data Bases, pp.853–864 (2005).
- 4) Google Inc., Google Maps (<http://maps.google.com/>) (2005).
- 5) O. Pink, F. Moosmann and A. Bachmann, "Visual Features for Vehicle Localization and Ego-motion Estimation," Proc. Intelligent Vehicles Symposium 2009, pp.254–260 (2009).
- 6) C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," Proc. 4th Alvey Vision Conference, pp. 147–151 (1988).
- 7) H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars and Luc Van Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features," Computer Vision and Image Understanding 110 (3), pp.346–359 (2008).
- 8) B. Lucas and T. Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision," Proc. 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 674-679 (1981).
- 9) R. J. Rousseeuw and A. M. Leroy, "Robust Regression and Outlier Detection," John Wiley & Sons (1986).
- 10) Applanix Corp., POSLV (<http://www.applanix.com/products/land/pos-lv.html>) (2009).
- 11) 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).