

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

小島 祥子^{†††} 内藤 貴志^{†††}

[†] 名古屋大学 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町

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

^{†††} (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[†], Tomokazu TAKAHASHI^{††}, Daisuke DEGUCHI[†], Ichiro IDE[†], Hiroshi MURASE[†], Yoshiko KOJIMA^{†††}, and Takashi NAITO^{†††}

[†] Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601 Japan

^{††} Gifu Shotoku Gakuen University Nakauzura 1-38, Gifu, Gifu, 500-8288 Japan

^{†††} 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 $\mathbf{p}_t = (x_t, y_t)$ として表す。ここで、空撮画像は地図と対応付いており、緯度・経度情報を持っているため、 $\mathbf{p}_t$ 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 $\mathbf{p}_t$ は、時刻 $t-1$ の自車位置 $\mathbf{p}_{t-1}$ 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 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, ×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 640×480 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 15cm/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 $\mathbf{p}_0$ 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 0.61m, 標準偏差 0.27m 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

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 50m 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せた.

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

