

エピポーラ幾何に基づく画像間距離と 車載カメラ映像データベースを用いた詳細な自車位置推定

久徳 遙矢^{1,a)} 川西 康友¹ 出口 大輔¹ 目加田 慶人² 井手 一郎¹ 村瀬 洋¹

1. はじめに

本発表では、正面向き車載カメラで撮影した画像を入力とし、位置情報付き車載カメラ映像データベースとの比較により詳細な自車位置を推定する手法について報告する。我々はこれまでに、フレーム対毎に算出するエピポーラ幾何に基づくフレーム間距離を用い、DP マッチングによりフレームの対応を求める手法を提案した [1]。また、この DP マッチングのための端点を高精度に与えるため、フレーム間距離の性質を用いた距離尺度の拡張を行なった [2]。これらの手法は、入力フレームと最も近い位置で撮影されたデータベース中のフレームを求めることを目的としている。すなわち、算出可能な位置情報の精度は、車載カメラ映像データベースの撮影間隔に強く依存する。

そこで文献 [2] の手法を拡張し、車載カメラ映像データベースの撮影間隔より詳細な位置情報を算出するための手法を提案する。

以下、2 節で提案手法の詳細について記し、3 節で提案手法の有効性を確認するための実験および考察について述べ、4 節でまとめる。

2. エピポーラ幾何を用いた画像間距離の性質に基づく詳細な自車位置推定

本節では、まずフレーム間距離 [1][2] およびその性質について 2.1 節で説明する。次に、2.2 節でそのフレーム間距離を拡張した自車位置推定手法について述べる。

2.1 エピポーラ幾何を用いたフレーム間距離

自車の走行方向と車載カメラ映像データベースを取得したカメラの光軸が平行であり、データベースの画像系列は等間隔で記録されていると仮定する。このとき、入力フレームを取得した自車カメラの位置を原点 O 、データベース中のあるフレームを取得したカメラの位置を Q 、焦点距離を f とし、エピポールの位置を E とすると、各位置は

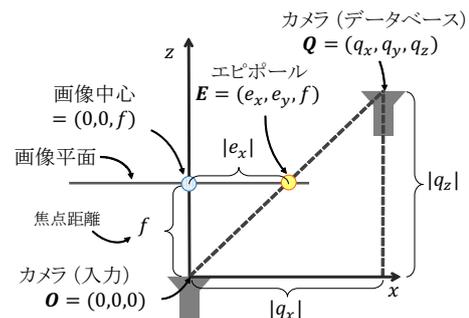


図 1 2 カメラ間の距離とエピポールの位置の関係

図 1 のような関係となる。車両は道路平面上を移動するため、 xz 平面での位置関係のみに着目すると、画像中心とエピポールの距離 $|e_x|$ と 2 カメラ間の進行方向に対する距離 $|q_z|$ の関係は、

$$\frac{1}{|e_x|} = \frac{1}{f|q_x|}|q_z| \quad (1)$$

となる。文献 [1] では、 $\frac{1}{|e_x|}$ をフレーム間距離とした DP マッチングによるフレーム間対応付けを提案している。

ここで、仮定より光軸が平行であることから、 $|q_x|$ は一定と見なすことができる。さらに 2 カメラの f が固定であるとすると、画像中心とエピポール間の距離の逆数 $\frac{1}{|e_x|}$ と 2 カメラ間の距離 $|q_z|$ は比例関係となる。文献 [2] では、入力フレームとデータベース中の各フレームの距離 (式 (1)) の系列を算出し、この比例関係の性質を用いてそれらを統合した複合距離を提案している。いずれの手法においても、対応付けられたデータベースのフレームの位置情報を得ることで自車位置を推定する。

2.2 画像間距離の性質を利用した詳細な自車位置推定

2.1 節では、対応するフレームを求めることで、それに付随する位置情報から自車位置を推定した。しかし、データベース中のフレームは離散的であるため、自車位置推定精度はデータベースの撮影間隔に依存する。そこで提案手法では、文献 [2] の手法を拡張し、データベースの撮影間隔より詳細な自車位置推定を実現する。具体的には、まず文献 [2] と同様に、入力フレームとデータベース中のフレ

¹ 名古屋大学 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

² 中京大学 〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

^{a)} kiyutoku@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

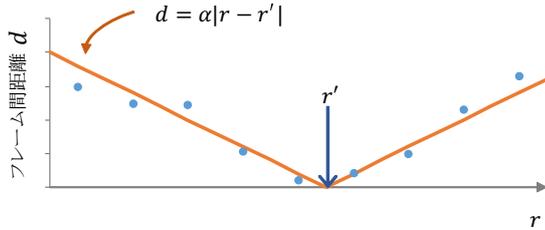


図 2 フレーム間距離系列と式 (2) のフィッティング



図 3 実験用データの例

ム間の距離式 (1) の系列を算出する。そして、算出した距離系列に対し、

$$d = \alpha|r - r'| \quad (2)$$

をフィッティングする。ここで、 d はフレーム間距離 (式 (1)), α は比例関係の傾き、 r はフレーム番号、 r' は正解位置を表す実数である。得られた実数値 r' と、その前後の整数値のフレーム番号に対応する位置情報から、データベースの撮影間隔より詳細な位置情報を得る。

3. 実験

3.1 実験データ

実験に用いる車載カメラ映像は、興和光学 LM5JC1M を装着した PointGray Flea3 FL3-U3-13E4C-C を車両のフロントガラスに固定し、 $1,280 \times 1,024$ 画素、60 fps で市街地を走行して撮影した。入力フレームとして約 200 m の区間 (1,261 フレーム)、データベース映像としてその区間を包括する約 500 m の区間 (3,464 フレーム) を取得した。取得した画像の例を図 3 に示す。

3.2 実験方法

まず、入力フレーム群全てに対し、データベース中の対応するフレームを、文献 [1] のフレーム間距離式 (1) と DP マッチングを用いる手法で求めた。そして、データベースのフレームを一定間隔で間引き、各入力フレームに対し式 (2) の r' を求めた。評価には、正しい r' を得られた割合 (正解率) を用いた。ここで、求めた r' を整数化した際に、対応付け誤差が 1 フレーム以内であれば正解とした。これは、車両進行方向に対し $\pm 15\text{cm}$ 程度のずれに相当する。

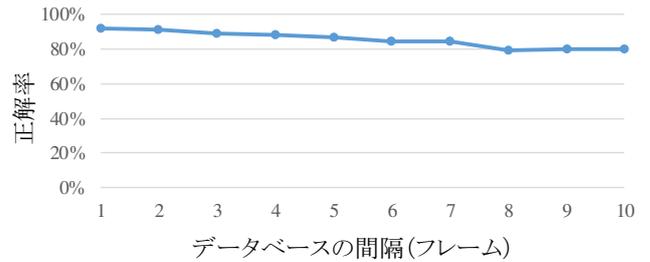


図 4 データベースとして利用したフレーム間隔毎の正解率

3.3 結果と考察

データベースとして利用したフレームの間隔毎の正解率を図 4 に示す。グラフ左端はデータベース中のフレームを全て用いた場合であり、正解率は 92 % であった。また、グラフ左端は利用間隔が 10 フレーム、すなわちデータベースを $1/10$ へ削減した場合である。この時、正解率は 80 % であった。これは、データベースの撮影間隔の 10 倍詳細な位置情報を高い正解率で得られたことを意味する。以上から、提案手法の有効性を確認した。

なお、実験に用いたデータベースは、撮影間隔が厳密に等間隔ではない。そのため、データベースを等間隔にリサンプリングして構築しておくことで、より高精度に位置情報を得られる。また、自転車の速度情報などから式 (2) の α に制限をかけることで、更なる高精度化を望むことができると考えられる。

4. むすび

本発表では、エピポーラ幾何に基づく画像間距離を用いた詳細な自転車位置推定手法を提案した。提案手法では、画像間距離とカメラ間の距離が比例関係にあることを用い、離散的なデータベースとのフィッティングによりデータベースの撮影間隔より詳細な位置情報を得る。実験から、データベースの撮影間隔の 10 倍詳細な位置情報を正解率 80 % で取得できることを確認した。今後、提案手法のさらなる精度向上や、データベースの撮影間隔の限界の調査を行なう必要がある。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金による。

参考文献

- [1] 久徳 遙矢, 出口 大輔, 高橋 友和, 目加田 慶人, 井手 一郎, 村瀬 洋, “自転車位置推定のための車載カメラ映像と市街地映像データベースの位置ずれや遮蔽に頑健なフレーム対応付け,” 電子情報通信学会論文誌, vol.J95-D, No.11, pp.1973-1982, Nov. 2012.
- [2] 久徳 遙矢, 出口 大輔, 高橋 友和, 目加田 慶人, 井手 一郎, 村瀬 洋, “カメラ間の位置関係に基づく画像間距離系列を用いた車載カメラ映像データベース検索による自転車位置推定,” 電気学会論文誌 C, vol.134, No.5, pp.702-710, May 2014.