

## 画像位置合わせを実現する性能保証条件の整理

日大生産工 (学部) ○柏原 一真 日大生産工 風間 恵介 日大生産工 丸茂 喜高

### 1. まえがき

自動運転車両が一般に普及するためには、その安全性が保証されていなければならない。国土交通省は自動運転車の安全性ガイドライン<sup>1)</sup>でその要件を定義している。要約すると「合理的に予見される人身事故が生じないことを、シミュレーション・テストコース・路上試験を用いて検証を行うこと」と定めている。検証を行うためには、評価基準の確立が必要である。評価基準には実際のヒヤリハット状況を再現し、回避できるかを指標にすることが挙げられる。

シミュレーション空間にヒヤリハット状況を再現するには、実際のヒヤリハットデータが必要である。そのデータが集積されたヒヤリハットデータベース<sup>2)</sup>には、車両前方映像や加速度情報、GNSSの位置情報等が記録されている。このデータを自動運転車両の評価基準作成のために自車両の運動軌跡とその周辺環境をシミュレーション空間に再現する研究を行う。

本研究ではその主要技術である画像位置合わせの性能を保証できる条件の整理を行った。

### 2. 画像位置合わせの概要

画像位置合わせはLucas-Kanadeアルゴリズム<sup>3)</sup>において提案され、被変形画像 $m(X)$ に対して平行移動・回転・拡大・縮小などの処理を行うことで基準画像 $f(X)$ との誤差を最小化する手法である。近年では風間らの研究<sup>4)</sup>にあるように自動運転車両のリアルタイム自己位置推定にも活用されている。

本研究は、広く使用されている画像処理ライブラリのITK (Insight ToolKit)<sup>5)</sup>を用いる。その画像位置合わせのフローを図1に示す。

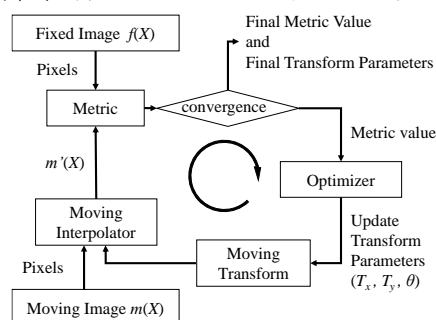


Fig. 1 Sequence of image registration

$m(X)$ の変形を行うMoving Transformには、平行・回転の変換のみを用いた。被変形画像 $m(X)$ の各pixelの位置座標を $x, y$ とすると、変形後画像 $m'(X)$ のpixel位置座標は $x', y'$ と表される。これはOptimizerにより決定される平行移動量 $T_x, T_y$ と回転移動量 $\theta$ により定まる。その関係を式(1)に示す。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

MetricクラスではTransformとInterpolatorを用いて各画像を仮想空間投影し、Metric Valueを評価する。誤差の評価には二乗和誤差 (MS) を用いる。二乗和誤差は式(2)で求まる。このとき、 $N$ はピクセル数を表し、 $f(i), m(i)$ は2次元空間における任意の位置の輝度を表す。

$$MS(f, m) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f(i) - m(i))^2 \quad (2)$$

算出したMetric ValueはOptimizerに渡され、Transformのパラメータが更新される。OptimizerにはHamiltonの勾配法<sup>6)</sup>を用いた。

また、Moving Transformのパラメータ更新は規定回数の処理を行うか、収束条件が満たされるまで繰り返される。以上の手順で画像位置合わせを行う。この実行例を図2に示す。 $f(X)$ の輝度と輝度を反転した $m(X)$ の輝度の平均をとることで位置合わせ誤差が可視化される。このとき、差分画像は灰色一色に近づくほど、位置合わせの誤差が少ないことを意味する。図2を参照すると、画像位置合わせの前後で改善されていることが確認できる。

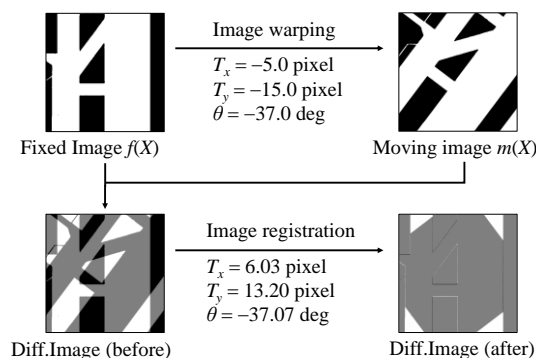


Fig. 2 Example of image registration

## Survey of the Conditions for Performance Assurance to Realize Image Registration

Kazuma KASHIWABARA, Keisuke KAZAMA and Yoshitaka MARUMO

### 3. 性能評価及び条件整理

画像位置合わせの性能を保証できる条件の測定のために、基準画像 $f(X)$ は512x512 pixelとした。また、 $f(X)$ の図心を中心に、1 deg刻みで-60~60 degの回転移動をさせ、上下左右に5 pixel刻みで155 pixel平行移動させた512x512 pixelの領域を被変形画像 $m(X)$ として480,249枚を作成した。これらの画像に対し画像位置合わせを行った。

表1は各Metric Valueのとき、平行・回転移動の要素ごとの誤差を示したものである。各要素の誤差は相対誤差により算出した。

Table 1 Error of each element for each metric value [%]

Metric [%]	Translation		Rot.	Translation and Rotation		
	$T_x$	$T_y$	$\theta$	$T_x$	$T_y$	$\theta$
~100	3.60	1.79	3.26	1.70	1.00	1.12
~200	4.57	0.25		2.09	3.49	0.26
~500	5.63	0.20		27.38	6.23	1.03
~1000	49.86	3.37		54.87	5.63	6.43
~2000	36.37	5.51		61.25	16.88	1.17

平行移動のみを行った $m(X)$ では、Metric Valueが1000以上の値において $x$ 方向への変位に大きな誤差が見られた。これは、今回使用した基準画像 $f(X)$ を $x$ 方向に移動させると両端にある黒色の領域の特徴が失われてしまうことが原因だと考えられる。また、回転変換のみを行った $m(X)$ では、Metric Valueの値が100~2000の値になる画像は存在しなかった。これは、今回用いた画像位置合わせのアルゴリズムが回転方向を優先して復元するため、精度が良いものと悪いものの差が明確に表れたためである。平行・回転移動を行った $m(X)$ ではMetric Valueが100~2000の間では回転方向の復元が安定して行われていることに対し、 $x$ 方向の変位に対しては精度が悪いということが分かった。これは先述の通り、用いた画像の特徴と回転の復元が優先されることが原因であると考えられる。

表1をより詳細にしたMetric Valueのプロットを図3に示す。表1及び図3より、画像位置合わせの性能を保証できる範囲を表2に示す。

Table 2 Allowable range for translation and rotation movement

Translation $x$ [pixel]	$-25 < T_x < 20$
Translation $y$ [pixel]	$-25 < T_y < 25$
Rotation [deg]	$-30 < \theta < 39$

表2に示した平行移動量は画像サイズの約4%であった。

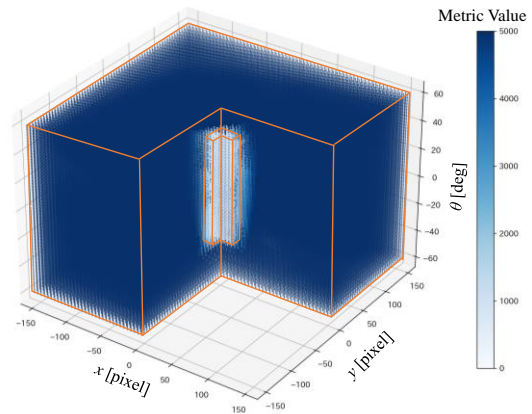


Fig. 3 Metric values of translated and rotated images

### 4. まとめ

シミュレーション空間にヒヤリハット状況を再現するための主要技術である画像位置合わせの性能保証条件を調査した。約48万枚の画像に対して輝度を用いて画像位置合わせをした結果、平行移動量が約4%以内、回転移動量が-30~30 degの範囲において精度よく画像位置合わせがされることが分かった。

今後は拡大・縮小やせん断に加え、非線形な変換に対する画像位置合わせの精度について調査を行う。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省自動車局, 自動運転車の安全技術ガイドライン (2018), <https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf> (参照 2021-10-05).
- 2) 東京農工大学, スマートモビリティ研究拠点, <https://web.tuat.ac.jp/~smrc/drcenter.html> (参照 2021-10-05).
- 3) Lucas, B. D., and Kanade, T., "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", Proceedings of 7th Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), (1981), pp.121-130.
- 4) Keisuke Kazama, Toshiki Kawakastu, Yasuhiro Akagi, Hiroshi Mouri, "Estimation of Ego-Vehicle's Position based on Image Registration", Proceeding of FAST-zero'17, (2017), TuB-P1-3.
- 5) McCormick M, Liu X, Jomier J, Marion C and Ibanez L, "ITK: enabling reproducible research and open science", Front Neuroinform (2014).
- 6) W. R. Hamilton, "Elements of Quaternions.", Chelsea Publishing Company, (1969).