

遺伝的アルゴリズムによる 距離画像からの物体の3次元剛体運動パラメータの獲得

5Q-8

佐藤 紀之 萩原 剛志 横矢 直和
奈良先端科学技術大学院大学

1 まえがき

2枚の距離画像から3次元の剛体運動パラメータを推定することは、距離画像処理において、基本的かつ重要な問題である。この問題に関する従来の手法^[1]では、画像間の対応点づけを行なうことが必要であるが、大きい角度の回転に対して対応点の推定が困難であるなどの問題点があった。

本稿では、3次元剛体運動パラメータの推定に遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms:GA)^[2]を導入し、点の対応づけの問題に触れることなくパラメータを獲得する方法を提案する。

2 距離画像と剛体運動の表現

本稿で扱う距離画像は、座標 (x, y) に対し、基準となる平面からの距離として高さ $z = Image(x, y)$ を持つ点の集合とする。ここでは物体を載せた計測台を基準とし、基準面に対して正の距離を持つ点 (観測可能点) だけが物体の高さを示すものとする。

本手法で求めようとする剛体運動 T は、3次元の回転成分 R と3次元の平行移動ベクトル t とで表される1次変換である。これに従って3次元空間の任意の点 x の運動は、式(1)のように表される。

$$T(x) = Rx + t \quad (1)$$

集合 $X = \{x_i\}$ に属するすべての点を変換した点の集合は $T(X) = \{Rx_i + t\}$ で表される。本研究の問題は、2枚の距離画像 $Image_I$ と $Image_{II}$ から、3次元剛体運動パラメータ T を求めることである。なお、実験における画像空間の座標中心は画像の左下角、回転は右手系とした。

3 運動パラメータの獲得

3.1 アルゴリズムの概要

本手法では、2枚の距離画像間の剛体運動の推定をGAによる6次元の探索問題として扱う。各個体が持つ遺伝子は、各軸を中心とする回転角と各軸方向への平行移動距離を表す6つの実数値から成る。処理は以下の手順を繰り返す。

1. 個体の初期集団を N 個生成する。

Estimating 3D Rigid Motion Parameters from Range Images Using a Genetic Algorithm
Noriyuki Sato, Takeshi Ogihara, and Naokazu Yokoya
Nara Institute of Science and Technology
8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-01, Japan

2. 各個体が、遺伝子として表現されている運動パラメータを $Image_I$ に適用し、それぞれ変換画像 $Image'_I$ を生成する。
3. $Image'_I$ と $Image_{II}$ を比較し、類似度を測る。この値が高いほど類似しているものとし、これを各個体の適応度と見なす。
4. 個体数が N 個になるよう、適応度の低い個体は探索の候補から削除 (淘汰) する。
5. 交叉と突然変異によって新しいパラメータの組合せを持つ個体を生成し、個体を $2N$ とする。
6. 手順 2 へ戻る。

3.2 手法の詳細

遺伝子の初期値

初期集団の各個体には、幅広い探索が行なえるように次のような初期値を与える。角度は $|R_x| \leq 90^\circ$, $|R_y| \leq 90^\circ$, $|R_z| \leq 180^\circ$ の範囲で、また、平行移動は $|t_x| \leq \{ \text{画像の横幅} \}$, $|t_y| \leq \{ \text{画像の縦幅} \}$, $|t_z| \leq \{ \text{高さの最大値} \}$ の範囲で値が適当にばらつくように与える。

運動パラメータによる距離画像の変換・評価

各個体のパラメータをそれぞれ $Image_I$ に適用し、 $Image'_I$ を得る。変換後、図1のように $Image'_I$ と $Image_{II}$ の観測可能な点 V の全点を比較し、重なった点 L から式(2)で類似度を計算し、これを個体 i の適応度 $E(i)$ とする。 P は誤差 M によるペナルティー評価である。

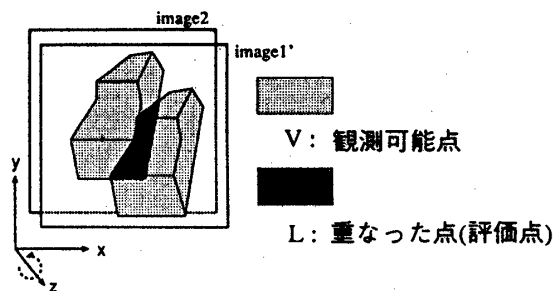


図1: 画像の評価の模式図

$$E(i) = \sum_{(x,y) \in L} \frac{1}{1 + e(x,y)} - P(i) \quad (2)$$

$$e(x,y) = |Image_{II}(x,y) - Image'_I(x,y)|$$

$$P(i) = \sum_{(x,y) \in M} E_s$$

$M = V_{Image'_i} \cap L$ E_s : ペナルティ一定数

交叉・突然変異

扱うパラメータが実数であるため、個体の多様性を維持するために、遺伝子の交叉に通常用いられるビット列交叉とは異なった工夫が必要である。そのため、以下のような方法を採用した。

1. 交叉は各パラメータについて独立に行なう。両親のあるパラメータを P_1, P_2 とすると、数直線上の点 P_1, P_2 を内分、あるいは 2:1 程度の比率で外分する点を子の候補とする。これらの候補から確率的に選択し、1組の親から2個の子を生成する。
2. 一定の確率で、子の個体に突然変異を発生させる。その方法は (i) パラメータに乱数値を加減算する、(ii) パラメータの符号を反転する、のいずれかとした。

また、交叉にはエリート戦略を用いている。評価後の個体群 N から、適応度の高いエリート個体を $N/20$ 個程度選ぶ。エリートのグループとそれ以外のグループのそれぞれの内部で交叉を行なう。交叉の組合せはランダムである。

交叉が終了した時点では親の世代も生存している。各個体について適応度の評価を行ない、適応度の高い個体のみ N 個を次世代に残す。

4 実験

実際に提案手法を適用した例を示す。レンジファインダで測定したデータ及び、それに人工的に回転と平行移動の変換を加えたデータから 256 階調、 128×128 の大きさの距離画像、 $Image_I, Image_{II}$ を生成し、実験データとした。個体数は 216、突然変異の発生率は 5%、収束条件を設けず 200 世代まで実験を行なった。

表 1 に、二つの実験結果を示す。図 2 は実験 1 のもので、それぞれ $Image_I, Image_{II}, Image'_I$ を示す。図 3 は、世代による個体の適応度の変化を示している。これらの問題に対して繰り返し実験したが、ほぼ同様の結果が得られた。

表 1 実験結果

	実験 1		実験 2	
	$Image_{II}$	$Image'_I$	$Image_{II}$	$Image'_I$
$R_x(\text{deg})$	0.0	0.92	-30.0	-29.654
$R_y(\text{deg})$	5.0	5.01	0.0	0.0
$R_z(\text{deg})$	30.0	27.53	0.0	0.0
$t_x(\text{pixel})$	2.5	-0.59	0.0	0.199
$t_y(\text{pixel})$	0.0	1.09	0.0	0.193
$t_z(\text{pixel})$	0.0	-1.07	25.0	24.524

5 まとめ

実験によって、比較的回転成分が大きい場合についても、剛体運動パラメータの獲得が可能であることが分かった。なお、今回の実験では、SGI 製の ONYX(88 SPECint92,97 SPECfp92) を使用し、200 世代で約 40 分を要した。

現時点では、オクルージョンが大きい場合の画像については考慮していない。今後は、オクルージョンの大きい画像や実画像に適用を試み、同時に収束時間を短縮するための工夫が必要であると考えられる。

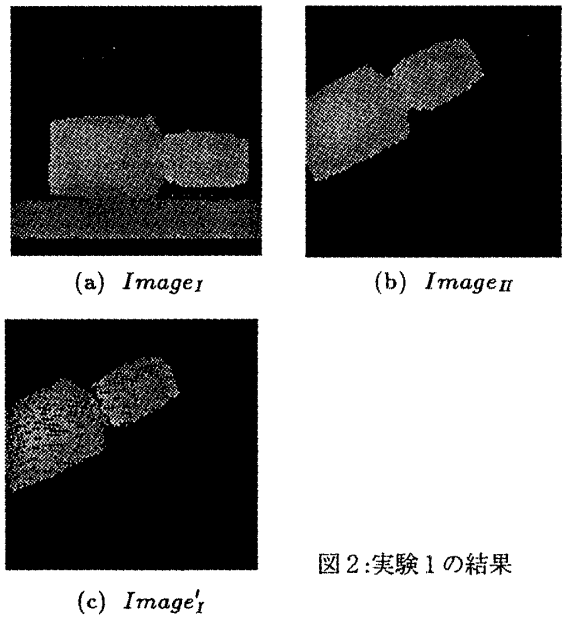


図 2: 実験 1 の結果

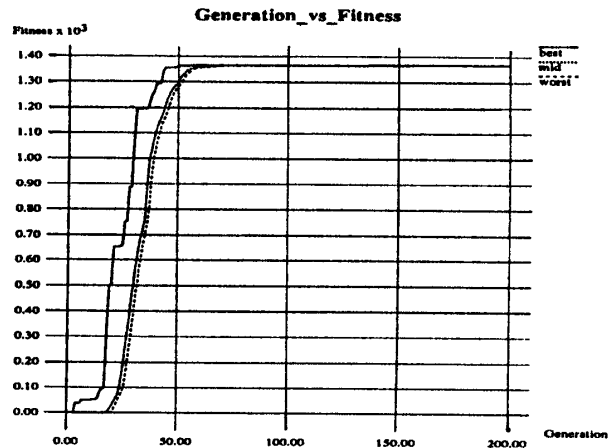


図 3: 世代による個体の適応度の変化

参考文献

[1] 増田、横矢: “2 枚の距離画像からの物体の 3 次元剛体運動パラメータの推定”, SICE 第 22 回パターン計測部会研究会資料, pp.17-24 (1993).

[2] 北野 宏明 編: 「遺伝的アルゴリズム」, 産業図書, 1994.