

G-012

遺伝的アルゴリズムを用いた2値画像復元 Binary Image Restoration by Using Genetic Algorithm

福井 知博[†]
Tomohiro FUKUI

李 相協[‡]
Sanghyub LEE

平澤 茂一[‡]
Shigeichi HIRASAWA

1. はじめに

画像復元とは、種々の原因で発生するノイズによって劣化した観測画像から原画像を推定することである。画像復元は、画像処理の中でも様々な方法が考案され、議論されてきた重要な分野である。

主な画像復元法には、劣化関数の逆関数を用いる直接解法による方法と、繰り返し解法や逐次解法による方法の2つが存在する。後者の中でも、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を用いた方法は有効な画像復元方法として知られており、盛んに研究されている [1]。

本研究は GA を用いた画像復元において、画像データに適した交叉及び選択の方法を提案する。実験により従来の手法と比較し、復元精度が向上することを示す。

2. 遺伝的アルゴリズム (GA) [2]

GA は探索・最適化の一手法であり、強力かつ柔軟な探索手法として注目され、多くの分野に積極的に利用されている。GA を用いた探索は、問題空間を GA 空間 (遺伝子型によって規定される空間) へ写像 (コード化) する。各染色体を評価し、その評価値を適応度とする。そして、交叉、突然変異、選択などの操作を繰り返し、染色体集団 (以下集団) を更新させることで実行される。

交叉で大切なことは親が持つ情報を子に適切に継承させること (形質遺伝) が行われることである。また、選択は探索を通じて多様な染色体を集団の中に維持することが重要である。

3. 画像復元

3.1 GA の画像復元への応用 [3]

GA を用いた画像復元法として、画像そのものを染色体へコード化し、劣化画像の逆関数を利用しないで復元を行う。本研究で対象とする画像は画像サイズ $N \times M$ (但し N, M は偶数とする) の画像 f とし、画像の成分を $f(x, y) \in \{0, 1\}$, $(-M/2 \leq x \leq M/2, -N/2 \leq y \leq N/2)$ と表される。

3.2 画像劣化モデル

本研究で対象とする劣化は、大気中画像伝送や長時間露光に対する大気の擾乱が原因で発生するノイズ (ATB: Atmospher Turbulence Blur) による劣化とする。

ATB による劣化関数は Gaussian PSF として近似され、劣化関数 $h(x, y)$ を次式のように表現される [1]。

$$h(x, y) = K \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

但し、 K は正規化定数、 σ は雑音の標準偏差とする。

劣化過程は原画像 f に対する劣化関数 h の畳み込みで表現でき、劣化画像 f' の画像成分 $f'(x, y) \in \{0, 1\}$ は次のように表す。

$$\Pr\{f'(x, y) = 0\} = 1 - g(x, y),$$

$$\Pr\{f'(x, y) = 1\} = g(x, y), \quad (2)$$

$$g(x, y) = \sum_{k=-M/2}^{M/2} \sum_{l=-N/2}^{N/2} h(k, l) f(x-k, y-l), \quad (3)$$

但し、 $0 \leq g(x, y) \leq 1$ である。

以上によって得られた劣化画像 f' から原画像 f を推定する。また、画像復元を行うにあたっての事前情報として、劣化画像のみが既知とする。

[†] 早稲田大学大学院理工学研究科経営システム工学専攻

[‡] 早稲田大学理工学部経営システム工学科

3.3 GA による画像復元処理過程 [3]

[GA による画像復元処理の流れ]

- 1: 観測された劣化画像を遺伝子型にコード化する。
- 2: 劣化画像を基に染色体を複数個体を生成し、初期集団とする。
- 3: 集団及び各染色体を評価し、その評価値を世代適応度、個体適応度とする。
- 4: 集団から複製選択をして、交叉を行う。
- 5: 突然変異を行い適応度を各染色体毎に求める。
- 6: 生存選択を行い、世代適応度を求める。
- 7: 3~6を繰り返し、世代適応度が一定世代に渡って変化しなくなったときに復元を終了する。

4. 従来手法 [3],[4]

4.1 従来復元法

澤井ら [3] は、 $N \times M$ サイズの画像を $N \times M$ の2次元配列型の染色体にコード化し、以下のように定めた親画像 1(X) と親画像 2(Y) の遺伝子を特定の縦または横の位置 c で交換し、子画像 1(Z_1)、子画像 2(Z_2) を生成する交叉を提案した。これを従来手法 1 とする。

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1M} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{NM} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1M} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N1} & y_{N2} & \cdots & y_{NM} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

ただし、 $x_{ij}, y_{ij} \in \{0, 1\}$ とする。

$$z_1^{(i)} = (x_1, x_2, \dots, x_c, y_{c+1}, \dots, y_M), \quad (6)$$

$$z_2^{(i)} = (y_1, y_2, \dots, y_c, x_{c+1}, \dots, x_M), \quad (7)$$

$$Z_1 = \begin{bmatrix} z_1^{(1)} \\ z_1^{(2)} \\ \vdots \\ z_1^{(N)} \end{bmatrix}, \quad Z_2 = \begin{bmatrix} z_2^{(1)} \\ z_2^{(2)} \\ \vdots \\ z_2^{(N)} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

一方、斉藤 [4] は、一様交叉を2次元配列上の染色体に拡張した交叉を提案した。これを従来手法 2 とする。式 (4)、式 (5) で定めた親画像 1(X) と親画像 2(Y) に対し、以下のように子画像 (Z_3) を生成する。

$$Z_3 = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1M} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N1} & z_{N2} & \cdots & z_{NM} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$z_{ij} = \begin{cases} x_{ij}, & \text{if } x_{ij} = y_{ij} \\ \text{確率} 1/2 \text{ で } 0 \text{ か } 1, & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (10)$$

このとき、複製選択はある世代の集団内からランダムに交叉させる分だけ選び、生存選択はその世代の集団と生成された子染色体の中で適応度の高い染色体を集団数だけ次世代に残すエリート選択方法を用いる。

突然変異方法は染色体内に含まれる遺伝子の値をランダムに反転させる一般的なビット反転方式を用いる。

4.2 従来手法の問題点

従来手法には次のような問題点が挙げられる。

[交叉の問題点] 従来手法 1 による交叉は大域的探索に向いている手法である。分割する際に縦方向か横方向の分割に固定されるので、縦に分割される場合、横方向への分割がなされない。そのため形質遺伝が適切に行われないと考えられる。

従来手法 2 による交叉は、局所的な探索に向いている手法で、探索開始から用いると、局所解に陥りやすくなると考えられる。

[選択の問題点] 従来の選択方法では、生存選択の際に集団内の全ての染色体に選択される機会を与えている。そのため、ある世代において適応度の高い染色体のみが選ばれてしまい、世代交代を通じて多様な染色体を維持することが困難になり、復元が十分に行われなくなると考えられる。

5. 提案復元法

5.1 交叉手法

提案手法では大域的探索に向いている交叉手法と局所的探索に向いている交叉手法を復元過程において前半と後半で使い分けることによってより精度高い復元を行う。復元前半で用いる交叉手法は澤井らの交叉手法を形質的遺伝性に優れるように改良したもので以下ようになる。

[提案交叉手法のアルゴリズム]

1: N 行 M 列で表された 2 次元配列型の染色体を切る位置 c を各 i 行目 ($1 \leq i \leq N$) に対して以下のようにランダムに求める。

$$c = (c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_N) \quad 0 \leq c_i \leq M \quad |c_i - c_{i+1}| \leq s, \quad (11)$$

但し、 s は交叉のパラメータとする。

2: 交叉方法は 1 で決められた位置で各行毎 ($i = (1, 2, \dots, N)$) に、式 (4)、式 (5) で定めた親画像 1 (X) と親画像 2 (Y) の遺伝子を交換し、子画像 1 (Z_4)、子画像 2 (Z_5) を生成する。

$$z_4^{(i)} = (x_1, x_2, \dots, x_{c_i}, y_{c_i+1}, \dots, y_n), \quad (12)$$

$$z_5^{(i)} = (y_1, y_2, \dots, y_{c_i}, x_{c_i+1}, \dots, x_n), \quad (13)$$

$$Z_4 = \begin{bmatrix} z_4^{(1)} \\ z_4^{(2)} \\ \vdots \\ z_4^{(N)} \end{bmatrix}, \quad Z_5 = \begin{bmatrix} z_5^{(1)} \\ z_5^{(2)} \\ \vdots \\ z_5^{(N)} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

復元後半では斉藤が用いた交叉 [4] を用いる。選択のパラメータ t 世代に渡って適応度の上位 10 % の染色体の適応度が変化しない場合に交叉方法を切り替える。

5.2 選択手法・突然変異手法

複数選択はある世代の集団内から染色体をランダムに交叉させる分だけ選び、生存選択では各親染色体とその親から生成された子染色体と集団内の他の 2 個体 (計 6 個体) の中で適応度の高い 1 個体と 6 個体の中でランダムに 1 個体を集団数だけ次世代に残す選択方法を用いる。また、突然変異方法は従来と同じ方法で行う。

6. 評価実験と考察

本節では、提案復元法の有効性を示すため 64×64 画素の 2 値画像を用いてシミュレーションを行う。

6.1 条件

原画像を図 1 に示し、式 (1) で定めた雑音が平均 3.56% 混入したものを劣化画像とした。例を図 2 に示す。染色体の評価は観測された劣化画像と復元過程画像を劣化させた画像との誤差率 (劣化画像と復元過程画像の劣化画像不一致画素数 / 全画素数) を用いる。又、提案手法のパラメータは予備実験の結果より $s=9, t=80$ とする。

染色体 30 個体を 1 つの集団とし、100 世代にわたって集団内の適応度の上位 10 % の染色体の適応度が変化しない場合、もしくは世代交代回数 1000 回になったときに 1 回の復元を終了し、その復元を 100 回繰り返す。

6.2 評価方法

原画像と復元画像の誤差率 (原画像と復元画像の不一致画素数 / 全画素数) と、実験終了までの総世代交代回数を実験回数 100 回の平均値で評価する。

6.3 結果

提案手法と提案復元法における実験結果を表 (1) に示す。

表 1. 誤差率・総世代交代数

手法	従来手法 1	従来手法 2	提案手法
誤差率 (%)	1.27	1.17	0.91
総世代交代数 (回)	999.3	911.7	940.8

従来手法 1, 2, 提案手法による復元画像をそれぞれ図 3, 図 4, 図 5 に示す。表 1 より、提案手法の方が従来手法に比べて誤差率が低く復元でき、提案手法を用いて復元した画像が従来手法を用いた場合よりも原画像に近く復元できたとと言える。



図 1: 原画像

図 2: 劣化画像



図 3: 従来手法 1 の復元画像

図 4: 従来手法 2 の復元画像 2

図 5: 提案手法の復元画像

6.4 考察

提案手法のほうが原画像に近い復元ができ、優れた交叉、選択が出来たと言える。復元が終了するまでの総世代交代数で比較すると、従来手法 1 は大域的探索に向いている交叉を用いるので、復元が終わるまでの総世代回数が 1 番多い。一方、従来手法 2 は局所的探索に向いている交叉を用いるので、復元が終わるまでの総世代回数が一番少ないが、誤差率が一番高く復元が十分に行われていない。しかし、提案手法は大域的探索に向いている交叉と局所的探索に向いている交叉を使い分け、多様な染色体を集団内に維持する選択を用いることで、十分に復元する事が可能となった。

7. むすび

ATB によって劣化した 2 値画像に対して大域的探索と局所的探索を考慮した交叉及び多様な染色体を集団内に維持する選択の GA を用いて画像を復元する事が出来た。

今回は、突然変異の方法は従来と同じ手法を用いたが今後は方法を検討していきたい。

参考文献

- 村田博幸, 西門秀人, 山内寛紀 “遺伝的アルゴリズムによるボケ画像復元,” 電子情報通信学会技術報告 IE87, pp15-22(2000).
- 北野宏明: 遺伝的アルゴリズム, 産業出版 (1993).
- 澤井秀文, 高橋和典, 渡辺澄夫, 米山正秀 “遺伝的アルゴリズムによる画像復元法の提案,” 電子情報通信学会技術報告 IE91 117, pp91-137(1992).
- 斉藤文彦 “遺伝的アルゴリズムを用いた画素選択テンプレートによる画像マッチング,” 電子情報通信学会論文誌 No.3, pp488-499(2001).