

対話型遺伝的アルゴリズムによる デジタル画像からのひび割れ抽出

河村 圭¹・宮本文穂²・中村秀明³・佐藤 亮⁴

¹正会員 博士(工学) 山口大学 工学部知能情報システム工学科(〒755-8611宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: kei@design.csse.yamaguchi-u.ac.jp

²正会員 工博 山口大学教授 工学部知能情報システム工学科(同上)

³正会員 博士(工学) 山口大学助教授 工学部知能情報システム工学科(同上)

⁴正会員 修士(工学) ㈱アーバン・エース(〒530-0012大阪市北区芝田1丁目4番8号北阪急ビル4階)

本研究の最終目的は、コンクリート構造物の目視点検の省力化および効率化を行うために、デジタルカメラにより取得した画像からコンクリート構造物の表面に発生している変状を自動的に抽出し、それらを変状図として自動生成する点検支援システムの開発である。特に本論文では、コンクリート構造物の代表的な変状であるひび割れを処理対象としており、それを自動抽出する手法の検討を行うとともに、ひび割れ抽出システムのプロトタイプシステムを開発した。なお、本システムは、デジタル画像からのひび割れ抽出に必要なとされる画像処理手法やこれら画像処理手法に伴う各種パラメータの最適化へ対話型遺伝的アルゴリズムの適用を試みたものである。

Key Words : *digital camera, image processing, interactive genetic algorithms, crack extraction inspection support, concrete structure*

1. はじめに

わが国では戦後より、社会基盤整備にコンクリートが大量に使用されはじめ、すでに半世紀たった現在では、過去に打設されたコンクリートのストックは膨大な量に達しており、新設コンクリート構造物を大量に造る時代から、これらを適切に維持管理する時代へと変遷しつつある。適切な構造物の維持管理には、対象構造物の状態評価、すなわち構造物が有すべき性能を正確に評価・判定することが重要である。構造物の性能評価には、構造物の状態を把握することが必要とされ、これは、主として点検により確認される。現在、この点検行為は、目視点検が基本となっており、依然として、「人間」がベースとなり、その状態の確認および記録がなされていることから、時間および費用を要する維持管理作業の一つとなっている。特に、構造物に発生している変状を、変状図として記録する作業は、時間を要する作業である。今後、効率の良い維持管理を行うには、変状図の作成を含めた点検行為の省力化は不可欠である^{1), 2), 3)}。

このような背景のもと、本研究では、コンクリー

ト構造物の表面に発生している変状を自動的に抽出し、変状図を自動生成する点検支援システムの開発を最終目的としたプロトタイプシステム(以下、本システム)の開発を行なった。特に、本論文では、近年、デジタルカメラおよびコンピュータの発展により、高画素のデジタル画像の取得、表示、記録などが著しく進歩したことに着目し、デジタルカメラで撮影された画像から、変状を自動抽出する手法を検討した結果について記述する。本システムが実用化できれば、構造物の目視点検ではデジタルカメラでの撮影を行うのみで変状図が作成可能となる。またさらにコンピュータで処理を行うため、変状の定量評価も容易になることから、対象構造物の的確な状態評価が可能になる。なお、現在のところ本システムで扱う変状は、コンクリート構造物において重要かつ代表的な変状である「ひび割れ」に限定している。

通常、画像処理は、ユーザ(人間)の経験を生かして試行錯誤にいくつかの画像処理手法を組み合わせ、それに付随するパラメータを調節することにより行なわれる。また、ユーザは、処理した画像の良否を主観的に評価して作業を進めていくが、この画

像処理を自動化する場合、自動処理された画像の良否を定量的な評価関数として表現することは難しい。以上の理由から、本研究では、デジタル画像からのひび割れ抽出、すなわちひび割れ抽出に必要とされる画像処理手法や画像処理に付随するパラメータの最適化に、対話型遺伝的アルゴリズム（以下、対話型 GA）を適用した。遺伝的アルゴリズム（以下、GA）は、近似最適解を高速に求めるアルゴリズムの 1 つであり、そのアルゴリズムは生物の進化過程を模倣した比較的単純な基本原理を基にしている。通常の GA では、生成された個体（対象問題の解候補）を評価するために、評価関数を用いるが、対話型 GA は、各個体（自動処理された各画像）をユーザ自身が評価することで最適化を行う。このようにユーザを評価系に組み込むことにより、評価関数を用意する必要がなく、また処理が進むにつれ、ユーザは厳しい評価を行なうようになり、画像処理の最適化が進む。なお、本研究では、実画像を、本研究で開発されたシステムを被験者が利用して処理した場合と、被験者が試行錯誤に処理した結果とを比較することにより、本システムの有効性を検証した。

2. 変状図作成支援システム

(1) コンクリート構造物の点検

構造物の維持管理の目的は、構造物の性能を許容レベル以上に保つことであり、点検結果を基にさまざまな対策がとられる。点検の種類はいくつか有り、初期点検、日常点検、定期点検、詳細点検等の形で実施される。点検内容の基本的な考え方は、平成13年1月に制定された土木学会のコンクリート標準示方書[維持管理編]⁴⁾に示されており、目視点検で確認すべき変状として、以下の項目が記されている。

- ①コンクリートの変色、汚れ
 - ・錆汁の溶出による汚れ
 - ・表面におけるカビの発生
 - ・コンクリートからの白色ゲルの溶出
 - ・エフロレッセンス、白華
 - ・コンクリート自身の変色
- ②コンクリートのひび割れ
 - ・ひび割れの発生方向
 - ・ひび割れのパターン
 - ・ひび割れの本数
 - ・代表的なひび割れの幅と長さ
 - ・ひび割れからの錆汁の溶出の有無
- ③コンクリートのスケールング

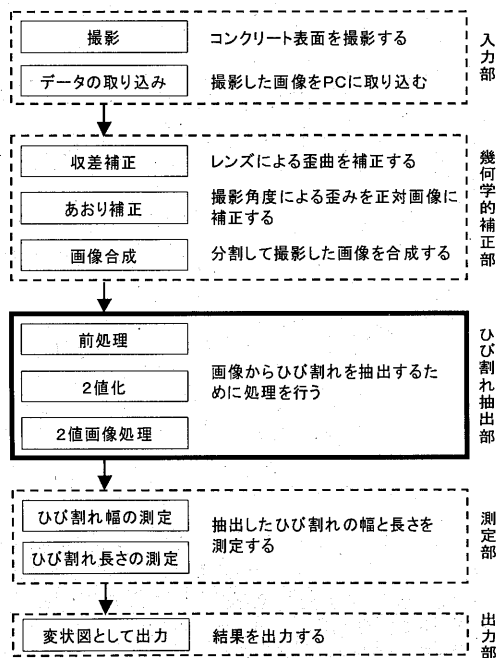


図-1 ひび割れ図作成支援システムの流れ

- ④コンクリートの浮き
 - ・浮きの有無、箇所数および面積
- ⑤コンクリートの剥離、剥落
 - ・剥離、剥落が発生している箇所の数およびその広さ
 - ・鉄筋のかぶり
- ⑥鉄筋の露出、腐食、破断
 - ・箇所数や長さ
 - ・腐食の程度

本研究ではこの中でも、特に②の「コンクリートのひび割れ」に注目し、コンクリート構造物点検支援システムの1つとしてデジタルカメラとコンピュータで構成される変状図作成支援システムを開発する。特に、本論文ではひび割れを扱うことから、ひび割れ図作成支援システムとする。

(2) ひび割れ図作成支援システムの構成

コンクリート構造物のひび割れ図作成支援システムは、コンクリート構造物の劣化診断に必要とされるひび割れの発生位置、幅、長さなどを計測し、複雑なひび割れ形状の数値化および図化を迅速に行うシステムを目的としている^{5),6),7)}。ひび割れ図作成支援システムは、コンクリート面を撮影するデジタルカメラ、入力画像の処理機材としてのパーソナルコンピュータ、およびソフトウェアで構成される。ここで、図-1には、ひび割れ図作成の流れを示す。入

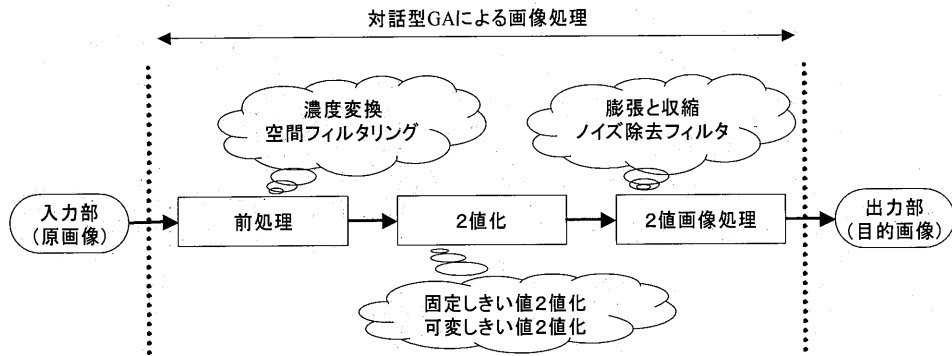


図-2 画像処理の流れ

力部では、ひびわれの撮影を行い、原画像をコンピュータへ取り込む。撮影に関しては点検する構造物により異なるが、ひび割れを鮮明に撮影するためには、高精度のデジタルカメラと適度な照度や露出が必要となる。続いて、画像の幾何学的補正を行う。これは、一枚一枚撮影した画像の歪みを補正したり、つなぎ合わせる作業である。ひび割れ抽出部は、ひび割れの特徴を抽出し、ひび割れのみを図化する重要な箇所である。続いて、測定部は、抽出されたひび割れの幅や長さを計測する部分である。そして、最後に変状図として出力する。

図-1 のような画像処理の流れの中で、幾何学的補正部は、いくつかのアプリケーションソフトウェアの開発が進んでいる²⁾が、ひび割れ抽出部で行なわれるコンクリート画像からのひび割れ抽出という処理は未だ完全な自動化がなされてなく、基本的に手で画像処理が行なわれている¹⁾。本研究では、このひび割れ抽出部に重点を置き、ひび割れの自動抽出を行う手法の検討および本システムの開発を目的とする。すなわち、本システムは、図-1 における幾何学的補正部、測定部は考慮せず、ひび割れ抽出部だけの構成となる。また、本研究では、対象画像のひび割れ抽出に最適な画像処理パラメータを探索する手法として、対話型 GA を用いる。この部分が、通常、人間が試行錯誤に画像を処理する過程の代わりとして機能する(図-2)。

3. 対話型遺伝的アルゴリズムを用いたひび割れ抽出

(1) ひび割れ抽出のための画像処理

本研究の目的であるひび割れの抽出は、その位置

や形状を画像として出力させることであり、基本的に原画像に対して2値化処理を行うことで実現させる。すなわち、これはコンクリート表面のひび割れ画像を、ひび割れの部分とそうでない部分という2値の画像に変換する処理であり、必須の処理となる。本研究では、この処理に2値化を行うための前処理と2値化処理後の画像に対する処理を加え、ひび割れ抽出のための画像処理手順を、図-2 に示される前処理→2値化→2値画像処理とした。以下にはそれぞれの処理過程において利用される画像処理手法について記述する。

a) 2値化処理の決定

2値化処理は、固定しきい値2値化と可変しきい値2値化を検討した。ここで、固定しきい値2値化は、処理対象となる画像のすべての画素に対して同一の固定したしきい値を設け、各画素の輝度がこの値より大きいか小さいかによりその画素を白か黒の2値へ変換する処理である。また、可変しきい値2値化は、処理対象となる画像の局所領域(例えば、3画素×3画素など)ごとに、2値化を行うための輝度のしきい値を設け2値化処理を行うものである。ここで、局所領域とは、図-3 中の実画像を格子状に分割したそれぞれの領域をいう。本研究では、固定しきい値の2値化と比較すると、画像全体の明るさが不均一な場合(例えば、照明むらがある場合)でもひび割れの抽出に有効である可変しきい値2値化を2値化処理手法として採用した。さらに、可変しきい値2値化において、ある局所領域にひび割れが存在する領域かどうかを判定する指標としては、局所領域内の各画素の輝度の平均、分散、ひずみ度および尖度⁸⁾の利用を検討した結果、図-3 に示されるように、ひび割れ部分を含む局所領域内に存在する各画素の輝度の分散は大きくなり、そうでない部

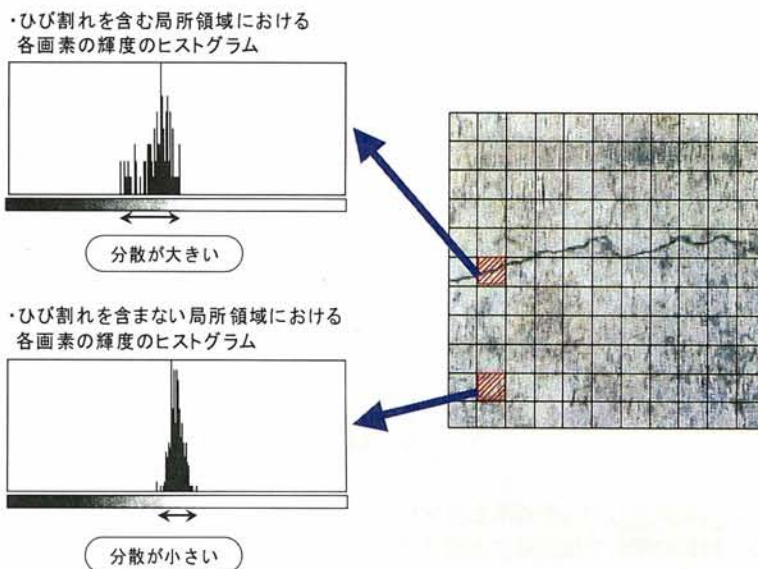


図-3 局所領域での輝度の分散の違い

分の分散は小さくなるというコンクリート表面の特徴からひび割れ抽出に有効な輝度の分散を用いた可変しきい値による2値化を採用した。

ここで、本論文で用いる輝度とは、テレビジョン方式の1つであるNTSC方式のYIQカラーモデルにおける輝度信号 Y を用いている。デジタルカメラで撮影した画像の各画素には、光の3原色(赤(Red), 緑(Green), 青(Blue))のそれぞれの濃度が記録されており、RGBカラーとNTSC方式は、次式のような線形変換の関係にある⁹⁾。

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.522 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

なお、 I はシアンから赤の色差信号(間隔信号)、 Q は緑からマゼンタの色差信号(対角信号)、 R は赤の濃度、 G は緑の濃度、および B は青の濃度である。また、濃度とは、RGBそれぞれが持つ色の濃さをいうものとする。本研究で扱う階調数は、RGB各8ビットの256階調であり、濃度および輝度の範囲は0~255である。なお、輝度および濃度の値は、0に近づくほど黒くなり、255に近づくほど白くなる。YIQカラーモデルは、輝度成分 Y および色成分 I と Q を分けるために作られたものであり、RGBカラーで表現されたカラー画像を輝度信号 Y のみで表現するとモノクロ(グレースケール)になる。すなわち、元のカラー画像をグレースケール化したときの明るさを輝度と定義している。したがって、元画像がモノクロであった場合は、式(1)で変換する必要

がなく、変換した場合でも変化はない。

可変しきい値による2値化では、まず、着目している画素(以下、着目画素)を基準に、ある大きさの局所領域のサイズ、例えば3(画素)×3(画素)や5(画素)×5(画素)などを決定する。次に、その局所領域内の各画素の輝度の分散および平均を求め、着目画素にこれらの情報を与える。処理対象画像のすべての画素にこれらの情報が与えられた後に、求めた分散に対ししきい値を設け、しきい値以上の分散の値を持つ画素は、局所領域サイズで決定されるひび割れ領域の一部であると判断する。続いて、ひび割れ領域の一部であると判断された画素が、ひび割れ部であるかそうでない部分であるかを決定する2値化処理を行う。ここで、2値化のしきい値は、局所領域内の平均輝度値から補正值を引いたものを用いる。なお、着目画素が画像の縁付近にあり、局所領域内に画素が存在しない場合は、局所領域のサイズを変更して対応する。このように、可変しきい値による2値化では、局所領域のサイズ、分散のしきい値、補正值の3つのパラメータが必要である。

b) 前処理の選択

2値化の前処理として、濃度変換、空間フィルタリングを行うが、これらの処理を行うと、濃度のヒストグラムの形状に変化が生じ、輝度の分散にも変化が生じるため、前処理を検討する必要がある。

①コントラストの調整

コントラストとは、1つの画像に含まれる色同士の差の大きさのことである。コントラストの悪い画像というのは、濃度のある特定の部分しか利用して

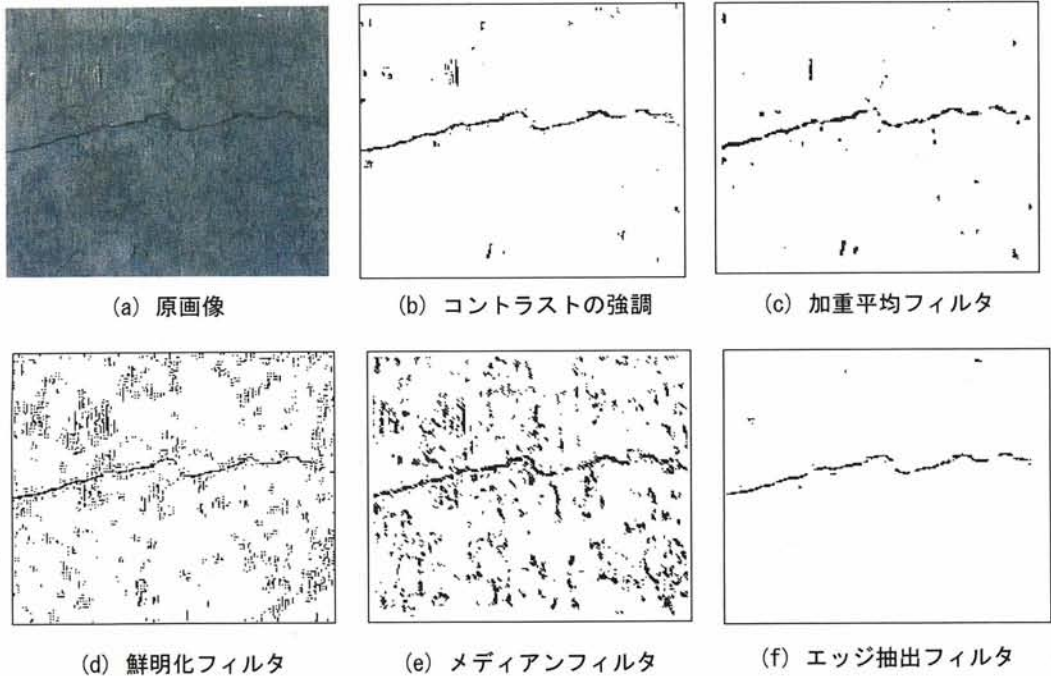


図-4 可変しきい値2値化処理とフィルタ処理を組み合わせた実行例

いない画像のことを指す。逆にコントラストの良い画像とは、濃度がすべての範囲に均等に分散している画像のことを指す⁸⁾。コントラストの強調によって、微妙な濃度変化の部分にも差ができ、ひび割れの部分とそうでない部分のはっきりとし、輝度の分散にも変化が生じることから、2値化の前処理として有効である。

②明るさ調整

明るさの調整は、RGBの各濃度ヒストグラムの形状を変えずに、濃度ヒストグラムを移動させることに相当する。2値化処理は、しきい値を設けてしきい値より大きければ白、小さければ黒の2値に変換するため、2値化処理の前処理としては、効果がない。すなわち、しきい値50で2値化処理した画像と、明るさを10増した後、しきい値60で2値化処理した画像は同一の画像となってしまふ。画像の視認性を高める処理ではあるが、画像の輝度の分散にも影響がないことから、明るさの調整は2値化を行う際には有効ではない。

③加重平均フィルタ

加重平均フィルタは、画像中のノイズを減少させ画像を滑らかにする効果がある⁹⁾が、ひび割れもぼかしてしまうことから、ひび割れの抽出には有効ではない。

④鮮明化フィルタ

ぼけた画像をくっきりと鮮明なものにするために、エッジ部分(輪郭部)の濃度差を強調する濃度変換を行う⁹⁾。鮮明化フィルタは、濃度変化の大きいひび割れ部分を強調し、ひび割れの検出を容易にする。しかし、同時にノイズも強調してしまい、2値化処理後はノイズが多く残ってしまう。よって、ひび割れの抽出には有効ではない。

⑤メディアンフィルタ

メディアンフィルタは、輝度値の飛びぬけて大きい(小さい)ノイズを画像をぼかすことなく除去できる⁹⁾。しかし、ひび割れ部分をノイズとして除去してしまうため、ひび割れの抽出には有効ではない。

⑥エッジ抽出フィルタ(Sobel)

エッジ抽出フィルタは、濃度差の大きい部分をエッジとして抽出する処理である⁸⁾。鮮明化フィルタはエッジ部分を強調する処理であるが、エッジ抽出フィルタはエッジを抽出する処理である。ひび割れ部分は濃度値の変化する値が大きい点であるので、エッジとして抽出される。よって、ひび割れの抽出に有効である。しかし、エッジ抽出処理は、濃度差の大きいノイズまでエッジとして抽出してしまう。

ここで、図-4には、以上に述べた前処理を行い、その後に変しきい値による2値化処理を行った例

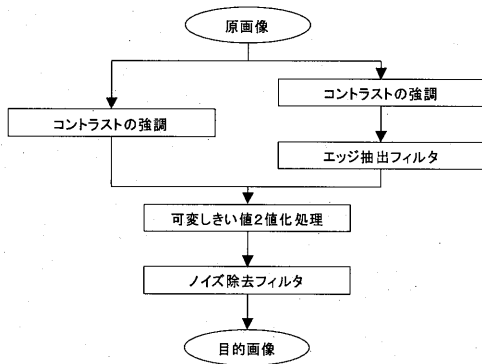


図-5 ひび割れ抽出のための処理フロー

を示す。なお、エッジ抽出フィルタは、エッジが白、背景が黒で出力されるため、階調を反転してから可変しきい値2値化処理を行った。

図-4の結果から判断すると、ひび割れ抽出処理の前処理として有効であるものは、コントラストの強調とエッジ抽出フィルタである。図-4の結果では、加重平均フィルタも比較的良好な結果が得られているが、他のサンプル画像の実験では、ひび割れ部分がぼける場合が多く、また2値化する際に実際のひび割れ幅よりも大きく出力される場合があったことから有効ではないと判断した。ここで、前処理としてコントラストの強調とエッジ抽出フィルタを利用する場合に、どちらかの処理を選択する方法と2つの処理を組み合わせる方法が考えられる。コントラストの強調処理は、濃度ヒストグラムのダイナミックレンジを広げる処理にあたることから、ひび割れ部分とそうでない部分の差を広げる。そこで、コントラストの強調処理を前処理に置くと、エッジ抽出処理は、エッジ部分をより強調して出力する処理となる。これは、エッジ抽出処理を単体で行うよりも効果がある。しかし、エッジ抽出フィルタは、ノイズもエッジとして出力することから、画像によっては、良い出力を得られないこともある。したがって、コントラストの強調処理のみを前処理とする方がよい場合もある。

よって、本研究におけるひび割れ抽出処理の前処理としては、図-5に示されるようにコントラスト強調処理後にエッジ抽出処理を行う方法とコントラストの強調処理のみを行う方法のどちらかを選択する。

c) 2値画像処理の選択

①収縮-膨張処理¹⁰⁾

膨張処理は、連結成分の輪郭画素を外側に1ピクセル分増加させ、厚くする処理である。一方で、収

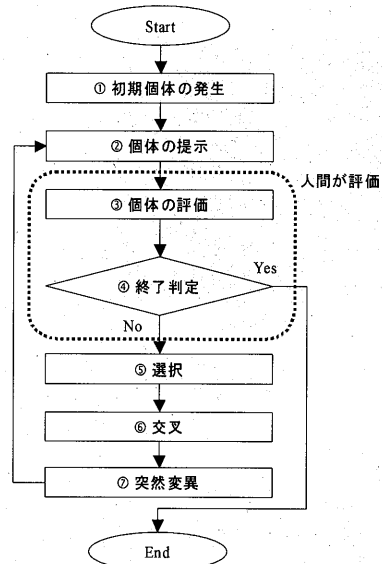


図-6 対話型GAの処理フロー

縮処理は、連結成分の輪郭画素を取り除いて1層分小さくする処理である。収縮処理を行った後、膨張処理を行うと2値化処理後に残る微小なノイズを除去する効果が期待できるが、実際は、ひび割れ自体も細い線であるため、ひび割れ自体も消えてしまい、この手法はノイズの除去には向いていない。

②膨張-収縮処理¹⁰⁾

膨張処理を行った後、収縮処理を行うと、途切れてしまったひび割れ部分を結合させる良い効果がある反面、ノイズも結合し大きくなる悪い面もある。それに加え、ひび割れ本来の形状を崩してしまうことから、ひび割れの抽出には向いていない。

③ノイズ除去フィルタ

膨張と収縮処理では1画素の線は消えてしまう。これでは、ひび割れのような細い線を扱うのには不向きである。そこで、独立している画素のみを除去する。独立する画素とは、周囲の画素と隣接していない画素である。ノイズ除去フィルタは大きな効果は期待できないが、微小なノイズの除去には有効である。よって、2値画像処理は、ノイズ除去フィルタを選択した。

以上の検討を行った結果、本研究では、図-5に示される画像処理フローを採用した。

(2) 画像処理への対話型GAの適用

本節では、GAおよび図-6に示される対話型GAの概要を記述した後、デジタル画像からのひび割れ抽出に必要とされる画像処理手法に伴う各種パラメータの最適化問題（以下、本画像処理問題）への

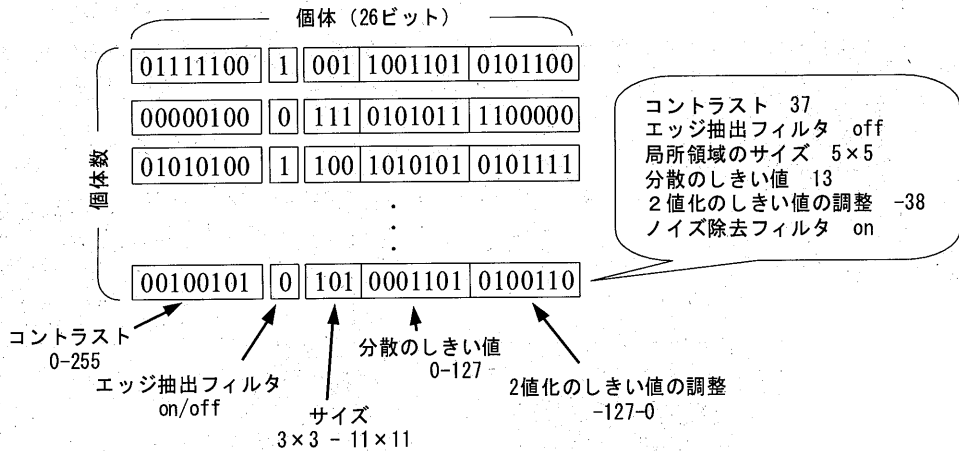


図-7 対象問題の解の遺伝子表現

対話型 GA の適用手法について解説する。

a) GA および対話型 GA の概要

GA は、1960 年代にコンピュータ・シミュレーションによって生物の進化過程を模倣する確率的探索・最適化・学習の一手法として開発された¹¹⁾。GA は、遺伝子をもつ仮想的な生物の集団（個体集団）を計算機内で表現し、あらかじめ定めた環境（対象問題では評価関数）に適応している個体（対象問題の解候補）が、子孫を残す確率が高くなるように世代交代シミュレーションを実行する。すなわち、個体の遺伝子および個体集団を進化させることで対象問題の最適解の探索を行う。具体的には、まず対象問題の解候補を遺伝子列（個体）として表現し、これらの個体集団に遺伝的操作（選択、交叉、突然変異）を加えながら、世代交代を繰り返すことによって優れた個体（最適解）を求めようとするものである。このように、GA は生物の進化過程、つまり自然淘汰（環境に対し適合性の高い個体ほど生存確率が高い）と遺伝現象（古い個体をもとに新しい個体を生成させる）を工学的に単純化したモデルである。ここで、GA を最適化問題の一解法アルゴリズムとして利用する場合、自然淘汰を確率的探索法、また遺伝現象を経験的探索法と見なすことができ、GA は両者の側面を有することから、特に大きな解空間を有する問題には、従来の解探索法と比べて、短時間で近似最適解を探索する能力が期待できる。しかし、対象問題を具体的に GA で解くための一般的な方法がなく、プログラム設計者が選択すべきパラメータが多いという欠点もある。

対話型 GA は、GA による近似最適解の探索をベ

ースとしつつも、GA の処理過程における「評価」の部分人間が行う。つまり、一般的な GA での「評価」の役割は評価関数が担う¹²⁾が、対話型 GA はこの評価関数によって個体の適応度を決定する部分を人間による評価に置き換える。人間を最適化系に組み込むことで、人間の主観的評価が組み込まれることから、対話型 GA は感性をシステムに組み込む技術ということもできる^{13), 14)}。

b) 対話型 GA の適用

図-6 には、対話型 GA の基本動作のフローチャートを示す。また以下には、このフローに従って、本画像処理問題への対話型 GA の適用手法および本研究で開発した対話型 GA によるひび割れ抽出システムを、実際の実行画面を利用して解説する。

① 初期個体の発生

初期解として、乱数を用いてランダムに個体を発生させる。なお、この個体を初期個体と呼ぶ。また、ここでは、決められた数の個体数（個体の集団サイズ）ほど初期個体が生成される。GA では、対象問題の解の遺伝子表現方法として、一般的に対象問題の解を 2 進数コードによって表現する。ここで遺伝子とは、0 もしくは 1 によって表現されるそれぞれのビットをいう。遺伝子表現は、対象問題の解空間を GA による探索空間に写像する手法を決定するものである。なお、本画像処理問題の解は、図-7 に示される 26 ビットの 2 進数コードから構成される個体により表現された。コントラストの調整は、強調のみとし、8 ビット (0~255) を割り当て、この範囲で強調の調整を行う。エッジ抽出フィルタは、使用する場合としない場合があることから、1 ビット

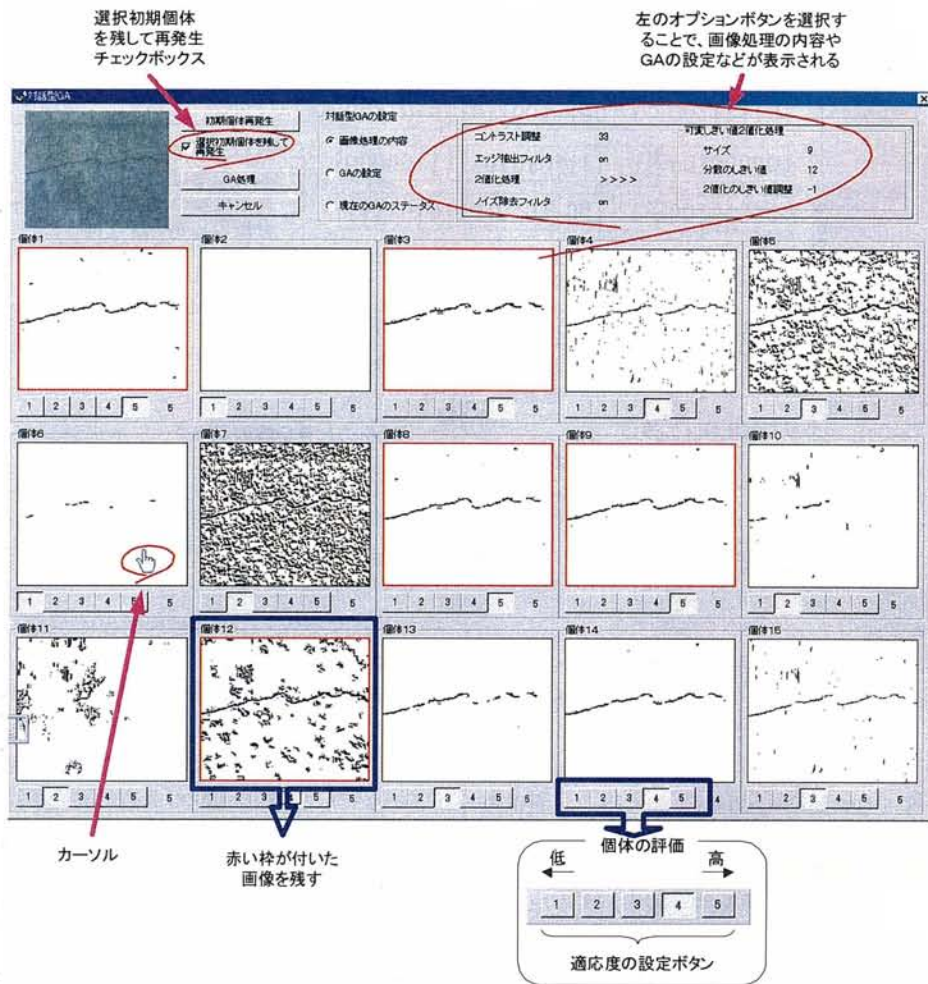


図-8 対話型GAを利用した本システムの実行画面

で on/off を表現する。可変しきい値 2 値化処理は、全部で 17 ビットを割り当て、3 ビットを局所領域のサイズ、7 ビットを分散のしきい値、また 7 ビットを補正值（2 値化のしきい値の調整）とする。局所領域のサイズは、範囲を 3(画素)×3(画素)から 11(画素)×11(画素)としたが、その理由として、① 2(画素)×2(画素)以下の範囲では、分散の値がばらつき、ひび割れを的確に抽出できないこと、② 12(画素)×12(画素)以上の範囲では、計算コストが増大することが挙げられる。分散のしきい値は、その取り得る範囲を、局所領域のサイズごとの分散の最大値および最小値を利用し、0～127 の範囲にスケールし、その値を決定している。2 値化のしきい値の調整（補正值）は、著者らの予備実験をもとに経験的にその範囲を設定した。フィルタ処理を行っていない場合の画像では、コンクリート面とひび割れ部分の輝度の差はほとんどなく、補正值を -20

～0 の範囲に設定した場合でも十分にコンクリート面とひび割れ部分の判別に利用する 2 値化のしきい値の設定に対応できたが、フィルタ処理を行った画像は、各画素の輝度の差が大きくなり、コンクリート面とひび割れ部分を判別するしきい値の設定範囲が広がる。著者らの予備実験では、補正值を -100 としても結果として得られた処理画像の良否に変化があったことから、7 ビット(-127～0)の範囲とした。なお、ノイズ除去フィルタは、本システムの画像処理手順では常に使用することから、個体の遺伝子として on/off を表現する必要はない。

本システムは、処理を行う原画像を選択し、本システムで用いた対話型 GA を起動すると、ランダムに初期個体群を生成し、それぞれの初期個体のコードに従って画像処理を行った結果を提示する(図-8を参照のこと)。例えば、図-7 中の最下部に示される個体(00100101010100011010100110)が生成され

た場合、この個体は、解候補（コントラスト：37、エッジ抽出フィルタ：off、局所領域のサイズ：5（画素）×5（画素）、分散のしきい値：13、2値化のしきい値の調整：-38、ノイズ除去フィルタ：on）を意味する。

②個体の提示

対話型 GA では、各個体の評価を行うのはユーザであることから、ユーザに対して個体（解候補）を提示する必要がある。しかしながら、本システムでは、ユーザに提示する解候補は、個体のコードに従って画像処理を行った「画像」であるために、画面上に表示できる面積において制約を受ける。また個体の評価は、ユーザが行うことからユーザの疲労¹³⁾という観点からも個体数に制約を受ける。さらには、原画像の大きさによっても個体数を変化させる必要がある。以上を考慮し本システムでは個体の集団サイズを 15 とした。図-8 の例では、個体の集団サイズは 15 であることから、15 個の個体それぞれのコードに従って原画像の処理を行った 15 個の処理画像が提示されている。このように、本システムでは、初期個体として 15 個の個体が生成され、その集団サイズを維持しながら世代交代を進め最適な個体（対象問題の最適解）を探索する。なお、図-6 中のステップ 1：初期個体の発生で生成された個体群を 0 世代の個体群とし、ステップ 5：選択、ステップ 6：交叉およびステップ 7：突然変異によって生成された個体群を次世代の個体群と呼ぶ。

このように本システムの個体の集団サイズが小さいため、0 世代の個体、すなわち初期個体が最適な解が存在する空間から掛け離れたものばかりだった場合には、遺伝的操作を行っても解の探索がうまくいかないケースが見られた。そこで、本研究では、初期個体の充実を計るため、アルゴリズムおよびユーザインターフェイスの面で工夫を行った。図-8 で示すように、「選択初期個体を残して再発生」をチェックし、残したい画像をクリックすると、印が付き、選択した初期個体だけを残して、残りの初期個体をランダムに再発生させることができる。この機能を利用することにより、ある程度、人為的に初期個体を調整することができることから、1 世代あたりの集団サイズが少ないという問題点を補うことができる。ただし、あまりにも似通った個体を初期個体集団として発生させると、十分な解探索を行わずに、初期収束¹⁵⁾に陥る可能性が高くなるという短所もある。

③個体の評価

ここでは、各個体について評価を行う。一般的な

GA では、個体は評価関数により対象問題への適応度、すなわち適応度が計算されるが、対話型 GA では、各個体に対してユーザが評価を下し、適応度を割り振る。あくまでもユーザの主観的な評価であるため、相対的な適応度しか与えられない。つまり、適応度からは解の評価は判断できない。この点も一般的な GA と大きく異なる点である¹³⁾。

本システムでは、ユーザは個体のコードに従って処理された画像を 5 段階で評価する。通常、100 点満点のスケールでの評価も考えられるが、あまりにも評価の段階を細かく分割しすぎると、評価する人間にとって過大な負担になりかねない。なお、本研究では、評価が低い順に「1」、「2」、「3」、「4」、「5」で表しており、図-8 で示すようにユーザが主観的に処理画像を評価し、適応度の設定ボタンをクリックすることにより、各個体の適応度が決定される。ユーザが個々の処理画像に対して評価した 1~5 の値が、本画像処理問題の解候補を表現している各個体の適応度となり、この値が高い個体ほど次世代へ生き残る可能性が高くなる。

④終了判定

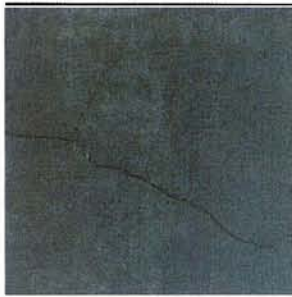
対話型 GA において操作の終了は、ユーザが判断する。ユーザが求める出力が得られたのであれば対話型 GA は終了し、得られていないのであれば対話型 GA は次世代の個体群を生成するために各個体の評価および遺伝的操作（選択、交叉、突然変異）を繰り返す。

本システムでは、ユーザが求める画像が得られ、終了したい場合は、対象の画像をダブルクリックすることで終了できる。

⑤選択

ここでは、一般的な GA と同様に適応度に依存した一定の規則に従って個体の選択を行う。本システムでは、「ルーレット選択+エリート戦略」を適用した。

ルーレット選択¹⁵⁾は、適応度に比例した割合で交叉を行う個体（親個体）を選択する手法である。具体的には、各個体の適応度から同一世代の個体集団中の適応度の比をとり、その値を個体が選択される確率として用いる方式である。したがって、適応度の高い個体ほど、交叉を行う親個体として選択される確率が高くなる。エリート戦略¹⁵⁾は、適応度の高い個体のいくつかを、そのまま次の世代に残すという手法である。これにより、適応度の高い個体が偶然選択されずに死滅することを防ぐことができる。本システムでは、ユーザによる評価が「5」の個体がエリート個体とし、評価が「5」であれば、交叉



(a) サンプル画像 1



(b) サンプル画像 2



(c) サンプル画像 3

図-9 実験に用いたデジタル画像

および突然変異を行うことなくその個体を必ず次の世代へ残す。なお、ルーレット選択によって選択される親個体の数は、エリート個体の数および個体の集団サイズに依存する。

⑥交叉

ルーレット選択によって選択された親個体に対して、交叉を行う。本システムでは、1点交叉¹⁵⁾を適用した。1点交叉は、最も単純な交叉方法であり、交叉点を1箇所選び、その前後で、親個体の遺伝子を入れ替える方法である。本研究での交叉は、2つの個体間で交叉が行われる。例えば、親個体Aが(00100101010100011010100100)、親個体Bが(11111111111111111111111111)であり、交叉点が遺伝子の右から2桁目と3桁目の間に選ばれた場合、子個体は親個体の右側2桁の遺伝子を交換することによって2個体、すなわち子個体(11111111111111111111111110)および子個体(00100101010100011010100111)が生成される。これにより、個体間の良い部分が組み合わせられてより良い個体を作ることができる(むしろその逆も起こりうる)。本研究では、交叉によって冗長な数の個体が生成された場合、すなわち個体の集団サイズを超えた場合は、交叉によって最後に生成された個体を淘汰した。

⑦突然変異

個体の多様性を維持するために、各個体に対し突然変異を行う。本システムでは、全個体のすべての遺伝子(1ビット)に対して、0.00から1.00のランダムな数値を発生させ突然変異率を下回っていれば、対立遺伝子と入れ替える方法を適用した。本研究では、個体は2進数コードで表現されていることから、対立遺伝子とは、0ならば1を、逆に1ならば0を言う。例えば、図-7中の最下部に示される個体(00100101010100011010100110)の右から1桁目の遺伝子が突然変異を起こした場合には、この個体は個

体(00100101010100011010100111)へと変化する。このように、突然変異は、個体集団が収束した際にその解が局所解へ収束することを防ぐ効果、また初期個体生成時に存在しなかった遺伝子パターンを生成する役割を期待される。例えば、すべての初期個体が1桁目の遺伝子として0を有する場合、突然変異以外の遺伝的操作では、1桁目に1を生成することは不可能である。

なお、本システムにおいて、交叉率と突然変異率は、既定値としてそれぞれ「0.8」、「0.05」に設定されており、ユーザは個体の状態によって、これらのパラメータを変えることも可能である。ここで、交叉率とは親個体が交叉を行う確率である。

4. 本システムの実画像への適用

(1)目的

本研究で開発した対話型GAによるひび割れ抽出システムの有効性を検証する。

(2)検証手法

被験者が対話型GAを用いない試行錯誤による方法で実画像を処理した結果と本システムを利用して得られた処理結果とを比較し、本システムの有効性について考察する。

(3)実験手法

実験は大学生5名に対して行った。各被験者は実験に先立ちシステムの使用に関する説明を受け、システムの使用練習を行った後、実験を開始した。実験は、被験者が手作業すなわち試行錯誤で画像を処理する方法(以下、手作業)と本システムを用いて与えられた画像を処理する方法の2種類で行った。手作業と本システム利用の作業効率を比較するため

表-1 手作業で用いる機能一覧

濃度変換	フィルタ処理	2値化処理	ノイズ除去
明るさ コントラスト カラーバランス ネガポジ反転	加重平均フィルタ 鮮明化フィルタ エッジ抽出フィルタ メディアンフィルタ	固定しきい値 可変しきい値	膨張処理 収縮処理 ノイズ除去フィルタ

に、図-9 に示す3種のサンプル画像を実験に用いた。サンプル画像1~3はいずれも311万画素のデジタルカメラを用い、2m画角⁹⁾で撮影した画像の一部を利用した。なお、画像サイズは300×300ピクセルである。また、本実験では撮影条件(絞り、露出、レンズ他)の違いによる本システムの有効性の評価は行っていない。サンプル画像1の特徴は、明るさにムラがあるが、ひび割れは大きくはつきりしている。サンプル画像2の特徴は、ひび割れが小さいため、コンクリート面とひび割れ部分との輝度値の差が小さい。サンプル画像3の特徴は、ひび割れは大きいとはいえないが、コンクリート面の輝度値が比較的高いため、コンクリート面とひび割れ部分と輝度値の差は大きい。

実験手順を以下に示す。

①手作業による画像処理

手作業による画像処理は、表-1に示す画像処理手法を用いて、被験者に自由に試行錯誤によって画像の処理を行ってもらい、被験者が最終的に一番良いと判断したものを出力結果とする。その際、記録するデータは、画像処理により得られた画像、画像処理手順と各種パラメータ値、また処理に要した時間とする。ただし、画像処理の手順「前処理(濃度変換、フィルタ処理)→2値化処理→ノイズ除去」は、事前に教授した。

②本システムを用いた画像処理

本システムを用いた画像処理は、被験者に本システムを用いて画像処理を行ってもらい、GAの世代数などに制限は設けず、被験者の判断でGAによる処理を進め、一番良いと判断したものを出力結果とする。記録するデータは、画像処理結果、画像処理の各種パラメータ値、画像の処理に要した時間および世代数とする。

(4)実験結果

図-10 から図-12 には、実験により得られた画像、画像処理に利用された処理手法およびそれに付随するパラメータ値を示す。なお、手作業による画像処理手法および各種パラメータ値は、被験者が行った処理手順通りに示した。また、本システムによる結果で記述されている世代数は、画像処理が終了したときの世代である。ここで、初期個体の発生は、0

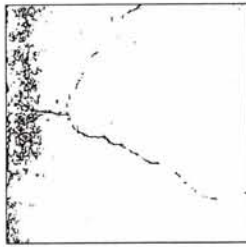
世代とした。本システムでは、先に記述したように「初期個体の再発生」を可能としている。この場合は、世代は増加させず、常に0世代とした。したがって、被験者によっては、初期個体の再発生を繰り返した後に、1世代目でよい個体(画像)が得られたと判断し、作業を終了したケースも見られた。ただし、時間は、最終的な画像が得られた時間である。

(5)考察

本節では、実験により得られた結果から本システムの有効性を考察する。なお、画像処理結果の良否の判断は、客観的な定量的根拠に基づく判断が難しいことから、著者らによる主観的な定性的判断により行った。サンプル画像1に対する各被験者の手作業による処理結果を見ると、被験者C、DおよびEは、ほとんどひび割れを抽出できていない。本システムによる処理結果を見ると、水平方向のひび割れは全被験者が抽出しているが、垂直方向のひび割れは、被験者BおよびCは抽出できていない。続いて、サンプル画像2に対する各被験者の処理結果を見ると、被験者Cの手作業による結果および被験者AまたDの本システムによる結果は、ノイズが多いもののひび割れをしっかりと抽出できている。AまたD以外の被験者の本システムによる結果も、ある程度は、ひび割れを抽出している。しかし、被験者BまたEは、手作業による画像処理では、ひび割れを抽出できていない。最後に、サンプル画像3の処理結果を見ると、手作業による処理また本システムによる処理にかかわらず全被験者がひび割れを抽出できているが、特に被験者Dの本システムによる結果と被験者Bの手作業による結果はノイズが少なく的確にひび割れを抽出している。

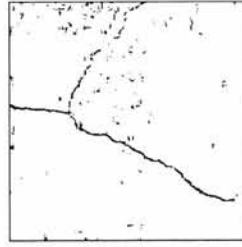
①手作業による処理結果の特徴

各被験者の手作業によって得られた画像処理結果のばらつきが、本システムを利用して得られた結果画像よりも大きい。これは、本実験において利用された処理手法(表-1を参照のこと)の数が不十分であることも考えられるが、被験者が異なった場合でも本システムの利用による画像処理結果ではほぼ同様なレベルの画像が得られていることから、各被験者が手作業によって同様なレベルの画像が得られないことは、画像処理手法の選択およびこれに付随



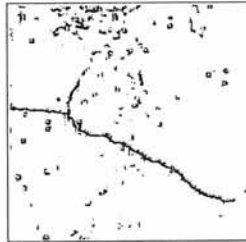
明るさ	128
コントラスト	-41
サイズ	2
分散のしきい値	90
2値化のしきい値	-24
ノイズ除去フィルタ	on
時間	7分21秒

(a-1) 被験者Aの手作業による結果



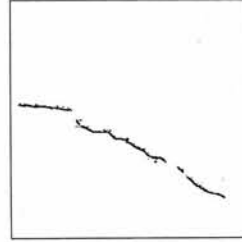
世代数	7
コントラスト	48
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	10
分散のしきい値	12.5
2値化のしきい値	-10
ノイズ除去フィルタ	on
時間	7分20秒

(a-2) 被験者Aの本システムによる結果



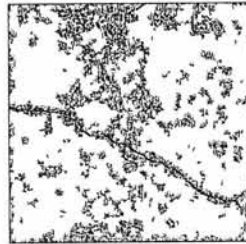
明るさ	137
コントラスト	55
サイズ	6
分散のしきい値	1
2値化のしきい値	0
ノイズ除去フィルタ	on
時間	8分20秒

(b-1) 被験者Bの手作業による結果



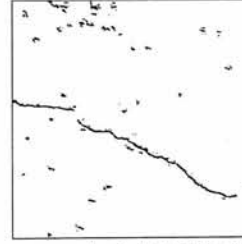
世代数	6
コントラスト	14
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	10
分散のしきい値	38.5
2値化のしきい値	-2
ノイズ除去フィルタ	on
時間	6分9秒

(b-2) 被験者Bの本システムによる結果



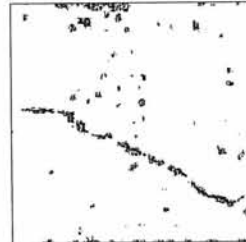
鮮明化フィルタ	on
明るさ	23
コントラスト	2
サイズ	11
分散のしきい値	19
2値化のしきい値	-10
ノイズ除去フィルタ	on
時間	8分42秒

(c-1) 被験者Cの手作業による結果



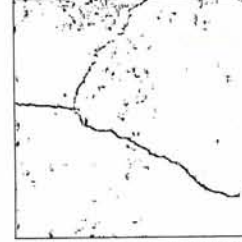
世代数	17
コントラスト	52
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	10
分散のしきい値	25.5
2値化のしきい値	-23
ノイズ除去フィルタ	on
時間	13分2秒

(c-2) 被験者Cの本システムによる結果



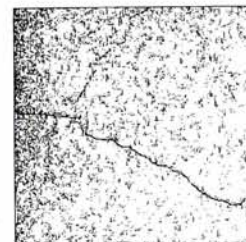
明るさ	-5
コントラスト	80
鮮明化フィルタ	on
サイズ	8
分散のしきい値	41.5
ノイズ除去フィルタ	on
時間	5分32秒

(d-1) 被験者Dの手作業による結果



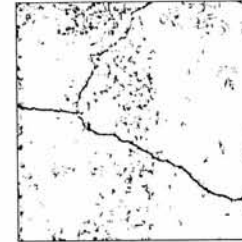
世代数	32
コントラスト	58
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	9
分散のしきい値	12
2値化のしきい値	-9
ノイズ除去フィルタ	on
時間	12分13秒

(d-2) 被験者Dの本システムによる結果



鮮明化フィルタ	on
2値化のしきい値	60
ノイズ除去フィルタ	on
時間	3分26秒

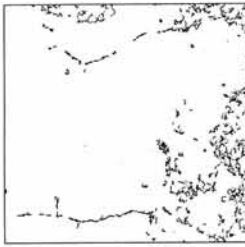
(e-1) 被験者Eの手作業による結果



世代数	10
コントラスト	17
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	10
分散のしきい値	9
2値化のしきい値	-5
ノイズ除去フィルタ	on
時間	8分10秒

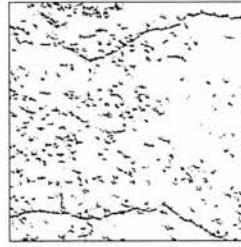
(e-2) 被験者Eの本システムによる結果

図-10 サンプル画像1の実験結果



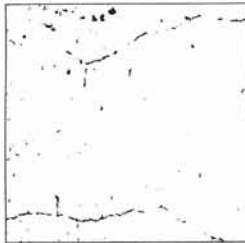
明るさ	117
コントラスト	58
サイズ	3
分散のしきい値	21
2値化のしきい値	-77
ノイズ除去フィルタ	on
時間	5分6秒

(a-1) 被験者Aの手作業による結果



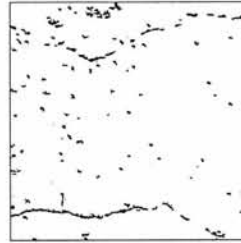
世代数	7
コントラスト	22
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	9
分散のしきい値	10
2値化のしきい値	-15
ノイズ除去フィルタ	on
時間	4分16秒

(a-2) 被験者Aの本システムによる結果



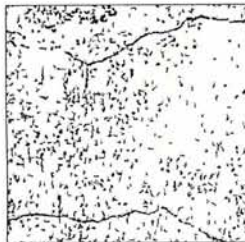
明るさ	77
コントラスト	120
サイズ	15
分散のしきい値	0
2値化のしきい値	-16
ノイズ除去フィルタ	on
時間	6分49秒

(b-1) 被験者Bの手作業による結果



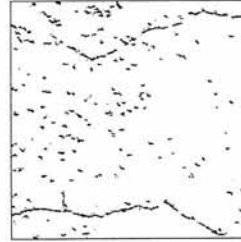
世代数	5
コントラスト	44
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	6
分散のしきい値	20
2値化のしきい値	0
ノイズ除去フィルタ	on
時間	7分16秒

(b-2) 被験者Bの本システムによる結果



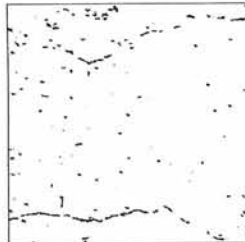
明るさ	50
コントラスト	149
サイズ	7
分散のしきい値	4
2値化のしきい値	-6
ノイズ除去フィルタ	on
時間	6分28秒

(c-1) 被験者Cの手作業による結果



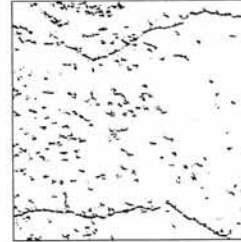
世代数	5
コントラスト	71
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	7
分散のしきい値	19
2値化のしきい値	-27
ノイズ除去フィルタ	on
時間	4分57秒

(c-2) 被験者Cの本システムによる結果



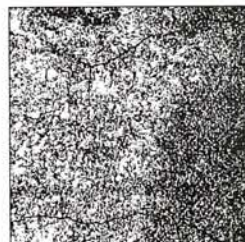
明るさ	85
コントラスト	115
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	4
分散のしきい値	16.5
2値化のしきい値	0
ノイズ除去フィルタ	on
時間	4分42秒

(d-1) 被験者Dの手作業による結果



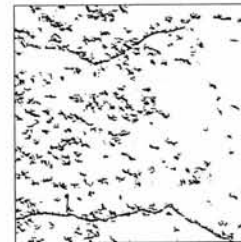
世代数	11
コントラスト	34
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	9
分散のしきい値	12.5
2値化のしきい値	-17
ノイズ除去フィルタ	on
時間	5分16秒

(d-2) 被験者Dの本システムによる結果



鮮明化フィルタ	on
明るさ	43
コントラスト	90
2値化のしきい値	102
ノイズ除去フィルタ	on
時間	5分9秒

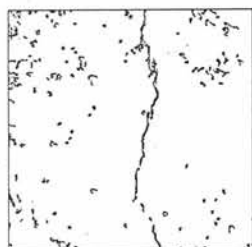
(e-1) 被験者Eの手作業による結果



世代数	27
コントラスト	78
エッジ抽出フィルタ	on
サイズ	9
分散のしきい値	17.5
2値化のしきい値	-7
ノイズ除去フィルタ	on
時間	8分25秒

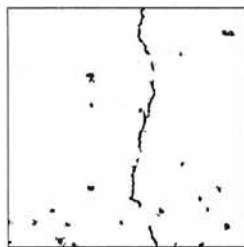
(e-2) 被験者Eの本システムによる結果

図-11 サンプル画像2の実験結果



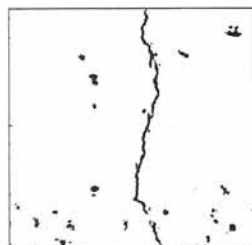
明るさ	152
コントラスト	154
サイズ	4
分散のしきい値	103
2値化のしきい値	-58
ノイズ除去フィルタ	on
時間	3分16秒

(a-1) 被験者Aの手作業による結果



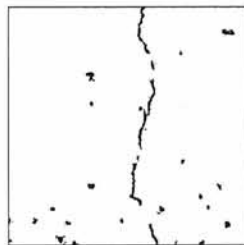
世代数	3
コントラスト	71
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	7
分散のしきい値	18.5
2値化のしきい値	-12
ノイズ除去フィルタ	on
時間	3分12秒

(a-2) 被験者Aの本システムによる結果



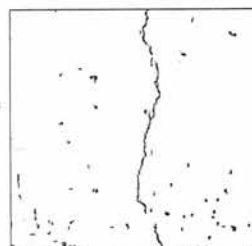
明るさ	136
コントラスト	97
サイズ	15
分散のしきい値	1.5
2値化のしきい値	-4
ノイズ除去フィルタ	on
時間	5分10秒

(b-1) 被験者Bの手作業による結果



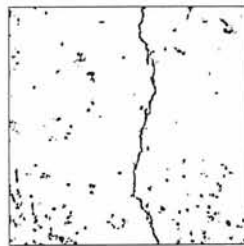
世代数	1
コントラスト	74
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	8
分散のしきい値	22.5
2値化のしきい値	-2
ノイズ除去フィルタ	on
時間	3分21秒

(b-2) 被験者Bの本システムによる結果



鮮明化フィルタ	on
明るさ	23
コントラスト	34
サイズ	10
分散のしきい値	4.5
2値化のしきい値	-30
ノイズ除去フィルタ	on
時間	3分27秒

(c-1) 被験者Cの手作業による結果



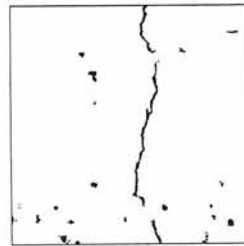
世代数	4
コントラスト	68
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	6
分散のしきい値	3.5
2値化のしきい値	-5
ノイズ除去フィルタ	on
時間	4分2秒

(c-2) 被験者Cの本システムによる結果



サイズ	2
分散のしきい値	4
2値化のしきい値	0
ノイズ除去フィルタ	on
時間	1分32秒

(d-1) 被験者Dの手作業による結果



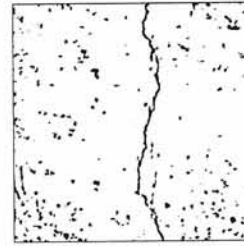
世代数	15
コントラスト	94
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	10
分散のしきい値	4.5
2値化のしきい値	-15
ノイズ除去フィルタ	on
時間	2分40秒

(d-2) 被験者Dの本システムによる結果



明るさ	67
コントラスト	194
2値化のしきい値	97
ノイズ除去フィルタ	on
時間	3分22秒

(e-1) 被験者Eの手作業による結果



世代数	9
コントラスト	75
エッジ抽出フィルタ	off
サイズ	10
分散のしきい値	3
2値化のしきい値	-9
ノイズ除去フィルタ	on
時間	4分52秒

(e-2) 被験者Eの本システムによる結果

図-12 サンプル画像3の実験結果

するパラメータの調整が困難であることが分かる。本実験を開始する前に被験者には、ひび割れ抽出のために必要とされるある程度の画像処理手順のコツすなわち図-5に示された画像処理手順や、3章に記述した著者らが検討したひび割れ抽出に利用可能な画像処理手法に関する実験の結果は、事前に被験者に伝えたために、利用している画像処理の手順は、ほぼ同様であるが、各種手法のパラメータの調節には、大きなばらつきがあることから、これらパラメータの最適化は、被験者にとって困難な作業であると言える。本システムではコンピュータが処理をした最終的な画像のみを判別すれば良いのに対し、手作業では作業中は最終的な画像はわからないため、結果が思わしくなければ前の処理に戻りやり直す必要性が生じる。この煩わしさから、各種手法のパラメータの最適化が困難となりひび割れをうまく抽出できなかった被験者もいる。

②本システムによる処理結果の特徴

各被験者による画像処理結果は、手作業による処理結果よりも、本システムによって得られた結果の方がばらつきが小さいという傾向が見られる。しかし、結果のばらつきは見られることから、十分な解探索が行えていないことが考えられる。これは、対話型 GA を利用した本システムは、画面に表示できる処理画像数の制約から1世代あたりの個体数（個体の集団サイズ）に制約があり、また各個体の評価をユーザ自身が5段階に大まかに評価するために、個体の初期収束性が強くなることから、解の探索を行う世代数が極端に少なくなる傾向がある。また、すべての個体評価をユーザが行うため、さらに作業も単純であることから、ユーザの疲労も世代数が少なくなる一要因である。このために、対象とする最適化問題の解空間の広さに対して、十分な探索空間で最適解の探索が行えない場合がある。つまり、対話型 GA は、世代数が少ないゆえに初期個体への依存度が高く、初期個体群が最適解から掛け離れた空間ばかりに存在した場合に、少ない世代また少ない1世代あたりの個体数では、最適解に近づくのは難しい。また、たとえ探索点の近傍に最適解が存在しても個体が最適解に収束することは困難な場合が生じる。今後は、対話型 GA の利用に関連するこれらの問題点の解決がさらなる有効なシステム開発において重要となる。例えば、各個体の近傍空間の探索を自動に行いユーザに提示する。ひび割れ抽出に有効な評価関数を設定し、ユーザの個体評価による解探索と平行してこの評価関数を利用した解探索を行うなどの解探索アルゴリズムに工夫が必要であろう。

③手作業および本システムによって得られた処理結果の比較

本システムによって得られたひび割れ抽出結果は、被験者の手作業によって得られた結果と比較すると、同等もしくはそれ以上の良い結果を得ている。また、画像処理時間も、本システム利用において多少時間を要した被験者もいるが、全体的にはほぼ同様の処理時間であったことから、対話型 GA を利用した本システムの有効性は確認された。ただし、両手法の結果は、画面にノイズが残るなど、明瞭なひび割れの抽出には至っていない。また、利用している処理手順は、どちらの手法も似通っているが、これは、本実験の時間を十分に取れなかったことから、被験者が実験を行う前に、ある程度の画像処理に関する知識は実験前の事前説明の際に教授したことに依存している可能性が大きい。本来であれば、画像処理手順やパラメータ設定は、ユーザ自身が画像処理の試行錯誤による経験によって獲得し、これらの処理事例すなわち知識を本システムへ反映させるべきである。以上の理由から、今後もひび割れ抽出における各処理手法のさらなる有効性の検討および新たな画像処理手法の追加が必要であるとともに、人間によって処理された画像処理事例などをデータベースに蓄積し、これらを本システムへ反映させる工夫も必要になる。

④本システムの利便性

被験者の多くが、手作業による画像処理に比べ、本システムは疲労度が高いというコメントを残した。本システムは、市販されている一般的なパーソナルコンピュータ上で作動するが、ユーザが画像の処理に必要とする時間の多くは、ユーザ自身のシステム操作ではなく、システムが画像の処理を行う時間に多くの時間が割かれる、すなわち、多くの時間が、本システムが画像を処理し提示するための時間であり、1世代につき約1分間の時間を要する。その度に被験者はパソコンによる画像処理を待つことになり、心理的な疲労を感じることから、被験者が本システムを利用すると疲労度が高いと評価したと考えられる。

5. 結論

本論文では、デジタルカメラにより取得した画像からひび割れを自動抽出する手法の検討を行うとともに、ひび割れ抽出システムのプロトタイプシステムを開発した。

以下、本研究で得られた主要な成果を記述する。

- ① 本研究では、デジタル画像からひび割れを抽出するための画像処理手順を「前処理」→「2値化」→「2値画像処理」とし、それぞれのステップごとにひび割れ抽出に効果的であると考えられる既存の処理手法および独自の処理手法を検討し、その結果をもとにひび割れ抽出システムを開発した。
- ② 本システムでは、デジタル画像からのひび割れ抽出に必要なとされる画像処理手法の組み合わせやこれら画像処理手法に伴う各種パラメータの最適化に対話型GAを利用した独自の手法を提案して適用を試みた。これにより、本システムのユーザは、画像処理を行う際に処理パラメータの試行錯誤過程を要さず、ユーザは自動処理された画像（個体）を評価していくことにより、ひび割れの抽出を行なうことが可能となった。
- ③ 本研究の実験結果では、本システムによって得られたひび割れ抽出結果は、被験者の手作業によって得られた結果と比較すると、同等もしくはそれ以上の良い結果を得た。

続いて、以下には、今後の課題をまとめる。

- ① 対話型GAを利用した本システムは、画面に表示できる処理画像数の制約から1世代あたりの個体数に制約が生じること、またユーザの疲労が原因となり、対象とする最適化問題の解空間の広さに対して、十分な探索空間で最適解の探索が行えないという欠点が明らかになった。本研究では、初期個体群の発生方法などの工夫を行ったが、今後さらに、解探索能力を改善させる新たなアルゴリズムの工夫が必要である。
- ② 本研究の実験結果から、処理画面にノイズが残るものやひび割れが途中で途切れるものが多く、現在の画像処理手法では、その処理能力に限界があることが明らかとなった。今後、ひび割れの抽出に特化した処理手法の追加を検討する必要がある。
- ③ 本システムの利用において、本システムの画像処理速度の遅さから、ユーザが肉体的疲労、心理的疲労を訴える場合があった。このため、処理速度の向上をはかりユーザの負担を軽減する必要がある。

謝辞：本研究をまとめるにあたり、種々のご援助を頂いた(株)西日本情報システム 樋口陽一氏ならびに山口大学大学院生 安東克真氏に感謝の意を表します。また、実験に協力頂いた山口大学 知能情報シ

ステム工学科 システム設計工学研究室の学生諸氏に感謝します。

参考文献

- 1) 小野定：非破壊検査手法による診断技術の現状と今後、橋梁と基礎，設計図書，pp.105-108，2001.8.
- 2) 小出博：特殊用途カメラの研究「画像診断支援システム」開発とその活用，映像情報メディア学会誌，pp.1-4，1999.9.
- 3) 杉崎守：赤外線センサおよび可視画像処理に依るコンクリート劣化調査，構造物の診断と補修に関する第13回技術・研究発表会論文集，日本構造物診断技術協会，pp.31-41，2001.11.
- 4) 土木学会：【2001年制定】コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2001.1.
- 5) 濱村誠彦，佐藤仁人：デジタル画像によるコンクリートひび割れ検出方法の研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.437-438，2000.9.
- 6) 佐々木康史，三田村浩，今野久志他：デジタル画像による床版劣化判定システムの開発，土木学会第56回年次学術講演会，pp.246-247，2001.10.
- 7) 岡俊蔵，村井亮介，勝野壽男，佐伯輝夫，藤井堅：CCDカメラを用いたコンクリート床版ひび割れ検出に関する実橋実験，土木学会第54回年次学術講演会，pp.452-453，1999.9.
- 8) 村上伸一：画像処理工学，東京電機大学出版局，1996.9.
- 9) 酒井幸市：デジタル画像処理入門，コロナ社，1997.12.
- 10) 井上誠喜，八木伸行，林正樹，中須英輔，三谷公二，奥井誠人：C言語で学ぶ実践画像処理，オーム社，1999.
- 11) 日本ファジィ学会：ファジィとソフトコンピューティングハンドブック，共立出版，2000.9.
- 12) 宮本文穂，河村圭，中村秀明：Bridge Management System(BMS)を利用した既存橋梁の最適維持管理計画の策定，土木学会論文集，No.588/VI-38，pp.191-208，1998.3.
- 13) 高木英行，畝見達夫，寺尾隆雄：対話型進化計算の研究動向，人工知能学会誌，vol.13，no.5，pp.692-703，1998.9.
- 14) 西野浩明，高木英行，宇都宮孝一：対話型進化計算と幾何モデラによる相補型デザインシステムの試作と評価，MPSシンポジウム論文集，情報処理学会，pp.179-186，2001.10.
- 15) 安居院猛，長尾智晴：ジェネティックアルゴリズム，昭晃堂，1993.9.

(2002.11.5 受付)

PROPOSAL OF A CRACK PATTERN EXTRACTION METHOD FROM DIGITAL IMAGES USING AN INTERACTIVE GENETIC ALGORITHM

Kei KAWAMURA, Ayaho MIYAMOTO, Hideaki NAKAMURA
and Ryo SATO

This paper describes a novel approach for developing a system that extracts a crack pattern from digital images. A characteristic feature of the system is the use of an interactive genetic algorithm to optimize some parameters involved in the digital image processing. The algorithm prevents the system user from adjusting the parameters by trial and error. The user only evaluates some images produced by the system. The effectiveness of the system is verified by comparison of the results processed by trial and error and those obtained by using the proposed system.