

## 学位論文の要旨

氏名

古屋 保

学位論文題目

遺伝的アルゴリズムによる疑似中間調画像の階調復元

本論文は、多階調の濃淡原画像に対しハーフトーン処理した2値化画像を、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithms) により逆ハーフトーンを行い、元の多階調の画像に復元する手法についてまとめたものである。

第1章は、研究の背景と一般的なデジタルハーフトーン手法、そしてGAを利用した画像処理の例として、GAによるハーフトーン処理法について述べる。連続階調の原画像を白黒2階調で疑似中間調表現するハーフトーン処理は、プリンタや低階調のフラット・パネル・ディスプレイなど表現できる階調数が限られているデバイスでの出力に利用されている。しかし、PCのモニターへの出力やスケーリング等の画像編集や画像解析においては、多階調の濃淡画像が適している。印刷物のような2値画像から元の多階調のデジタル画像を再構成する技術を逆ハーフトーン処理と呼ぶ。デジタルハーフトーン処理には、単純2値化法や、組織的ディザ法、誤差拡散法などといった代表的な手法があるが、逆ハーフトーン処理においては、1つのものから多くのものを構築する (one-to-many) 手法であるため、確固たる技法が確立していない現状がある。一方、GAを利用した画像処理の例として、GAによるハーフトーン処理が既に提案されている。初期値としてランダムな2値画像を用意し、それと原画像とを比較しその誤差を減少させるように、ビットパターンを変化させながら反復処理を行っていく方法であり、広大なビットパターン空間の中で、最も原画像の階調表現に近いものを探索する手段としてGAを利用している。GAの利点は、解空間を個体集合として扱い、ランダムに与えられた初期解から多様性を保持しながら並列に探索を行うため、広域での最適解探索が可能となるといわれている。本研究は、白黒2値のデータから、原画像の表現に近い最適な濃淡濃度値を探索することを最適化探索問題と捉え、その解法にGAを適用し検証するものである。

第2章は、GAによる逆ハーフトーン処理を提案する。この手法は、復元対象の2値画像に対し平滑化処理を行い、空間画像領域において、エッジ領域における目標濃淡画像と、非エッジ領域における目標濃淡画像を求め、それぞれの目標濃淡画像と推定復元画像との濃度値の局所2乗平均誤差 (RMSE) を、エッジレベルの度合いに従い、最適な加算配分で算出した誤差値を評価値とみなして、その誤差値が最小となるようGA処理を行っていくものである。解像度512×512ピクセルで256階調グレースケールのLena画像およびPeppers画像を、誤差拡散法により2値化した画像を復元対象画像とした場合、本手法により復元処理を行ったところ、原画像とのPSNR値が、それぞれ31.4[dB], 28.8[dB]という評価を結果として得ることができた。

第3章は、第2章で示したGAによる逆ハーフトーン処理に関する評価関数について検討する。第2章で述べた逆ハーフトーン手法は、入力画像の平滑化画像から、エッジ領域、非エッジ領域、および中間の3つの領域においてそれぞれ目標画像を作成し、それと推定復元画像とのRMSEの凸集合を評価関数と定義していた。しかし、RMSEを採るにあたり、復元画像においても入力画像に施した平滑化処理を行った方が適当であると検討し、本章では、復元画像に対しハーフトーン処理を施した後、平滑化処理を行ってRMSEを算出する方法を追加した。また、平滑化処理においてガウシアンフィルタのカーネル及びメディアンフィルタを見直し、エッジレベルについても算出方法を見直した。その結果、第2章と同様の復元対象画像Lena画像およびPeppers画像に対し、本手法により復元処理を行ったところ、原画像とのPSNR値が、それぞれ31.5[dB]、29.7[dB]という評価となり、第2章の結果よりも改善がみられた。

第4章は、本研究の成果と今後の課題を総括する。GAを用いた逆ハーフトーン処理について、その濃淡画像への復元手法について検討し、誤差拡散法、組織的ディザ法、及びGA法により生成されたそれぞれの2値化画像からの復元結果として、品質の高い画像を生成することができることを実験で検証した。更に、いくつかの評価関数による組み合わせによる方法と、平滑化処理やエッジレベルの算出方法の見直しを図ったことにより、復元結果の品質の改善がみられた。現時点では、これまでに報告されている手法の中で最良の結果とはなっていないが、他の提案されている手法のほとんどが、誤差拡散法による2値化画像を復元対象に限定しているのに対して、本研究の手法は、特定のハーフトーン手法によらないものである。今後は、周波数領域での評価を組み入れることで、これまで十分でなかったエッジ情報の復元効果が向上できるよう、更なる効果的な評価関数の開発に取り組んでいく。

## 論文審査の要旨

報告番号	理工研 第315号	氏名	古屋 保
審査委員	主査	森 邦彦	
	副査	淵田 孝康	佐野 英樹
学位論文題目 遺伝的アルゴリズムによる疑似中間調画像の階調復元 (Inverse Halftoning Method for Pseudo Continuous Tone Images using Genetic Algorithms)			
<p>審査要旨</p> <p>本論文は、多階調の濃淡原画像に対しハーフトーン処理した2値化画像を、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithms) により逆ハーフトーンを行い、元の多階調の画像に復元する手法についてまとめたものである。</p> <p>第1章は、研究の背景と一般的なデジタルハーフトーン手法、そしてGAを利用した画像処理の例として、GAによるハーフトーン処理法について述べている。印刷物のような2値画像から元の多階調のデジタル画像を再構成する技術を逆ハーフトーン処理と呼ぶ。逆ハーフトーン処理においては、1つのものから多くのものを構築する (one-to-many) 手法であるため、確固たる技法が確立していない現状がある。一方、GAを利用した画像処理の例として、GAによるハーフトーン処理が既に提案されている。GAの利点は、解空間を個体集合として扱い、ランダムに与えられた初期解から多様性を保持しながら並列に探索を行うため、広域での最適解探索が可能となるといわれている。</p> <p>第2章は、GAによる逆ハーフトーン処理を提案している。この手法は、復元対象の2値画像に対し平滑化処理を行い、空間画像領域において、エッジ領域における目標濃淡画像と、非エッジ領域における目標濃淡画像を求め、それぞれの目標濃淡画像と推定復元画像との濃度値の局所2乗平均誤差 (RMSE) を、エッジレベルの度合いに従い、最適な加算配分で算出した誤差値を評価値とみなして、その誤差値が最小となるようGA処理を行っていくものである。誤差拡散法により2値化した画像を復元対象画像とした場合、本手法により復元処理を行ったところ、原画像とのPSNR値が、それぞれ31.4[dB], 28.8[dB]という評価を結果として得ることができた。</p> <p>第3章は、第2章で示したGAによる逆ハーフトーン処理に関する評価関数について検討している。また、平滑化処理においてガウシアンフィルタのカーネル及びメディアンフィルタを見直し、エッジレベルについても算出方法を見直した。その結果、原画像とのPSNR値が、それぞれ31.5[dB], 29.7[dB]という評価となり、第2章の結果よりも改善がみられた。</p> <p>第4章は、本研究の成果と今後の課題を総括している。</p> <p>以上本論文では、GAを用いた逆ハーフトーン処理について、その濃淡画像への復元手法について検討し、誤差拡散法、組織的ディザ法、及びGA法により生成されたそれぞれの2値化画像からの復元結果として、品質の高い画像を生成することができることを実験で検証した。更に、いくつかの評価関数による組み合わせによる方法と、平滑化処理やエッジレベルの算出方法の見直しを図ったことにより、復元結果の品質の改善がみられた。他の提案されている手法のほとんどが、誤差拡散法による2値化画像を復元対象に限定しているのに対して、本研究の手法は、特定のハーフトーン手法によらないものであり工学的に極めてユニークでかつ有用である。</p> <p>よって、審査委員会は博士 (工学) の学位論文として合格と判定する。</p>			

## 最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第315号	氏名	古屋 保
審査委員	主査	森 邦彦	
	副査	淵田 孝康	佐野 英樹

平成21年8月5日に論文発表会が開催され、1時間余りの説明と30分の活発な質疑応答が発表者と3名の審査委員を含む20名の参加者の間でなされ、的確な回答が得られた。主な質疑応答の内容を以下に示す。

【質問1】LenaとPeppers以外の画像(Boat, Gold hill等)での復元結果について、ガウシアンフィルタでの復元結果でしかPSNR値の比較を行っていないが、他の先行研究での結果とは比較できなかったのか。

【回答】他の先行研究でのプログラムが入手できず検証していない。論文に掲載しているLenaとPeppers画像での復元結果(PSNR値)については、先行研究の論文での結果を引用させてもらった。

【質問2】今後の課題で「(提案手法による復元結果は)エッジ情報が十分に復元できていない」とあるが、何故そう言えるのか。

【回答】復元結果のエッジ情報について、提案手法に比べ、ガウシアンフィルタの復元結果では再現できているということは、入力2値画像にはエッジ情報が少なからず存在することになり、提案手法の復元結果においては、その情報が欠損していることが視覚的に判断できるため。

【質問3】エッジレベルでエッジ領域および非エッジ領域をどのように区別しているか。

【回答】入力2値画像を平滑化して生成した目標画像において、空間領域におけるある行ピクセルについて濃度値の局所分散値を取ったところ、局所分散値が画像においてエッジと判断される所では高く、そうでない所では低いことがグラフにより検証できたため、エッジレベルでは局所分散値の値をもとに算出している。

【質問4】「ハーフトーンカーネルに依存せずに高品質に復元できる」とあるが、誤差拡散法による入力画像でしか検証していないようだが。

【回答】誤差拡散法以外にも、ディザ法(2種類)やGA法による二値化画像を入力画像として検証している。

【質問5】GAでの画像処理は画期的なものなのか。

【回答】高解像度化等の画像処理に利用されている研究例もあり、線形的に処理していくことが困難な場合等の最適化手法による画像処理での研究において、GAは良く利用されている。

【質問6】この研究での問題とする所はどこか、これによって解決できる問題等があるのか。

【回答】大きな目的としては、原画像が存在しない印刷物の2値データを濃淡化して画像を復元することである。画像解析やリサイズ等の画像処理を行うためには2値画像では困難であるため。

【質問7】一般的な印刷物でのハーフトーン手法は網点手法を利用しているが、2値画像が網点であった場合での検証はしているのか。

【回答】実際に印刷物をスキャナでスキャンしたデータで検証しようとしたが、スキャナの解像度の問題か、スキャンした時点で階調数が増え(濃淡化し)てしまい、従って2値データとしての入手が困難であり結果を検証することができなかった。

【質問8】GAは処理時間はかかると思うが、他の先行研究での手法での処理時間はどうなのか。

【回答】実際に処理時間について検証していないが、他の手法はハーフトーンカーネルが既知ということで、インバースフィルタを使用しているケースもあり、イテレーションを行っていないので、提案手法よりも処理時間はかからないと判断できる。

以上のように、質問に対し概ね的確で十分な回答が得られた。3名の審査委員は本人が大学院博士後期課程の修了者としての学力ならびに見識を有するものと認め、博士(工学)の学位を与えるに足りる資格を有するものと認定した。