

氏名(本籍)	齋藤文彦 (岩手県)
学位の種類	博士(情報科学)
学位記番号	情 第 8 号
学位授与年月日	平成 10 年 11 月 12 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
最終学歴	昭和56年 3 月 慶應義塾大学工学部卒業
学位論文題目	知的画像処理手法による輪郭線抽出に関する研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 猪岡 光 東北大学教授 根元 義章 東北大学教授 川又 政征 東北大学助教授 石原 正 (工学研究科)

論文内容の要旨

画像内に存在する図形の大局的な輪郭線を抽出することは、画像認識において重要な処理である。輪郭線が連続して途切れがなく、かつ周辺にノイズ点が存在していない場合は、輪郭線を構成する画素を順に追跡することが可能であるため、輪郭線の抽出は比較的容易である。しかし、画像のコントラストが低い場合は、輪郭線の一部が掠れによって不連続となり、しかも周辺にはノイズ点が発生することが多い。このように不連続な輪郭線とノイズ点が混在する画像内から連続した輪郭線を抽出するためには、すべての点の中から輪郭線を構成するために必要な一部の点群だけを選択し、次に、これらの点群を正しい順に連結する処理が必要となる。本論文では、多くの点が散在する画像の中から、輪郭線の一部となる輪郭点を選択し、これらの点を相互に連結して視覚的に意味を持つ連続した輪郭線として抽出するための手法について述べる。輪郭線を構成するために必要な正しい点群だけを画像内から選択する処理と、これらの点群を互いに連結して視覚的に自然な連続した輪郭線として抽出する処理は、いずれも個々の点の周辺領域内の局所的な特徴だけを用いる従来からの画像処理手法によって実現することは困難である。これらの処理を高い信頼性で実現するためには、対象となる点と他の点との相対的な位置関係の評価が必要となり、画像の広い領域に亘る大局的な特徴を用いた新しい画像認識手法が要求される。本研究では、連続した輪郭線抽出に関するこのような大局的な認識を計算機によって実現するために、ニューラルネットワークと遺伝的アルゴリズムを基本手法として用いている。これらの手法を用いることによって、画像の広い領域内における点の配置関係を大局的に評価することが可能となり、ノイズ点を含む画像内から輪郭点だけを選択し、これらの輪郭点を正しい順序に連結して視覚的に適切な連続した輪郭線として抽出することが可能となった。

本論文の第 1 章では、本研究の背景と目的について述べている。本論文の第 2 章以降にて述べている各手法は、液晶ディスプレイ画面に発生する不定形な輝度むら欠陥の形状を検出するという、具体的な産業応用を最終的な目標としている。液晶ディスプレイの輝度むら欠陥は、背景領域とのコントラストが極めて低いために、画像内において局所的に輝度差が発生している部分を検出する空間微分処理を施しても、輝度むら欠陥の輪郭線が不連続となり、また、画像センシングシステムの限界から、周辺に多くのノイズ点が発生する場合がある。第 1 章では、このような状態の画像から輝度むら欠陥の正確な輪郭線の形状を検出することは、画像の局所的な特徴を用いる従来からの画像処理手法によっては困難であり、大局的な輪郭線抽出処理が必要となることを示している。また、我々人間が点の集合をまとまった連続した

線として知覚する場合、ゲシュタルト心理学における視覚的群化要因が働いていると言われているが、散在する点同士を連結して大局的な輪郭線として抽出するためには、視覚的群化要因に基づく画像認識手法が有効であることについても述べている。更に、本論文の全体的な構成についても述べている。

第2章では、画像内の各点に関して、その周辺領域内に存在するすべての点の2次元的な配置パターンを特徴量とすることによって、ニューラルネットワークを用いて、その点が輪郭線の一部となる輪郭点かノイズ点かを判定する手法について述べている。各点に関する視覚による判定結果をニューラルネットワークへの教師信号として用いることによって、各種の画像について適切な輪郭点を抽出できることを示した。また、原画像を極座標系に変換する Complex-log-mapping と、位相差の影響を受けないフーリエ変換から構成される前処理を用いることによって、点の2次元的な配置パターンを画像の回転に対して不変な特徴量に変換することができ、その結果、ニューラルネットワークの認識率が向上することを示した。更に、輪郭線画像とノイズ点画像を分離した画像パターンと、連続した輪郭線と不連続な輪郭線による画像パターンの各組み合わせによる計4種類の異なる学習パターンによってニューラルネットワークを学習させたところ、各々が異なる判定傾向を持ち、認識の対象となる画像の状態に近いパターンによって学習させたニューラルネットワークほど高い認識率が得られることを示した。また、各々異なるパターンによって学習させた4種類のニューラルネットワークによる判定結果を更に2段目のニューラルネットワークによって総合的に判定することによって、より高い認識性能が得られることも示した。

第3章では、生物の進化過程における各種の遺伝的操作に着想を得た遺伝的アルゴリズムを用い、不連続な閉曲線とノイズ点が混在する画像から閉曲線を構成する輪郭点候補を選択し、これらの輪郭点候補を相互に連結して連続した閉曲線として認識する手法について述べている。ここでは、画像内から一定数の輪郭点候補を選択して閉曲線を形成するが、これら輪郭点候補の集合を視覚的にまとめた連続曲線として認識するために、ゲシュタルト心理学における視覚的群化要因の中で、点間の近接と連続性という2種類の要因に基づいて閉曲線の全体形状を評価している。各種の画像に関する実験を通して、本手法によって、視覚によって知覚される主観的な閉曲線とほぼ同様な形状の連続した閉曲線を抽出できることを示した。また、大局的な解探索能力に優れた遺伝的アルゴリズムを用いることによって、画像内から輪郭点候補を選択する場合の膨大な組合せ総数の中から、視覚的に適切な閉曲線を構成することができる実用解が効率的に求められることを示した。

第4章では、周囲長が不定で凹凸を含むような、より複雑な形状を持つ不連続な閉曲線に関して正確な全体形状を求めることを目的に、第3章にて提案した遺伝的アルゴリズムによる閉曲線抽出手法を改良した手法について述べている。第3章にて述べた手法では、閉曲線を構成するために画像内から選択する輪郭点候補の数が一定であるという制限があったが、ここでは、遺伝的アルゴリズムの進化の過程で、輪郭点候補の数が動的に変化し、目的とする閉曲線を構成するための適切な候補点数を求めることができる手法を提案している。輪郭点候補の数を認識処理の過程で可変とするために、遺伝的アルゴリズムにおける遺伝子の表現方法を画像内に存在する各点と一対一に対応するビット配列に変更し、また、交叉等の遺伝的操作方法にも改良を行った。各個体の環境への適応度は、第3章にて述べた手法と同様、近接と連続性の視覚的群化要因に基づいて評価する。実験の結果、複雑な形状を持つ各種の不連続な閉曲線を含む画像に関して、進化の過程で閉曲線を構成するために適切な数の輪郭点候補が求められることが確認され、視覚的により適切な形状を持つ連続した閉曲線が得られることを示した。第3章にて述べた手法と比較して、本手法が閉曲線の抽出に関して、より高い汎用性を持ち、また、遺伝子の定義方法が単純化されているために、より効率的な解の探索が実現されていることを実験によって示した。

第5章では、第3章および第4章にて述べた手法のように対象図形を閉曲線に限定せず、より一般的な直線や任意の形状を持つ曲線も抽出するために、第3章にて提案した遺伝的アルゴリズムによる閉曲線抽出手法をより汎用化した曲線抽出手法について述べている。対象図形が閉曲線から一般的な曲線に拡張されることによって、曲線を構成するために画像内から選択する輪郭点候補の組合せ総数が更に増大し、また、これらの輪郭点候補を相互に連結する順序の決定もより困難となる。これらの問題を解決するために、本手法では、適切な輪郭点候補を画像内から選択するために遺伝的アルゴリズムを繰り返し実行し、この処理の結果から得られた輪郭点候補間の連結順序を2段目の遺伝的アルゴリズムによって決定し、最終的な曲線を求める。これら2段構成の遺伝的アルゴリズムを用いることによって、実験を通し、各種の不連続な曲線を含む画像に関して、視覚的に適切な連続した曲線の抽出が可能であることを示した。

第6章では、遺伝的アルゴリズムによる輪郭線抽出手法の工学的な応用として、液晶ディスプレイ画面上の不定な位置に発生する不定形な輝度むら欠陥の形状を認識する手法について述べている。また、実利用を目的に開発した液晶ディスプレイ画質検査装置の構成法についても述べている。液晶ディスプレイの輝度むらはコントラストが極めて低いために、背景領域との境界線が不明瞭であり、熟練検査員の視覚によっても正確な形状の認識が困難な場合が多い。輝度むら欠陥の全体形状を把握することは、検査工程の自動化および欠陥度合いの定量化のために必要な技術である。本手法では、輝度むら欠陥領域と背景領域との輝度差と輝度むら欠陥領域の境界線全体の滑らかさに基づいて各個体の適応度を評価する遺伝的アルゴリズムを用いることによって、輝度むら欠陥のコントラストが極めて低い場合であっても、正確な形状の認識が可能であることを示している。また、全域的な解探索能力には優れるが、逆に局所的な解探索能力に劣ると言われている遺伝的アルゴリズムの問題点を解決するために、得られた近似解付近にすべての個体の遺伝子情報を再設定し、遺伝的アルゴリズムを再度実行することによって、より最適解に近い視覚的に滑らかな輝度むら欠陥の形状が得られることを実験的に示した。

第7章では、本研究の総括について述べるとともに、本論文にて述べた輪郭線抽出のように、画像の局所的な特徴だけでなく、全域的な特徴を用いる必要があるような課題の場合、人間の視覚心理から得られた知見を積極的に利用することと、局所的な特徴を大局的にまとめるための最適化手法の重要性について述べている。また、本研究の今後の課題として、より高速化のために、更に効率的な解探索を実現するためにアルゴリズムを改良していくことが重要であることを示した。

本論文では、不連続な輪郭線とノイズ点が混在する画像内から視覚的に連続した輪郭線を抽出するという、従来の画像認識アルゴリズムによっては、実現することが困難な具体的な研究課題に沿って、ニューラルネットワークおよび遺伝的アルゴリズムを用いて、人間の視覚認識機能に着目した新しい画像認識手法を提案するとともに、その成果について述べることができたと考える。

論文審査の結果の要旨

画像データから図形の輪郭線を抽出する処理は画像認識に不可欠であるが、ノイズを含む場合、任意の形状の輪郭線を抽出することは極めて困難である。本論文は、人間の視覚認識能力に近い輪郭線抽出能力を有する知的画像処理手法を提案し、その有効性を検証したものであり、全編7章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、点群の2次元的な配置パターンを特徴量とし、ニューラルネットワークにより輪郭線を抽出する手法について考察している。原画像を極座標系に変換する複素対数写像とフーリエ変換により、点群の配置パターンを画像の回転に対して不変な特徴量に変換し、これに対してニューラルネットワークを適用することを提案している。この手法を用いることにより、原画像を直接処理する場合に比べ、より正確な輪郭線抽出が可能となることを計算機シミュレーションにより示している。

第3章では、遺伝的アルゴリズムによって輪郭点候補を選択し、これらを相互に連結して連続した閉曲線として認識する手法を提案している。この手法では、点の集合を視覚的にまとめた連続閉曲線として認識するために、ゲシュタルト心理学における視覚的群化要因に基づいて閉曲線の形状を評価している。計算機シミュレーションにより、輪郭点候補の選択に関する膨大な組合せ総数の中から、視覚的に適切な閉曲線を構成する実用解が求められることを示している。この結果は画像認識における重要な知見である。

第4章では、前章で提案した手法の改良について考察している。遺伝的アルゴリズムの進化の過程で輪郭点候補の数を動的に変化させることにより、複雑な形状を持つ閉曲線を抽出することが可能となることを示している。

第5章では、任意の形状の曲線を抽出するために、第3章にて述べた手法を改良したより汎用的な手法を提案している。輪郭点候補の組合せ総数の増加に対処するために、2段構成の遺伝的アルゴリズムを用い、その結果、視覚的に適切な任意曲線の抽出が可能であることを示している。これは、応用上極めて有用な結果である。

第6章では、提案した遺伝的アルゴリズムによる輪郭線抽出法を液晶ディスプレイ生産過程での輝度むら検出検査へ適用し、輝度むらのコントラストが極めて低い場合であっても、正確な形状検出が可能であることを実証している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、人間の視覚認識機能に着目した新しい知的画像認識手法を提案し、その有用性を示したものであり、画像工学および情報科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。