

	ゴトウ ヒデトシ
氏 名	後藤 秀聡
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博第1020号
学位授与の日付	平成28年3月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	荷重積分法による画像の局所アピアランスの頑健で正確なパラメトリック記述 (Robust and Accurate Parametric Description of Local Image Appearance by a Weighted Integral Method)
論文審査委員	主査 教授 本谷 秀堅 教授 佐藤 淳 教授 梅崎 太造

## 論文内容の要旨

本論文は、画像内の各点周りの局所パターンを荷重積分法によりパラメトリックに記述する手法と、その頑健化法に関して論じたものである。入力画像内の注目対象の構造、特にその形状特徴の記述には、局所的な点や尾根線などをパラメトリックなモデル関数により正確に記述することが極めて有用である。画像内の点や尾根線など局所構造をパラメトリックに記述する手法は既に多く提案されている。従来法において局所パターンを陽に表現するパラメトリックな関数としてはガウス関数が広く採用されており、局所構造の位置や走行方向、太さなどの局所特徴をモデル関数のパラメータの値を推定することにより記述する。但しガウス関数は推定対象のパラメータに関して非線形であり、入力信号よりパラメータの値を解析的に算出することは容易ではない。このため既存手法では、大きく分けて3種類のアプローチが採用されている。1つ目のアプローチでは、対象の局所構造にモデル関数を直接あてはめることにより推定するのではなく、パラメータの値を推定可能な特徴量として画像信号より抽出し、その特徴量によりパラメータの値を推定する。このアプローチにおける特徴抽出には微分演算が採用されることが多く、微分演算は画像雑音に敏感であるため、パラメータの推定精度の安定性は高くないことが多い。2つ目のアプローチは最尤法に代表される手法であり、入力信号とモデルとの適合度を対数尤度で評価し、

その尤度を最大にするパラメータを最適化により推定する。但し尤度関数はパラメータに関して非線形であり、その最適化は容易ではない。3つ目のアプローチでは尤度を最適化するパラメータを、そのパラメータ空間を探索することで推定する。このアプローチでは2つ目のアプローチとは異なり、推定されるパラメータの値は本質的に離散化され、推定精度と計算効率はトレードオフの関係にある。

本研究では局所パターンを表現するモデル関数として従来法の多くと同様にガウス関数を採用するが、従来法とは異なり非線形なパラメータ推定問題を、荷重積分法を利用することで線形化する。このことによりパラメータの値を代数解法により解析的に推定できる。提案法はパラメータ探索法を必要としないため、提案法により得られた推定値は本質的に連続である。荷重積分法は元々一次元信号の周波数解析法として提案された。本論文では荷重積分法を高次元信号へと拡張する。モデル関数としてガウス関数を採用し、画像信号中のエッジや尾根線など線状構造の太さと走行方向、位置の局所特徴量を推定する。本論文では荷重積分法による線構造の局所的記述を統合することで、曲線構造の大局的構造も記述する手法も合わせて提案する。

荷重積分法は、画像信号中の各点周りの局所領域内の画素値を荷重積分し、パラメータに関する線形連立方程式の係数の値を求める。本論文では、この積分領域の大きさと線構造の位置や太さに依存して、パラメータの推定精度が変わることを明らかにする。その上で、領域の大きさを注目する点周りの局所パターンに応じて適応的に決定する方法を提案すると共に、このことによりパラメータ推定の精度と頑健性が向上することを示す。本論文では、荷重積分法によるパラメータ推定の正確性と頑健性に関する評価のため、シミュレーションにより生成した画像と一般画像、ならびに医用像画像として眼底画像と胸部三次元 X 線 CT 画像を用いた評価実験の結果を報告する。そして、上述した内容に関して定量評価を行い、その結果を考察する。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、画像内の各点周りの局所パターンの表現方法として荷重積分法によるパラメトリックな記述法と、その頑健化法に関して論じたものである。画像内の各点周りの局所パターンは、パラメトリックな関数で陽に表現できる画像パターンと、輝度値の分布の統計値により陰に表現すべき画像パターンの大きく2種類に分類できる。入力画像内の対象の境界や、その形状特徴を記述するためには、画像信号中の点や尾根線などを前者のパラメトリックなモデル関数のパラメータを推定することが有用である。正確な推定ができれば、画像処理におけるボトムアップな枠組みにおける高次処理の高精度化も期待できる。そこで本論文では、画像信号中の各点周りの局所パターンのパラメトリックな記述法を提案する。局所パターンを表現するモデル関数としてガウス関数を採用し、荷重積分法を利用することで非線形なパラメータ推定問題を線形化する。ガウス関数はパラメータに関して非線形関数であり、その値を推定するには、繰り返し計算によるコストの最小化やパラメータ空間の探索を必要とすることが多かった。このため、パラメータの推定精度を上げるためには、本質的に計算量を増やす必要が生じていた。一方、荷重積分法を利用すると、既存手法とは異なり、非線形なモデル関数のパラメータの値を線形な代数解法により解析的に推定できる。このためパラメータ探索法を必要とせず、効率的にパラメータの推定ができる。特に、パラメータ空間の探索法と決定的に異なる点は、提案法により得られる推定値が本質的に連続であることである。

荷重積分法は元々一次元信号の瞬時周波数解析法として提案された。本論では荷重積分法を高次元信号へと拡張する。モデル関数としてガウス関数を採用し、そのパラメータの推定により、例えば画像信号中のエッジや輪郭線など線状構造の太さと走行方向、ならびに位置を記述することが可能となる。これらパラメータによる局所構造の記述は、より大局的な構造の記述にも有用である。本論文では荷重積分法による線構造の記述を統合し、曲線構造を記述する手法も併せて提案している。

荷重積分法は、パラメータの値を推定する際に、各点近傍の窓内部のパターンを荷重積分する。このとき、窓の大きさと窓内部の構造の大きさの関係に依存して、パラメータの推定精度が変わることを本論文が明らかにした。その上で、荷重積分を計算する窓の大きさを、各点周りの局所パターンに適応的に決定する方法を提案した。この、窓の大きさの適応的自動決定法により、パラメータ推定の精度と頑健性が向上することをシミュレーション実験により明らかにした。さらに、医用像画像として2次元眼底画像と胸部3次元X線CT画像を用いた実験を行い、提案法の有用性を示した。以上の成果は学術論文2編、査読有りの国際会議2編などで発表した。以上の事柄に基づき、慎重な審査の結果、本論文は博士（工学）に値すると判断する。