

審査の結果の要旨

氏名 菱田 寛之

菱田 寛之提出の本論文は「構造解析を用いた骨格 CT 画像領域分割」と題し、全 6 章よりなり、特にマウス全身の CT 画像から、その骨格を関節で分離しセグメンテーションを行う問題を扱っている。

第 1 章では、序論として本問題の背景と本研究の課題を設定している。本研究は遺伝子改変によって奇形した動物の運動機能の解析を行う研究に資することを背景としている。小動物の X 線 CT(Computed Tomography) 計測により得られる CT 画像から骨の検出ができれば、計算機上で骨の比較が可能になるために、遺伝子と骨の関係が定量化できる。この遺伝子解析のためには、どの骨で変異が生じているか不明であることが多く、全身 CT ボリュームモデルから骨格モデルの中首都とスクリーニングを行う必要がある。しかし現在この作業はマニュアルで行われており、多大な時間を要するために研究のボトルネックとなっており、また俗人的な差異も発生するために、計算機による自動化が望まれていた。本研究はこの自動処理を行う手法を開発することを目的とした。

また、本研究で対象とする CT 画像の画質の特性について議論している。本研究では、マウスの全身 CT 画像を扱うために、特定の関節に絞って CT 計測することで解像度の高い CT 画像を得ることができず、解像度の低い画像によって骨の検出を行う必要がある。すなわち、骨に挟まれた滑液等からなる部位（接合部）が数画素程度の幅しかない、不明瞭な骨格 CT 画像から、極力自動的に骨を検出することのできるアルゴリズムの構築を目指している。

このような問題に対応するために、本研究では構造解析によって、骨に荷重をかけたときの歪分布を計算し、歪の大きいところで分離を行うというアイデアを基本としている。そのため CT 画像を入力としてボクセルベースの有限要素解析を適用する。これによって関節の接合部分に歪の高いところが発生し、それをもとに分離を行うというアイデアである。

第 2 章では、関連研究について述べている。画像のセグメンテーションについては、膨大な研究が行われており、それらをサーベイし、また本研究で対象とする低解像度の画像を対象とするセグメンテーションへの適用可能性を議論している。その結果、このような対象へ適用できるような手法はまだ確立されて

いないことを示している。

第 3 章では、上記のアイデアの実行可能性を確認するために、市販のボクセルベース CAE システムを用いて、境界条件等を設定して実験を行っている。マウスの関節部分の CT 画像を入力として、このシステムによって von Mises 相当ひずみを計算し、その大きい部分の画素を削除する処理を繰り返した。この結果、良好な結果を得、手法の実行可能性を示している。

第 4 章では、境界条件設定の自動化問題を扱っている。構造解析を行うには、荷重条件と拘束条件とを設定する必要があるが、特に 3 次元ではこの作業は面倒なものとなり、これを自動化できないと直接セグメンテーションを行う作業に比したメリットが失われてしまう。そこで本章では、拘束は全節点を一様に拘束することにし、その条件の下で荷重条件を自動設定する手法を提案している。またユーザーに接合部を ROI としてラフに設定させる。これによって ROI の内部の歪が大きくなるような荷重条件を最適化問題を解くことによって求めている。この手法を確認するために 2 次元と 3 次元の問題に適用し、セグメンテーションへの有効性を示した。

さらに第 5 章では、拘束条件の自動設定について試みている。上記と同様の考え方で拘束条件を最適化問題として定式化している。しかし、どの節点を拘束するかという問題で組み合わせの数が節点数に対して指数的に増えるため、いくつかのヒューリスティクスを導入して、組み合わせ数を提言させ、総当り的に最適解を求めている。つまり、境界条件を割り振る組み合わせを作成し、この全てについて von Mises 相当ひずみを計算し、最良の von Mises 相当ひずみの分布を得る境界条件の組み合わせを選択する。分布の評価の指標も提案している。これを 2 次元及び 3 次元の例題に適用している。

第 6 章では、本研究の結論と将来課題について述べている。本論文の貢献は、構造解析を導入して CT 画像の領域分割を行う新しいフレームワークを提案したこと、このフレームワークに限定して境界条件設定問題を解いたことにある。構造力学を用いるために構造力学的特徴をもつ骨格 CT 画像の領域分割が可能であることを示したのは新しい知見といえる。また、実現上の課題として境界条件が半自動で設定できる手法を提案している。

以上を要約するに、本研究により、従来の手法では困難であったマウス全身 CT 画像からの骨検出が半自動化され、遺伝子研究分野の一領域に対して有用な手

法を提案した。また構造解析を統合した画像のセグメンテーションという新しいアプローチも示しており、両分野に関して大きな貢献をしたと言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。