

審査の結果の要旨

氏名 増田 智仁

本論文は、レーザーレンジセンサなどにより得られる部分三次元形状データから、全体形状を構成する際に用いられる形状データ間の位置合わせとその拡張手法について提案している。本論文は8章からなり、第1章は本論文のテーマである三次元形状データの位置合わせの研究に関する背景及び目的について述べられている。第2章では関連研究について述べ、これらが目指す目的と手法について分類し、それらと本論文の研究との位置づけを記載している。第2章を受け、第3章では本論文の目的である初期位置やデータノイズにロバストな位置合わせアルゴリズムの設計について述べている。第4章、第5章では、ロバストな位置合わせ手法の考古学の分野への応用について記載している。第6章の冒頭では、この位置合わせ手法の拡張手法として、形状合わせも含んだ位置合わせ手法について提案している。後半ではこのフレームワークを用いて、石膏模型の計測データから形状パラメタを推定した研究について記している。第7章では同様に拡張フレームワークを用いて、浮遊型レーザーレンジセンサから得られた三次元形状データの歪み補正を行った研究について示している。第8章では、本論文のまとめと今後の課題について述べられている。以下で各章の内容について述べる。

近年、レーザーレンジセンサなどにより実世界に存在する物体の正確な三次元形状データが取得できるようになった。これらのデータは対象物の部分形状データであるため、同一形状を含む部分形状データの間でそれらの隣接関係を正しく復元する必要がある、この処理が三次元形状データの位置合わせである。実世界の物体の正確な形状モデリングは位置合わせの精度によるので、本論文では正確な位置合わせについて追求している。また、通常的位置合わせは回転・平行移動による剛体変換によって行われるが、既知の変形式を介することによって形状合わせが可能な場合は、形状合わせも含めた位置合わせを行えるような拡張手法について提案している。

第2章では、剛体変換による位置合わせの関連研究について述べている。これらを、データ間の位置合わせ順序・対応点サンプリング・対応の取り方・誤差指標・データノイズへの対処の5つの観点から分類し、正確な位置合わせ手法を確立するために各々の項目に対しどのような戦略を選択すべきかについて言及している。

第3章では第2章を受け、データ間の初期位置やデータノイズにロバストな位置合わせ手法の設計について述べている。この手法はデータ間の最近傍点間距離の重み付け二乗和を誤差関数とし、この誤差関数を位置合わせのパラメタに関して最小化する問題として実装されている。この手法は通常、計算コストが非常に高いため、無駄な計算を排除することによる効率化の工夫についても述べられている。また、実際に設計した位置合わせ手法の精度評価が先行研究と比較して行われており、これにより設計した手法のロバスト性が証明されている。

第4章、第5章では設計されたロバスト位置合わせ手法を考古学に応用し、文化財の形状解析や考古学における仮定をシミュレーションした例を示している。これらの研究は考古学における仮定の検証方法を提示し、実際に検証することで新たな知見が得られた例であり、情報考古学のはしりともいえる先駆的な応用例であるといえる。

第6章の冒頭では、ロバスト位置合わせ手法を拡張し、位置合わせと同時に既知の変形式を介して形状合わせを行う手法を提案している。本論文の提案手法の前提として、変形式が既知であり、かつ変形のメカニズムに厳密に規定されているものとしている。データ間の最近傍点間距離を最小化する剛体変換と同様に、提案手法では位置合わせと形状のパラメタに関して統一的な枠組みで誤差関数を最小化することを行っている。第6章の後半ではこの拡張フレームワークを用いて、文化財である石膏模型の計測データから形状パラメタを推定した研究について述べてある。また、推定した形状パラメタの精度を評価するため、合成データを用いたシミュレーション実験を行っており、これにより推定されたパラメタが正確であることが証明されている。

第7章では拡張フレームワークを用いて、気球につり下げられたレーザーレンジセンサの位置合わせを行った研究について述べられている。このセンサは通常のセンサと異なり、計測中に動いてしまうため、得られる形状データには歪みが発生している。提案手法ではこの歪みをセンサの計測中の運動を表すパラメタで定義することにより、歪みを補正しつつ位置合わせすることが可能となっている。後半では歪み補正パラメタの精度評価のため、合成データを用いたシミュレーション実験を行っており、その結果から正確に歪みが補正されていることが証明されている。歪み補正パラメタを推定することは計測中のセンサの運動を推定することであり、このパラメタがハードウェアのシステム構成にもフィードバックされている。よって、提案手法により新たな三次元形状の計測システムを構築することが可能となった。

本論文では、これらの手法の提案と実物体を用いた実験による有効性の評価を行っている。よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。