

学 位 論 文 題 名

産業応用のための形状の特徴付けに基づく高精度3次元 形状計測

(High Accuracy 3D Measurement Systems for Industrial Application
based on Characterization of an Object)

学位論文内容の要旨

本論文では、3次元距離点群データのロバスト照合法を用い、ダイカスト鑄造型の複雑3次元形状の対象物を高精度に欠陥検査を行える技術を提案する。ここで提案する点群照合法は、照合の重みとして個々の点データが持つ勾配情報や相対位置関係から計算される幾何特徴であるエッジ情報などの特徴量を利用することにより、照合精度を改善させた手法である。欠陥検出においては、モデル形状（良品データ）とデータ形状（不良品データ）を比較して形状の違いを認識することにより欠陥部を検出するアプローチに基づいている。提案手法の照合精度や欠陥検出における有効性を実計測されたデータに基づく実験によって示す。また、自由曲面を持つ産業部品に対して高精度な3次元形状計測を行える基礎技術について提案する。ここで提案するステレオ計測は、ターンテーブル上の対象物を回転させながら全周囲画像を計測し、この画像群から3次元座標位置を推定する方法である。さらに、照明変動の影響が大きい金属光沢面を持つような産業部品に対してロバストな計測を行う工夫として、明度変化に対してロバスト性を有する方向符号照合法（Orientation Code Matching: OCM）を用いたステレオ計測を行う。提案手法の計測精度や照明変動に対する有効性を実計測された画像に基づく実験によって示す。

本論文の構成は以下の通りである。第1章は、本論文の背景と目的について述べる。ここでは本研究で対象とする点群について述べ、従来の点群照合法と画像処理を用いた外観検査に関して問題点や課題を示すことにより、本論文の目的を明確にする。第2章は、本論文で扱う3次元距離点群照合法の基本的枠組みとなるICPアルゴリズムとM推定法を導入したMICPアルゴリズムについて説明し、点群密度に依存する照合誤差要因について論じる。第3章は、照合精度を向上させる独自の試みとして勾配評価に基づく重みづけを提案する。勾配値の計算方法や照合評価関数への適用方法について説明する。また、高速化への試みとして、幾何特徴としてエッジ情報を用いた照合についても検討する。第4章は、独自に開発された計測装置と対象物の製造法であるダイカスト鑄造法について説明する。そして、実データから提案するロバスト3次元距離点群照合法の有効性を確認し、照合精度、計算時間についての評価をする。第5章は、提案手法の欠陥検出システムの応用について述べる。初めに、検出する欠陥点群の実例を示し、欠陥検出・判定アルゴリズムについて説明する。次に、実データを用いた欠陥検出性能実験を行い、提案手法の有効性を確認する。最後に、現実の生産ラインへの応用を考慮して、マスターデータとなるモデル形状の保持の仕方についての考察を行う。第6章は、単眼回転ステレオ法について述べる。初めに、単眼回転ステレオの原理について説明し、3次元位置計算法の定式化を行う。照明変化にロバストな2次元画像の照合法として、方向符号照合法（OCM）について説明する。最後に、実データを用いた実験により提案手法の有効性について確認する。第7章は、本論文の結論について述べる。

学位論文審査の要旨

主査	客員教授	前田俊二
副査	教授	金子俊一
副査	教授	金井理
副査	准教授	田中孝之

学位論文題名

産業応用のための形状の特徴付けに基づく高精度3次元 形状計測

(High Accuracy 3D Measurement Systems for Industrial Application
based on Characterization of an Object)

本論文では、3次元距離点群データのロバスト照合法を用い、ダイカスト鋳造型の複雑3次元形状の対象物を高精度に欠陥検査を行える技術を提案している。ここで提案する点群照合法は、照合の重みとして個々の点データが持つ勾配情報や相対位置関係から計算される幾何特徴であるエッジ情報などの特徴量を利用することにより、照合精度を改善させた手法である。欠陥検出においては、モデル形状(良品データ)とデータ形状(不良品データ)を比較して形状の違いを認識することにより欠陥部を検出するアプローチに基づいている。提案手法の照合精度や欠陥検査における有効性を実計測されたデータに基づく実験によって示した。また、自由曲面を持つ産業部品に対して高精度な3次元形状計測を行える基礎技術について提案した。ここで提案するステレオ計測は、ターンテーブル上の対象物を回転させながら全周囲画像を計測し、この画像群から3次元座標位置を推定する方法である。さらに、照明変動の影響が大きい金属光沢面を持つような産業部品に対してロバストな計測を行う工夫として、明度変化に対してロバスト性を有する方向符号照合法(Orientation Code Matching: OCM)を用いたステレオ計測を行った。提案手法の計測精度や照明変動に対する有効性を実計測された画像に基づく実験によって示した。

第1章は、本論文の背景と目的について述べている。ここでは本研究で対象とする点群について述べ、従来の点群照合法と画像処理を用いた外観検査に関して問題点や課題を示すことにより、本論文の目的を明確にする。第2章は、本論文で扱う3次元距離点群照合法の基本的枠組みとなるICPアルゴリズムとM推定法を導入したMICPアルゴリズムについて説明し、点群密度に依存する照合誤差要因について論じた。第3章は、照合精度を向上させる独自の試みとして勾配評価に基づく重みづけを提案している。勾配値の計算方法や照合評価関数への適用方法について説明する。また、高速化への試みとして、幾何特徴としてエッジ情報を用いた照合についても検討した。第4章は、独自に開発された計測装置と対象物の製造法であるダイカスト鋳造法について説明する。そして、実データから提案するロバスト3次元距離点群照合法の有効性を確認し、照合精度、計算時間についての評価を行った。第5章では、提案手法の欠陥検出システムの応用について述べている。初めに、検出する欠陥点群の実例を示し、欠陥検出・判定アルゴリズムについて説明する。次に、実データを用いた欠陥検出性能実験を行い、提案手法の有効性を確認する。最後に、現実の生産ラインへの応用を考慮して、マスタデータとなるモデル形状の保持の仕方についての考察を行った。第6章は、単眼回

転ステレオ法について述べている。初めに、単眼回転ステレオの原理について説明し、3次元位置計算法の定式化を行った。照明変化にロバストな2次元画像の照合法として、方向符号照合法 (OCM) について説明している。最後に、実データを用いた実験により提案手法の有効性について確認している。第7章は、本論文の結論について述べている。

これを要するに、申請者はこの学位請求論文において、計測された3次元点群の高精度は照合法を独自に提案し、更に独自の工夫を導入した回転ステレオによる3次元計測法を提示しているものであり、その実応用分野への貢献度は大きいと判断できる。また学術的・技術論的価値も少なくなく、よって著者は北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。