

氏名	中村 良治
学位の種類	博士 (情報工学)
学位記番号	情工博甲第316号
学位授与の日付	平成28年9月23日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	画像処理に基づく工業部品の欠陥自動検査手法に関する研究
論文審査委員	主査 准教授 榎田 修一 教授 竹内 章 " 瀬部 昇 " 林 英治

学位論文内容の要旨

本論文では、工業部品における欠陥検査作業員の目視検査手法について考察し、目視検査をモデルとした画像処理に基づく新たな自動欠陥検査手法を提案する。目視検査をモデル化するにあたり、部品のエッジ領域と表面領域を分けて考え、それぞれの領域に対する検査手法の提案を行う。

まずは、部品のエッジ領域における目視検査では、視覚的機構である固視微動により欠陥箇所を強調する処理を経て検出していると仮定し、注目領域と近傍の複数画像から算出される画像特徴量である主曲率に着目した。主曲率とは、注目領域において得られる輝度勾配方向分布の分散と比例する値であり、欠陥箇所に生ずるエッジが示す様々な輝度勾配方向により、主曲率が高く観測されることに注目した。主曲率の計算には高い計算コストが伴うが、本論文では輝度勾配方向分布の分散を高速に計算できるオペレータである Harris の検出器を用い固視微動による欠陥検出を高速に再現した。また、注目領域サイズを複数種準備し、それぞれに特徴量計算することにより、部品デザイン上のコーナーと欠陥の識別を実現する。具体的には、部品デザイン上のコーナーでは、全ての注目領域サイズで高い特徴量が得られることに対し、欠陥箇所においては、特定の注目領域サイズでのみ高い特徴量が得られるため、複数の注目領域サイズで特徴量を算出し分散を閾値処理することで、欠陥とデザイン上のコーナーを分離可能であると仮定した。

次に、部品表面領域に対する目視による検査を考える。検査作業員は、緩やかな凹凸形状の欠陥に対応するため、光源と視点の位置関係を変更しながら確認を行っている。このことより、物体に対する光源方向を変化させることで、注目領域内での法線方向のばらつきに起因しておきる反射光強度の分散が大きな箇所を欠陥として特定していると仮定した。そこで、様々な光源方向から撮像される複数画像に対して法線情報を推定

する照度差ステレオ法に着目した。照度差ステレオ法により得られた法線方向のばらつきに基づく評価値により欠陥検出を試みたところ、急峻な法線の変化や大きな法線の変化をもつ欠陥に対しては有効であった。しかし、微小な法線変化しかもたない欠陥に対しては検出が困難であった。そこで、法線のばらつきに基づく評価値に加え、撮像画像毎に得られる輝度のばらつきに基づく評価値を併用した欠陥検出を行うこととした。これは、目視検査における、様々な方向から光を当てた後、光源を最も違和感のあるテクスチャを投影する方向に固定して注意深く表面を観察する検査段階を模したものである。しかし、二つの検査手法を併用するとパラメータが様々な存在し調整が困難となった。そこで、繰り返し推定に基づく検査パラメータの自動決定手法を提案する。パラメータの決定には大量のサンプルを用いた機械学習による手法も考えられるが、実際の運用上、各生産工程で大量のサンプルを用意することはコストが高く、製品の入れ替えが頻繁に起こる生産工程では導入が困難となる。そこで、本論文では、パラメータ空間において与えられた初期パラメータとサンプルの組に対してそれぞれ評価値を求め、それら少数のサンプルを用いてガウス関数等の関数あてはめによって評価値を近似し、評価値を最適化するパラメータを推定しパラメータを更新することを繰り返すことで自動決定する手法を提案した。

提案手法の性能確認のため、打痕、傷、めっきムラ、変形といった様々な欠陥事例に基づく実験をした結果、欠陥の見落としがゼロの状態でも誤り受け入れ数は十分に抑えられ、またパラメータについても自動決定手法が有効に機能していることが確認できたため、生産工程での実利用が期待される。

学位論文審査の結果の要旨

本研究では、工業部品の欠陥検査の画像処理による自動化において、作業員による目視検査について考察しモデル化した画像処理に基づく新たな自動欠陥検査手法が提案されている。目視検査をモデル化するにあたり、工業部品のエッジ領域と表面領域とに対しそれぞれ適切な検査手法を提案したことと、自動検査システムに含まれるパラメータの自動調整法の提案に本論文の貢献がある。

工業部品のエッジ領域における目視検査では、視覚的機構である固視微動を模して、注目領域と近傍の複数画像から算出される画像特徴量である主曲率を活用した画像処理システムの検討がなされている。また、工業部品の表面領域における検査では、検査員が光源と視点の位置関係を変更しながら表面の凹凸を確認する作業を模し、法線情報に基づく検査手法の提案がなされている。さらに、二つの検査手法による評価値を併用するためのパラメータを繰り返し推定により自動決定する手法も、あわせて提案がなされている。本論文における実験では、従来手法では自動検出が困難であった工業部品の様々な欠陥について、提案手法により自動検出可能となったことが実験により示されて

いる。

公聴会においても多数の出席者があり、本論文に関し、パラメータの自動調整において検出レベルの閾値自動調整が行われる計算過程で局所解への収束が懸念されないか、自動検出が困難であった欠陥を例に提案された自動決定手法の性能向上で解決できる問題と解決できない問題が整理されているか、また、エッジ領域と表面領域で別々の検査手法を提案されているが今後は統一した手法にすべきであるのか、などについての質問がなされたが、いずれも著者から満足な回答が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（情報工学）の学位に十分値するものであると判断した。