

機械学習を用いた自動車用タイヤ内面部の欠陥識別

著者	多田 拓太郎
発行年	2018-12
出版者	静岡大学
URL	http://doi.org/10.14945/00026681

(課程博士・様式7) (Doctoral qualification by coursework, Form 7)

学 位 論 文 要 旨

Abstract of Doctoral Thesis

専攻： 情報科学専攻

氏名： 多田 拓太郎

論文題目： 機械学習を用いた自動車用タイヤ内面部の欠陥識別

論文要旨：

近年、品質に対する顧客の要求レベルが高まっており、製造現場では製品の品質を保証するための検査が行われている。製品の外観を対象とした検査は、検査対象の形状が複雑、欠陥の定量化が困難といった製品では自動化が進まず、官能検査が行われることが多い。自動車用タイヤの外観検査も官能検査を実施しているが、検査精度が個人差に影響されるため、判定のばらつき、欠陥品の流出などのリスクが存在する。そのため、タイヤの外観検査の自動化への期待が高まっていた。

このような背景のもと、タイヤ外観検査の自動化に関する幾つかの研究が行われてきたが、より多くのタイヤや欠陥種類に対応するための拡張性に課題が残っていた。そこで本論文では、タイヤ内面部の全範囲を対象とした三次元計測手法と、機械学習による欠陥識別手法により、タイヤや欠陥種類に影響しない欠陥識別手法の構築を目指した。検査精度の目標値は、良品タイヤに対する過検出領域数がタイヤ 1 本あたり 1 箇所程度であれば検査員の負担にならないと考え、過検出領域 1 箇所をタイヤ内面の表面積に対する比率に換算した過検出面積率 0.075%以下を目標とした。また、欠陥検出率は検査の自動化という観点から 100%を目標とした。識別対象は「欠陥部」、「準良品部」、「良品部」の三つに分け、「欠陥部」を欠陥として、「準良品部」と「良品部」を良品として識別する。

タイヤの内面部には多種多様な凹凸形状の背景模様が存在しており、不変特徴を抽出することに有効である手法として、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の適用を試みた。また、タイヤ内面部の欠陥発生率は低く、「欠陥部」と「準良品部」は特徴が類似しているため、各クラスのトレーニング画像の比率と、画像の特徴に非対称性が発生するという問題があった。これに対して、トレーニング画像数の比率をバランスさせた多段階識別器を提案した。具体的には、1 段階識別器で「良品部+準良品部」と「欠陥部」を分類し、2 段階識別器で「準良品部」と「欠陥部」を分類する。各識別器で識別ラベル毎のトレーニング画像数の割合を 1.3 倍以内とする条件も加えた。この提案手法を適用したところ、欠陥検出率が 17.9%向上、過検出面積率が 0.009%低減し、欠陥の検出精度を保ちながら過検出を低減する効果があることを明らかにした。欠陥検出率の向上を優先としたトレーニング

パラメータの選定を行った結果では、欠陥検出率 89.3%, 過検出面積率 0.049%を確認した。欠陥検出については改善する必要があるが、過検出については目標の 0.075%以下を達成しており、複数の背景模様のテクスチャに対しても頑強な手法であることを示した。

機能別識別器を用いた欠陥識別では、欠陥検出精度をさらに 100%に近づけるために、多段階識別器の 2 段目の識別精度を改善するために、識別器を機能別に分けることを提案した。タイヤ内面部に発生する欠陥は微小なものが多く、欠陥の形状変化を画像内に含めるとタイヤ全体の画像は高解像度となり、小領域の画像に分割すると画像枚数が多くなる。そこで、タイヤ全体の分割画像に対して CNN を適用し、CNN で限定した範囲内の分割画像に対してサポートベクターマシン (SVM) を適用した。この構成により、CNN には膨大な量の良品画像を除去する機能を持たせ、SVM には欠陥画像と欠陥に特徴が類似した画像を分類する機能を持たせることが可能になる。1 段目識別器に CNN, 2 段目識別器に SVM とした提案手法を適用したところ、欠陥検出率 96.4%, 過検出面積率 0.040%を確認し、欠陥検出精度の更なる向上が可能であることを示した。

以上のように、多段階識別器と機能別識別器を組み合わせることで、欠陥検出率 96.4%, 過検出面積率 0.040%を達成した。提案手法を検査員による従来検査と併用することで、タイヤ内面部の表面形状の画像と、提案手法により欠陥と識別した領域と位置をディスプレイに表示し、検査員は表示された領域に集中して目視確認することで、検査員の目視確認範囲を減らすことができる。それにより、検査員の経験の差による検査結果の違いを少なくする効果、検査精度の向上、検査工数の削減が期待できる。

最後に今後の課題について述べる。本論文では対象外としたが、実際の欠陥には形状変化を伴わない欠陥がわずかながら存在する。具体的には、凹凸方向の変化量が 0.1mm 以下であるがゴム表面の光沢や色の変化があり、検査員が目視検査で検知可能な欠陥である。今後、これらの特徴を検知可能な撮像手法も検討したい。また、工場の検査ラインに提案手法のシステムを導入した場合、トレーニングで扱わなかった欠陥種類や発生頻度が極端に低い欠陥が検知できない可能性がある。その時には、学習済みのモデルに対して、未検知であった画像を逐次追加し精度向上させられる仕組みが必要である。この追加学習の仕組みの構築にも注力していきたい。