

サポートベクタマシンを用いた工業製品の欠陥検出システムの提案と Grad-CAM による判断根拠可視化性能の改善

F121606 清水 竜樹

永田研究室

1. 目的

様々な工業製品の検査工程においては一部で自動化が進んでいるものの、それぞれの製品の品質管理に精通した検査員の目視検査に頼るところが大きい状況にある。最近では、機械学習を様々な製品の欠陥検出に応用しようとする試みがなされている。本研究ではまず、図1に示すラップフィルムを具体的な製品対象として取り上げ、2クラス分類用のサポートベクタマシン(SVM)を設計して、工業製品の不良品検出に対するSVMの有用性を検証する。また、同様のラップフィルムの良品画像データのみで学習させた1クラスSVMによって、ラップフィルム製品の不良品検出を試みる。次に、欠陥領域の可視化というニーズに応えるため、図2に示す機械部品を用いて、欠陥領域の可視化性能を向上させるための新たな画像拡張法を提案し、有効性を検証する。

2. 研究内容

筆者らは、SVMのための設計、訓練及び評価を簡易操作で効率的に実行できるアプリケーションを開発してきた。まず始めに図1に示すラップフィルムを対象とし、本アプリケーションを使用して、ImageNetで学習済みの畳み込みニューラルネットワーク(CNN)であるAlexNetあるいはVGG19を特徴抽出器とし、これらCNNから出力される特徴ベクトルを使用して2クラス分類用のSVMを設計する。学習には、良品34,482枚、不良品2,232枚の画像データを使用する。なお、実際に収集できた不良品の画像は1,116枚であったため、画像を水平反転させて増やしている。SVMの設計では特徴抽出器のほかに、カーネル関数や正則化係数を設定する必要がある。これらのパラメータはアプリケーションを通じて設定できるようにしている。学習を終えたSVMに、良品4,035枚と水平反転を適用した不良品42枚で構成されるテストデータセットを与え、分類性能を確認した。

実際の工業製品を取り扱う中で、工業製品は不良品の発生率が低く、画像の収集が困難であるという課題があった。そのため、ラップフィルムの画像を対象とし、良品のみで学習可能な1クラスSVMを使用し、不良品検出を試みる。学習には9,512枚の良品画像のみを使用し、ImageNetで学習済みのAlexNet、VGG19のほか、変分オートエンコーダ(VAE)のエンコーダ部を特徴抽出器とする1クラスSVMを設計した。1クラスSVMには調整が可能なパラメータとして、正則化係数 ν と外れ値の割合 o が存在する。この二つのパラメータをそれぞれ、0.01から0.9までと0.01から0.3まで0.01刻みで変化させて学習を行い、全てのSVMモデルに良品と水平反転適用後の不良品ともに320枚の画像で構成されるテストデータセットを与え、分類性能を比較した。

つぎに、図2に示すような機械部品の製造現場では、欠陥と思われる領域の実用的な可視化技術に対する高いニーズがあることが確認された。欠陥と思われる領域の代表的な可視化手法としてGradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM)が提案されている。しかし、転移学習したCNNモデルにGrad-CAMを適用したところ、欠陥以外の領域に注目して不良品と分類をしているケースがあった。この課題を解決するために新たな画

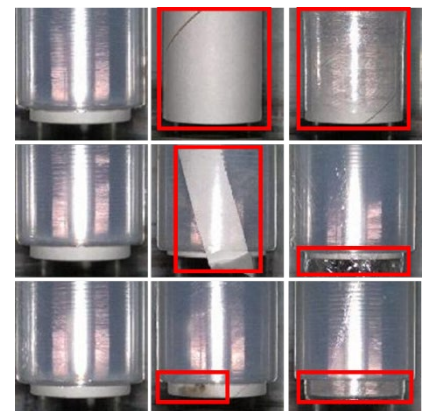


Fig. 1 Wrap film products without and with a defect marked with a red rectangle.

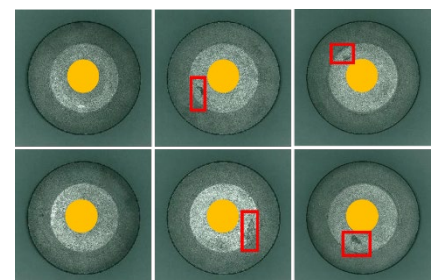


Fig. 2 Mechanical parts without and with a defect marked with a red rectangle.

像拡張法を提案した。従来の画像拡張法では、オリジナルの画像に対し90度、180度、270度の回転、垂直反転、水平反転などが適用されるケースがほとんどであった。提案する画像拡張法では、製品の背景をランダムに変更しながら、過学習を防ぐために製品を1度ずつ回転させる。提案手法により、良品と不良品ともに100枚ずつであったオリジナルの学習用データがそれぞれ、36,000枚ずつに拡張された。実験では、オリジナルの画像で構成されるデータセットA、従来の画像拡張法によって拡張され、良品不良品ともに600枚ずつの画像で構成されるデータセットB、さらに提案手法で拡張された画像で構成したデータセットCをそれぞれ用いてGoogLeNetの転移学習モデルを訓練し、新たな3つの2クラス分類用CNNを設計した。これらのCNNに良品120枚、不良品60枚で構成されたテストデータセットを与え、分類性能を評価・比較した。さらに、それぞれのネットワークにGrad-CAMを適用し、欠陥領域の可視化性能についても評価を行った。

3. 結果

本研究ではまず、2クラスSVMおよび1クラスSVMを用いてラップフィルム製品の不良品を検出することを試みた。2クラスSVMはメーカーが示した目標の分類精度である95%を超える分類精度を達成できたが、1クラスSVMについては調査した中では90%程度の精度が最高であった。今後は1クラスSVMの分類性能向上を目標として、より優れた特徴抽出器の検討とそれを用いた1クラスSVMの設計を行いたいと考える。次に、機械部品を対象製品として、Grad-CAMによる欠陥候補領域の可視化性能を向上させる画像拡張法を提案した。提案手法により拡張された学習データを使用した結果、従来の画像拡張法と比較して可視化性能を向上できることが確認された。

学会発表

- 1) 清水, 中島, 三木, 永田, 渡辺, サポートベクタマシンを用いたラップフィルムの不良品検出-畳み込みニューラルネットワークを特徴抽出器として用いた場合-, 第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2020) 講演論文集, pp. 318-322, 2020.
- 2) 清水, 三木, 中島, 永田, 渡辺, 欠陥検出のための CNN&SVM 設計支援ツールの開発と適用実験 -2 クラス分類用の SVM の場合-, 第 27 回画像センシングシンポジウム (SSII 2021) 講演資料集, 4 pages, 2021.
- 3) 清水, 永田, 有馬, 三木, 阿部, 吉岡, 加藤, 渡辺, CNN, CAE および SVM の設計と評価のための支援ツールの開発 -Grad-CAM による機械部品の欠陥部分の可視化を改善する一手法-, 第 37 回 ファジィシステムシンポジウム (FSS 2021) 講演論文集, pp. 49-53, 2021.
- 4) T. Shimizu, F. Nagata, K. Arima, K. Miki, H. Kato, A. Otsuka, K. Watanabe, Image Processing to Improve Visualization Function of Defect Areas Included in Mechanical Parts Using Grad-CAM, *Procs. of The 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 27th 2022)*, pp. 1077-1080, 2022.
- 5) 清水, 永田, 有馬, 加藤, 渡辺, VAE を特徴抽出器とした 1 クラス SVM の提案と欠陥検出への応用, 産業応用工学会全国大会 2022 講演論文集, pp. 45-46, 2022.
- 6) 清水, 永田, 有馬, 大塚, 加藤, 渡辺, ラップフィルム製品の不良品検出のための画像分類器の提案と評価, 第 23 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022) 講演論文集, 4 pages, 2022.
- 7) T. Shimizu, F. Nagata, K. Arima, A. Otsuka, H. Kato, K. Watanabe, M. K. Habib, Proposal and Evaluation of an Image Classifier for Detecting Defective Wrapped Film Products, *Procs. of The 28th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 28th 2023)*, 5 pages, 2023 (to be published).

Abstract

Although the automation of inspection processes for various kinds of industrial products has progressed at a rapid pace, the situation seems to be largely depending on visual inspection ability of inspectors who are familiar with the quality control of each product. Recently, not a few attempts by machine learning approaches have been tried to be applied to image recognition tasks for products' defect detection. In this master's thesis, two-class SVMs and one-class SVMs were designed and evaluated for improving detection accuracies, so that the two-class SVMs could satisfactorily achieve a target value of detection rate 95%, however the one-class SVMs seemed to require a more powerful feature extractor. Also, a new augmentation method was proposed for Grad-CAM to improve the performance for rationally visualizing the candidates of defect regions. The effectiveness and promise of the proposed methods were confirmed through classification and visualization experiments.