

深層学習モデルを用いた工業製品の欠陥検出と 欠陥領域可視化についての研究

F121601 有馬 滉宜
永田研究室

1. 目的

工業製品の検査工程においては、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である。しかしながら、検査員による検査方法では、熟練度や疲労度などの差異により品質管理の基準にばらつきが生じることがある。また、市販の画像検出器を用いても欠陥の検出や判定が困難な製品特有の視覚的特徴を有することから、十分な検出性能が得られないなどの課題がある。最近では、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)、畳み込みオートエンコーダ(CAE)、YOLOv2(You Only Look Once Version 2)などの深層学習(Deep Learning)モデルを検査工程の一部自動化に適用する試みがなされている。本研究では、CNN, CAE, YOLOv2 の三種類の深層学習モデルを用いた工業製品の欠陥検出及び欠陥領域の可視化についての応用研究を行い、それぞれの性能の向上を図ることを目的とする。

2. 開発内容

本研究では、深層学習モデルである CNN, CAE, および YOLOv2 を用いて、図 1 に示す 3 種類の工業製品の欠陥検出及び欠陥領域の可視化の性能向上を目的に実験を行う。これらの工業製品には、光の反射や微小な欠陥など市販の画像ベースの欠陥検出器を用いても十分な検出性能が得られない、高い分類性能を有する CNN でも Grad-CAM などの可視化手法を用いて欠陥領域の可視化を試みると欠陥ではない部分が強調表示されてしまう、実ラインに実装できる十分なリアルタイム性を発揮できない、学習データを十分確保できない、などの多くの課題がある。まず、工業製品の欠陥検出が可能な深層学習モデルを効率的に設計できるように開発した CNN&CAE 設計ツールと画像拡張ソフトを用いて図 1 (a)のラップフィルム製品の分類実験と可視化実験を行う。次に、図 1 (b)に示すブレーキロータ製品の欠陥領域をより明確に可視化できるように CAE を用いた可視化機能の開発と性能評価を行う。さらに、図 1 (c)の工業製品画像に対し分類性能及び可視化性能を向上させるための画像処理と画像拡張法を提案し、その有効性を確認する。最後に、図 1 (c)の工業製品画像に対し物体検出法である YOLOv2 を適用し、欠陥領域の検出及び欠陥領域への信頼度の向上を目的とした画像処理法を提案する。

3. 結果

最初の実験では、図 1 (a)に示すラップフィルム製品の欠陥検出及び欠陥領域の可視化実験を行った。まず、画像拡張ソフトを用いて不良品画像データセットのみに対し水平反転を行い、治具を含むラップフィルム製品の画像に対しテンプレートマッチングを適用し、フィルム部分の抽出を行った。次に、既に発表されている CNN モデルである InceptionV3 をもとに、畳み込み層を学習率 0.0001 でファインチューニングさせた 2 クラス分類用の転移学習モデルを IncA、畳み込み層の重みは更新させない 2 クラス分類用転移学習モデルを IncB として設計し、学習を行った。良品 262 枚、不良品 453 枚のテスト画像を用いた分類実験の結果、IncA と IncB それぞれの誤認識枚数は 4 枚、29 枚であり、ともに目標認識率 95%を達成した。しかしながら、可視化実験では、IncA と IncB とともに製品のフィルム部分や光の反射などにより可視化が困難である場合が確認された。

第 2 の実験では、構築した CAE を用いて図 1 (b)に示すブレーキロータ製品の欠陥領域の可視化性能の評価を行った。まず、VGG16 の転移学習により設計した 2 クラス分類用の CNN である VGG16A とオリジナル設計の 2 クラス分類用 CNN である sssNet にそれぞれ学習させた。テスト画像を用いて分類実験を行ったところ、VGG16A と sssNet の誤分類枚数はそれぞれ 1 枚と 2 枚のみであった。学習後の VGG16A と sssNet は CAE のエ

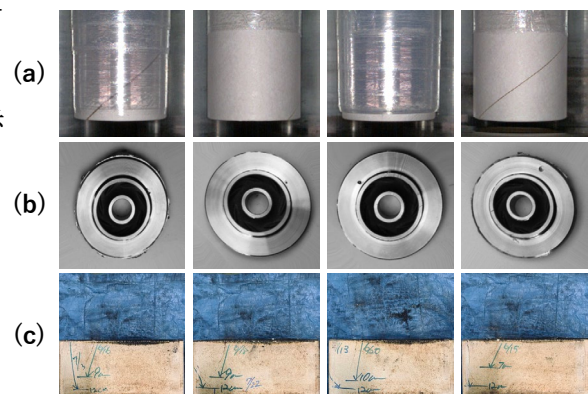


Fig. 1 Sample images of industrial products.

ンコーダ部に使用する。なお、Grad-CAM を用いた可視化実験では、VGG16A と sssNet とともに欠陥箇所以外を特徴として捉える場合や、欠陥とそれ以外の箇所との見分けがつかない特徴分布を示す場合が確認された。次に学習後の VGG16 と sssNet をエンコーダ部分に用いた CAE をそれぞれ CAE1, CAE2 とし学習を行った。学習後、Grad-CAM の可視化実験で用いた同様の画像で可視化実験を行ったところ、外形の欠陥や凹みのような欠陥を正確に再現できているなど、性能向上が確認された。

第3の実験では、図1(c)の製品画像に対し分類性能及び可視化性能を向上させるための画像処理と画像拡張法を提案し、その有効性を確認した。提案手法は、製品を含む画像から製品のみを切り出し、ランダムな背景画像に上部から下部に1ピクセルずつ、150ピクセルまで移動させる手法である。これにより1枚の画像から150枚の画像拡張を行うことができた。この拡張された学習データを使用して訓練したモデルをCNNA、オリジナルの学習データを使用して訓練したモデルをCNNBとした。テスト画像を用いて分類実験を行ったところ、CNNAとCNNBの誤分類枚数はそれぞれ7枚と16枚であった。さらに、Grad-CAMを用いた可視化実験では、CNNBは欠陥領域を十分に可視化できない結果に対し、CNNAでは欠陥領域を特徴として捉えていることができていたことから提案手法の有効性が確認された。

最後の実験では、図1(c)の製品画像に対しYOLOv2の検出精度及び欠陥領域への信頼度向上のための学習データ拡張法を提案し、その有効性を確認した。提案手法により、製品を含む画像から製品のみを切り出し、アノテーションを行い、白色背景画像に対し上部から下部に向かって1ピクセルずつ150ピクセルの位置まで動かすことで、オリジナル画像1枚から150枚までの自動拡張を行った。水平反転により拡張を行った学習データと提案手法により拡張を行った学習データそれぞれで訓練させたYOLOv2_AとYOLOv2_Bの欠陥検出性能及び欠陥領域検出の信頼度の比較を行った。その結果、YOLOv2_Aではすべての良品テスト画像を分類でき、不良品テスト画像35枚中20枚を分類できていた。また、欠陥領域への信頼度の平均信頼度は69.0%であった。YOLOv2_Bでは、すべての良品・不良品テスト画像を分類できていた。また、欠陥領域への信頼度の平均信頼度は89.1%であった。提案手法を用いたYOLOv2_Aの方が欠陥領域の検出性能と信頼度スコアともに向上できたことから提案手法の有効性が確認された。

4. 学会発表

- 1) 有馬, 中島, 三木, 永田, 渡辺, 畳み込みニューラルネットワーク(CNN)の転移学習を用いたラップフィルム製品の不良品検出 -InceptionV3の転移学習によるCNNの設計と評価-, 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(SICE SI)講演会論文集, pp. 323-327, 2020.
- 2) 有馬, 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CNN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, SO2-20, 5 pages, 2021.
- 3) 有馬, 永田, 松山, 清水, 三木, 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 -CAE (Convolutional Auto Encoder) による工業製品の欠陥部分の可視化と位置推定-, 第37回 ファジィシステムシンポジウム (FSS 2021) 講演論文集, MD1-2, pp. 54-57, 2021.
- 4) K. Arima, F. Nagata, et al., "Visualization and Location Estimation of Defective Parts of Industrial Products Using Convolutional Auto Encoder," *Procs. of 27th Int. Sym. on Artificial Life and Robotics*, pp. 1366-1371, 2022.
- 5) 有馬, 永田, 清水, 加藤, 渡辺, YOLOv2を用いた工業製品の欠陥検出 -学習データの自動拡張法の提案と評価-, 産業応用工学会全国大会 2022 講演論文集, pp. 43-44, 2022.
- 6) 有馬, 永田, 清水, 大塚, 加藤, 渡辺, YOLOv2による工業製品の欠陥領域の検出 -欠陥領域の検出精度と信頼度を向上させる一手法-, 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(SICE SI)講演会論文集, pp. 329-333, 2022.
- 7) K. Arima, F. Nagata, et al., "Visualization and Location Estimation of Defective Parts of Industrial Products Using Convolutional Auto Encoder," *Journal of Artificial Life and Robotics*, Vol. 27, No. 4, pp. 804-811, Springer, 2022.

Abstract

The author has considered the development of a defect detection system for industrial products using CNN (Convolutional Neural Network), CAE (Convolutional Auto Encoder) and SVM (Support Vector Machine). CNN and CAE work for defect detection and its visualization, respectively. They need two types of calculation processes such as defect detection and recognition, so that real-time defect detection in the actual production line is concerned. In this master thesis, the author tries to apply YOLOv2 to a defect detection and its visualization. Generally, YOLOv2 requires complicated labeling process to prepare a training dataset called gTruth. Therefore, an image augmentation method is proposed to efficiently generate training data for YOLOv2, by which it is expected that the performance of defect detection and its visualization is improved. The effectiveness is shown through experiments.