

工業製品の欠陥検出のための畳み込みニューラルネットワークとサポートベクタマシン設計ツールの開発と応用性能の評価

F119612 中島健斗

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である。最近、AIの中でも深層学習 (Deep Learning) の理論を画像認識に応用・特化させた畳み込みニューラルネットワーク (CNN) 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。筆者らは、現在、ラップフィルム製品の不良品検出を具体的な課題としているが、透明なフィルムのはみ出しや光の反射などにより、市販の画像検出器を用いても十分な不良品検出の性能が得られないという問題がある。本研究ではゼロベースでコンパクトに設計したオリジナルCNN、転移学習により設計したCNN、学習済みCNNを特徴抽出器として設計したサポートベクタマシン (SVM) それぞれによるラップフィルム製品の欠陥検出の応用研究に取り組み、この課題を解決することを目的とする。

2. 開発内容

CNNとSVMのための設計、訓練及び評価を行えるアプリケーションをMATLAB環境上で開発した。メインダイアログではCNNの設計や転移学習、CNNを特徴抽出器として用いたSVMの学習を行うことができる。CNNの場合は分類させたいカテゴリの数に制限のない設計を可能としており、訓練用とテスト用画像データセットのあるフォルダ、学習率、訓練の各反復で使用する画像枚数を示すミニバッチサイズ、訓練画像データセットを一通り用いる回数の最大数を表すマックスエポック、目標認識率及び目標損失などを簡単に設定できる。このアプリケーションを用いてCNNとSVMを設計し、ラップフィルムの製造工程で発生する欠陥の検出を試みる。

訓練画像の前処理として、治具を含むラップフィルム製品の全体画像に対してテンプレートマッチング (TM) を適用し、ラップフィルム部分のみを抽出する画像処理を行う。ターゲット画像内の左上から右下までテンプレート画像をラスタースキャンさせることで領域毎の相関係数を計算し、最も大きな値を持つマッチング領域を抽出する。図1には、テンプレートで抽出されたラップフィルム品の画像の例を示す。なお、今回の実験ではTMにより画像解像度が640×480からテンプレートのサイズである347×347にダウンサイジングされている。設計する①オリジナルCNN、②転移学習によるCNN、③SVMのそれぞれの学習にはこのようなTM処理を行った画像を用いる。

①オリジナルCNNについては、15層から成るCNN1を設計し、汎化性を発揮できるようにオリジナルの良品と不良品の画像に加えて、不良品画像のみ水平反転させて拡張した画像を訓練及び評価用に準備した。CNN1の学習条件は、ミニバッチサイズ50、最大エポック30、学習率0.0001、目標認識率0.999、目標損失0.001に設定し、訓練画像データセットとして、良品34,482枚、不良品2,233枚を用いて訓練を行う。訓練終了後に良品4,035枚と不良品21枚のテスト画像を使用して設計したCNN1を評価する。また、②転移学習によるCNNの設計については、既存の優れた1000カテゴリ分類用CNNであるAlexNet, VGG19, GoogLeNet, InceptionV3をそれぞれベースに新たにCNN2, CNN3, CNN4, CNN5を設計する。具体的にはこれらの学習済みCNNの出力層に近い全結合層部分を目的とする良品と不良品の2カテゴリ分類用に再構成し、さきほどの訓練用画像を用いて追加学習を行う。このため、追加学習ではCNN1と同様の画像データセットを用いて訓練し、評価を行うこととなる。転移学習の学習条件は、ミニバッチサイズ30、学習率

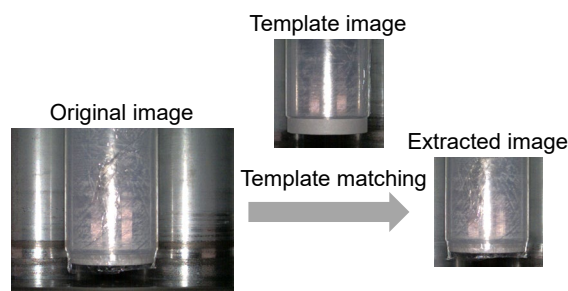


Fig. 1 Example of extracted image using a template matching technique.

0.0001, 目標認識率0.999, 目標損失0.001に統一しているが, 過学習の程度を考慮するために最大エポック数に変化を与えている. さらに, ③SVMについては, 異なるCNNを特徴抽出器に用いて設計と比較評価を行う. 特徴抽出器として使用されるCNNは, 各入力画像から多次元特徴ベクトルを出力する. この特徴ベクトルがSVMへの入力情報として使用され, SMOと呼ばれる最適化アルゴリズムによって超平面と呼ばれる決定境界 $f(x) = 0$ が得られる. 分類はこの超平面までの符号付距離によって行われ, $f(x) > 0$ の場合は良品, $f(x) < 0$ の場合は不良品と分類される. 今回はAlexNetを特徴抽出器として使用し, カーネル関数にGaussianとpolynomialを用いたSVMをそれぞれSVM1, SVM2とする. また, VGG19を特徴抽出器として使用し, カーネル関数にGaussianとpolynomialを用いたSVMをそれぞれSVM3, SVM4とする. なお, これら4種類のSVMもCNN1と同様のデータセット用いて訓練及び評価を行う.

Table1 Comparison results of 9 classifiers.

	Accuracy	Precision	Recall	F-measure
CNN1	0.999	0.870	0.952	0.909
CNN2	0.999	0.955	1.000	0.977
CNN3	0.999	0.895	0.810	0.850
CNN4	0.999	0.909	0.952	0.930
CNN5	0.999	0.870	0.952	0.909
SVM1	0.999	0.909	0.952	0.930
SVM2	0.999	1.000	0.952	0.975
SVM3	0.999	0.800	0.952	0.869
SVM4	0.999	0.840	1.000	0.913

3. 結果

AIによる分類器の代表的な評価指標である認識率, 精度, 再現性, 及びF値を用いて構築した5つのCNNと4つのSVMの評価を行った. 認識率はテスト画像データセットに対する正解率を, 精度は不良品と判断された画像のうち実際に不良品であった割合を, 再現性は実際に不良品である画像が正しく不良品と判断された割合を, さらにF値は精度と再現性の調和平均の値をそれぞれ表す. これら4つの指標をもとに汎化性を評価した結果を表1に示す. 表1より全てのAI分類器でラップフィルム製造メーカーが求めた目標認識率0.95を達成した. この結果からラップフィルム製品の欠陥検出において開発したアプリケーションの有用性を確認することができた.

学会発表

- 1) 中島, 永田, 渡辺, 畳み込みニューラルネットワーク(CNN)とサポートベクターマシン(SVM)を用いた微小な欠陥を持つ不良品検出の基礎研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2A1-Q05(1-4), 2019.
- 2) 中島, 永田, 渡辺, 学習済みCNNモデルの転移学習を用いた微小な欠陥の検出, 第20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. 2851-2855, 2019.
- 3) K. Nakashima, F. Nagata, et al., Detection of Minute Defects Using Transfer Learning of Trained CNN Models, *Procs. of 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics*, pp. 871-875, 2020.
- 4) K. Nakashima, F. Nagata, et al., Detection of Minute Defects Using Transfer Learning-Based CNN Models, *Artificial Life and Robotics*, 7 pages, Springer, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10015-020-00618-2>
- 5) 中島, 永田, 渡辺, 畳み込みニューラルネットワークを用いたラップロール製品の不良品検出, 第36回フュージョンシステムシンポジウム FSS2020 講演論文集, pp. 111-115, 2020.
- 6) K. Nakashima, F. Nagata, A. Otsuka, K. Watanabe, M. K. Habib, "Detection of Defective Wrap Film Products Using Convolution Neural Network," *Procs. of 26th International Symposium on Artificial Life and Robotics*, 6 pages, 2021.

Abstract

Although the automation of inspection processes for various kinds of industrial products has progressed, 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 have been tried to apply convolutional neural networks (CNNs) specialized in deep learning technology to image recognition for product defect detection.

In this master's thesis, a MATLAB application that can design and train CNNs and support vector machines (SVMs) is developed. Some models produced by the application are tried to be applied to the defect detection in the manufacturing process of wrap roll products. Firstly, a template matching technique is used to extract only the target film areas from the entire images of wrap film products. Next, original CNNs, transfer learning based CNNs and SVMs are considered and designed in order to classify input images into defective or not, then the models are trained using a large number of original and augmented images to enhance the generalization ability. Finally, the trained CNN and SVM models are evaluated and compared through classification experiments of test images which are not included in training ones.