

# 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基本性能の評価

F118608 徳野 健太  
永田研究室

## 1. 目的

多くの工場の生産ラインでは様々な欠陥を持つ製品が偶発的に製造されるという問題があり、これらの欠陥を検出するために経験を積んだ作業員によって各工程で製品の品質にかかわる検査が行われている。しかしながら、これらの検査の良否判定は作業員の主観や経験に基づく判断に委ねられており、その判定結果が必ずしも妥当であるとは言えず、人為的な判断ミスや判定基準の曖昧さなどが問題とされることも多い。最近では、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)に代表される深層学習の手法が製品の品質管理や仕分け作業などのシステム化に応用されている。

本研究では製造業が抱える品質管理に関する課題を解決するために、熟練した検査作業員と同等以上の不良品の識別能力を有するCNN、サポートベクタマシン(SVM)、及び転移学習ベースのCNNの設計と訓練を効率的に実行できるアプリケーションを開発した。このツールは、C++やPythonといったプログラミングに関する高度な知識や経験を必要としない。樹脂成型品などの製造過程で発生した亀裂やバリなどの欠陥を検査するために画像認識の分野に特化したCNNやSVMの応用方法を検討し、欠陥検出のための基本システムの設計を試みる。多数の良品と不良品の画像データを使って幾つかの異なる構造のCNNおよびSVMを訓練させた後、識別検査の実験により基本性能を評価する。

## 2. 実験内容と考察

CNNとSVMのための設計、訓練、評価ツールをMATLAB上で開発した。まず、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の学習では最大12カテゴリの分類作業に対応できるように設計しており、各カテゴリの訓練用とテスト用画像のあるフォルダ、学習率、画像データセットをサブセットに分割した際のミニバッチサイズ、データセットを用いる回数の上限值であるマックスエポック、目標認識率などを簡単に設定できる。また、初期化されたフィルタの重みで学習を始める事前学習、一度学習を終えたCNNの重みを含む訓練情報を保存し、その後、その情報をもとに新たな訓練データで学習を再開させる追加学習、さらに訓練済みのCNNに対して良品と不良品を混在させた未分類の画像を与え、正規化指数関数からの出力をもとに各カテゴリへの分類を行い、その結果を定量的に評価する機能などを持つ。

今回の実験では樹脂成形の製造過程で発生する亀裂やバリなどの欠陥を自動検出するためのCNNを設計し、性能を評価した。まず、開発したツールを用いて200×200ピクセルのグレースケールで作成したバリ、クラック、突起、欠け、斑点、割れといった6種類の欠陥が含まれた不良品画像からの欠陥検出を試みた。次に図1のようなカスケード接続したCNNsを提案し、同様に評価実験を行った。さらに、事前学習済みネットワークであるAlexNetを特徴抽出器として用いて図2のようなSVMを設計し、同様に良品サンプルの画像と不良品サンプルの画像で評価実験を行った。ここで、 $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ )はSVMの主問題を双対問題で表した場合に現れるラグランジュ乗数、 $N$ は学習で得られたサポートベクタの数、 $\mathbf{x} \in R^{4096 \times 1}$ は特徴抽出器であるCNNが入力画像から出力した特

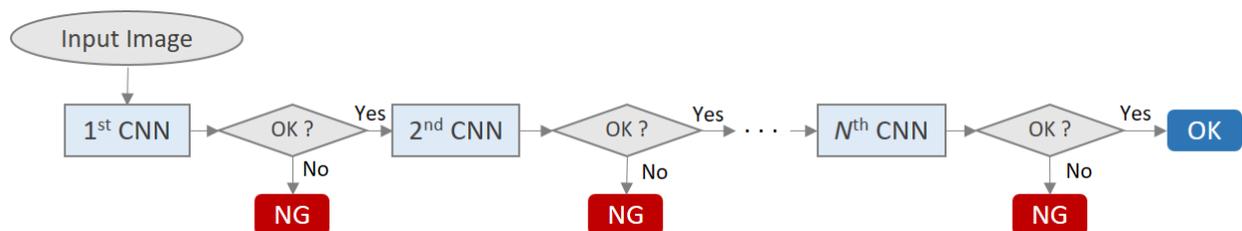


Fig. 1 Proposed cascade-type CNNs for binary classification of defective and non-defective.

徴ベクトル,  $\mathbf{x}^*$ は識別平面までのマージンを最大にする超平面を構成するサポートベクトル,  $b$ は閾値,  $G(\mathbf{x}^*, \mathbf{x})$ は高次元化のためのガウシアンカーネル関数,  $f(\mathbf{x})$ はそれらの線形和として得られる識別平面までの符号付き距離であり,  $f(\mathbf{x}) > 0$ あるいは $f(\mathbf{x}) < 0$ に応じて, SVMがそれぞれOK, NGに分類したこととなる.

最後に, 転移学習と呼ばれる学習済みのモデルを別の領域に適応させる学習手法を用いて新たなCNNを設計し, 従来のマルチクラス分類用のCNNやSVMとの性能を比較し, 今回の不良品検出に適した手法を検討した.

### 3. 結果

本研究では, 情報処理の専門知識がなくても製品の欠陥検出のためのCNNやSVM, 転移学習に対応したCNNを簡単に設計, 訓練できるアプリケーションを開発した. 樹脂成形などの製造過程で発生する亀裂やバリなどの欠陥検査を想定し, 提案したソフトウェアを用いて単体のCNN, カスケード型のCNN, 転移学習ベースのCNN, さらにCNNを特徴抽出器として用いたSVMを設計した. 多数の訓練データでそれらを学習させた後, 簡単な識別検査の実験により性能を評価し, 有効性を確認することができた. また, あらかじめ定められた訓練データのみで学習させる従来法に加え, 誤検知された欠陥を持つ画像を新たに訓練データに加えながら追加学習を行う方法を提案し, 認識率を漸次高めることで熟練の検査作業員の支援システムの実現が可能となった. 現在, 共同研究を実施している製造メーカー3社においてもそれぞれの製品検査に関わる課題を解決するために我々のツールを活用しており, 高い有用性が確認されている. 今後は, 今回基本設計したCNNやSVMを実際の検査プロセスに適用するための応用研究に加えて, 薬学や医学分野への適用研究を実施する予定である.

#### 学会発表

- 1) 徳野健太, 永田寅臣, 大塚章正, 渡辺桂吾, “Deep Learning を応用した不良品検出の基礎研究,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集, 2A2-K14(1-3), 北九州国際会議場, 2018.
- 2) 徳野健太, 永田寅臣, 大塚章正, 渡辺桂吾, “畳み込みニューラルネットワーク (CNN) 設計ツールの提案 -カスケード接続された CNNs の設計と不良品検出への応用-,” 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会論文集, 5 pages, 大阪工業大学, 2018.
- 3) 徳野健太, 永田寅臣, 大塚章正, 渡辺桂吾, “畳み込みニューラルネットワークを応用した不良品検出の基礎研究,” 日本機械学会九州支部北九州学術講演会講演論文集, pp. 35-39, 北九州市立大学ひびきのキャンパス, 2018.
- 4) Kenta Tokuno, Fusaomi Nagata, Akimasa Otsuka, Keigo Watanabe, Maki K. Habib, “Design Tool of Convolutional Neural Network (CNN) - Design of Cascade Type CNNs and Its Application to Defect Detection -,” *Proceedings of 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics*, pp. 733-737, 2019.

#### Abstract

In this decade, deep convolutional neural network called CNN has been attracting attention due to its high ability of image recognition and other applications. In this paper, a design and training tool for convolutional neural network (CNN) is developed. The tool requires no knowledge and experience about C++ or Python. As a test trial, a CNN is designed using the tool to inspect defects such as crack, burr, protrusion, chipping and spot which occurs in the manufacturing process of resin molded articles. The multi-class CNN is trained with a large number of training images of each category. Then, a cascade-type CNN consisting of multiple binary-class CNNs is also proposed to classify target test images into OK or NG category including defects such as crack, burr, protrusion, chipping and spot. A metrics using miss-classification rate is applied in order to compare the performance of Support Vector Machine (SVM) and the proposed cascade-type CNN. Moreover, transfer learning approach is applied to the visual inspection system to improve the classification performance.

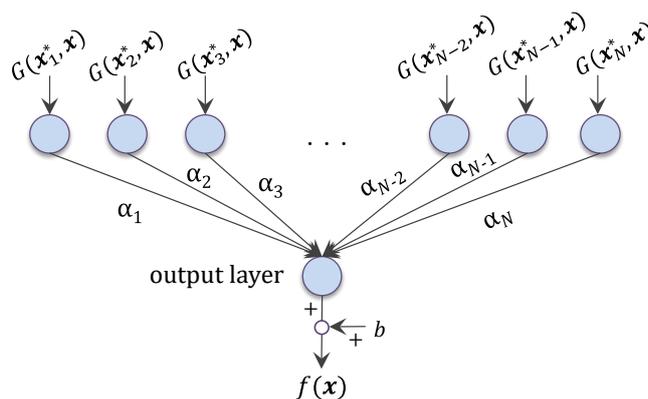


Fig. 2 Support vector machine after one-class learning.