

Stable Diffusion を用いた画像拡張による 不良品発生率の低い工業製品の欠陥検出性能の改善

永田研究室 F120012 叶谷 崇馬

1. 目的

製造ラインで安定的に製造される工業製品の場合、不良品の発生率が非常に低く、欠陥が含まれた画像を蓄積していくことが容易ではなく、良品と不良品の画像枚数に偏りが発生するという問題がある。この問題に対処するために、様々なデータ拡張手法が提案されており、学習データを増やすことで訓練モデルの汎化性能を向上させることができる。Stable Diffusion は、最近のデータ拡張手法の中で注目されているアプローチの一つである。この生成手法は、データセット内の潜在的な特徴を探索し、学習データの多様性を向上させることを目的としている。深層学習モデルの汎化性能の向上、特に少量のラベル付きデータに頼る場面での有用性が期待されている。本研究では、Stable Diffusion で拡張した画像を訓練用データセットに組み込むことで、不良品の発生率の低い工業製品の製造プロセスにおける欠陥検出性能を向上させることを目的とする。

2. 研究内容

今回使用した Stable Diffusion アプリである WebUI では、8 の倍数となるようなピクセル値の画像サイズに拡張できる。メーカーから提供のあったラップフィルム製品の画像の解像度が 347×347 であったため、補間方法に Nearest を選択し、352×352 の解像度に拡大した。この方法を良品 550 枚と不良品 550 枚のデータセットに適用し、それをデータセット A とした。データセット A から良品 50 枚と不良品 50 枚を抽出したものを訓練用データセット B とし、残りの良品 500 枚と不良品 500 枚をテスト用データセットとした。新たに設計したオリジナル CNN を訓練用データセット B で訓練したものを CNN_B とした。次に、Stable Diffusion を用いて訓練用データセット B の不良品画像を 200 枚に拡張し、良品 50 枚を加えたものを訓練用データセット C とし、この訓練用データセット C を用いて訓練したモデルを CNN_C とした。さらに、訓練用データセット C の良品が 80 枚になるまで良品を 10 枚ずつ増やしたものをそれぞれ、データセット D, E, F とし、同様に訓練したモデルを CNN_D, CNN_E, CNN_F とした。主な学習条件として最大エポック 30, ミニバッチサイズ 8, 学習率 0.0001 に設定した。学習後の欠陥検出性能を評価するため、テスト用データセットを用いて分類実験を行った。最後に、既に報告されている 1 クラス SVM によるラップフィルム製品の不良品検出実験の結果と比較を行い、Stable Diffusion による画像拡張が CNN モデルの性能向上にどのような影響を及ぼすかを検証した。

3. 結果

表 1, 2, 3, 4, 5(行:真, 列:予測)にはそれぞれ, CNN_B, CNN_C, CNN_D, CNN_E, CNN_F の分類結果を表す混同行列を示す。また, 表 6 には VGG19-based One-Class SVM によるベストな結果の混同行列を示す。これら CNN モデルと SVM モデルについて機械学習における性能指標による比較を行った。5つの CNN モデルを比較すると, 偽陰性率 (FNR) は CNN_C と CNN_D が最も良く(低く), 偽陽性率 (FPR) は CNN_F が最も良かった。工業製品の欠陥検出では, 偽陰性率 (FNR) を減らすことが重要であるため, CNN_C, CNN_D, CNN_F を比較すると CNN_D が最も良い結果となった。この CNN_D と VGG19-based One Class SVM の分類精度を比較するとそれぞれ 94.4%と 90.0%であり, CNN_D が高いスコアを示した。以上の結果から, Stable Diffusion で画像拡張することで従来の SVM ベースの分類器より優れた性能が確認された。

Table 1 Confusion matrix by CNN_B

	Normal	Anomaly
Normal	457	43
Anomaly	37	463

Table 2 Confusion matrix by CNN_C

	Normal	Anomaly
Normal	447	53
Anomaly	18	482

Table 3 Confusion matrix by CNN_D

	Normal	Anomaly
Normal	462	38
Anomaly	18	482

Table 4 Confusion matrix by CNN_E

	Normal	Anomaly
Normal	456	44
Anomaly	19	481

Table 5 Confusion matrix by CNN_F

	Normal	Anomaly
Normal	481	19
Anomaly	31	469

Table 6 Confusion matrix of OCSVM

	Normal	Anomaly
Normal	288	32
Anomaly	32	288