Anomaly Detection Report

Name: 尤奕翔

**一、實驗目的**

本實驗設計目標是在僅有正常(defect-free)影像可用於訓練的前提下，建立一個可進行異常檢測分類任務的系統。本實驗的核心思路是以正常影像合成異常影像，訓U-Net進行重構，將異常還原為正常，並以重構影像(reconstruction)與輸入影像(或兩者差值,殘差residual)作為特徵，訓練分類器(ResNet)判別是否存在異常，以達成無真實異常標註下的異常檢測模型。

本次實驗最終設計了三個版本(Version A / B / C)，分別在資料生成、特徵設計與分類器訓練流程上進行調整，並透過Accuracy、Recall、Precision與Confusion Matrix等指標，作為評估與分析結果說明。(詳細的code version，可於Github” <https://github.com/Behappy1224-2/20250806AnomalyDetection>”，在commit的log紀錄中瀏覽三個版本)

**二、實驗架構**

本實驗的流程主要分為三個步驟，分別為:Step1.異常資料合成、Step2.影像重構模型訓練以及Step3.分類器訓練。以下逐步說明其設計與執行方式。

**2-1 異常資料合成:**

由於原始資料僅包含無缺陷影像，為解決異常影像不足所導致的bias問題，我們使用影像合成方法來人工生成缺陷樣本，主要架構如下:

1. 輸入資料：在訓練集中的正常影像(defect-free images)
2. 缺陷生成: 針對每張輸入影像，我們隨機套用1到3種的缺陷，包括頭髮(細長刮痕\_、小型圓點、條紋，這些都有做不同的亮度、模糊化以及透明度調整，最後疊加在原圖上
3. 資料輸出：每張defect-free影像會生成對應含有瑕疵的合成影像，並依照以下結構存放：

* originals/：原始無缺陷影像
* images/：合成後缺陷影像
* masks/：對應的缺陷binary mask

**2-2 影像重構模型訓練**

在此步驟中，我們採用小型的U-Net模型進行影像重建。模型由編碼器(encoder)與解碼器(decoder)組成，透過下採樣與上採樣結合，並利用跳接(skip connections)保留細節。

* 編碼器：包含兩層下採樣 (MaxPool2d)，每層由兩次 3×3 卷積、Batch Normalization與ReLU組成。
* 解碼器：使用雙線性上採樣，與對應編碼層特徵拼接後，再經 DoubleConv降通道，逐步恢復至原始解析度。
* 輸出層：經1×1卷積轉換為三通道影像，最後通過sigmoid函數輸出重建影像結果。

**2-3 分類器訓練**

在此步驟中，我們訓練一個基於ResNet18的二元分類器，用於區分缺陷與正常影像。輸入採用二通道組合，其一為原始輸入影像的灰階圖，另一為與重建影像差異的殘差圖。

* 特徵建構：先利用step2訓練完的U-Net重建器生成重建影像，並與輸入影像相減，得到殘差圖(residual)，與輸入灰階圖拼接形成二通道輸入。
* 分類器：修改ResNet18的第一層以適應二通道輸入，最終輸出二分類結果(正常=0，缺陷=1)
* 訓練loss和optimizer：使用Cross-Entropy loss function與Adam優化器，並在驗證集上挑選最佳模型。
* 評估：在測試集上計算Accuracy、Precision、Recall，並繪製confusion matrix以分析分類效果。