论文修改说明

编号：22120010　　论文标题：利用多层次特征融合网络的图像异常检测

尊敬的编辑及审稿专家：

您们好！非常感谢您们提出的宝贵意见！根据这些意见，我们对稿件进行了仔细地修正和完善，**修改部分在文中用红色标出**。此外，我们对稿件的格式和全文内容进行了认真检查，对不妥的地方进行了修改，**修改部分在文中已用红色标出**。具体修改说明如下：

一、第一审稿人初审意见：

意见 1：引言部分不宜论述本文的结果结论，请删除相关表述。

回复 1：引言部分的结果结论已按要求完成删除。

意见 2：图片中的英文请改用中文表述。

回复 2：图片中的英文已按要求改成中文。

二、第二审稿人外审意见：

意见 1：需要给读者阐述一下本文中是怎样定义异常图像的？比如图 2 第三幅小图中部近圆形标记区域存在哪种异常？图 5 第三幅小图是正常的电子器件，为何认为有异常？

回复 1.1：异常的定义：图像异常检测旨在识别并定位出与正常模式不同的异常模式。在计算机视觉领域中，图像中的异常通常表现出局部性，如物体表面的划痕、破损等或者因部分结构扭曲而显示出的缺陷。（具体见修改稿第一页正文第一段）

另外，我们在修改稿中添加了对所用数据集中的异常类型的介绍，具体内容如下：

图 7 展示了该数据集部分类别的一个正常示例图像和一个异常示例图像以及异常所对应的真值图像即 Ground_truth，为了便于观察，本文还将异常示例图像中的部分异常区域进行了放大显示。从异常示例图像中可以看出，测试集中的异常图像所包含的缺陷类型各种各样，如划痕、凹痕和破损等物体表面的缺陷，或物体部分结构扭曲的缺陷以及物体不完整而显示出的缺陷。（具体见修改稿第 3 节第一段）

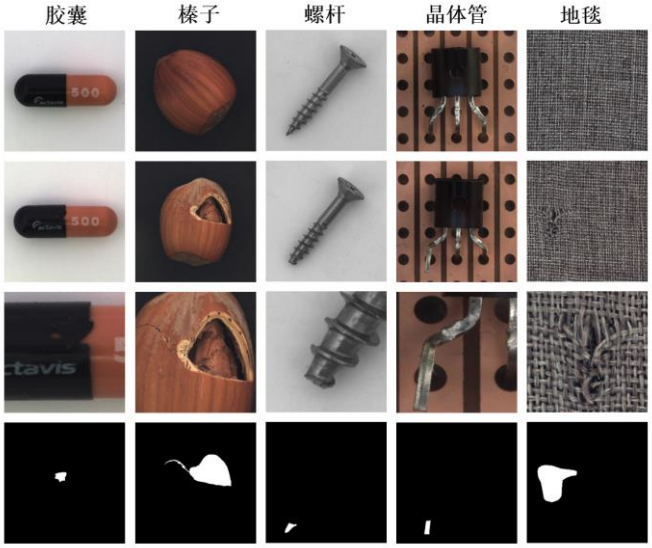

图 7 MVTec 数据集图像

Fig.7 Image of MVTec dataset

回复 1.2：图 2（修改稿中图标号已修改为图 4）第三幅小图中部近圆形标记区域为本文使用“五彩纸屑噪声”技术合成的伪异常，在图像中部生成了一个近似圆形的黑色斑点，造成了图像的局部异常。

图 4 伪异常生成图

Fig.4 Pseudo exception generating graph

回复 1.3：在电路设计时，某些电子元器件的摆放位置以及摆放方向是固定，图 5（修改稿中图标号已修改为图 8）第三幅小图中的电子元器件摆放位置上下颠倒了，即下图中的图(b)。（具体见修改稿第 3.2 节图 8）。正常的摆放位置如下图中的图(a)所示。

(a) (b) (c) (d)

意见 2：“超球体”还是“超球面”？需要统一。

回复 2：已统一使用“超球体”表述。

意见 3：加入伪异常数据样本是本文最重要的技术点，应该在实验中进行充分的对比分析：对于本文方法，加入和不加入伪异常样本的异常检测效果比较；伪异常样本占所有训练样本不同比例时，异常检测效果有何变化？能否得出最佳异常样本比例的粗略结论？

回复 3：根据您的建议，我们在修改稿中添加了新的小节，即“3.3 伪异常样本比例分析”，对本文方法在六种伪异常样本比例下的实验结果进行了汇报与分析，具体内容如下：

本文通过在训练集中引入伪异常样本，将异常检测任务转化伪监督学习任务，本小节研究不同伪异常样本比例对本文方法的性能影响。表 3 给出了六种伪异常样本比例下本文方法的实验结果，表中 $AUROC_{AD}$ 和 $AUROC_{AL}$ 及 PRO 分别表示 MVTec 数据集 15 个类别图像级检测的平均精度和像素级检测的平均精度。通过对表 3 中实验结果进行分析，得到如下发现：(1)本文方法在训练集中不加入伪异常时，性能表现很差。这是因为本文的特征约束损失和分数约束损失，即公式(4)和公式(5)，都是针对训练集中存在异常数据而设计的，此时公式(4)和公式(5)的第二项均会失效，导致实验结果不理想。(2)模型的检测精度随着训练样本中伪异常比例的增加，呈现出先上升再下降的趋势，并且当伪异常样本占所有训练样本的比例为 50%时，异常检测性能最优。(3)相比于仅用训练集中 5%的数据生成伪异常，本文方法在伪异常样本占所有训练样本 50%时，图像级检测平均 AUROC 值提升 1.1%，像素级检测平均 AUROC 值和 PRO 值分别提升 0.6%和 3.9%，证实了在训练时加入适量伪异常样本可以显著提升模型性能。(4)模型在 75%和 100%伪异常比例下的实验结果均劣于 50%伪异常比例下的实验结果，这是因为在训练集中引入过多的伪异常样本，会使模型过于关注对伪异常模式的学习，导致模型泛化性能下降。（具体见修改稿第 3.3 节）

表 3　本文方法在六种不同伪异常比例下的实验结果(%)

Tab.3　Experimental results of the proposed method under six different pseudo-anomaly ratio(%)

Metric	0 伪异常	0.05 伪异常	0.25 伪异常	0.5 伪异常	0.75 伪异常	1.0 伪异常
$AUROC_{AD}$(%)	68.2	97.6	98.2	**98.7**	98.4	98.0
$AUROC_{AL}$(%)	61.4	97.3	97.7	**97.9**	97.7	97.0
PRO(%)	32.2	90.3	93.5	**94.2**	93.8	93.0

三、第三审稿人外审意见：

意见 1：英文摘要需要再做润色和修改。

回复 1：已润色和修改。

意见 2：正文第二页加入对 ResNet 的索引。

回复 2：已添加相应的索引，即修改稿中参考文献[26]。

意见 3：图 1 和图 4 太小，特别是图 1 的字太小，建议修改。

回复 3：已对稿件所有图片中的字体大小进行了适当地调整。