

ABSTRACT

Anomaly detection methods show great potential in the context of industrial quality inspection. Unsupervised methods, a focal point in computer vision research, solely require non-anomalous data samples for parameter optimization. With no prior information in the form of labels, models learn inherent data patterns during training, allowing them to detect deviations from these patterns as anomalies during testing. In contrast, traditional supervised algorithms pose practical limitations due to their reliance on time- and resource-intensive data collection and annotation. Moreover, they can only recognize known defects, which are represented in the training set, lacking the ability to identify new and unseen anomalies. Many promising unsupervised anomaly detection methods have been proposed in the literature. However, their performance is typically evaluated on academic datasets like MVTec or VisA. It remains unclear whether their success translates effectively to the specific real-world application of fabric defects.

To address this gap, this thesis explores state-of-the-art unsupervised methods applied to image data for real-time defect detection and localization on textile surfaces. Their predictive performance on holdout data is analyzed for defect detection on both image- and pixel-level using different preprocessing approaches such as machine part segmentation. Furthermore, the unsupervised methods are directly benchmarked against a well established supervised solution to the problem.

The conducted experiments indicate that recently proposed anomaly detection methods achieve impressive classification performance, with AUROC scores as high as 98.5%. Additionally, solid anomaly localization results were reached, effectively segmenting defects within the fabric structure, enabling traceable defect detection systems. Particularly, the method *FastFlow* yields competitive results, outperforming the supervised model in terms of precision and specificity, despite the significantly higher computational complexity of the unsupervised model. Therefore, unsupervised methods were successfully identified as promising alternatives for traditional supervised approaches for anomaly detection. They enable faster and more cost-effective model development, significantly enhancing application capabilities within industrial environments. Hence, this thesis offers a valuable contribution to the company's endeavors in designing anomaly detection systems. Moreover, it provides future practitioners and data scientists with an in-depth study of the advantages and downsides of different unsupervised anomaly detection and localization algorithms in the context of fabric defect detection.

Keywords: Computer Vision; Unsupervised Anomaly Detection and Localization; Fabric Defect Detection; Latency; Autoencoders; Normalizing Flows; Knowledge Distillation.

ZUSAMMENFASSUNG

Methoden zur Detektion von Anomalien zeigen ein großes Potenzial im Bereich der industriellen Qualitätskontrolle. Unüberwachte Lernmethoden benötigen lediglich defekt-freie Beispieldaten zur Parameteroptimierung, indem sie die natürlichen Datenmuster lernen. Dadurch sind sie in der Lage, bei neuen Datenpunkten Abweichungen von diesen Mustern als Anomalien zu erkennen. Im Gegensatz dazu sind herkömmliche überwachte Algorithmen in Praxis herausfordernd, denn sie benötigen eine zeit- und ressourcenintensive Datenerfassung und -beschriftung. Zudem können sie nur bereits bekannte Defekte erkennen, die in den Trainingsdaten repräsentiert sind. In der Literatur gibt es viele vielversprechende Methoden, jedoch wurde ihre Leistung ausschließlich mit akademischen Datensätzen wie MVTec oder VisA bewertet. Es bleibt deshalb unklar, ob sich ihr Erfolg auf die spezifische reale Anwendung bei Stoffdefekten übertragen lässt.

Um diese Lücke zu schließen, werden in dieser Arbeit moderne, unüberwachte Methoden zur Echtzeit-Detektion und -Lokalisierung von Defekten auf Bildern textiler Oberflächen angewendet. Ihre prädiktive Leistung auf separaten Testdaten wird für die Defekterkennung sowohl auf Bild- als auch auf Pixelebene unter Verwendung verschiedener Vorverarbeitungsansätze, wie der Segmentierung von Maschinenteilen, analysiert. Außerdem vergleicht diese Arbeit die unüberwachten Methoden direkt mit einer etablierten, überwachten Lösung für das Problem.

Die durchgeführten Experimente zeigen, dass die untersuchten Methoden zur Erkennung von Anomalien eine beeindruckende Klassifizierungsleistung mit AUROC Werten von bis zu 98,5% erreichen. Des Weiteren werden solide Ergebnisse bei der präzisen Lokalisierung von Anomalien erzielt, wodurch eine präzise Segmentierung der Defekte innerhalb der Gewebestruktur ermöglicht wird. Dies eröffnet interpretierbare und nachvollziehbare Defekterkennungssysteme. Insbesondere die Methode *FastFlow* liefert konkurrenzfähige Ergebnisse und übertrifft das überwachte Modell in Bezug auf Präzision und Spezifität, trotz der deutlich höheren Rechenkomplexität des unüberwachten Modells. Dies führt zur erfolgreichen Identifikation unüberwachter Methoden als vielversprechende Alternativen zu herkömmlichen, überwachten Ansätzen für die Erkennung von Anomalien. Sie ermöglichen eine schnellere und kostengünstigere Modellentwicklung und verbessern somit erheblich die Anwendungsmöglichkeiten in industriellen Umgebungen. Daher leistet diese Arbeit einen wertvollen Beitrag zu den Bemühungen des Unternehmens bei der Entwicklung von Anomalieerkennungssystemen. Zusätzlich bietet sie künftigen Praktikern und Datenwissenschaftlern eine eingehende Untersuchung der Vor- und Nachteile verschiedener unüberwachter Algorithmen zur Erkennung und Lokalisierung von Anomalien auf Stoffen.

Stichworte: Computer Vision; Unsupervised Anomaly Detection and Localization; Fabric Defect Detection; Latency; Autoencoders; Normalizing Flows; Knowledge Distillation.