الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
المدرسة العليا للإعلام الآلي 8 ماي 5491 - سيدي بلعباس
Higher School of Computer Science
8 Mai 1945 - Sidi Bel Abbes

Engineering Thesis

To obtain the diploma of **E**ngineering Degree

Field of Study: **Computer Science**

Specialization: **Artificial Intelligence and Data Science**

Theme

Visual Anomaly Detection in the Agri-Food Industrial Inspection Using Hyperspectral Imaging

---

Presented by
Iguernaissi Abderraouf Riad

Defended on: **October, 2025**
In front of the jury composed of

Ms. BEZZAOUCHA Fatima Souad	President of the Jury
Ms. TAOULI Amina	Thesis Supervisor
Mr. BECHAR Mohamed El Amine	Co-Supervisor
Ms. ELHANNANI Souad	Examiner

Academic Year: 2024/2025

Abstract

Automated visual inspection for quality control is vital in the food industry, yet detecting anomalies such as defects, contamination, or surface irregularities in food products remains challenging, especially with limited labeled data. Conventional manual or rule-based inspection methods using RGB images often struggle with reliability and speed due to their limited spectral information, motivating the use of advanced deep learning techniques with hyperspectral imaging (HSI) for enhanced anomaly detection.

This thesis presents a deep learning-based visual anomaly detection system that leverages hyperspectral images as input to address these challenges in food quality assessment. Unlike traditional RGB imaging, hyperspectral images capture detailed spectral information across hundreds of wavelengths, enabling the detection of subtle chemical compositions, moisture content variations, and internal defects that are invisible to conventional imaging systems.

The proposed system employs convolutional neural network (CNN) and transformer-based models specifically designed to process the rich spectral-spatial information contained in HSI data, and it leverages transfer learning techniques to learn effectively from a small set of annotated hyperspectral samples of food defects and surface anomalies. The multi-dimensional nature of hyperspectral data provides superior discriminative power for identifying food quality issues compared to RGB-based approaches.

These findings demonstrate the effectiveness of hyperspectral imaging combined with deep learning for automated quality control verification in food processing and manufacturing settings, and highlight the superior potential of HSI-based systems to enhance food inspection processes and ensure food safety standards.

Keywords— visual anomaly detection, deep learning, quality control, real-time detection.

Résumé

L'inspection visuelle automatisée pour le contrôle de la qualité est essentielle dans l'industrie agroalimentaire. Toutefois, la détection d'anomalies telles que les défauts, la contamination ou les irrégularités de surface demeure un défi, en particulier lorsque les données annotées sont limitées. Les méthodes traditionnelles d'inspection manuelle ou basées sur des règles, utilisant des images RGB, se révèlent souvent insuffisantes en termes de fiabilité et de rapidité à cause de la faible richesse spectrale. Cela motive l'adoption de techniques avancées d'apprentissage profond associées à l'imagerie hyperspectrale (HSI) pour améliorer la détection d'anomalies.

Ce mémoire présente un système de détection d'anomalies visuelles basé sur l'apprentissage profond qui exploite les images hyperspectrales pour relever ces défis dans l'évaluation de la qualité des aliments. Contrairement aux images RGB classiques, les images hyperspectrales capturent des informations spectrales détaillées sur des centaines de longueurs d'onde, permettant ainsi de détecter des variations chimiques, de l'humidité ou encore des défauts internes invisibles aux systèmes classiques.

Le système proposé intègre des modèles de réseaux de neurones convolutionnels (CNN) et de transformeurs spécifiquement conçus pour exploiter la richesse spectrale et spatiale des données HSI, et s'appuie sur l'apprentissage par transfert afin d'apprendre efficacement à partir d'un nombre limité d'échantillons annotés d'anomalies alimentaires. La nature multidimensionnelle des données hyperspectrales fournit un pouvoir discriminant supérieur pour identifier les problèmes de qualité par rapport aux approches basées sur RGB.

Ces résultats démontrent l'efficacité de l'imagerie hyperspectrale combinée à l'apprentissage profond pour l'automatisation du contrôle qualité dans les chaînes de production alimentaire et mettent en évidence le potentiel de ces systèmes pour renforcer les processus d'inspection et garantir les normes de sécurité alimentaire.

Mots Clés— détection d'anomalies visuelles, apprentissage profond, contrôle qualité, détection en temps réel.

الملخص

تُعَدُّ عملية الفحص البصري الآلي لمراقبة الجودة خطوة أساسية في صناعة الأغذية، غير أنّ اكتشاف الشذوذات مثل العيوب، التلوثات، أو عدم انتظام الأسطح يظلّ تحدياً معقداً، خصوصاً في ظل محدودية البيانات المعلّمة المتوفرة. كما أنّ الطرق التقليدية للفحص اليدوي أو المبني على القواعد باستخدام صور RGB تعاني من قصور على مستوى الموثوقية والسرعة نتيجة محدودية المعلومات الطيفية، الأمر الذي يبرز الحاجة إلى اعتماد تقنيات متقدمة في مجال التعلم العميق بالاستعانة بالتصوير فائق الطيف (HSI) لتعزيز قدرات الكشف عن الشذوذ.

يعرض هذا العمل نظاماً علمياً للكشف عن الشذوذات البصرية معتمداً على تقنيات التعلم العميق، حيث يُوظَّف التصوير فائق الطيف كمدخل رئيسي لمعالجة التحديات المرتبطة بتقييم جودة المنتجات الغذائية. بخلاف التصوير التقليدي المعتمد على RGB، يتيح التصوير فائق الطيف الحصول على معلومات دقيقة عبر مئات الأطوال الموجية، مما يمكّن من رصد التغيرات الكيميائية الدقيقة، واختلاف نسب الرطوبة، وكشف العيوب الداخلية غير المرئية بالأنظمة التقليدية.

يعتمد النظام المقترح على نماذج الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) والمحولات (Transformers) المصممة خصيصاً لمعالجة البُعدين الطيفي والمكاني للبيانات فائقة الطيف، كما يستفيد من تقنيات التعلم بالنقل بهدف الاستفادة المثلى من مجموعة محدودة من العينات المعلّمة التي تتضمن عيوباً غذائية وشذوذات سطحية. إن الطبيعة متعددة الأبعاد للبيانات فائقة الطيف تمنح قدرة تمييزية عالية تفوق ما توفره الصور التقليدية، الأمر الذي يُمكّن من تحقيق دقة وموثوقية أكبر في مهام الكشف.

تُبرز النتائج المتحصَّل عليها فعالية الدمج بين التصوير فائق الطيف وتقنيات التعلم العميق في أتمتة عمليات مراقبة الجودة داخل بيئات تصنيع الأغذية، كما تؤكد الإمكانيات الكبيرة لهذه الأنظمة في تعزيز إجراءات الفحص وضمان الالتزام بمعايير السلامة الغذائية.

الكلمات المفتاحية: الكشف عن الشذوذات البصرية، التعلم العميق، مراقبة الجودة، الكشف الفوري.