Abb. 1: Das intelligente All-in-One Spectral Imaging (ASI)-Laborsystem hat seine Zuverlässigkeit bei der Vorhersage von Eigenschaften diverser Früchte bewiesen.

Für menschliche Augen unsichtbar

Ein System für die spektrale Analyse von Frischwaren

Auf der Grundlage von Hyperspektralkameras des finnischen Herstellers Specim haben holländische Wissenschaftler ein intelligentes All-in-One Spectral Imaging (ASI) Laborsystem für die standardisierte automatisierte Datenerfassung und den Einsatz von Spektralmodellen in Echtzeit entwickelt. Ein vollständig eigenständiges System mit zwei verschiedenen Hyperspektralkameras sich gegenseitig ergänzender Spektralbereiche hat bewiesen, dass eine zuverlässige Analyse von Lebensmitteleigenschaften und die Analyse von Frischwaren möglich ist.

Die hyperspektrale Bildverarbeitung wird schon seit geraumer Zeit in wissenschaftlichen und industriellen Anwendungen eingesetzt. In zahlreichen Anwendungsfällen hat sie sich als leistungsstarke Technologie zur fortschrittlichen Klassifizierung und Materialanalyse erwiesen. Im Vergleich zu konventionellen Bildverarbeitungssystemen geht die hyperspektrale Bildverarbeitung über das sichtbare Spektrum hinaus und ist damit in der Lage, Informationen zu erkennen, die für das menschliche Auge unsichtbar sind.

Die hyperspektrale Bildverarbeitung bietet unvergleichliche Möglichkeiten in zahlreichen Bereichen, in denen eine präzise Charakterisierung und Identifizierung unerlässlich ist. Zwar hat die Hyperspektral-Technologie in verschiedenen Branchen und Forschungsbereichen bereits erhebliche Vorteile und Potenziale gezeigt, doch die Komplexität der Datenerfassung und -analyse hat ihre breite Anwendung verhindert – bis jetzt.

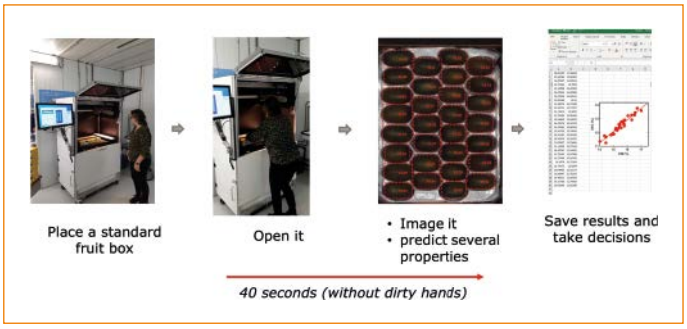
Um diese Situation zu ändern, wollten Wissenschaftler in den Niederlanden ein System entwickeln, das es auch Anwendern ohne tiefgreifende Kenntnisse der hyperspektralen Bildverarbeitung ermöglicht, von dieser Technologie zu profitieren. Hyperspektrale Zeilenkameras des finnischen Herstellers Specim sind Schlüsselkomponenten des Projekts.

Auf dem traditionellen Bildverarbeitungsmarkt gibt es zahlreiche Systeme, wie z. B. intelligente Kameras, die es dem Benutzer

Minna Törmälä, Specim

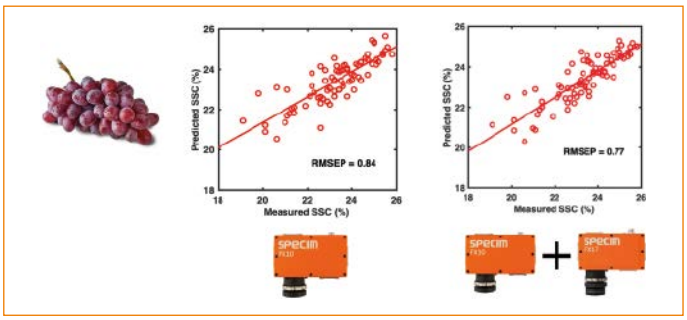
© Wageningen University & Research

Abb. 2: Eine Illustration des All-in-One-Spektralkabinetts mit zwei Spektralkameras FX10 und FX17 von Specim. Die Datenmodellierung wird mit speziell entwickelten Datenfusionsmethoden durchgeführt.



© Wageningen University & Research

Abb. 3: Überblick über den Aufbau des All-in-One Spectral Imaging (ASI) und den Arbeitsablauf bei der Analyse von Kiwi-Früchten.



© Specim

Abb. 4: Der gemeinsame Einsatz zweier Hyperspektralkameras FX10 und FX17 von Specim ermöglichte eine genauere Analyse der Fruchteigenschaften als die Verwendung von nur einer Kamera.

ermöglichen, Aufgaben ohne Vorkenntnisse im Bereich des maschinellen Sehens zu lösen. Für die hyperspektrale Bildverarbeitung existieren solche bedienerfreundlichen Bildverarbeitungssysteme bisher jedoch nicht. Um diese Situation zu ändern, wollten die Forscher ein einfach zu bedienendes One-Touch-System entwickeln. Ziel des Projekts war es, ein intelligentes All-in-One Spectral Imaging (ASI) Laborsystem für die standardisierte automatisierte Datenerfassung und die Bereitstellung von Spektralmodellen in Echtzeit zu realisieren, um die hyperspektrale Bilderfassung zu vereinfachen.

Standardisierte hyperspektrale Bildverarbeitung

Um praktische Anwendungen der spektralen Bildverarbeitung für Routineanalysen zu realisieren, musste in der Vergangenheit eine Reihe von Hürden überwunden werden. Eine der größten Herausforderungen bei der hyperspektralen Bildverarbeitung ist, dass die auf dem Markt erhältlichen Kameras in der Regel die Systemintegration sowie eine Modellierung für die Kalibrierung erfordern.

Darüber hinaus werden die meisten der auf dem Markt befindlichen Hyperspektralsensoren derzeit als Datenerfassungsgeräte geliefert. Für die Durchführung der Messungen und die Entwicklung des Modells muss der Nutzer Versuchsaufbauten entwerfen, in die der Sensor integriert werden muss. In Forschungslabors werden die Datenerfassung und die Datenmodellierung in der Regel in getrennten Schritten durchgeführt. Dieser Ansatz hat zwar Potenzial, kann aber nicht als praktische Lösung für den routinemäßigen Einsatz durch Laien angesehen werden.

Um die hyperspektrale Bildverarbeitung vor allem für Laien zu vereinfachen, entwickelten die Forscher ein standardisiertes spektrales Bildverarbeitungssystem mit einem Embedded-PC, um unerwünschte Einflüsse auf die Messung zu minimieren. Ziel war es, eine Re-Integration des Systems zu vermeiden und kalibrierte Modelle wiederzuverwenden, um wiederholbare Messungen zu ermöglichen.

Schlüsselkomponenten

Die wesentliche Entscheidung für die erfolgreiche Realisierung des Systems war die Auswahl der geeigneten Hyperspektralkameras. In diesem Punkt entschieden sich die Wissenschaftler für Hyperspektral-Zeilenkameras der Modelle FX10 und FX17 von Specim. Für die gewünschte kompakte Bauweise des Systems war die mechanische Größe dieser Specim-Kameras perfekt. Auch in Bezug auf Auflösung und Geschwindigkeit konnten die Kameras die Vorgaben problemlos erfüllen.

Ergänzend zu den Specim-Kameras integrierten die Forscher eine kontrollierte, standardisierte Beleuchtungsumgebung, ein PC-System sowie eine Embedded Software für die automatische Bilderfassung und Modellentwicklung. Dieses Setup bildete die Grundlage für die Analyse der räumlichen Verteilung von Probeneigenschaften im ASI-System in Echtzeit.

Kombination von VNIR- und NIR

Um die Leistungsfähigkeit des ASI-Systems zu demonstrieren, führten die Wissenschaftler beispielhafte Analysen von Fruchteigenschaften für eine Vielzahl von Obstsorten wie Trauben, Kirschen, Birnen und Kiwis durch. Das menschliche Auge und herkömmliche Bildverarbeitungskameras haben eine Empfindlichkeit für Wellenlängen zwischen 380 und 760 nm. Da sie auf diesen Bereich beschränkt sind, kann es schwierig sein, die mit der Fruchtreife verbundenen chemischen Parameter wie die Feuchtigkeit und den löslichen Feststoffgehalt zu erkennen. Im Gegensatz dazu ermöglicht der erweiterte Wellenlängenbereich von Hyperspektralkameras die Analyse dieser Parameter.

In der ersten Entwicklungsstufe des Systems kam eine Hyperspektralkamera des Typs Specim FX10 zum Einsatz, die im sichtbaren und nahen Infrarotbereich (VNIR) von 400 bis 1.000 nm arbeitet. Damit war es möglich, den Zuckergehalt und einige andere Merkmale der Früchte zu überprüfen. Um jedoch höhere Anforderungen zu erfüllen und z.B. detailliertere Informationen mit besserer Qualität zu erfassen, die in der Lage sein sollten, bspw. Fleisch und andere Lebensmittel zuverlässig zu analysieren, ergänzten die Forscher das System um eine Indiumgalliumarsenid (InGaAs)-basierte Specim FX17 Nahinfrarot (NIR)-Hyperspektralkamera. Sie deckt den Wellenlängen-

Das Unternehmen

Specim ist der weltweit führende Anbieter von hyperspektralen Bildgebungslösungen und ein echter Pionier und Vorreiter auf diesem Gebiet. Specim bedient die Bildverarbeitungsindustrie, Forscher und Regierungsorganisationen weltweit mit dem breitesten Kamera-Portfolio und einem globalen Vertriebsnetz. Specim ist seit 2020 Teil der Konica Minolta Gruppe.

© Specim

Abb. 5: Die Hyperspektralkameras FX10 und FX17 von Specim sind die Schlüsselkomponenten für das Obstinspektionssystem und decken einen Wellenlängenbereich von 400 bis 1.700 nm ab.

bereich von 900 bis 1.700 nm ab. Dies eröffnete weitere Möglichkeiten für die Analyse von Lebensmitteln, aber auch von anderen organischen Objekten.

Specim FX10 und Specim FX17 ergänzen sich vor allem bei der Messung von Proben mit hohem Feuchtigkeitsgehalt, wie z. B. bei frischem Obst. Bei dieser Anwendung hat sich gezeigt, dass die Eindringtiefe des VNIR-Lichts aufgrund des geringen Wasserabsorptionskoeffizienten der Wassermoleküle im Spektralbereich von 400 bis 1000 nm höher ist, wodurch mehr Informationen über die Eigenschaften unter der Objektoberfläche erfasst werden können. Im Bereich von 900 bis 1.700 nm ist der Wasserabsorptionskoeffizient von Wassermolekülen hoch, was eine bessere Analyse der Oberflächenfeuchtigkeit in den Proben ermöglicht.

Hinsichtlich der Aufnahmegeschwindigkeit ist die Specim FX17-Kamera sehr flexibel, da sie die Möglichkeit bietet, nur einen Teil der verfügbaren 224 Wellenlängenbänder auszuwählen und auszuwerten und dabei nur die Wellenlängen zu verwenden, die für die aktuelle Anwendung relevante Informationen liefern. Durch die Reduzierung der Anzahl der beobachteten Wellenlängen kann die Standard-Aufnahmegeschwindigkeit der Specim FX17 von 670 Zeilen pro Sekunde bei Nutzung aller 224 Wellenlängenbänder auf mehrere tausend Zeilen pro Sekunde gesteigert werden, wenn man sich auf einige wenige Wellenlängenbänder konzentriert.

Diese Eigenschaft wird als Multi Region of Interest (MROI) bezeichnet. Sie ist sowohl bei den Specim FX10- als auch bei den FX17-Kameras verfügbar und bietet Anwendern eine sehr hohe Flexibilität in Bezug auf die Geschwindigkeit, ohne dass die Genauigkeit eingeschränkt wird. Darüber hinaus reduziert MROI die Datenmenge und erleichtert so die Verarbeitung und Speicherung der Daten. Die Verwendung der Specim FX10- und FX17-Kameras in einem System hat nach den Ergebnissen der Untersuchungen zu einer verbesserten Prüfpräzision geführt und ermöglicht Qualitätsprüfungen im gesamten Wellenlängenbereich von 400 bis 1.700 nm.

Zuverlässige Analyse von Frischwaren

Das entwickelte All-in-One-System für die spektrale Bildverarbeitung, das auf den Hyperspektralkameras Specim FX10 und FX17 basiert, hat die gestellten Anforderungen an eine präzise Analyse des Feuchtigkeits- und Löslichkeitsgehalts in diversen frischen Früchten voll erfüllt. Die Leistung des Systems wurde auch mit kommerziellen Punktspektrometer-Systemen verglichen, die häufig für NIR-Analysen verwendet werden. Das ASI-System erreichte eine ähnliche Leistung wie diese seit langer Zeit etablierte Technologie, und es gab nur unbedeutende Unterschiede zwischen den Ergebnissen des ASI-Aufbaus und der kommerziellen Spektrometer. Darüber hinaus bietet die hyperspektrale Bildverarbeitung jedoch weitere Vorteile gegenüber Punktspektrometern.

Ein wesentlicher Vorteil der ASI-Entwicklung im Vergleich zu Punktspektrometern besteht darin, dass sie die Untersuchung räumlich verteilter Eigenschaften ermöglicht, da die Specim FX Hyperspektralkameras umfangreiche räumliche Informationen erfassen. Darüber hinaus ermöglicht der ASI-Aufbau die Wiederverwendung bestehender Spektraldaten und -modelle, die zuvor in Laborexperimenten gewonnen wurden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für eine breitere Nutzung der Spektralsensorik, indem Modelle und Daten von verschiedenen Nutzern der Spektroskopie gemeinsam verwendet werden können.

Außerdem ist ASI ein vollständig mobiles System, das zu den Proben gebracht werden kann, anstatt die Proben ins Labor zu transportieren. In vielen Anwendungsfällen ist dies ein großer Vorteil gegenüber herkömmlichen Technologien. Und nicht zuletzt dauert es weniger als 40 Sekunden, bis die Ergebnisse vorliegen. In der Vergangenheit musste man unter Umständen mehrere Tage auf die Ergebnisse einer Feuchtigkeitsanalyse warten.

In Kombination mit seiner einfachen Bedienung bietet das System Experten und sogar Anwendern mit nur geringen Kenntnissen auf dem Gebiet der spektralen Bildverarbeitung die Möglichkeit, das Potenzial dieser Technologie zu nutzen. Die holländischen Forscher verwenden das ASI-System bereits für Experimente mit allen Arten von Lebensmitteln. Aufgrund der guten Portabilität des Geräts kann es sogar für Projekte wie bspw. die Untersuchung von Fisch auf Booten direkt nach dem Fang eingesetzt werden. Die Möglichkeiten des Systems sind also noch lange nicht ausgeschöpft.

Autorin: Minna Törmälä, Global Marketing Manager, Specim, Finnland

Kontakt:
Specim, Spectral Imaging Ltd.
Oulu, Finnland
Tel.: +358 10 4244 400
info@specim.com
www.specim.com