

Realisierung eines Demosystems für einen neuartigen Ansatz einer intelligenten und ultrakompakten Hyperspektralkamera

Realization of a demo system for an innovative approach of an intelligent and ultra-compact hyper spectral camera

Heinrich Engelke, Marcel Jongmanns, Friedrich Eckert, Fraunhofer Institut für Photonische Mikrosysteme, Dresden, Deutschland

heinrich.engelke@ipms.fraunhofer.de

Kurzfassung

Systeme für die hyperspektrale Bildgebung sind in vielen Anwendungen bereits für die Erfassung von Qualitätsmerkmalen oder für Sortieraufgaben etabliert. Dem Nutzen in der Anwendung steht immer der Aufwand für Installation und Betrieb des Systems gegenüber. Daher gibt es zahlreiche Bereiche, die aus Kostengründen bislang nicht adressiert werden können. Der technische Aufwand kann jedoch unter bestimmten Voraussetzungen signifikant reduziert werden, wenn beispielsweise die Objekte eine bekannte definierte Materialstruktur aufweisen. Ein neuer Ansatz setzt darauf, zunächst ein Bild zu erfassen und per KI- (künstliche Intelligenz) Algorithmus auszuwerten und dann einen ausgewählten Messbereich für die Spektralanalyse festzulegen und nur dort die Materialzusammensetzung zu erfassen. Hierdurch kann der Systemaufwand drastisch reduziert werden, ohne relevante Informationen einzubüßen.

Aufbauend auf dieses Konzept wurde ein Demonstrationssystem realisiert und in Betrieb genommen. Es zeigt die Systemfunktion in ausgewählten Beispielanwendungen. Erste vielversprechende Ergebnisse für die Sortierung von Textilien wurden erfasst. Darauf basierend, wird die Implementierung der Software für die erweiterte Nutzung der KI-Algorithmen ausgebaut.

Abstract

Hyper spectral imaging systems have entered numerous applications to access quality parameters or enable sorting tasks. The benefit of the application must be judged in comparison to the effort for installation and operation of the systems. Here, several applications cannot be addressed due to cost issues. Considering specific application scenarios there is a chance to reduce the effort significantly. If the application presents a well-known material structure, e.g. in textile recycling where an entire object is made from one material, simplified material estimation is sufficient to perform accurate sorting. A new approach starts with the acquisition of a visible image, evaluation using artificial intelligence which reveals a region of interest for the material analysis as a single measurement. The system effort is reduced without loss of relevant information.

Based on this concept, a demonstrator unit has been realized. It presents the system operation in selected applications. Promising results have been achieved for textile sorting. Based on the measurement results, the artificial intelligence algorithms are extended to more complex sorting tasks and further applications.

1 Einleitung

Konventionelle Hyperspektralkamerasysteme erfassen zu jedem Bildpunkt neben den Bildinformationen die chemische Zusammensetzung. Der Aufwand für die Erfassung der Daten für die Spektralanalyse und der Rechenaufwand für die Auswertung in Echtzeit sind sehr hoch. Für Anwendungen, in denen die Objekte vorwiegend aus einem Material bestehen, wird hierbei eine große Menge redundanter Informationen erzeugt. Das Konzept für einen intelligenten Ansatz, der aus dem Kamerabild einen Zielbereich für die spektrale Materialerfassung bestimmt und dort gezielt eine Messung durchführt, wurde erstellt (Abb. 1) und vorgestellt [1]. Die Umsetzung basiert auf der Auswahl des Zielpunkts mittels Ablenkung durch zwei MEMS Scannerspiegel mit quasistatischem Antrieb. Diese werden so ausgeleitet, dass ein auf Basis des aufgenommenen Bildes durch

die KI ermittelter Messfleck spektralanalytisch vermessen wird.

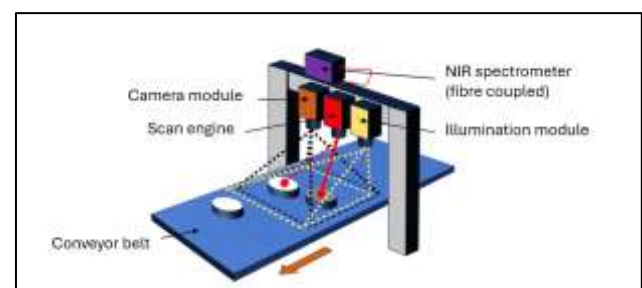


Bild 1 Schematische Darstellung des Systemkonzepts

Zur Messung sogenannter „real-time pattern“ und zur Demonstration und Evaluierung der Systemfunktion wurde

ein erstes Messsystem aufgebaut (Abb. 2, links). Der Kamerakopf (Abb. 2 rechts) besteht aus einer Standardkamera und dem Spektrometersystem. Zusätzlich sind zwei Beleuchtungseinheiten montiert, die jeweils zugeschaltet werden können.

Die hiermit durchgeführten Messungen sind für die Entwicklung der KI-Algorithmen essenziell. In einer künftigen Variante werden dann die Ablenkeinheiten zur Positionsauswahl des Spektrometers und zum Mitführen der Bewegung des Förderbandes mittels KI-Algorithmus implementiert.



Bild 2 Demosystem der intelligenten Hyperspektralkamera(links), Spektrometer & Kamerasystem (rechts)

2 Intelligenter Ansatz unter Nutzung von MEMS-Technologie

Der neue Ansatz separiert Bildaufnahme und Spektralanalyse unter Nutzung von KI- (künstliche Intelligenz) Algorithmen. Die Spektralanalyse wird gezielt an einem ausgewählten repräsentativen Punkt durchgeführt. Hierdurch wird der Aufwand klassischer Systeme zur Erfassung und Auswertung von Spektraldaten jeden Ortspunkts, sowohl hardwareseitig als auch beim Rechenaufwand, drastisch reduziert.

Das Demonstrationssystem erfasst die Objekte im Bildbereich durch eine CMOS-Kamera mit 1920 x 1200 Pixeln (IDS GigeE Vision). Diese nimmt ein Bildfeld von 40 x 40 cm² auf, das je nach Arbeitshöhe mittels telezentrischer Objektive mit 16 mm oder 25 mm Brennweite eingestellt wird. Die geometrische Auflösung des Bildbereichs ist im sub-mm Bereich. Die Bildrate beträgt standardmäßig 30 fps, kann aber auch auf 60 fps oder 100 fps erhöht werden. Die Beleuchtung erfolgt durch ringförmig angeordnete LED-Lichtquellen, sodass eine gute homogene Ausleuchtung sichergestellt und Schatten minimiert werden.

Für die NIR-Spektralanalyse wird ein neu entwickeltes Scanning Mirror Mikrospektrometer („SMMS“) mit verbessertem Signal – Rausch Abstand (*signal to noise ratio*, SNR) verwendet. Es erfasst wahlweise den nahinfraroten Spektralbereich von 950 nm bis 1900 nm oder von 1100 nm bis 2200 nm, jeweils mit 10 nm spektraler Auflösung. Aufgrund der hohen Arbeitsabstände ist ein gutes SNR für die korrekte Klassifizierung sehr wichtig. Besonders kritisch ist hierbei die gute und homogene Ausleuchtung mit geeigneter nahinfrarot (NIR) Strahlung. Zusätzlich kann

eine höhere Integrationszeit durch Mitführen des Messflecks mit der Förderbandbewegung ermöglicht werden, die zudem eventuelle Bewegungsartefakte verhindert. Die hierfür eingesetzte Scannereinheit basiert auf zwei 1D Scannerspiegeln mit quasistatischem Antrieb, die mittels MEMS-Technologie (*micro electro mechanical systems*) in Silizium gefertigt werden. Der Auslenkbereich beträgt $\pm 10^\circ$ mechanisch, der optische Scanbereich ist somit 40° groß. Damit kann ein Bildbereich von ebenfalls 40 x 40 cm² für die Spektralanalyse adressiert werden. Der Durchmesser des Messflecks beträgt aktuell 5 cm, hierbei steht ein rauscharmes Signal ausreichender Höhe im Vordergrund. Für die primär adressierten Zielanwendungen wie Textilsortierung ist diese Geometrie vorteilhaft, sofern erforderlich können aber auch andere Messfleckdimensionen eingestellt werden.

3 Erzielte Messergebnisse

Unter Nutzung von aufgenommenen Bildern ausgewählter Beispielobjekte wurde die Bilderkennung angelehrt. Zunächst stand die Erkennung der Objektgrenzen am Beispiel von Textilproben im Vordergrund. Anschließend wurde die Erkennung von Aufdrucken, Logos und anderen potenziellen Störfaktoren für die Spektralanalyse, wie z.B. Knöpfe oder Reißverschlüsse, vorgesehen (Abb. 3).

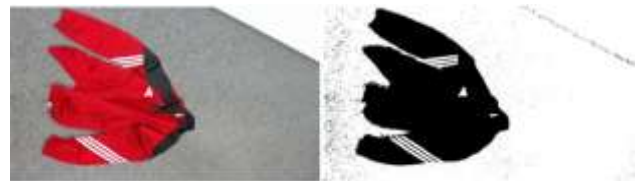


Bild 3 Erkennung von Textilproben, u.a. Außengrenzen (*borderline detection*), Aufdrucken, Logos

Für die Erfassung von NIR-Spektren wurde eine geeignete Beleuchtung mittel Halogenleuchten vorgesehen. Durch die Anordnung wird der Messbereich homogen und intensiv ausgeleuchtet. Nach einer kurzen Aufheizphase sind die Leuchten spektral stabil. Am Beispiel von Textilien aus Baumwolle, Polyester und Mischungen aus beiden Materialien wurden Spektren für die Klassifizierung aufgenommen (Abb. 4). Die Qualität der Signale lässt nicht nur eine qualitative Sortierung zu, sondern ermöglicht auch eine quantitative Aussage zur Zusammensetzung mit einer Auflösung von 5 % (absolut) oder besser.

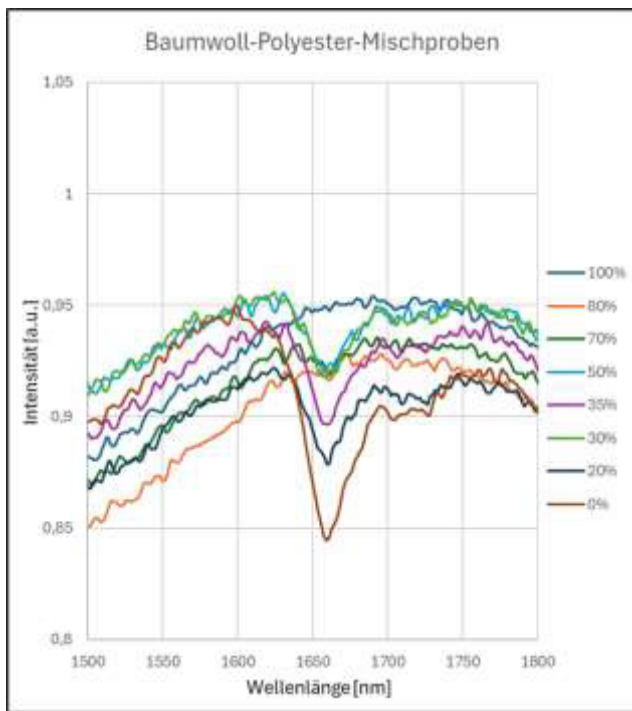


Bild 4 Spektren vom Textilproben

4 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der laufenden Systementwicklung wurde mit der Fertigstellung der ersten Revision des Demosystems ein wichtiger Meilenstein erreicht. Das System ermöglicht die Erfassung von kontrastreichen gut ausgeleuchteten Bildern und nahinfrarot-Spektren. Es liefert die Messergebnisse zum Trainieren und Optimieren der KI-Algorithmen und erlaubt zudem die Bewertung der Komponenten wie Kamera, Objektiv, Scannereinheit, Spektrometer und Beleuchtungssysteme. Dieses Wissen ist speziell für die künftige Hochskalierung des Systemansatzes auf breitere Geometrien und schnelle Vorschubgeschwindigkeiten sehr relevant.

5 Ausblick

Die nächsten Schritte der weiteren Systementwicklung sind die Implementierung der KI-Algorithmen und darauf aufbauend die Realisierung einer Demo an einem laufenden Förderband. Hieran kann die Echtzeitfähigkeit von Software und Hardware erprobt werden. Neue Anwendungsbeispiele können effizient trainiert und in die Realanwendung überführt werden.

Danksagung

Teile dieser Forschungsarbeiten wurden durch das BMFTR im Rahmen des Projekts "OASYS" unter Förderkennzeichen 16ME0869 finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] H. Gröger, J. Knobbe, T. Pügner, „Intelligente Hyperspektralkamera zur Erkennung und Bewertung von Objekten wie Textilien“, Posterbeitrag zur ICC 2024
DOI 10.5162/iCCC2024/P23
- [2] M. Knaack, H. Engelke, M. Jongmanns, S. Devi, I. Jablonski, “Smart and ultra-compact hyperspectral camera”, Posterbeitrag zum MST-Kongress 2025.