

Jenseits des sichtbaren Spektrums

Hyperspektrale und multispektrale Bildgebung eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten.

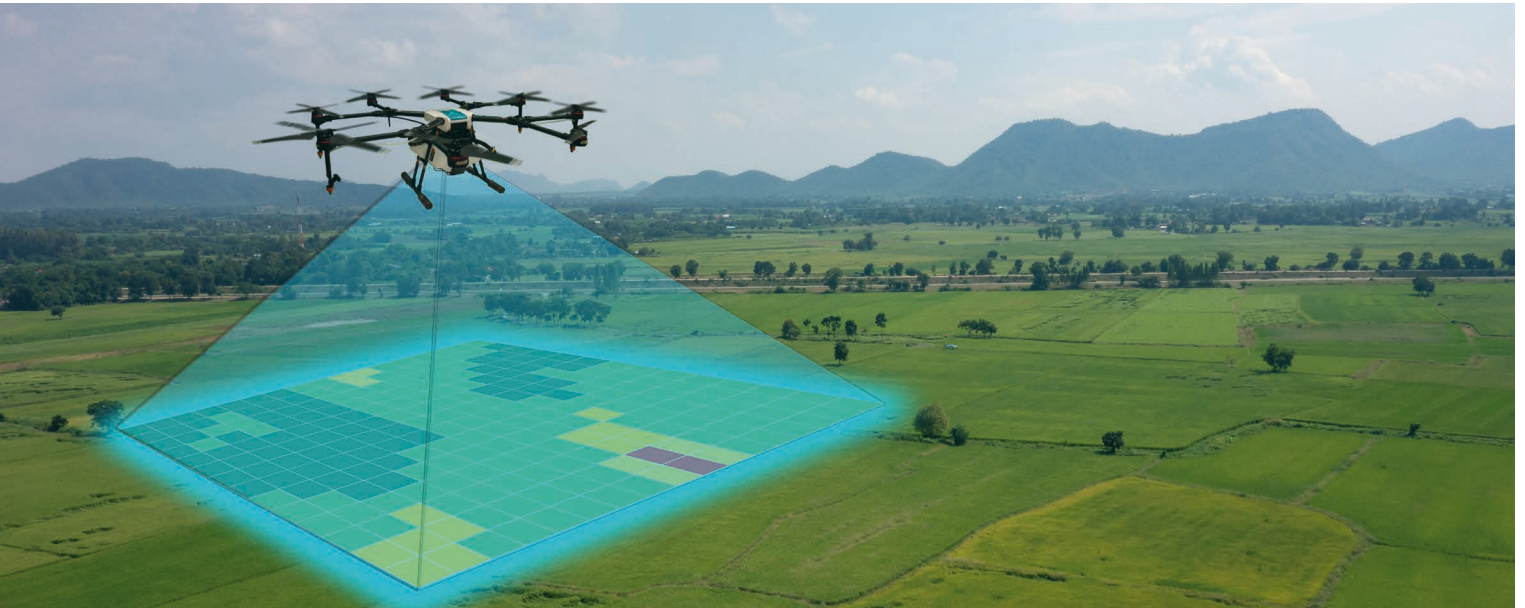


Bild 1: Mit geeigneten Bildverarbeitungssystemen an Drohnen lassen sich aus der Luft hyper- oder multispektrale Aufnahmen erzeugen und auswerten, um Informationen über Pflanzen oder die Bodenbeschaffenheit zu gewinnen. © Adobe Stock.

In zahlreichen technischen und wissenschaftlichen Anwendungen stößt die klassische Bildverarbeitung mit RGB-Kameras an ihre Grenzen – insbesondere dann, wenn es auf die präzise und zuverlässige Identifikation von Materialien, feinen Oberflächenveränderungen oder Verunreinigungen ankommt. Die drei Farbbereiche der RGB-Kameras (Rot, Grün und Blau) decken nur einen kleinen Ausschnitt des gesamten spektralen Informationsgehalts ab: Neben dem sichtbaren Spektrum liefern erweiterte Spektralbereiche zusätzliche Bilddaten, die mittels hyper- und multispektraler Bildgebung erfasst werden können (Bild 2).

Detaillierte Informationen

Durch die Nutzung dieses erweiterten Spektrums vom UV über den sichtbaren Bereich (VIS) bis zum LWIR (etwa 12 μm) stehen detailliertere Informationen über Objekte und ihre Umgebungen zur Verfügung, die neue Möglichkeiten in vielen Anwendungsbereichen wie Qualitätssicherung, Sortierung, medizinische Diagnostik oder Umweltschutz eröffnen. Die Detektion selbst geringster Unterschiede der

chemischen Zusammensetzung, des Feuchtigkeitsgehalts oder der Materialstruktur ist plötzlich möglich – Details, die mit dem bloßen Auge oder der RGB-Sensorik verborgen bleiben.

Hyperspektral versus multispektral

Obwohl sich die hyper- und multispektrale Bildgebung ähneln, unterscheiden sie sich in bestimmten Aspekten und eignen sich jeweils

für unterschiedliche Anwendungsbereiche. Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick über die jeweiligen Charakteristika der beiden Technologien, die benötigten Komponenten sowie die entsprechenden Einsatzgebiete.

Hyperspektrale Bildgebung

Die hyperspektrale Bildgebung (HSI) ermöglicht eine extrem detaillierte Analyse von Objekten, indem sie für jedes einzelne Pixel

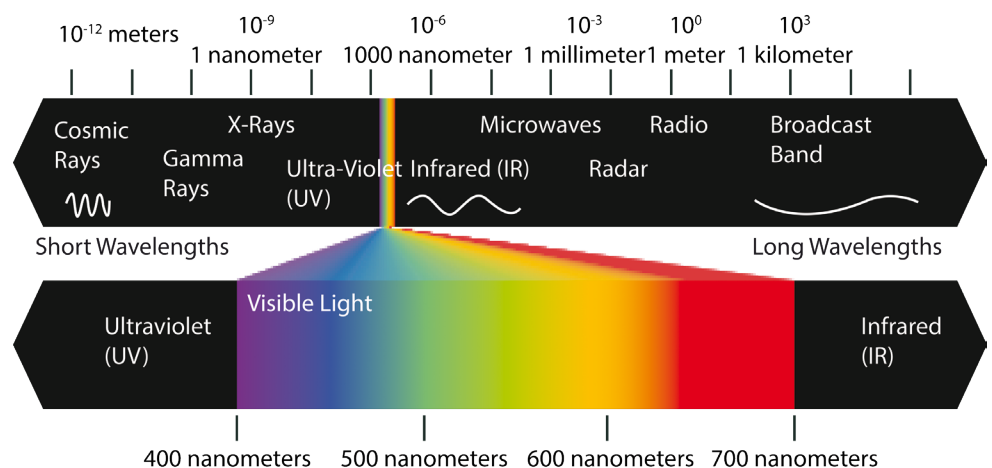


Bild 2: Das sichtbare Spektrum ist nur ein kleiner Teil des gesamten elektromagnetischen Spektrums.

Autorin:
Anna Hetzelt
Technical Content Specialist
Edmund Optics
www.edmundoptics.de

ein nahezu kontinuierliches Spektrum aufzeichnet – typischerweise in Hunderten eng benachbarter Wellenlängenkanäle. Aus einem 2D-Bild wird so ein 3D-Bild mit der Wellenlänge als zusätzliche Dimension. Ein HSI-System besteht meist aus einer spektral auflösenden Einheit (z. B. Dispersionsprisma oder Beugungsgitter), einer hochwertigen Optik sowie einem zeilen- oder flächenbasierten Detektor, der die spektrale Information mit hoher Präzision aufnimmt.

Multispektrale Bildgebung

Die multispektrale Bildgebung (MSI) beschränkt sich auf eine gezielte Auswahl spezifischer Spektralbänder – typischerweise zwischen drei und zehn. Diese Bänder werden so gewählt, dass sie für den jeweiligen Anwendungsfall maximale Aussagekraft bieten, etwa zur Unterscheidung bestimmter Materialien oder Substanzen. Die Umsetzung erfolgt über verschiedene

Technologiekonzepte: rotierende Filterräder, schaltbare LED-Beleuchtungen oder direkt in den Sensor integrierte Filterarrays.

Schnell und kosteneffizient

Da bei MSI-Systemen nur ein Bruchteil der spektralen Information von HSI-Systemen erfasst wird, sind multispektrale Systeme schneller und kosteneffizienter und können unkomplizierter in bestehende Industrieanwendungen oder Laborprozesse integriert werden – ideal etwa für Sortieraufgaben, Verpackungskontrolle oder die Lebensmittelinспекtion.

Rechenintensiv und hochdetailliert

HSI-Systeme erzeugen deutlich mehr Daten und erfordern dementsprechend deutlich mehr Rechenleistung als MSI-Systeme, können dafür aber kleinste Wellenlängenunterschiede darstellen und zum Beispiel für Materialanalysen

nutzen. Bild 3 verdeutlicht den Unterschied zwischen MSI und HSI und stellt die für die jeweiligen Systeme genutzten Spektralinformationen graphisch dar. Die gewonnenen Daten können direkt oder auch nachträglich analysiert und dann hinsichtlich anderer Aspekte oder mit neuen Algorithmen ausgewertet werden.

Vier Erfassungsmodi

Im Rahmen der HSI und MSI werden vier unterschiedliche Erfassungsmodi für die Gewinnung der Wellenlängeninformationen verwendet, die jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile bieten und in Bild 4 graphisch dargestellt sind.

Die **Whiskbroom-Methode (A)** gehört zu den frühesten Verfahren der spektralen Bildaufnahme, wird heute jedoch nur noch selten eingesetzt. Sie gilt als zeitaufwendig und technisch anspruchsvoll, da bei dieser Methode jeder Bildpunkt einzeln erfasst wird.

Pushbroom (B) wird sehr häufig für HSI und ebenfalls für MSI eingesetzt, z. B. für Inline-Inspektionssysteme, bei denen sich ein Fließband mit Objekten unter der Kamera hindurchbewegt. Beim **Flächenscan (C)** wird mit einer Aufnahme der gesamte 2D-Bereich erfasst, die spektrale Tiefe wird durch mehrere Aufnahmen und die Verwendung von entsprechenden Filtern erreicht. Der Flächenscan wird sowohl für HSI als auch für MSI eingesetzt, eine Verschiebung des Sensors oder Systems ist nicht erforderlich. **Snapshot (D)** ist die modernste Erfassungsmethode. Hier wird mit einer einzigen Aufnahme ein vollständiges Spektralbild (Datenkubus) erfasst, was die Aufnahmezeit im Vergleich zu anderen Verfahren erheblich reduziert. Aufgrund ihrer robusten und kompakten Bauweise wird Snapshot häufig für MSI-Aufnahmen mit Drohnen eingesetzt, für HSI-Aufnahmen wäre der technische Aufbau deutlich komplexer.

Die Bausteine der spektralen Bildgebung

Die in der spektralen Bildgebung zugrunde liegenden Systeme sind in Bezug auf Sensortechnologie und optisches Design deutlich komplexer als herkömmliche Lösungen für den sichtbaren Spektralbereich.

Gängige Bildverarbeitungssensoren aus Silizium können nur sichtbares Licht von 400 bis etwa 700 nm detektieren, bei den meisten Sensoren liegt die höchste Empfindlichkeit bei 550 nm. Ähnlich verhält es sich mit den Objektiven: Typische Bildverarbeitungsobjektive sind hinsichtlich Glasauswahl und Beschichtungen für den sichtbaren Bereich ausgelegt. Bei HS- und MS-Bildgebungsverfahren muss dagegen ein viel breiteres Spektrum abgebildet werden, wodurch spezielle Sensoren und Objektive erforderlich sind.

Andere Materialien

Um Strahlung bis in den IR-Bereich hinein zu detektieren, können Sensoren nicht mehr auf Siliziumbasis gefertigt werden und es kommen Materialien wie Indiumarsenid (InAs), Galliumarsenid (GaAs), Indiumgalliumarsenid (InGaAs) oder Quecksilber-Cadmium-Tellurid (MCT) oder

MULTISPECTRAL/ HYPERSPPECTRAL COMPARISON

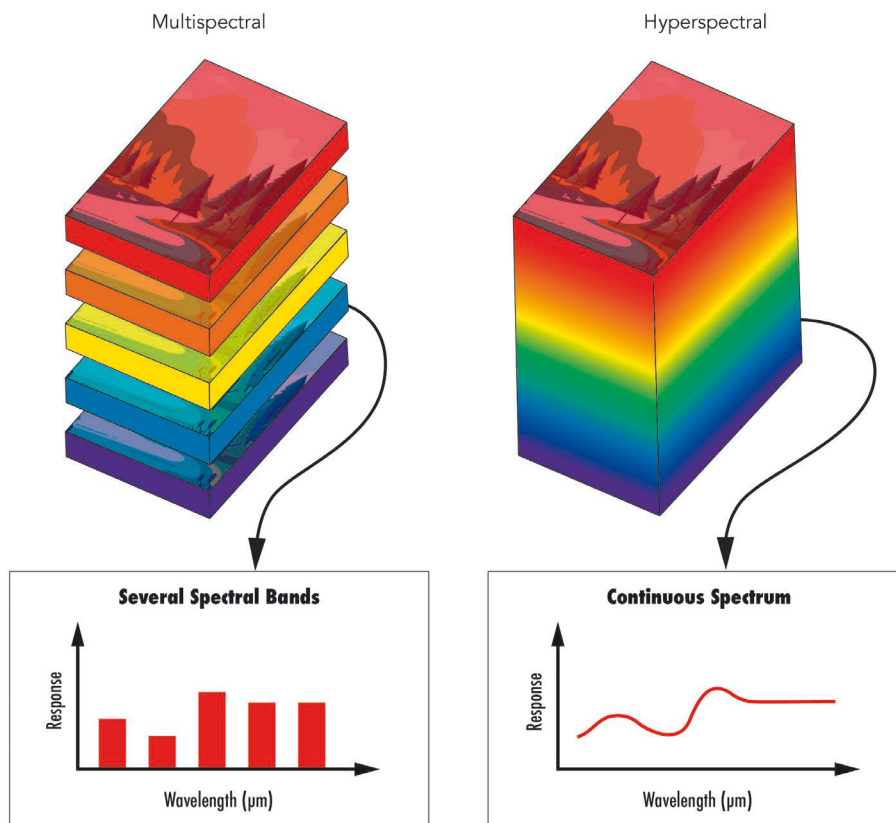


Bild 3: Die MS-Bildgebung nutzt diskrete Wellenbänder, die HS-Bildgebung ein kontinuierliches Spektrum.

HgCdTe) zum Einsatz. Bei der Objektivauswahl ist ebenfalls genau auf die Spezifikationen zu achten, damit die hohe Abbildungsqualität auch im erweiterten Wellenlängenbereich sichergestellt ist.

Entsprechende Objektivdesigns enthalten typischerweise mehr optische Elemente als Objektive für den sichtbaren Bereich, was Kosten und Gewicht des optischen Systems erhöht. Für eine breitbandige Farbkorrektur werden Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes und Dispersions-eigenschaften kombiniert, mehrschichtige Antireflexionsbeschichtungen sorgen für eine maximale Lichttransmission im passenden Bereich. In bestimmten Anwendungsbereichen sind außerdem athermische Objektive erforderlich, deren Abbildungsleistung bei Temperaturschwankungen konstant bleibt – etwa für Systeme, die sowohl am Boden als auch in großer Höhe verwendet werden.

Vielfältige Einsatzbereiche

Von der Medizin bis zur Landwirtschaft: Die Anwendungsbereiche, die den Einsatz von HSI und MSI erfordern, werden immer zahlreicher. Die Fernerkundung, die Abbildung der Erdoberfläche aus der Luft mithilfe von Drohnen und Satelliten, stützt sich schon seit Jahren auf HSI und MSI (Bild 5). Die Spektralfotografie kann die Erdatmosphäre und verschiedene Wolkendecken durchdringen, um einen unverfälschten Blick auf den Boden zu erhalten, sodass Bevölkerungsentwicklungen verfolgt, geologische Veränderungen beobachtet und archäologische Stätten untersucht werden können. Daten über die Abholzung von Wäldern, die Zerstörung von Ökosystemen und das Klima werden von Forschern ausgewertet und für den Umweltschutz und die Bekämpfung der negativen Auswirkungen des Klimawandels genutzt.

Einsatz im medizinischen Bereich

Im medizinischen Bereich können Ärzte mithilfe der Hyperspektralbildgebung nichtinvasive Scans der Haut durchführen, die zu einem detaillierteren Verständnis des Zustands eines Patienten beitragen. Krebszellen und erkrankte Zellen

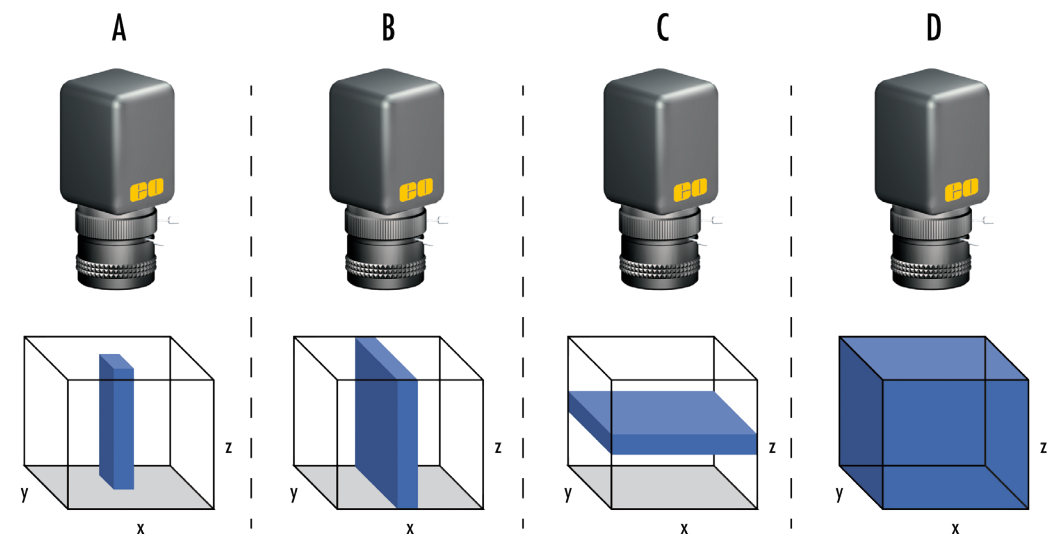


Bild 4: Die vier Erfassungsmodi (A) Punkt-Scan oder Whiskbroom, (B) Zeilenabtast- oder Pushbroom-Methode, (C) Flächenscan und (D) Single-Shot oder Snapshot.

fluoreszieren bei geeigneter Stimulation und lassen sich so deutlich von gesundem Gewebe unterscheiden. Hochentwickelte Systeme zeichnen die Spektraldaten auf und interpretieren sie, was zu erheblich schnelleren Diagnosen und einer raschen Behandlung führt.

Neben Fernerkundung und Medizintechnik gehören Landwirtschaft, Lebensmittelqualität und -sicherheit sowie die Pharmazie zu den Haupteinsatzgebieten von HSI und MSI. In der Landwirtschaft können beispielsweise Traktoren und Drohnen mit Systemen zur spektralen Bildgebung ausgestattet werden, um Felder zu erfassen und eine Art Fernerkundung aus geringer Höhe durchzuführen, sodass Wachstum und Gesundheitszustand von Pflanzen oder die Bodenbeschaffenheit bestimmt werden können (Bild 1).

Technologie mit Perspektive

Die spektrale Bildgebung ist auf dem Weg, sich von einer Nischenanwendung zu einem Standardwerkzeug für visuelle Analysen zu entwickeln.

Hyperspektrale und multispektrale Bildgebungstechnologien eröffnen ein enormes Potenzial und erschließen neue Anwendungsfelder: Während MSI-Systeme durch ihre Einfachheit, hohe Geschwindigkeit und Integrationsfähigkeit besonders in industriellen Serienanwendungen punkten, bietet HSI durch seine spektrale Tiefe einzigartige

Einblicke in chemische, biologische und physikalische Prozesse.

Technologieauswahl

Welche Technologie zum Einsatz kommt, hängt dabei stark von der geforderten Auflösung, dem Anwendungsbereich sowie von Budget und Baugröße ab. Die erforderlichen Sensoren, Objektive und optischen Komponenten für die Anwendungen sind heutzutage einfach zugänglich und als Standardprodukte bei Optik- und Kameraherstellern verfügbar. Mit zunehmender Miniaturisierung, wachsender Rechenleistung und dem Einsatz von KI zur automatisierten Auswertung werden

beide Verfahren in den kommenden Jahren deutlich an Reichweite gewinnen. Wer heute in der industriellen Bildverarbeitung nach Lösungen für „unsichtbare“ Qualitätsmerkmale sucht, kommt an der spektralen Bildgebung nicht mehr vorbei – und erschließt sich damit neue Potenziale für präzisere, schnellere und intelligenter Prozesse.

Wer schreibt:

Mit über 80 Jahren Erfahrung ist Edmund Optics ein anerkannter Anbieter von hochwertigen optischen Komponenten und Lösungen und unterstützt unterschiedlichste Märkte auf der ganzen Welt. ◀



Bild 5: Mithilfe einer mit einem Objektiv ausgestatteten Drohne können große Flächen aus der Luft abgebildet und analysiert werden.