Die dritte Dimension

Nur die Auswahl des richtigen Verfahrens führt zu optimalen Ergebnissen in der 3D-Bildverarbeitung

Der 3D Laser-Profilsensor Matrox AltiZ verfügt über zwei integrierte Kameras, die eine gleichzeitige Betrachtung der Laserlinie mit zwei gegenüberliegenden optischen Sensoren ermöglichen. © Matrox Imaging

Wenn sich Anwender für die Lösung einer Bildverarbeitungsaufgabe mit Hilfe von 3D-Systemen entschieden haben, stehen mit Lasertriangulation, Stereovision, Structured Light und Time-of-Flight verschiedene Verfahren mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung. Die Applikation entscheidet über die richtige Wahl.

Autor:
Peter Stiefenhöfer
Inhaber
PS Marcom Services

für Rauscher GmbH
Bildverarbeitung
info@rauscher.de
www.rauscher.de

Wie viele Technologien in der Bildverarbeitung ist 3D-Vision ein Branchen- und Anwendungsübergreifender Ansatz. Für alle Verfahren in diesem Segment gilt: In der dritten Dimension werden stets deutlich mehr Daten der Prüfobjekte oder Szenen erfasst als mit 2D-Bildverarbeitungssystemen. Im industriellen Umfeld haben diese zusätzlichen Informationen das Potenzial, die Produktivität von Anlagen zu steigern. Außerhalb der produzierenden Industrie ermöglichen sie es unter anderem, aufgenommene Szenen genauer zu beschreiben und somit beispielsweise detailliertere Angaben für Navigationssysteme zu gewinnen.

3D-Bildverarbeitungssysteme

decken ein sehr breites Einsatzfeld an möglichen Anwendungen mit unterschiedlichsten Anforderungen ab. Keine aktuelle 3D-Vision-Technologie ist in der Lage, das volle Spektrum dieser Anforderungen optimal und komplett zu lösen. Aus diesem Grund haben sich in der Vergangenheit grundlegend unterschiedliche Ansätze entwickelt, wie man die Erfassung von 3D-Bilddaten angehen kann. Die etabliertesten Verfahren sind derzeit die Laser-Triangulation, Stereovision, strukturiertes Licht und Time-of-Flight.

Lasertriangulation

Die Lasertriangulation kann als ältestes Verfahren für die Gewinnung von 3D-Bilddaten bezeichnet werden, für das schon sehr früh industrielle Komponenten verfügbar waren. Dies ist einer der Gründe, warum es heute die weiteste Verbreitung am Markt hat. Der Mess-Mechanismus ist relativ einfach: Eine Laserlinie wird auf das zu prüfende Objekt projiziert und eine in einem bekannten Winkel zum Laser angebrachte Kamera erfasst diese Laserlinie, während Kamera und Objekt relativ zueinander bewegt werden. Höhenunterschiede am Objekt führen zu einem Versatz der Laserlinie, aus dem für jeden Punkt die Höhendifferenz per Triangulation berechnet werden kann. Lasertriangulation ist ein aktives Verfahren, da man die Laserlinie projizieren muss, und es ist zudem ein scannendes Verfahren, da sich Sensor oder Objekt bewegen müssen.

Zwei Hürden

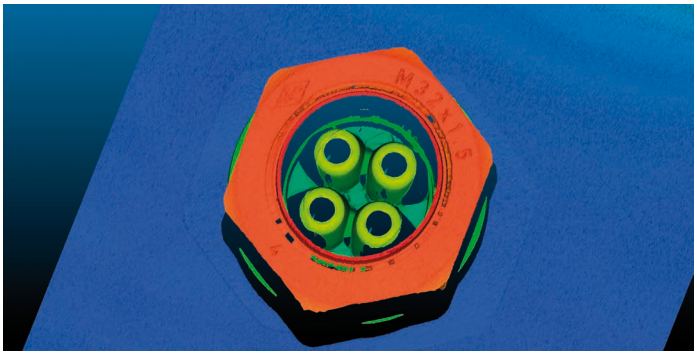
Daraus ergeben sich zwei Hürden für die 3D-Datenqualität: Zum einen verhalten sich Laser in Abhängigkeit vom Material des Prüfobjekts „gut“ oder „schlecht“. Aus Sicht der Bildverarbeitung schwierig sind unter anderem spiegelnde oder schlecht reflektierende Materialien sowie Materialien, in die der Laser eindringt und an anderer Stelle wieder austritt. Abhilfe lässt sich hier nur schaffen durch die geeignete Wahl der Laser-Farbe mit der entsprechenden Empfindlichkeit des Detektors sowie einer geometrisch optimierten Anordnung der Laserquelle zur eingesetzten Kamera.

Zweites Problem

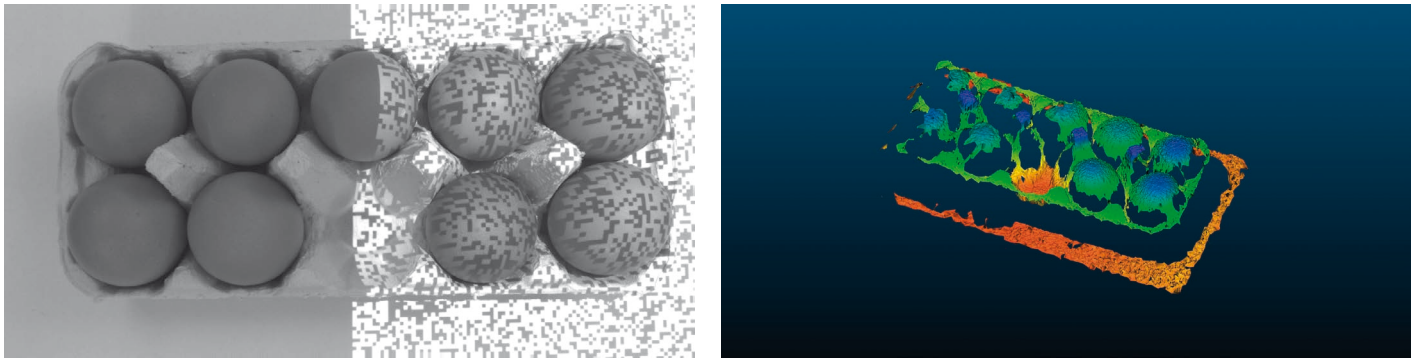
Das zweite Problem ergibt sich aus der Winkelanordnung zwischen Laser und Kamera, die an steilen Höhensprüngen zu Abschattungen führen kann. An den betroffenen Stellen verdeckt ein Teil des Prüfobjekts die Laserlinie, die sich somit von der Kamera nicht mehr erfassen lässt. Dies führt folglich zu Bereichen, in denen keine Messdaten zur Auswertung vorliegen.

Mehrkopf-Kameras

Solche Fälle lassen sich durch den Einsatz von Mehrkopf-Kameras lösen. So verfügt beispielsweise der 3D Laser-Profilsensor Matrox AltiZ über zwei integrierte Kameras, die eine gleichzeitige Betrachtung der Laserlinie mit zwei gegenüberliegenden optischen Sensoren ermöglichen und somit die Gefahr von Lücken in der Bildaufnahme reduzieren. Erfordert die Anwendung eine noch sicherere Erfassung aller Objektpunkte, so kann dies durch ein Setup mit mehreren um das Objekt positionierten AltiZ-Profilsensoren erreicht werden. Geeignete 3D-Software wie z. B. die Lösungen von Matrox ermöglicht dann das Zusammenführen der Daten aller Sensoren zu einer großen Punktewolke. Auf diese Weise lassen sich auch von kompliziert geformten Objekten vollständige Volumenaufnahmen erstellen, um



Präzise 3D-Rekonstruktionen gelingen mit dem Matrox AltiZ Mehrkopf-Profilsensor auch bei schwierigen Geometrien. Die hohe Genauigkeit des Verfahrens ist erkennbar an der Beschriftung des Bauteils, die Bestandteil des Spritzguss ist. © Rauscher GmbH Bildverarbeitung



Das Beispiel der 3D-Rekonstrution einer Eierpackung mit einem Stereovision-Sensor zeigt, wie das Ergebnis bei homogenen Oberflächen mit einer Patternprojektion verbessert wird. © Rauscher GmbH Bildverarbeitung

sie für die nachfolgende Bildverarbeitung vorzubereiten.

Strukturiertes Licht

Ein erweitertes Verfahren der Lasertriangulation stellen Kameras mit strukturiertem Licht dar. Bei dieser Technologie werden unterschiedliche, definierte Licht-Pattern wie beispielsweise Streifen- oder Punktmuster auf das Objekt projiziert und von einer Kamera aufgenommen. Die räumliche Form des Objekts verursacht Verzerrungen der Lichtmuster, die in Form einer 3D-Punktewolke erfasst werden. Über die zugehörige Software ist es möglich, aus den ermittelten Daten die exakte 3D-Form des Objekts zu berechnen.

Hohe Genauigkeit und die Schnelligkeit

Stärken von Kamerasystemen auf Basis von strukturiertem Licht sind unter anderem ihre hohe Genauigkeit und die Schnelligkeit der Messmethode: Das Verfahren erfasst die komplette Oberfläche auf einmal und liefert sehr präzise 3D-Daten. Insbesondere bei kurzen Distanzen und der Untersuchung kleiner Objekte hat sich diese Methode als hervorragende Option zur Detailerfassung etabliert.

3D-Technologie und 3D-Kameras

Der in der Slowakei ansässige Hersteller Photoneo hat eine patentierte 3D-Technologie und entsprechend 3D-Kameras mit integrierten Projektoren entwickelt, die in Bezug auf ihre Auflösung und Genauigkeit weltweit führend sind. Die Produktlinien MotionCam-3D und Alpha 3D-Scanner sowie PhoXi 3D, eine erst kürzlich vorgestellte Serie von 3D Snapshot-Scannern, ermöglichen die Aufnahme dichter Punktewolken von statischen und bewegten Objekten und sind dank der eingesetzten GigE Vision- und GenICam-Schnittstellen mit vielen Software-Produkten am Markt kompatibel. Sie sind unempfindlich gegen Umgebungslicht und liefern selbst bei schwierigen Oberflächen hervorragende 3D-Daten von untersuchten Objekten.

Stereovision

Bei Stereovision-Systemen wird die Tiefeninformation analog zum menschlichen Sehen mit zwei Augen aus zwei Bildern gewonnen, die von zwei in einem bekannten Abstand zueinander installierten Kameras zeitgleich aufgenommenen werden. Aus dieser Vorgehensweise resultieren Bildpaare der aufgenommenen Szene, in denen sich zueinander gehörende Bildbereiche per Mustererkennung identifizieren lassen. Da dasselbe Objekt in den beiden Bildern an unterschiedlichen Positionen erscheint, kann bei bekannter Aufnahmegeometrie aus der Verschiebung (Disparität) die Entfernung zum Objekt – und damit zum 3D-Sensor – berechnet werden.

Stereovision lässt sich sowohl aktiv als auch passiv einsetzen, da die Szene nicht zwingend beleuchtet werden muss. Das Verfahren eignet sich daher sehr gut für große Szenen und auch für Aufnahmen im Außenbereich. Als Nachteil dieser Methode ist zum einen die benötigte Rechenleistung zu nennen: Das Auffinden der zueinander gehörenden Bildpunkte in jedem Bildpaar macht Stereovision zu einem rechenintensiven Verfahren.

Grenzen

Stereovision-Systeme stoßen bei homogenen oder strukturarmen Oberflächen an ihre Grenzen, da dort nur wenige markante Bildmerkmale für die Berechnung der Tiefeninformation zur Verfügung stehen. Durch den gezielten Einsatz strukturgebender Technologien – wie etwa einem Random-Dot-Projektor – lassen sich jedoch auch diese Herausforderungen meistern. So kann Stereovision zuverlässig selbst in Szenarien eingesetzt werden, die ohne zusätzliche Maßnahmen als schwierig gelten würden.

3D-Stereokameras wie der Phoxi3D-Laserscanner von Photoneo ermöglichen die Aufnahme dichter Punktewolken von statischen und bewegten Objekten, sind unempfindlich gegen Umgebungslicht und liefern auch bei schwierigen Oberflächen hervorragende 3D-Daten. © Photoneo

Die Stereo ace-Kameras von Basler liefern durch ihre werkseitige Vorkalibrierung, eine hohe Sensorauflösung und einen integrierten Musterprojektor selbst bei strukturlosen oder anspruchsvollen Oberflächen eine herausragende 3D-Bildqualität. © Basler

Mit der industriellen 3D-ToF-Kamera Basler blaze lassen sich Höhen- und Grauwertinformationen parallel auswerten. © Basler

Stereo ace-Kameras

Aktuelle Vertreter dieser Technologie sind unter anderem die Stereo ace-Kameras von Basler. Sie liefern durch ihre werkseitige Vorkalibrierung, eine hohe Sensorauflösung und einen integrierten Musterprojektor selbst bei strukturlosen oder anspruchsvollen Oberflächen eine herausragende 3D-Bildqualität. Dank extrem niedriger Latenzen sind sie ideal für dynamische Pick-and-Place-Anwendungen, insbesondere in der Logistik. Mit den industrietauglichen Kameras der Stereo visard-Serie ermöglicht Basler Robotern die Echtzeit-Wahrnehmung ihrer Umgebung. Mit vorinstallierter Onboard-Software und passenden Applikationspaketen sind diese Stereovision-Kameras sofort für klassische Aufgaben in der bildgeführten Robotik wie etwa das Greifen, Platzieren oder Navigieren einsatzbereit.

Time-of-Flight

Kameras auf Basis der Technologie Time-of-Flight (ToF) erfassen 3D-Daten auf einem physikalisch anderen Weg: Zunächst wird ein Lichtimpuls ausgesendet, der von einem Objektpunkt reflektiert und von der ToF-Kamera wieder aufgenommen wird. Aus der gemessenen Laufzeit zwischen Aussendung und Empfang des reflektierten Signals kann die Distanz zwischen Kamera und Objektpunkt relativ genau bestimmt werden. Da für jedes Pixel des ToF-Sensors die Laufzeit des kodierten Lichtimpulses gleichzeitig gemessen wird, wird eine dreidimensionale Aufnahm der untersuchten Objekte erstellt.

Zahlreiche Vorzüge

Die ToF-Technologie bringt zahlreiche Vorzüge mit sich. Dazu zählt unter anderem, dass die 3D-Daten in einem Schuss vom ToF-Sensor generiert und damit hohe Bildwiederholraten ermöglicht werden. Eine Time-of-Flight-Kamera ist ein fertig kalibrierter 3D-Sensor zur sofortigen Verwendung am Einsatzort. Zudem sind ToF-Kameras sehr kompakt in der Bauform und robust gegen Vibrationen und Schocks, was ihren Einsatz auch an Roboterarmen oder fahrerlosen Transportsystemen zulässt.

3D-Kamera Basler blaze

Ein leistungsfähiger Vertreter der ToF-Technologie ist die industrielle 3D-Kamera Basler blaze. Mit nur einer Aufnahme liefert der integrierte High-End ToF-Sensor IMX556 Sensor von Sony 2D- und 3D-Daten, so dass sich Höhen- und Grauwertinformationen parallel auswerten lassen.

Der Sensor und die integrierten Laserdioden der Basler blaze arbeiten bei einer Wellenlänge von 850 oder 940 nm, ein Bereich, in dem das Spektrum der Sonne eine Lücke aufweist.

So ermöglicht die Kamera auch Außenaufnahmen mit einer Auflösung von 640 x 480 Pixeln bei einer Genauigkeit von ±5 mm. Einsatzbar ist die Basler blaze für Arbeitsbereiche von 0 bis 10 Metern.

Das ideale 3D-Verfahren

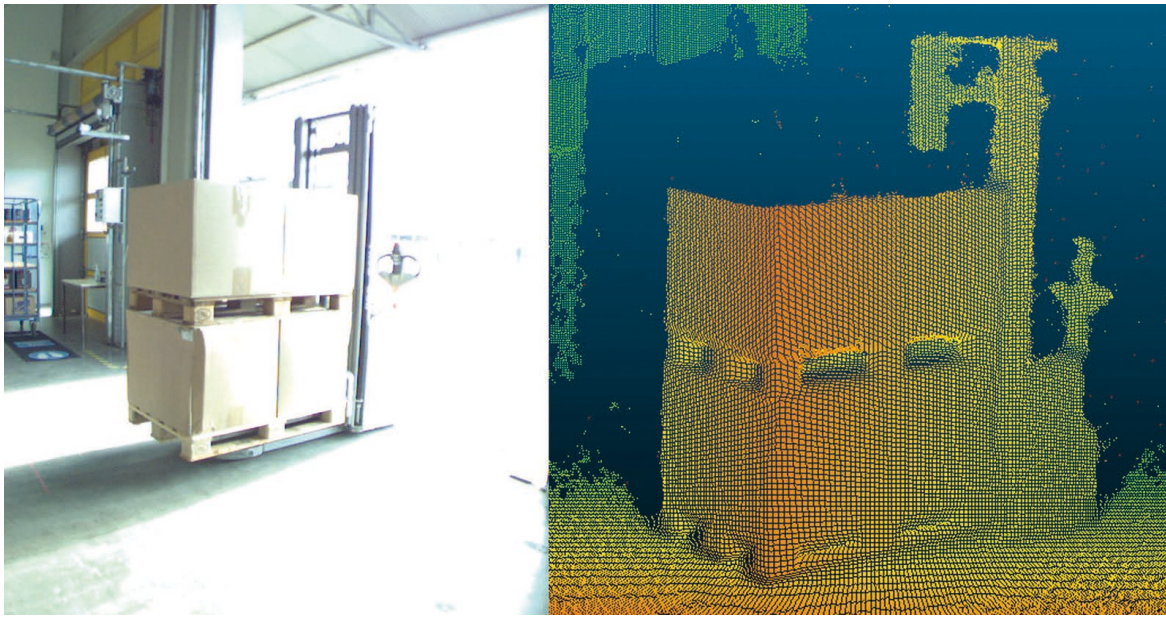
Die erläuterten Verfahren zur 3D-Bildaufnahme zeichnen sich durch unterschiedliche Merkmale, Stärken und Schwächen aus. Das „eine ideale“ Verfahren existiert somit nicht, zu unterschiedlich sind die technischen Leistungsdaten, zu verschieden die Anforderungen an die zu untersuchenden Objekte und die Aufnahmebedingungen. Letztendlich haben auch die Kosten wesentlichen Einfluss auf die jeweils optimale Lösung für eine Aufgabenstellung.

Bei Kenntnis der spezifischen Anwendung und deren Anwendungsumgebung ist jedoch eine sinnvolle Auswahl des am besten für vorliegende Aufgabe geeigneten 3D-Verfahrens sehr gut möglich.

So eignet sich das Lasertriangulationsverfahren sehr gut für 3D-Präzisionsaufnahmen, um beispielsweise bestückte Elektronikboards exakt zu inspizieren. Kamerasysteme auf Basis von strukturiertem Licht zeichnen sich unter anderem durch ihre hohe Genauigkeit und die Schnelligkeit der Messmethode aus. Stereovision-Systeme sind prädestiniert für die Aufnahme größerer Szenen und werden unter anderem bei Indoor- und Outdoor-Navigationsanwendungen häufig eingesetzt. Die ToF-Technologie spielt ihre Stärken speziell in Logistik-Anwendungen aus, wo aufgrund der hohen Stückzahlen ein starker Kostendruck vorhanden ist, die Messgenauigkeit z. B. bei der Paketsortierung jedoch nicht entscheidend ist.

Fazit

Mit leistungsfähigen Produkten aus allen vier genannten 3D-Technologien und einer langjährigen Beratungskompetenz aus zahlreichen 2D- und 3D-Bildverarbeitungsprojekten unterstützen die Bildverarbeitungsexperten der Rauscher GmbH Bildverarbeitung Anwender bei der Realisierung ihrer 3D-Vision-Lösungen. Mit ausgiebigen Tests, detaillierten Voruntersuchungen und bei Bedarf auch der Entwicklung von Demonstratoren ermöglicht das Engineering-Team des Unternehmens effektive und wirtschaftliche Lösungen für die 3D-Bildverarbeitung. ◄



Auch bei starkem Sonnenlichteinfall erkennt die 3D-Kamera Basler blaze die Fracht zuverlässig. © Basler